

Александър Цонков

МАРКШАЙДЕРСТВО

ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА НАХОДИЩА

(КРАТЪК КУРС)



София • 2024

Александър Цонков

**МАРКШАЙДЕРСТВО
ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ
НА НАХОДИЩА**
(КРАТЪК КУРС)

**Издателска къща „Св. Иван Рилски”
София 2024**

ISBN (print): 978-954-353-384-8
ISBN (online): 978-954-353-487-6

©

Александър Евтимов Цонков, автор

МАРКШАЙДЕРСТВО

ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА НАХОДИЩА (КРАТЪК КУРС)

Първо издание, българска

София, 2024

Рецензент: проф. д-р Георги Стоянчев

Всички права са запазени! Не се разрешават копиране, възпроизвеждане и разпространение на тази книга или части от нея по какъвто и да е начин без разрешение на автора.

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор	5
I. Общи сведения за маркшайдерското дело	6
I.1. Исторически сведения	6
I.2. Съдържание на дисциплината	10
II. Маркшайдерски работи на земната повърхност в района на минното предприятие	14
II.1. Координатни системи	14
II.2. Опорни маркшайдерски мрежи	17
II.3. Снимачна основа в района на минното предприятие	24
III. Подземни маркшайдерски снимки	27
III.1. Обект, предназначение, видове	27
III.2. Опорна и снимачна основа в рудника	28
III.3. Подземна хоризонтална снимка	31
III.3.1. Изисквания	31
III.3.2. Измерване на хоризонтални ъгли	34
III.3.3. Измерване на зенитни (вертикални) ъгли	39
III.3.4. Линейни измервания	40
III.4. Подземна височинна снимка	43
III.4.1. Геометрична нивелация в подземните изработки	43
III.4.2. Тригонометрична нивелация в подземните изработки	47
III.5. Съединителни снимки	49
III.5.1. Видове и изисквания	49
III.5.2. Съединителна снимка през щолня и наклонена шахта	52
III.5.3. Съединителна снимка през една вертикална шахта	54
III.5.4. Съединителна снимка през две вертикални шахти	59
III.5.5. Вертикална съединителна снимка	63
III.5.6. Жироскопично ориентиране в подземните изработки	68
III.5.7. Опростени начини за ориентиране на изработки в добивен блок.....	77
III.6. Оперативна снимка	78
IV. Технология на маркшайдерските работи при прокараване и заснемане на нови изработки	79
IV.1. Задаване на направление	79
IV.1.1. Задаване на направление в хоризонталната равнина	79
IV.1.2. Задаване на направление във вертикалната равнина	84
IV.2. Маркшайдерски работи при прокараване на подготвителни, нарезни и добивни изработки	86

IV.3. Компасна снимка. Изисквания	93
IV.4. Други методи на заснемане на контурите на минни изработки	98
IV.5. Определяне обема на добитата минна маса в прокараните подземни изработки	108
V. Маркшайдерски работи при прокарване на подземни изработки с насрещни забои	112
V.1. Общи сведения	112
V.2. Типове сбойки	116
V.2.1. Прокарване на изработки с насрещни забои по водеща повърхнина (I-ви и II-ри тип сбойки)	119
V.2.2. Прокарване на изработки с насрещни забои без водеща повърхнина (III-ти и IV-ти тип сбойки)	124
V.2.3. Прокарване на вертикални изработки с насрещни забои (V-ти тип сбойка)	126
VI. Грешки при измерванията	129
VI.1. Видове грешки, свойства, мерки за точност на измерванията ...	129
VI.2. Закон за предаване (натрупване) на грешките	132
VI.3. Грешки при ъглови измервания	136
VI.3.1. При измерване на хоризонтални ъгли	136
VI.3.2. При измерване на зенитни (вертикални) ъгли	140
VI.4. Грешки при дължинни измервания	141
VI.5. Грешки при височинни измервания	151
VI.5.1. Оценка на точността на геометрична нивелация	151
VI.5.2. Оценка на точността на тригонометрична нивелация	153
VII. Анализ на точността на подземните маркшайдерски снимки	156
VII.1. Оценка на координатите на последната точка на свободен полигонов ход	156
VII.2. Предварително изчисляване на грешката на срещане на изработки, прокарвани с насрещни забои, в границите на един рудник	165
VII.3. Предварително изчисляване на грешката на срещане на изработки, прокарвани с насрещни забои, от различни рудници	170
Заклучение	175
Литература	176

Предговор

Настоящата разработка е монографичен труд върху методите и технологиите на маркшайдерското осигуряване при подземно разработване на находища.

Разглеждат се основните видове задачи, изпълнявани от маркшайдерската служба на минно-добивната фирма. Показани са дейностите при създаване и използване на опорна и снимачна основа на земната повърхност, разгледани са подземните маркшайдерски снимки, начините на ориентиране в зависимост от вида на разкриващите изработки. Отделено е място на технологиите на маркшайдерските работи при прокарване и заснемане на новопрокарваните изработки. Определени са начините за оценка на ъгловите, дължинните и височинните измервания. Представени са методите за оценка и анализ на получените резултати при решаване на текущи маркшайдерски задачи – при координатни и височинни измервания и изчисления, при предварително определяне на очакваното разминаване на забои при прокарване на изработки чрез сбойки. Разгледани са възможностите за приложение на някои от новите технологии на заснемане, обработване и представяне на резултати от маркшайдерски измервания за различни текущи нужди при подземното разработване на находища.

Книгата може да се ползва като учебно помагало на студентите от специалността „Маркшайдерство и геодезия” при усвояване на материала в курса по дисциплината „Маркшайдерство при подземно разработване на находища”. Разбира се, може да бъде полезна и на широк кръг от специалисти с приложни интереси в областта на маркшайдерската практика.

I. Общи сведения за маркшайдерското дело

Названието „Маркшайдерско дело” произлиза от немската дума *Markscheidenkunst*, която буквално преведена означава: *Mark* – граница, знак; *Scheiden* – обозначавам, поставям, пренасям; *Kunst* – изкуство.

Въпреки, че понятието „поставяне на граници” при съвременния етап на развитие на минната наука не отговаря на съдържанието на маркшайдерската работа, то се е запазило в годините.

Като част от минната наука маркшайдерското дело следва нейното развитие. Това развитие се основава на непрекъснато усъвършенстване на научното познание за средата на минните работи, за протичащите в нея физични и механични процеси, за възможностите за повишаване на ефективността и безопасността на работа, за правомерното и разумно управление на запасите от минерални суровини.

Всички етапи от усвояването на находищата на подземни богатства се съпътстват от редица различни по вид дейности, извършвани от маркшайдерската служба на минното предприятие. Независимо дали добивните дейности се осъществяват по открит, или по подземен способ, маркшайдерите осигуряват информацията за концесионната площ, за опорните и снимачните мрежи, за пространственото разположение на формата на залежа и на неговите свойства и характеристики и т.н. Чрез пространствено-геометрични измервания (маркшайдерски снимки) се събират, обработват и съхраняват данни, необходими за решаването на минно-технически и геометрични задачи, възникващи при различните етапи на разработване на находищата.

I.1. Исторически сведения

За света

Маркшайдерското дело практически се е зародило още от древността заедно с умението на човека да извършва минни работи.

В Италия се пази египетски пергамент с изобразен златен рудник на него, датиран от 1600-1400 г. пр.н.е.

Древните римляни са осъществили срещане на два подземни забоя (сбойка) с обща дължина на галериите около 6 км с цел водоснабдяване на града от съседно езеро. Използвани са 40 вертикални и множество свързващи ги галерии, разположени по оста на цялостната изработка [14].

Описания на подземни снимки и ориентировки на минни изработки за първи път се намират в записките на Херон Александрийски от I век пр.н.е. За целта се използват два отвеса и верига от триъгълници, измерват се и дължините на страните им.

През 1556 г. немският учен Георг Агрикола публикува труда си „За минното дело и металургията”. В него авторът разглежда въпроса за снимка на подземни минни изработки с помощта на компас, както и решаването на някои геометрични задачи [28]. Малко по-късно се появява и компас с визирно приспособление.

През втората половина на XVI в. в Германия някои от миньорите започват да се занимават само със заснемане на изработките. Те решавали и задачите по пренасяне на границите на имотите от повърхността в земните недра. По действащите тогава в страната закони собственикът на земята е бил собственик и на подземните богатства под нея, което довежда до нуждата да се определят подземните граници на имотите.

През 1763 г. М.В.Ломоносов публикува труд, в който се дава решение на редица геометрични задачи, възникващи в минното дело.

Голямо събитие в историята на маркшайдерското дело е публикуването през 1847г. на труд на проф.Олишев „Маркшайдерско изкуство”. В него авторът предлага при снимките на подземните минни изработки вместо компас да се използва теодолит, като е разработил и методиката на подземната теодолитна снимка. Независимо от него, и в Германия се създава методика за теодолитно заснемане.

В края на XIX и в началото на XX в. под ръководството на проф.Бауман в Русия, в Донецкия въглищен басейн, се изгражда триангулачна мрежа, която осигурява единна координатна система за маркшайдерските снимки в рудниците от този район.

По това време се съставя и първата инструкция за маркшайдерски наблюдения за движенията на скалите над отработените пространства в масива.

Под ръководството на проф.Бахурин през 1932 г. в Русия се създава ВНИМИ (Всесъюзен научно-изследователски маркшайдерски институт), който е първото в света научно маркшайдерско учреждение. Освен научни изследвания за решаване на редица маркшайдерски задачи в практиката, там се конструират и изработват инструменти (теодолити и нивелири с различна точност) и прибори със специално предназначение (профилографи, лазерни указатели на направление, жирокомпаси, далекомери) [29].

По това време в Западна Европа (предимно в Германия) с бързи темпове се развива маркшайдерската наука и уредостроене (възникват заводи за геодезически и маркшайдерски инструменти), публикуват се редица значими за минното дело трудове.

В цял свят, с развитието на минното дело, расте необходимостта от качествено и ефективно маркшайдерско осигуряване. За целта се създават центрове за обучение в Германия, Франция, Англия, САЩ, Русия, Полша, Чехия.

В днешни дни минно-добивният отрасъл се развива на база внедряване на нови добивни и съпътстващи технологии, разработване на по-дълбоки находища, създаване на организация за по-ефективна работа. Развива се и международното сътрудничество в маркшайдерската област. Международното общество по маркшайдерско дело (ISM) периодично организира конгреси в различни страни по целия свят. На тези форуми се представят и обсъждат постиженията в областта на маркшайдерското осигуряване.

За България

В страната ни се добиват различни метали още от древността. Работи се предимно в района на Странджа, Средна гора, Родопите. През XX-ти век започва и добиването на въглища – в Пернишки, Бобовдолски, Западно-маришки, Балкански и Пирински въглищни басейни [15].

Първите планове на подземни минни изработки са съставени към 1890г. при разработването на въглищните пластове край гр.Перник. След 1900 година се съставят и първите планове за рудни находища.

Първите маркшайдерски кадри у нас са били чужденци.

Работело се е предимно в условна координатна система.

През 1902 г. се създава маркшайдерска служба на гара „Елисейна”, която осигурява разработването на находище „Плакалница”, Врачанско.

За първи път у нас се използва теодолитна снимка в подземна изработка в началото на XX век. Заснети са изработките на рудниците от Балканския и Бобовдолския въглищни басейни, както и рудниците „Плакалница” и „Росен”.

В средата на XX-ти век и в по-късните години редица видни български специалисти, повечето от които членове на катедра „Маркшайдерство и геодезия”, работят в различни области на маркшайдерското дело.

Първи ръководител на геометризацията на находищата е проф. Иван Христов. Научните му изследвания са свързани с р-к „Чукурово”, р-к „Злата”, полиметалните находища в районите на Мадан, Ерма река, Рудозем.

Изследвания в областта на движение на скалите и скалния натиск у нас се провеждат под ръководството на проф. Борис Стоянов, проф. Петър Мечкарски, ст.н.с. Георги Хрисчев, ст.н.с.Ист. Евдокия Михайлова, ст.н.с. Ефтим Николов. За почти всички големи наши находища са определени ъглите, характеризиращи зоните на движение и деформации на масива и земната повърхност, предизвикани от влиянието на минните работи.

Силното развитие на минно-добивната промишленост в този период се дължи главно на изграждането на големи държавни минни предприятия със съвременна за времето си механизация, обединени в управления „Руди и металургия”, „Въглища”, „Редки метали”, „Геоложки проучвания” и др. Към всички рудници се създават маркшайдерски служби.

В днешно време у нас се разработват на концесия предимно рудни находища (по открит и по подземен способ), въглищни находища (по открит способ), както и кариери за скало-облицовъчни и за строителни материали. На практика подземни въглищни рудници към този момент няма.

През 1953 г. се създава Висшия минно-геоложки институт (ВМГИ), сега МГУ „Св.Ив.Рилски“. В него се подготвят кадри с висше образование по специалността „Маркшайдерство“ в катедра „Маркшайдерство и геодезия“.

България е член на Международното общество на маркшайдерите (ISM) от 1976г. През 1982 г. страната ни е домакин на V конгрес на ISM.

За МГУ „Св.Иван Рилски“ и катедра „Маркшайдерство и геодезия“

През 1942 година се създава „Висше техническо училище“ [32], което по-късно е преобразувано в Държавна политехника. В нейната структура се обособяват четири отдела, един от които е „Минно дело и геология“. В последствие четирите отдела се преобразуват в самостоятелни висши учебни заведения. Така през 1953 г. се учредява „Минно-геоложки институт“. По-късно се нарича „Висш минно-геоложки институт“, (ВМГИ).

Още от тогава в минния факултет на ВМГИ се обучават студенти и по специалността „Маркшайдерство“.

С решение на Общото събрание на ВМГИ от януари 1991 година институтът е преобразуван в Минно-геоложки университет [33]. Официално, с решение на Народното събрание на Република България (Държ.вестник бр.68, от 1995 г.) [1], Висшият минно-геоложки институт става Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, със седалище гр.София.

Катедра „Маркшайдерство и геодезия“ е основно звено от състава на Минно-технологичния факултет на университета. В нея през годините се обучават стотици млади специалисти, много голяма част от които намират своята професионална реализация в минно-добивната промишленост и строителството, както у нас, така и в чужбина.

От 1998 година студентите се обучават в ОКС „Бакалавър“ и ОКС „Магистър“, редовна и задочна форма, а от 2002 година в магистърската степен се предлага обучение в две специализации – „Маркшайдерство и геодезия“ и „Геодезически наблюдения на Земята“.

През 2017 година е открита специалност „Маркшайдерство и геодезия“ от регулираната професия „Инженер в геодезията, картографията и кадастъра“ в професионално направление 5.7. „Архитектура, строителство и геодезия“. Обучението е само в ОКС „Магистър“, редовна и задочна форма. Получени са и програмни акредитации на докторски програми по „Маркшайдерство“ и по „Обща, висша и приложна геодезия“ от същото професионално направление.

От основаването на катедрата до сега нейни ръководители са били: доц. д-р Петко Монеv (1953-1954); проф. д-тн Любомир Димов (1954-1976); проф. д-р Никола Цонков (1976-1984); проф. д-р Коста Велеv (1984-1988); проф. Петър Мечкарски (1988-1993); доц. д-р Никола Сотиров (1993-1997); проф. д-тн Любомир Чешанков (1997-1999); проф. д-р Койно Боеv (1999-2011) и доц. д-р Станислав Топалов (2011- и понастоящем).

I.2. Съдържание на дисциплината

Маркшайдерството е част от комплекса на минните науки, призната за учебна дисциплина и за професионална квалификация преди много години.

Съдържанието му включва:

- пространствено-геометрични измервания (маркшайдерски снимки) с цел събиране, обработване и съхраняване на информация за концесионната площ, отчуждените терени, опорните и снимачните мрежи, за изобразяване на планове, разрези, проекции и графични изображения на релефа на земната повърхност над находището на подземни богатства (ПБ), геолого-проучвателните сондажи и минните изработки, сградите, комуникациите и съоръженията на минното предприятие;
- решаване на минно-технически и геометрични задачи през различните етапи на разработване на находището;
- геометрично и статистическо моделиране на формата и размерите на залежа, на свойствата на ПБ и на процесите в масива, управлението на запасите и ефективното използване на земните недра;
- изучаване на движението на скалите и деформациите на земната повърхност и в масива, предизвикани от минните работи;
- прогнозиране, нормиране и отчитане на процесите на минното производство.

Маркшайдерството е тясно свързано с редица дисциплини [28]:

На първо място това е *геодезията*. При маркшайдерските снимки широко се използват геодезическите методи и инструменти. Снимките са обвързани с държавната триангулационна и нивелационна мрежа. Плановите на минните работи се съпоставят с топографските планове на земната повърхност.

При решаването на много задачи от маркшайдерската дейност широко се използват знания от различни дялове от *математиката* – аналитична и дескриптивна геометрия, диференциална геометрия, математическа статистика, теория на вероятностите.

В основата на оценката на точността за различните видове дейности стоят *теорията на грешките* и *методът на най-малките квадрати*.

В много тясна връзка е дисциплината и с *геологията*. Това се определя от единната среда, в която се прилагат. Заедно с геолозите се решават въпроси относно: снимки и изобразяване върху планове на разположението на ПБ и на други геоложки обекти в пространството; изчисляване на запасите и загубите; проучване и определяне (количествено и пространствено) на качествените показатели на ПБ и т.н.

За да решава правилно своите задачи, маркшайдерът трябва да познава много добре *минното дело* (технология на добив, системи на разработване и т.н.).

Маркшайдерът трябва да владее *техническото и топографското чертане*.

В много маркшайдерски служби сега голяма част от изчислителните, начертателните и другите конкретни задачи се решават с помощта на *ЕИТ*, което предполага познаването на редица програмни продукти, езици за програмиране, възможностите на наличната компютърна техника.

През последните години навлезе *ново поколение геодезически инструменти*. Познаванията за работа с геодезическите станции, дигиталните нивелири, жиротеодолитите, GPS устройствата, улесняват работата, повишават нейната надеждност и качество.

На следната фигура I.1 са показани дяловете на маркшайдерството и съставните му дисциплини.



Фиг. I.1. Маркшайдерство и съставни дисциплини

Задачи на маркшайдерската служба

При усвояване на находищата на ПБ, се отделят следните етапи:

1. Проучване и оценка на находищата на ПБ;
2. Проектиране на минните предприятия;
3. Строителство на минните предприятия;
4. Експлоатация на находищата;
5. Консервация (ликвидация) на минните предприятия и рекултивация на земите.

При всеки от тези етапи маркшайдерската служба решава различни задачи:

1. При проучване и оценка на находищата:

- създаване на опорна и снимачна мрежа в района;
- извършване на снимка на земната повърхност;
- създаване на геометрична основа за геоложкото картиране и проектиране на геологопроучвателните работи;
- трасиране на геологопроучвателните изработки;
- създаване, съвместно с геолозите, на графични материали, необходими за характеризиране условията на залягане на ПБ и за изчисляване на запасите.

2. При проектиране на минното предприятие:

- извършване на проектно-проучвателни работи в района;
- разчет и обосновка на начина на разработване (открито или подземно), на начина на разкриване (с щолня, с наклонена шахта или с вертикална шахта), на системата на разработване, на разполагането на сградите и промишлената площадка с оглед опазването им от вредното влияние на минните работи, както и по отношение на количеството на блокираните запаси;
- разчет на промишлените запаси на ПБ в границите на минното предприятие.

3. При строителство на минното предприятие:

- проверка на проектните чертежи на всички основни съоръжения и минни изработки;
- осигуряване на маркшайдерската основа в района на промишлената площадка;
- трасиране на проектните елементи на съоръженията и минните изработки;
- контрол по време на строителството;
- снимка и ексекутивни чертежи на готовите съоръжения и прокараните минни изработки.

4. При експлоатация на находището:

- извършване на хоризонтални и вертикални съединителни снимки за осигуряване на подземните и надземните маркшайдерски снимки с единна координатна система;
- пълна своевременна снимка на всички изработки с анализ на точността;
- маркшайдерско осигуряване на прокарването на нови изработки и на добива на ПБ;
- контрол за правилното и безопасно водене на минните работи;
- контрол на оперативния отчет на обема на минните работи;
- съвместно с геолога рационално управление на запасите и контрол за пълнотата на изземване на ПИ;
- определяне границите на безопасно водене на минните работи и на предпазните целици в масива;
- провеждане на наблюдения и мероприятия за опазване на обектите и съоръженията на земната повърхност и в масива от вредното влияние на минните работи;
- изучаване проявите на скалния натиск;
- участие при планиране развитието на минните работи (прогнозиране на минно-техническите условия в новите участъци).

5. При консервация (ликвидация) на минното предприятие:

- окончателна снимка на минните изработки до крайните им контури;
- допълване на чертежи, изчисляване на координати, попълване на координатни регистри;
- извършване на заключителни дейности по рекултивацията на земите в границите на минното предприятие;
- комплектоване и предаване в държавния архив на всички документи и чертежи, свързани с проучването, експлоатацията и ликвидацията на минното предприятие.

II. Маркшайдерски работи на земната повърхност в района на минното предприятие

На земната повърхност в района на минно-добивната фирма маркшайдерските служби изпълняват дейности, свързани със:

- създаване и ползване на опорна мрежа и работна снимачна основа;
- създаване на топографски план на земната повърхност в района на минното предприятие;
- трасиране проектните параметри на съоръженията, сградите и технологичното оборудване на добивната фирма;
- контролиране правилното пренасяне на геометричните оси на инженерните съоръжения;
- определяне обема на изкопните и насипните работи;
- периодично заснемане на промишлената площадка и актуализиране на теренно-ситуационния план на минно-добивната фирма в границите на концесията.

Всички дейности на маркшайдерската служба, извършвани в района на минното предприятие, трябва да са съобразени с действащия проект и при спазване на нормативните изисквания на Техническата маркшайдерска инструкция [34].

II.1. Координатни системи

Значим за маркшайдерското дело е изборът на направление на координатните оси. Възможни са следните случаи за ориентиране на оста ОХ за маркшайдерските планове:

- ориентиране по магнитния меридиан;
- ориентиране по астрономичния меридиан.

При отсъствие на опорна планова мрежа, оста ОХ се ориентира по направление на магнитната стрелка. За предпочитане е ориентирането да се извършва по астрономичен меридиан, тъй като сближението на меридианите, за разлика от магнитната деклинация, се запазва в неизменно положение във времето.

У нас са използвани множество координатни системи. Прието е наименованията им да се означават с годината на тяхното създаване.

1. Система на руската триангулация

Първата координатна система, въведена в България, е системата на Руската триангулация. Създадена е през 1877-1879 г. и се основава на елипсоида на Валбек. За изходна точка е използвано минарето на главната

джамия в Кюстенджа (Констанца, Румъния), а за изходна посока – направлението към западната пирамида на Кюстенджанската база. Определени са координатите и котите на 1274 точки, които не са запазени.

Работата по създаване на държавна геодезическа мрежа в България и въвеждане на координатна система започва през 1920 г. Осъществява се от Държавният географски институт при Министерство на войната [24].

2. Българска геодезическа референтна система 1930 г.

Координатна система 1930 г. е създадена под ръководството на акад. Вл. Христов. За референтен елипсоид е използван елипсоида на Хейфорд, приет през 1924 г. от Международния съюз по геодезия и геофизика. Използвани са триградусови ивици. Първокласната мрежа се състои от 76 точки, а второкласната – от 230. За изходна точка е приета точка „Черни връх”, а за изходна посока – направлението към точка „Мечи камък”.

3. Българска геодезическа референтна система 1950 г.

С постановление на Министерския съвет през 1951 г. у нас се приема елипсоида на Красовски. Използвани са диференциалните формули на акад. Вл. Христов за трансформиране на координатите на всички точки от държавната геодезическа мрежа от елипсоида на Хейфорд към елипсоида на Красовски [24]. Прилагат се триградусови и шестградусови ивици.

4. Геодезическа референтна система 1942 г. и система 1942-1983 г.

В периода 1956-1959 г. са извършени множество допълнителни измервания в първокласните мрежи на бившите социалистически страни, като целта е била да се създаде единна астрономо-геодезическа мрежа. Обединението и изравнението е проведено в бившия СССР. Използван е елипсоида на Красовски. За изходна точка е избрана обсерваторията в Пулково. Тази система е наречена геодезическа референтна система 1942 г. Служи предимно за военни нужди за изработване на геодезически и картографски материали с класифицирана информация.

През 1962 г. в Букурещ се взема решение да се подобри единната геодезическа мрежа като се извършат допълнителни измервания и ново изравнение на мрежата. Новата система е наречена Геодезическа референтна система 1942-1983 г. тъй като работата по нея приключва през 1983 г.

5. Координатна система 1970 г.

По принцип тази система не е нова референтна, тъй като са взети само нови проекционни координати на система 1950 г.

Тя е въведена за граждански цели през юли 1969 г. от Държавния комитет по отбрана с цел да не се разсекретява единната координатна система, използвана в българската армия. Поради тази причина България се разделя на четири зони със застъпване от 10 km между тях. За всяка от зоните са добавени различни константи, изчислени са различни коефициенти за трансформиране от система 1950 г. в система 1970 г., изготвени са таблици за разстоятелна редукция. Зоните са означени с К-3, К-5, К-7 и К-9.



Фиг. II.1. Схема на разпределение на четирите зони – по [24]

6. Българска геодезическа система 2000 (БГС 2000)

Приета е с постановление на Министерския съвет през май 2001 г. с цел създаване и поддържане на единна координатна система, съгласно Закона за кадастъра и имотния регистър. Системата включва [24] фундаментални геодезически параметри, определени от Геодезическа референтна система 1980 (GRS 80), геодезическа координатна система ETRF89, височинна система чрез нивелачните репери от Държавната нивелация, система от равнинни координати, основаваща се на ETRF89 и конформна конична проекция с два стандартни паралела, както и международна система за разграфка и номенклатура на картните листове.

Проведени са GPS-измервания на седем точки на територията на България и на няколко в съседните страни. Мрежата е наречена БУЛРЕФ.

Съгласно международната система за разграфка и номенклатура територията на страната попада в следните милионни картни листове: К-34, К-35, L-34, L-35.

7. Българска геодезическа система 2005 (БГС 2005)

Приета е с постановление на Министерския съвет през юли 2010 г. Съгласно [25] за реализацията на БГС 2005 допринасят:

- определянето на 7 точки от Европейската GPS мрежа EUREF и приемането им за реализацията на територията на страната на Европейската земна

координатна система ETRS89 (симпозиум на EUREF в Анкара, 1996 г.), както и последвалото им сгъстяване до 25 точки (симпозиум на EUREF в Рига, 2006 г.);

- въвеждането на постоянно действаща ГНСС станция край София в състава на перманентната EUREF мрежа (EPN), а по-късно – и на световната мрежа IGS;

- изграждането на Държавната GPS мрежа в непосредствена връзка с EPN;

- свързването на Държавната нивелация с Единната европейска нивелачна мрежа EUVN;

- включването на страната в дейностите по определяне на европейския геоид и др.

За система на проекционните координати е приета системата правоъгълни равнинни координати на Универсалната цилиндрична меркаторова проекция (UTM). Въведената координатна система чрез геодезическата проекция се означава като „Координатна система 2005”. UTM се прилага за 6°-ви ивици, при които територията на България попада в две зони с номера 34 и 35. За основни меридиани на съответните зони са определени както следва, зона N°34 – основен меридиан с географска дължина 21° и зона N°35 с основен меридиан с географска дължина 27°. Мащабът на основния меридиан е 0.9996 m [25].

Много често при решаването на някои маркшайдерски задачи, се използва *условна координатна система*. При нея оста ОХ е с произволно избрано направление. Такава координатна система се използва при маркшайдерското обслужване на съоръженията в шахтата, при ориентиране през две вертикални шахти, при изследване на деформации на отделни съоръжения и т.н.

II.2. Опорни маркшайдерски мрежи

Маркшайдерските опорни мрежи се делят на:

- опорни мрежи на земната повърхност;
- подземни опорни мрежи.

Планова опорна мрежа на повърхността

Опорната планова мрежа на повърхността на минно-добивните обекти се отнася към *триангулация* от V, VI и VII клас, която се развива на основата на държавната триангулация от I, II, III и IV клас, чрез включване на отделни точки, група от точки и цели мрежи.

Плановата опорна мрежа осигурява създаването на основа за [34]:

- снимки в района на концесионната площ, необходими при проучването, проектирането и разработването на находището;
- трасиране на устието на разкриващите изработки (шолни, наклонени шахти, вертикални шахти) и съоръжения – надшахтови кули и др.;
- подземните маркшайдерски снимки;
- наблюдаване на движението на земната повърхност под влияние на минните работи и за определяне на деформациите на инженерните съоръжения.

Основни показатели на плановите опорни мрежи в минните обекти се виждат в таблица II.1.

Табл. II.1.

Клас	Дължина на страната, km	Развиват се въз основа на:
V	2 – 3	Държ.триангулация
VI	1 – 2	I – V
VII	0,8 – 1	I – V

За решаване на специални маркшайдерски задачи се допуска развиване на напълно самостоятелна триангулация с по-къси от 0,5 km страни.

Опорната мрежа се развива съгласно технически проект. Той се изработва от маркшайдерската служба на фирмата и се съставя върху карта в М 1:5000, 1:10000 или 1:25000. При изработването му се спазват следните условия:

- местата на точките от опорната мрежа да се избират така, че да осигуряват запазването им за по-дълъг период от време;
- точки от плановата опорна мрежа да има в близост до устието на разкриващите изработки и до съоръженията;
- новопоставените точки се засичат геодезично от 3 до 4 близкостоящи и звездообразно разположени точки от по-горен клас (по изключение се допуска едностранно засичане); острите ъгли между определящите посоки при новите точки да са по-големи от 33° ; дължините на съседните страни в мрежата да са приблизително равни (допуска се отношение между съседни дължини на страните от 1:1 до 1:3);
- измерват се всички посоки в мрежата между дадените и новопоставените точки;
- при решаване на спешни задачи, за които не се изисква висока точност, се допуска определянето на точки от плановата опорна мрежа да се извършва със засечка назад, с визиране към пет координатно определени точки от опорната мрежа;

- След одобряване на проекта се извършва рекогносцировка и точките се номерират с арабски цифри по възходящ ред.

Хоризонталните посоки за определяне на координатите на точките от опорната мрежа се измерват в три пълни гируса с ъгломерни инструменти с директна точност на отчитане $2''$ и увеличение на зрителната тръба поне 27 пъти. По изключение се допуска използването на инструменти с увеличение на тръбата най-малко 24 пъти и отчитане по преценка до $20''$. При измерване на посоките инструментът се центрира с точност 0,005 m. Допустимите разлики между редуцираните стойности на една и съща посока в отделните гируси са показани в таблица П.2:

Табл. II.2.

Мрежа клас	Теодолит с точност на отчитане до 2 ^{cc}	Технически оптичен теодолит	Допустима ъглова несвързка за всеки триъгълник
V	20 ^{cc}	—	30 ^{cc}
VI	35 ^{cc}	—	45 ^{cc}
VII	50 ^{cc}	50 ^{cc}	60 ^{cc}

След измерване на хоризонталните посоки се определя ъгловата несвързка за всеки триъгълник от триангулационната мрежа. Допустимата ѝ стойност зависи от класа на мрежата и е посочена в горната таблица. Определя се средната квадратна грешка по формулата на Фереро [34]:

при измерване на посоки: при измерване на ъгли:

$$m = \sqrt{\frac{[WW]}{6n}}; \quad m = \sqrt{\frac{[WW]}{3n}}, \quad (\text{II.1})$$

където W е несклучването на отделните триъгълници, а n – броят на триъгълниците.

Плановата опорна мрежа се изравнява по посредствен или по условен метод.

В залесени райони или в гъсто застроени руднични площадки опорната мрежа се създава във вид на *полигонометрични ходове* (прецизна полигонометрия).

Съвременните инструменти позволяват високоточно измерване на дължини. Ето защо приложение за създаване на планови опорни мрежи има и методът на *трилатерация*. Подобно на триангулацията, тя се основава на мрежа от триъгълници, но вместо ъглите се измерват дължините на страните на триъгълниците. За всеки триъгълник се изчисляват ъглите по трите измерени страни, а след това мрежата се изравнява.

За създаване на плановите опорни мрежи може да се използват и комбинации от разгледаните методи.

Развитието на космическата техника и на електрониката позволява през 80-те години да бъде създадена принципно нова технология за определяне на положението на точки от земната повърхност. Това е т.нар. Global Positioning System (Световна Система за определяне на положението) - GPS. Идеята на тази система е космическите спътници да са активен елемент като автоматично измерват разстоянието до подвижни приемници на земната повърхност. Положението на приемниците се определя със своеобразни засечки с четири и повече дължини. За надеждни резултати от измерванията са необходими определен минимален брой видими спътници.

Системата се състои от три части [35]:

- космическа част, съставена от спътници, които излъчват сигнали;
- контролна част, управляваща цялата система;
- част - ползватели, включваща различни типове приемници.

Земната оперативна контролна система наблюдава движението на спътниците, определя тяхното положение и сверява часовниците им.

Всеки спътник изпраща два сигнала – за разпознаване (идентификационен) и за измерване (навигационен). Вторият сигнал включва сигнал за време, позволяващ да се приведат измерванията към един и същ момент.

Потребителските станции имат четири основни блока – антена, декодиращо устройство, компютър и електрическо захранване (батерии). Новите технологии позволяват създаването на леки и удобни за ползване GPS - станции.

Някои от задачите, които чрез GPS-технологията може да се решават, са:

- развиване на континентални и междуконтинентални мрежи с изключително висока точност;
- развиване и/или сгъстяване на опорни мрежи от по-нисък клас;
- определяне на положението на подробните точки при снимка на подробностите;
- трасиране на точки с известни координати;
- непрекъснато определяне (с по-ниска точност) на положението на приемника, а чрез него и на добивната и на транспортната механизация в откритите рудници.

Към момента в световен мащаб съществуват четири системи за глобално позициониране:

- *GPS* (САЩ) – първоначално се използва само за военни нужди. В следствие се въвежда и за използване за граждански цели. В пълната си конфигурация (24 спътника) космическата част осигурява глобално покритие с по четири до осем едновременно наблюдаеми спътника с ъгъл на видимост над 15° от хоризонта по всяко време от денонощието;
- *GLONASS* (Русия) - Понастоящем системата се състои от 30 спътника, като в редовна експлоатация са 24 от тях. Във всеки момент и във всяка точка на Земята се виждат най-малко 5 от тях. Към септември 2012 г. грешките при навигационното позициониране на ГЛОНАСС възлизат на 3-6 m при използване средно на 7-8 спътника (в зависимост от точката на приемане). Към 2015 г. точността на позициониране е доведена до 1,4 m, към 2020 г. се планира тя да стане до 0,6 m, с понататъшно усъвършенстване до 10 cm [35];

- *GALILEO* (Европа) – Глобална навигационна система, създадена от Европейския съюз, пусната през 2016 г. Тя е с 26 спътника към юли 2018 и перспектива за 30 спътника през 2020 година. Създадена е с цел осигуряване на независимост от американската система GPS и от руската GLONASS;
- *BeiDou* (Китай) – Китай започва изграждането на собствена сателитна навигационна система Бейду (*BeiDou Navigation Satellite System*, „компас“) или съкратено BDS, през 2000 година и установява регионално покритие с три сателита, изстреляни между октомври 2000 и май 2003 г. През 2012 г. броят на изведените в орбита навигационни спътници става 6, но достъпът до услугите остава ограничен само за нуждите на военни и правителствени организации. Плановите за завършване на системата от 46 спътника са до 2023 г., като от началото на 2013 услугите са отворени за публично ползване [35].

Съвременните приемници позволяват използването на комбинация от спътници от различните системи.

Чрез тази технология става възможно високоточното определяне на необходим брой точки, разположени на подходящи за нуждите на маркшайдерските дейности, места.

Височинна опорна мрежа на повърхността

Височинната опорна мрежа осигурява *създаването на основа* [34] за:

- изграждане на височинна основа за едромащабна снимка за нуждите на геоложкото проучване и проектиране;
- трасиране на проектното положение на разкриващите минни изработки и на различни други съоръжения;
- определяне на надморската височина на репери, служещи за изходни точки при предаване на котата на подземните минни изработки;
- наблюдаване на движенията на земната повърхност под влияние на минните работи и определяне на деформации на инженерните съоръжения.

При хоризонтален и слабонаклонен терен, за създаване на височинни опорни мрежи, се използва *геометрична нивелация*. Нивелачните мрежи на територията на минните обекти, по начин на измерване и обработка, отговарят на нивелачни мрежи от IV клас. Те се развиват на основа на държавните нивелации от I – III клас по одобрен проект.

Спазват се следните условия:

- по възможност точките от плановата опорна мрежа да се използват и за височинни;

- избор на подходящи места на реперите с оглед запазването им за дълго време;
- нивелачните ходове да минават по шосета и пътища;
- да образуват затворени полигони с дължина до 1,5 – 2,0 km.

След одобряване на проекта се извършва рекогносцировка на местността. За стабилизиране на нивелачните репери се използват стоманени болтове, които се реперират спрямо местни предмети.

При извършване на нивелацията се използват нивелири с увеличение на зрителната тръба най-малко 25 пъти и чувствителност на либелата $45''$. Автоматичните нивелири трябва да са с точност на компенсиращото устройство 20-30". Латите трябва да бъдат триметрови, с 0,5 cm или 1 cm деления и с кръгли либели. Максималната дължина на визурата (разстоянието от нивелира до латата) да е 50 m, а минималната – 5 m. При употреба на двускални лати разликата между двете стойности на превишенията, получени от отчетите по двете скали на латите, не трябва да бъде повече от 1,5 mm. Препоръчва се хоризонтът на инструмента да е на повече от 30 cm над терена, с цел избягване влиянието на рефракцията.

За нивелачен ход с дължина S (km) се извършват следните проверки:

- разликата между превишенията, получени от два нивелачни хода между два съседни нивелачни репера, не трябва да надвишава $\pm 20\sqrt{S}$, [mm];
- при затворен нивелачен ход височинната несвързка не трябва да надвишава $\pm 15\sqrt{S}$, [mm];
- средната квадратна грешка на 1 km пронивелирано разстояние не трябва да бъде по-голяма от ± 7 mm.

Преди свързването на нивелачната мрежа с реперите от I, II и III клас, последните се проверяват предварително. Изчисленото и измереното превишение между съседни репери от държавната нивелачна мрежа не трябва да се различават с повече от $\pm 10\sqrt{S}$, [mm]. Свързването на реперите от височинната основа на минното предприятие с реперите от държавната мрежа се извършва чрез двупосочни нивелачни ходове. Обработката на измерванията и изравняването на мрежата се осъществява съгласно изискванията на [34].

При пресечен терен надморските височини на точките от опорната мрежа се определят чрез *тригонометрична нивелация*. Проектът се изготвя при следните условия:

- ходовете на тригонометричната нивелация трябва да започват и завършват в нивелачни репери с определени чрез геометрична нивелация надморски височини;

- вертикалните ъгли да бъдат определени двустранно при първо и второ положение на зрителната тръба;
- да се избягват ъгли на наклона по-стръмни от 15° ;
- измерванията да се извършват в подходящо време с оглед намаляване влиянието на вертикалната рефракция;
- директната точност на отчитане по вертикалния кръг на теодолита да е $2''$ и чувствителността на индексната либела (или приспособлението за автоматично хоризонтиране) да е до $60''$;
- двойната индексна грешка на теодолита не трябва да е по-голяма от $1'$;
- сигналите да имат симетрична форма;
- преди всяко отчитане по вертикалния кръг да се подравнява индексната либела;
- разликата между максималната и минималната стойност на двойната индексна грешка не трябва да надвишава $30''$;
- височините на сигналите и на хоризонталната ос на теодолита над надземния център да се измерват с точност 10 mm ;
- допустимите височинни несвързки в затворените и сключените ходове са $\pm 10\sqrt{S}$, [cm] – при ъгъл на наклона до 10° и $\pm 15\sqrt{S}$, [cm] – при ъгъл на наклона над 10° .

II.3. Снимачна основа в района на минното предприятие

Плановата и височинната снимачна основа на повърхността в района на рудника се построяват на базата на създадената вече маркшайдерската опорна мрежа. Броят на точките от основата зависи от релефа и от мащаба на снимката. В Техническата маркшайдерска инструкция се препоръчва разстоянието между точките от снимачната основа да не бъде по-голямо от 150, 200 и 300 м, съответно за мащаби на снимката – 1:500, 1:1000 и 1:2000.

Точките от снимачната основа се определят координатно чрез прави, обратни и комбинирани геодезически засечки; чрез полигонови ходове между точките от опорната мрежа, с осигуряване на необходимия контрол. Ъглите се измерват в един гирус, допустимата ъглова несвързка е $100''\sqrt{n}$, $150''\sqrt{n}$ и $200''\sqrt{n}$ съответно за мащаби 1:500, 1:1000 и 1:2000 на снимката (n – брой на ъглите в полигоновата верига). Дължините на страните се измерват с относителна грешка 1:3000, 1:2500 и 1:2000 за цитираните мащаби. Допустимата линейна несвързка за затворените и скачените теодолитни ходове за същите мащаби на снимката е съответно: $0.005\sqrt{[S]}+0.10$; $0.010\sqrt{[S]}+0.10$ и $0.015\sqrt{[S]}+0.10 \text{ m}$.

Съвременните технологии на глобално позициониране позволяват координирането на точките по по-бърз и относително независим от наличната в района опорна мрежа, с осигуряване на необходимата точност.

Надморските височини на точките от снимачната основа се определят с помощта на геометрична и тригонометрична нивелация. Нивелачните ходове трябва да бъдат затворени или скачени, като за изходни точки се използват реперите от IV клас от височинната опорна мрежа в района. Допустимата разлика в превишенията, определени при прав и обратен ход е $50\sqrt{S}$, при S – дължина на хода в едно направление, отчетена в km [34].

При тригонометричната нивелация точките от снимачната основа се определят височинно след измерване на вертикалните ъгли при две положения на тръбата с инструмент с точност на отчитане не по-ниска от 1° . Височината на инструмента се отчита с точност до 1 cm. Разликата (в сантиметри), между правите и обратните превишения, а така също и между стойностите на котата на една и съща точка, определена от две други точки, не трябва да бъде по-голяма от $3L$ (L – дължина на страната в стотици метри). За окончателна се приема средноаритметичната стойност.

Снимката на повърхността в района на рудника и промишлената площадка служи за основа при проучване, проектиране, строителство и експлоатация на находището.

Топографският план на района трябва да съдържа всички подробности от ситуацията, надземните инженерни съоръжения, пропадания на земната повърхност (ако има такива), образувани от влиянието на минните работи и т.н.

Съвременните софтуерни продукти позволяват планът или части от него да се изчертава в различни мащаби, в зависимост от текущите нужди.

Основни методи за заснемане при съставяне на плана на повърхността в района на минно-добивното предприятие са полярният, фотограметричният и в редки случаи ортогоналният.

Технологията на полярния метод е известна от курса по геодезия. При използване на съвременни геодезически станции заснемането е улеснено от възможностите им за безрефлекторно определяне на пространственото положение на подробните точки, от съхраняването на огромен брой точки в паметта на инструментите, от възможностите за кодиране на вида на заснеманите точки, от наличието на специализирани и неспециализирани софтуерни продукти за онагледяване на снимките.

За големи руднични райони може да се използват възможностите на земната и въздушна фотограметрия.

През последните години усъвършенстването на цифровите апарати, носителите на снимачна техника и софтуерните продукти за обработка на данни

са предпоставките, които дават нов тласък за развитие на въздушната фотограметрия [19]. Цифровите изображения, получени от безпилотни летателни апарати, обработени с подходящ софтуер, могат да се използват за създаване на точни ортофотопланове и числени модели на терена [20].

Предимствата на тази фотограметрична технология са свързани [23] с:

- висока точност на заснемане;
- широк обхват и детайлност на заснемането;
- многократно съкращаване на времето за полеви измервания;
- повече варианти за визуализация на данните;
- избягване на повторно връщане на обекта, поради пропуснати детайли от обекта;
- изключително ефективна при заснемане на средни по големина обекти и площи;
- пълна автоматизация за всички видове дейности;
- безопасност при работа.

Във връзка със създаването и поддържането на кадастрални карти и кадастрални регистри на цялата територия на България, цифровият модел на топографския план в района на рудника, с нанесени на него граници на концесионната площ, може да послужи за допълване на специализирания кадастър на страната, отнасящ се до териториите на минно-добивните предприятия [2].

III. Подземни маркшайдерски снимки

При подземната маркшайдерска снимка се определят пространствените координати на точки и обекти, съобразно технологичните изисквания на минното производство. В основата на снимката са инструментални измервания на ъглови и линейни величини.

III.1. Обект, предназначение, видове

Характерно за развитието на минните работи е непрекъснатото изменение на състоянието и положението на подземните изработки. Една от задачите на маркшайдерската служба е своевременно да определя и заснема техните контури в пространството и да ги отразява на плановете, разрезите и другата графична документация на рудника. Периодичността на извършване на снимките се определя от интензивността на изменението на техните обекти във времето.

Обекти на снимките са [28]:

- минни изработки (разкриващи, главни, подготвителни, нарезни, добивни, дренажни, проучвателни и др.);
- сондажни изработки (проучвателни, водопонижаващи, технологични);
- точки за определяне на елементите на залягане на полезното изкопаемо; за документация на геоложките нарушения и особеностите на залежа и вместващите скали; местата на взетите геоложки проби; местоположението на съоръженията и т.н.;
- граници на зони в рудника с безопасно провеждане на минните работи (обгазени участъци, подземни пожари, ВИВГ, прориви на вода).

Предназначението на снимките се изразява в пространствено определяне на минните изработки, на базата на което се съставят плановете и друга графична документация. Маркшайдерските снимки служат за:

- реализиране в естествени условия на проекта за развитие на минните работи;
- непрекъснат контрол и документиране на минните дейности;
- задаване на направление на минните изработки съгласно проекта;
- провеждане на наблюдения за изследване на деформации в рудника и на земната повърхност, предизвикани от минните работи и др.

При извършване на подземните маркшайдерски снимки трябва да се спазват следните *основни принципи*:

1. Снимката да се извършва *от общото към частното*, от измервания с по-висока точност към измервания с по-ниска точност. На базата на

високоточно определени опорни мрежи се развиват мрежи с по-ниска точност, прокарвани по подготвителните, нарезни и добивни изработки;

2. Всички измервания и изчисления да се извършват *с необходимата точност*. Недостатъчната точност води до неправилно прокаране на изработките и неточно определяне на тяхното пространствено положение, което забавя ефективната работа в рудника и допринася за загуби на материали и средства. Прекомерната (излишна) точност пък забавя работата и довежда до загуба на време и сили;
3. При извършване на снимките да се осигурява *контрол* на измервателните и изчислителните работи. При определяне на ъгли, дължини и превишения първичният контрол се осъществява още по време на измерванията съгласно методиката им. Окончателно резултатите от снимките се контролират след обработване на данните и нанасяне върху плановете.

Подземните маркшайдерски снимки, в зависимост от предназначението и технологията им на изпълнение, се класифицират в следните *видове снимки*:

- *съединителна (хоризонтална и вертикална) снимка* – служи за осигуряване на геометрична връзка между снимките на земната повърхност и тези в подземните изработки. Чрез нея се извършва “пренасяне” на координатите и надморската височина от повърхността в изработките, както и между отделни хоризонти в подземния рудник.
- *хоризонтална снимка* – осигурява създаването на хоризонтална опорна мрежа и снимачна основа в подземните изработки;
- *височинна снимка* – осигурява създаването на височинна опорна мрежа и снимачна основа в изработките;
- *оперативна снимка (замер)* – използва се за контрол на положението на забойната линия, на проектното изпълнение на минните работи и т.н.

III.2. Опорна и снимачна основа в рудника

Полигоновият метод е основен и единствено възможен за създаване на планова опорна мрежа и снимачна основа в подземни минни изработки. При развиване на полигоните се измерват:

- хоризонтален ъгъл между всеки две съседни страни от полигоновия ход;
- ъгъл на наклона на всяка полигонова страна;
- дължина на всяка страна от полигоновия ход.

Всеки полигонов ход се привързва към точки от предишна снимка.

В зависимост от формата, начина на свързване към точка от предишна снимка и контрола на изчислените координати, полигоните са:

- *изтеглени* – точките от хода са разположени близо до правата линия;
- *висящи* – началото на хода е една точка с известни координати и страна от тази точка с известен посочен ъгъл; другият край на полигона не е предварително пространствено определен; формата на полигона е отворен многоъгълник;
- *затворени* – началото на хода е точка с известни координати и страна с известен посочен ъгъл; край на полигона е в началната точка; формата на полигона е затворен многоъгълник;
- *двойни* – ходът преминава през едни и същи точки в право и обратно направление;
- *маркшайдерски* – ходът започва от точка с известни координати и завършва в точка с известни координати; решава се с условен начален посочен ъгъл.

Подземните опорни мрежи (ПОМ) се създават във вид на единични полигонови ходове или на системи от тях с максимално възможни дължини на страните. ПОМ се развиват от стабилизираните в основната разкриваща изработка изходни точки и трябва да осигуряват необходимата точност при определяне положението на най-отдалечените точки в подземните изработки.

В Техническата маркшайдерска инструкция е регламентирано, че полигоновите ходове се класифицират по следния начин:

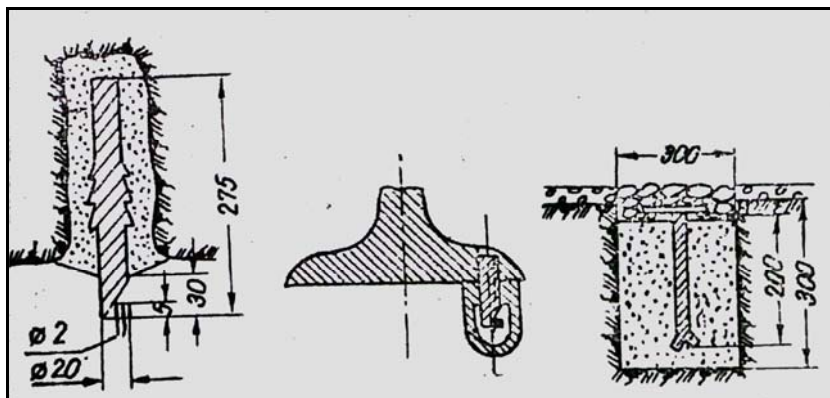
- I ред полигони – служат за решаване на отговорни маркшайдерски задачи (напр. сбойки);
- II ред полигони – служат за планова снимачна основа. Изостават от забоите не повече от 300-500 м;
- III ред полигони – служат за текущи снимки. Изостават от забоите не повече от 40-60 м.

Рекогносцировката на състоянието на минните изработки и стабилизирането на маркшайдерските точки е важна задача за маркшайдера. При избора на място за стабилизиране на точките трябва да се осигури:

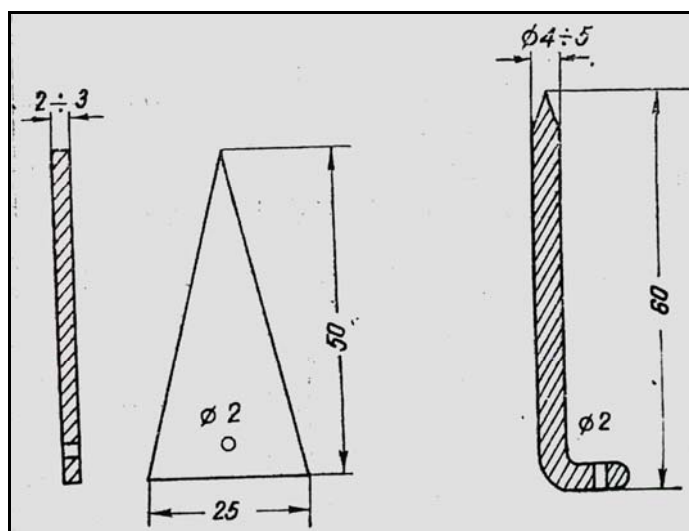
- взаимна видимост между съседните точки;
- максимално разстояние между тях, съобразено с методите на измерване;
- съхраняемост на точките;
- удобни и безопасни условия при измерване;
- съотношението между дължините на две съседни страни от второредните полигонови ходове да бъде от 1:1 до 1:3;

- на местата на пресичане на изработки (“кръстове”) задължително да има точка.

В минните изработки полигоновите точки се стабилизират с постоянни и временни знаци. Конструкцията и размерите им са посочени в Техническата маркшайдерска инструкция и са показани на фигурите:



Фиг. III.1. Постоянни маркшайдерски знаци



Фиг. III.2. Временни маркшайдерски знаци

Постоянните точки се стабилизират в здрави скали в пода или в тавана на изработките.

Ако горнището на изработката не е устойчиво, постоянният знак се стабилизира на пода, като в тавана над точката се поставя временен знак, служещ само за откриване на постоянния. Постоянните знаци се поставят най-малко по три в група, като разстоянието между групите не трябва да бъде по-голямо от 400 м. В регистъра за координатните изчисления се прави скица за ситуационното положение на постоянните знаци.

Временните точки се стабилизират предимно в горнището, в крепежа или върху специално набит кол в тавана на изработките.

Временните и постоянните знаци, стабилизирани в горнището на изработките, имат отвор с диаметър не по-голям от 2 mm за закачване на шнура на отвеса.

Всички знаци се номерират и надписването им се определя от маркшайдера на рудника.

За определяне на височинното положение на точките от ПОМ се извършва вертикална съединителна снимка. След това се използва геометрична нивелация (в изработки с ъгъл на наклона до 10°) и тригонометрична нивелация (в изработки с ъгъл на наклона над 10°).

При създаване на проекта на ПОМ основно внимание се обръща на:

- участъците на свързване на ПОМ с точките от опорната мрежа на земната повърхност;
- затварянето на полигоните;
- стабилизирането на постоянните маркшайдерски точки.

Препоръчва се подземната опорна мрежа да се реконструира [34] през 5-10 години при:

- разрушаване или нарушаване устойчивостта на постоянните точки;
- наличие на нова допълнителна връзка с опорната мрежа на земната повърхност;
- намаляване на точността на мрежата вследствие увеличаване на дължината на минните изработки.

III.3. Подземна хоризонтална снимка

При хоризонталната снимка в подземните минни изработки се развиват полигонови ходове като се измерват дължини и хоризонтални ъгли и се извършва снимка на подробностите (заснемат се контурите на минните изработки).

III.3.1. Изисквания

Полигоновите ходове се класифицират в три категории – I, II и III ред.

Точността на центриране на теодолита е в зависимост от дължината на страната. За I и II ред полигони при дължина на страната до 20 m допустимият ексцентрицитет е 1 mm, а при дължина над 20 m – 2 mm. При къси дължини, след измерване на ъгъла в един гирус, се извършва повторно центриране на теодолита. Разликата в стойностите на ъгъла, определени от две отделни центрирования, не трябва да превишава 1° . За полигони от III ред центрирането на теодолита за отделна точка е еднократно, независимо от дължините на страните, образуващи ъгъла. За тези полигони допустимият ексцентрицитет е 2 mm.

При придвижване на забойната линия дължините на теодолитните ходове непрекъснато нарастват. При всяко продължение на теодолитния ход се измерва последния ъгъл от предишната снимка. Ходът се продължава ако разликата между стойностите на ъгъла от предишното и настоящото измерване не превишава за I ред – $100''$, за II ред – $150''$ и за III ред – $300''$. При неизпълнение на посочените изисквания, се измерва предпоследния ъгъл от предишната снимка и се сравнява разликата с настоящата със същите допустими стойности. Ако и той не отговаря на изискванията, се търси следващ.

След извършените измервания обработката на данните от тях включва:

- изчисляване на координатите на точките от снимката;
- оценяване на точността на определяне на координатите в съответствие с изискванията към опорната и снимачната мрежа.

Изчисляването на координатите на точките от полигоновите ходове се изпълнява при следната последователност и контроли:

- контролират се изчислените средни стойности на измерените ъгли;
- изчисляват се хоризонталните дължини на страните на хода;
- определя се ъгловата несвързка f_β .

Координатите на точките се определят чрез формулите:

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i + \Delta X_{i,i+1} + V_{\Delta X_{i,i+1}}; \\ Y_{i+1} &= Y_i + \Delta Y_{i,i+1} + V_{\Delta Y_{i,i+1}}. \end{aligned} \quad (\text{III.1})$$

Посочният ъгъл α_i на всяка страна на хода се изчислява чрез посочния ъгъл на предишната страна α_{i-1} и измерения ляв ъгъл β_i в станцията на инструмента по известната зависимост:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_i \pm 200^g. \quad (\text{III.2})$$

Изчисляването на координатните разлики $\Delta X_{i,i+1}$ и $\Delta Y_{i,i+1}$ на точките от полигона се извършва по познатите формули:

$$\Delta X_{i,i+1} = l_{i,i+1} \cdot \cos \alpha_{i,i+1}; \quad \Delta Y_{i,i+1} = l_{i,i+1} \cdot \sin \alpha_{i,i+1}. \quad (\text{III.3})$$

Ъгловата несвързка f_β се определя като разлика между сумата от измерените ъгли $\sum \beta_i$ и теоретичната сума от ъгли в полигона по формули в зависимост от формата на полигона и начина за неговото свързване с опорната мрежа или снимачната основа в рудника.

При затворен ход f_β се определя чрез формулата:

$$f_\beta = \sum \beta_i - k \cdot 200^g, \quad (\text{III.4})$$

където: $k = n - 2$ - при измерени вътрешни ъгли;

$k = n + 2$ - при измерени външни ъгли;

n - брой на измерените ъгли.

При скачен (свързан) ход f_{β} се определя чрез формулата:

$$\begin{aligned} f_{\beta} &= (\alpha_{нач} + \sum \beta_i) - (\alpha_{кр} + n \cdot 200^g) = \\ &= (\alpha_{нач} - \alpha_{кр}) + \sum \beta_i - n \cdot 200^g, \end{aligned} \quad (III.5)$$

където: n - цяло число, равно на броя на измерените ъгли и е в зависимост от вида на полигона;

$\alpha_{нач}$ - посочен ъгъл на изходната (началната) страна на полигона;

$\alpha_{кр}$ - посочен ъгъл на крайната (последната) страна на полигона.

Фактическата ъглова несвързка не трябва да превишава показаните в таблицата стойности:

Табл. III.1.

Ред на теодолитния ход	$f_{\beta}^{доп}$	
	Затворен теодолитен ход	Двоен теодолитен ход
I	$80^{cc} \sqrt{n}$	$80^{cc} \sqrt{n_1 + n_2}$
II	$120^{cc} \sqrt{n}$	$120^{cc} \sqrt{n_1 + n_2}$
III	$240^{cc} \sqrt{n}$	$240^{cc} \sqrt{n_1 + n_2}$

където: n , n_1 , n_2 - брой на измерените ъгли.

Ако фактическата ъглова несвързка е по-малка от допустимата, то тя се разпределя поравно на всички ъгли.

Ако фактическата ъглова несвързка е по-голяма от допустимата – ъглите се измерват отново.

Контрол на изчисленията – тъй като ъгловата несвързка е разпределена, изчисленият посочен ъгъл на изходната страна в затворения ход и на последната страна на свързания (скачения) ход трябва да съвпадне с фактическата стойност.

Координатните несвързки по осите X и Y - съответно f_X и f_Y , се определят чрез зависимостите:

$$\text{- при затворен ход} \quad f_X = \sum \Delta X_{i,i+1}; \quad (III.6)$$

$$f_Y = \sum \Delta Y_{i,i+1};$$

$$\text{- при скачен ход} \quad f_X = X_{нач} + \sum \Delta X_{i,i+1} - X_{кр}; \quad (III.7)$$

$$f_Y = Y_{нач} + \sum \Delta Y_{i,i+1} - Y_{кр}.$$

Относителната линейна несвързка на хода $f_{отн}$ се определя чрез:

$$f_{отн} = \frac{f_s}{P}, \quad (III.8)$$

където: $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$,

P - периметър на хода.

Допустимите стойности на относителната линейна несвързка за теодолитните ходове от различни редове се дават в таблицата:

Табл. III.2.

Ред на полигона	Допустима относителна линейна несвързка $f_s_{доп}$		
	дължина до 1000 м ($P < 1000$ м)	дължина до 3000 м ($1000 < P < 3000$ м)	дължина над 3000 м ($P > 3000$ м)
I	1:7000	1:4000	1:3000
II	1:5000	1:3000	1:2000
III	1:2500	1:1500	1:1500

Ако относителната линейна несвързка е допустима, несвързките f_x и f_y се разпределят с обратен знак право пропорционално на дължините на всички страни:

$$V_{\Delta X_{i,i+1}} = \frac{-f_x}{[S_i]} \cdot S_i; \quad V_{\Delta Y_{i,i+1}} = \frac{-f_y}{[S_i]} \cdot S_i. \quad (III.9)$$

След изчисляване на координатите на точките от полигоновия ход, те се нанасят на съответните планове. Чрез скицата от заснемането на контурите на минните изработки, с условни знаци се оформя плана на минните работи.

III.3.2. Измерване на хоризонтални ъгли

За подземните полигонови ходове е характерно, че са с изтеглена форма и че дължините на страните не са големи. Ето защо центрирането на инструмента и сигналите е от особена важност за точното измерване на ъглите.

За измерване на хоризонтални и вертикални ъгли в подземни условия се използват инструменти с горен център с диаметър до 0,5 mm на повърхността на зрителната тръба.

Центрирането се осъществява:

- с механичен (шнуров) отвес - с точност (1,2-1,5 mm);
- с оптичен отвес - с точност (0,8-1,0 mm);
- принудително - с точност (0,2-0,5 mm).

Центрирането с механичен (шнуров) отвес се извършва от точка, намираща се под или над теодолита или сигнала.

Случаят на центриране “над точка” е известен от курса по геодезия.

Ако полигоновата точка е стабилизирана на тавана (в горнището) на минната изработка, центрирането на теодолита под нея се извършва по следния начин:

- от точката се спуска отвес;
- под него се поставя тринога, чиято глава окомерно се хоризонтира така, че върхът на отвеса да попадне в центъра на отвора, през който преминава затегателния винт;
- инструментът се поставя и хоризонтира върху триногата;
- зрителната тръба се поставя в хоризонтално положение (отчет по вертикалния кръг $z = 100^g$ или $z = 300^g$ в зависимост от това, от коя нейна страна е поставен горния център за центриране под точка);
- последователно се извършва хоризонтиране и центриране на теодолита като горният център на зрителната тръба трябва да съвпадне с върха на свободния шнуров отвес, спуснат от точката.

За да се намали отклонението на отвеса от въздействието на въздушната струя в минната изработка, масата му да бъде не по-малко от 0,5 – 0,7 kg. Шнурът да бъде тънък, здрав и без възли.

Оптичното центриране се извършва с помощта на оптичен отвес.

Принудителното центриране на инструмента и сигналите се осъществява при условие, че точките са стабилизираны на конзоли, върху които е възможно еднозначно центриране.

В литературата [29] се предлагат и варианти при които ако съществува взаимозаменяемост на поставките на инструмента и сигналите върху триногите, чрез последователна размяна на местата им, се намалява броя на центриранията, а от там се повишава и точността на измерванията.

В литературата се препоръчва:

- еднократно центриране при дължина на страните над 20 m;
- повторно центриране при дължина на страните от 10 m до 20 m;
- принудително центриране при дължина на страните до 10 m.

Практиката показва, че линейната грешка при центриране на инструмента под точка e_T е по-голяма от тази при центриране на сигналите под точка e_C , т.е. $e_T > e_C$.

Дължините на хоризонталните проекции на страните на измервания ъгъл са най-често различни ($S_1 \neq S_2$). Ако обаче се приеме, че тези дължини са равни ($S_1 = S_2 = S$), както и че ексцентрицитетите на инструмента и сигналите са равни ($e_T = e_C = e$), то при измерен ъгъл $\beta = 200^g$ грешката от неточното центриране на теодолита и сигналите (m_{II}) в измервания ъгъл ще бъде:

$$m_{\text{ц}} = \pm \rho \frac{\sqrt{e_c^2 + e_r^2 + e_c^2}}{S} = \pm \rho \frac{\sqrt{3e^2}}{S} = \pm \rho \frac{e}{S} \sqrt{3}; \quad (\text{III.10})$$

където:

$$\rho = 636620^{\text{cc}};$$

e - ексцентрицитет на инструмента и сигналите;

S - дължина на рамената на ъгъла.

Когато точките са стабилизирани на тавана на изработката, шнуровите отвеси се използват като сигнали при измерване на посоките (ъглите). При визиране, зрителната тръба се насочва към осветената част на отвеса, като се съвместява шнура с двойната нишка от нишковия кръст. Понякога е удачно използването на “екран”, върху който след осветяване се проектира шнурът на отвеса. Когато разстоянието между инструмента и отвеса е по-голямо и трудно се вижда нишката на шнура е удачно да се визира във върха на осветения отвес.

Методи за измерване на хоризонтални ъгли

Репетиционен метод – позволява съкращаване на времето за измерване на ъглите и намалява влиянието на грешката при отчитане върху точността на измервания ъгъл. При този метод се извършва неколкостепенно натрупване на стойността на измервания ъгъл върху отчетното устройство на инструмента, като се правят само три отчета (начален, контролен и краен). При измерванията не се изключва натрупването на систематична грешка и за контрол се измерва и десния ъгъл.

Гирусен метод – тъй като в подземните изработки се визира предимно само към две посоки, е възможно този метод да се реализира чрез два модифицирани варианта – “независими полугируси” и “рудничен гирусен метод”.

Вариантът “независими полугируси” се реализира в следната последователност [29]:

- при I-во положение на зрителната тръба, се определя близка до $0,0000^{\text{s}}$ стойност;
- застопорява се лимбът към алидадата;
- визираща се към лявата (предходната) точка и се освобождава лимбът от алидадата. Отчита се стойността на посоката - a_1 ;
- визираща се към дясната (следващата) точка. Отчита се стойността на посоката - a_2 . Разликата $\beta_1 = a_2 - a_1$ е стойността на измервания ъгъл при първо положение на зрителната тръба;
- при първо положение на тръбата се измества алидадата на $70^{\text{s}} - 100^{\text{s}}$ по отношение на посоката a_1 . Зрителната тръба се обръща през зенит и се затяга лимбът към алидадата;

- визира се към лявата точка, освобождава се лимбът от алидадата и се отчита по хоризонталния кръг - a_3 ;
- визира се към дясната точка. Отчита се стойността на посоката - a_4 . Изчислява се разликата $\beta_{II} = a_4 - a_3$ при второ положение на тръбата;
- изчислява се средната стойност на измерения ъгъл от двата полугируса:

$$\beta = \frac{\beta_I + \beta_{II}}{2} = \frac{(a_2 - a_1) + (a_4 - a_3)}{2}. \quad (\text{III.11})$$

Вариантът *“рудничен гирусен метод”* се реализира в следната последователност:

- при I-во положение на зрителната тръба се визира към лявата (предходната) точка. Отчита се посоката - a_1 ;
- при II-ро положение на зрителната тръба се визира към същата (предходната) точка. Отчита се посоката - a_2 ;
- при II-ро положение на зрителната тръба се визира към дясната (следващата) точка. Отчита се посоката - a_3 ;
- зрителната тръба се обръща през зенит (в I-во положение) и се визира отново в дясната точка. Отчита се a_4 ;
- по познатия алгоритъм за кръговия гирусен метод се обработват отчетените стойности за посоките.

При измерване на хоризонтални ъгли в изработки с по-голям от 30° наклон се препоръчва гирусния метод (не по-малко от два гируса) като преди всеки гирус трябва повторно да се центрира теодолитът и вертикалната му ос да се установява в отвесно положение.

При измерване на хоризонтални ъгли в стръмни минни изработки източник на грешки е невертикалната основна ос на теодолита. Основната ос *IV* в този случай се отклонява от отвесното положение и предизвиква допълнителен наклон на оста на въртене на зрителната тръба. Определят се:

- а) грешка при измерване на хоризонтални ъгли, вследствие на невертикалност на равнината на въртене на зрителната тръба (колимачна грешка):

$$m_{\beta_c} = \frac{c}{\cos \delta_L} - \frac{c}{\cos \delta_D}; \quad (\text{III.12})$$

където:

c - колимачна грешка;

δ_L, δ_D - ъгли на наклона на визурите към двете точки (лява и дясна).

б) грешка при измерване на хоризонтални ъгли, вследствие на нехоризонталност на хоризонталната ос на теодолита (индексна грешка):

$$m_{\beta_i} = i(tg\delta_L - tg\delta_D); \quad (III.13)$$

където:

i - ъгъл на наклона на хоризонталната ос на теодолита;

δ_L, δ_D - ъгли на наклона на визурите към двете точки (лява и дясна).

Грешките имат максимални стойности при измервания в преход от хоризонтална към наклонена галерия и минимални стойности при измервания в галерия с издържан (запазващ се) наклон.

При измерване на хоризонтални ъгли в подземни минни изработки, върху точността им оказват влияние следните грешки:

- неправилно закрепване на шнуровия отвес по отношение на центъра на маркшайдерската точка;
- неустойчива тринога;
- перпендикулярност на геометричните оси на инструмента;
- грешки от неточно центриране на инструмента и сигналите;
- грешки при визиране;
- грешки при отчитането.

Измерените хоризонтални посоки, а оттам и изчислените хоризонтални ъгли, съдържат случайни грешки, чиито величини се определят от точността на теодолита, влиянието на околната среда при измерване, квалификацията на оператора и др.

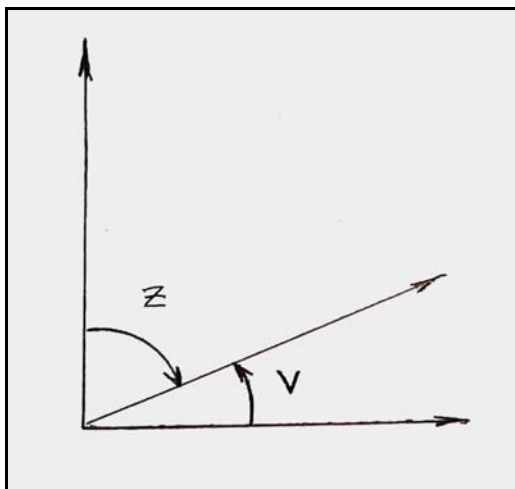
В Техническата маркшайдерска инструкция се посочва, че измерването на хоризонтални ъгли в подземните теодолитни ходове се извършва с инструменти с директна точност на отчитане не по-малка от 1° . Само при ходове от III ред се допуска употребата на инструменти с директна точност 2° . Измерването на хоризонтални ъгли в изработки с наклон до 30° се извършва в един гирус, ако ходовете са от II и III ред, и в два гируса, ако са от I ред. В два гируса се измерват хоризонтални ъгли в изработки с наклон по-голям от 30° . Ако измерването се извършва в изработки с наклон до 30° разликата между единичното значение на ъгъла и средното му значение, не трябва да превишава $100''$, а ако едната страна е хоризонтална, а другата – наклонена, допустимата разлика достига $250''$.

III.3.3. Измерване на зенитни (вертикални) ъгли

Подземната теодолитна снимка в наклонени изработки ($\delta > 10^\circ$) изисква едновременно с измерване на хоризонталните ъгли да се определят и зенитните ъгли. Последните са необходими за изчисляване на хоризонталните проекции на дължините на страните и за определяне на относителното превишение между точките на полигоновия ход.

Ъгълът между отвесната линия и направлението на линията на визиране, отчетен от зенита на мястото, където се извършва измерването, се нарича *зенитен ъгъл* (z)

Ъгълът, образуван от линията на визиране и нейната проекция върху хоризонталната равнина, се нарича *вертикален ъгъл* (v) или *ъгъл на наклона* (δ).



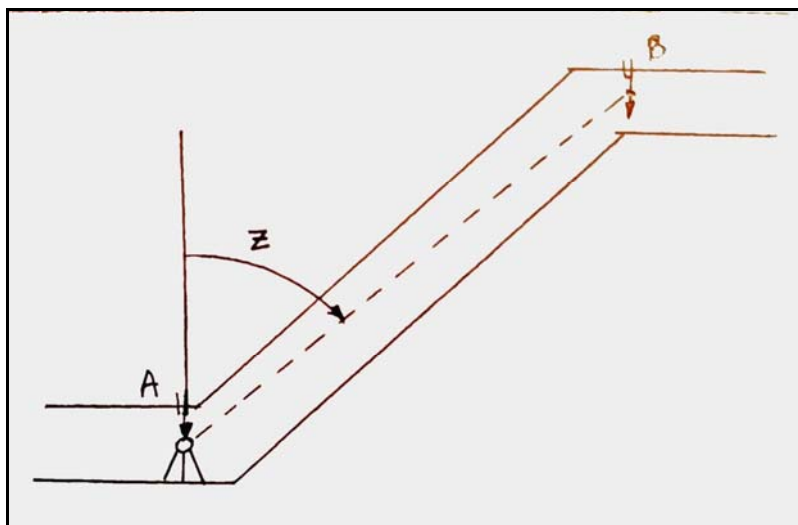
Фиг. III.3. Зенитен и вертикален ъгъл

Между зенитния (z) и вертикалния (v) ъгъл съществува връзката:

$$z = 100^\circ - v. \quad (\text{III.14})$$

Съвременните инструменти измерват зенитни ъгли.

Редът за измерване е следният:



Фиг. III.4. Измерване на зенитен ъгъл

- от п.т.В се спуска отвес, на шнура на който се поставя знак (кламер, хоризонтално поставена карфица или др.);
- под п.т.А се хоризонтира и центрира инструмент;
- зрителната тръба се насочва към знака на отвеса в п.т.В така, че хоризонталната нишка на нишковия кръст да съвпадне с него. Отчита се стойността на зенитния ъгъл z_1 ;
- зрителната тръба се обръща през зенит и при второ положение на вертикалния кръг се извършват същите действия. Отчита се стойността z_2 . Изчислява се средната стойност на зенитния ъгъл z по формулата:

$$z = \frac{z_1 + (400^g - z_2)}{2}; \quad (\text{III.15})$$

Точността на измерения зенитен (вертикален) ъгъл се определя от грешката при визиране (m_v), от грешката при отчитане (m_o), както и от грешката на алидадата на вертикалния кръг (m_y).

III.3.4. Линейни измервания

Да се измери дължината на една страна от полигонов ход означава да се определи хоризонталното разстояние между двете ѝ крайни точки. Това разстояние може да бъде определено по:

- а) непосредствен начин (с метър, линийка, ролетка);
- б) посредствен начин (оптичен далекомер, далекомер с постоянен паралактичен ъгъл, светлодалекомер).

Непосредствен начин за измерване на дължини

Този метод е известен още от древността и се състои в налагане на някаква мярка (метър, ролетка) върху измерваната дължина.

В подземните изработки се използват 20, 30 или 50 метрови ролетки. Те са разграфени през 1 см. На някои от тях само първият дециметър, а на други – цялата дължина, са разграфени е през 1 mm.

Преди употреба ролетката трябва да се компарира. За I и II ред полигони допустимата относителна грешка при компарирането е 1:20000, а за III ред полигони – 1:10000.

Известни са различни конструкции компаратори. Общото е, че при тях се извършва сравняване на отделни части или на цялата дължина на ролетката с еталонна мярка. Компарирането може да се извърши и чрез сравняване с ролетка, с която не е работено и която има технически паспорт.

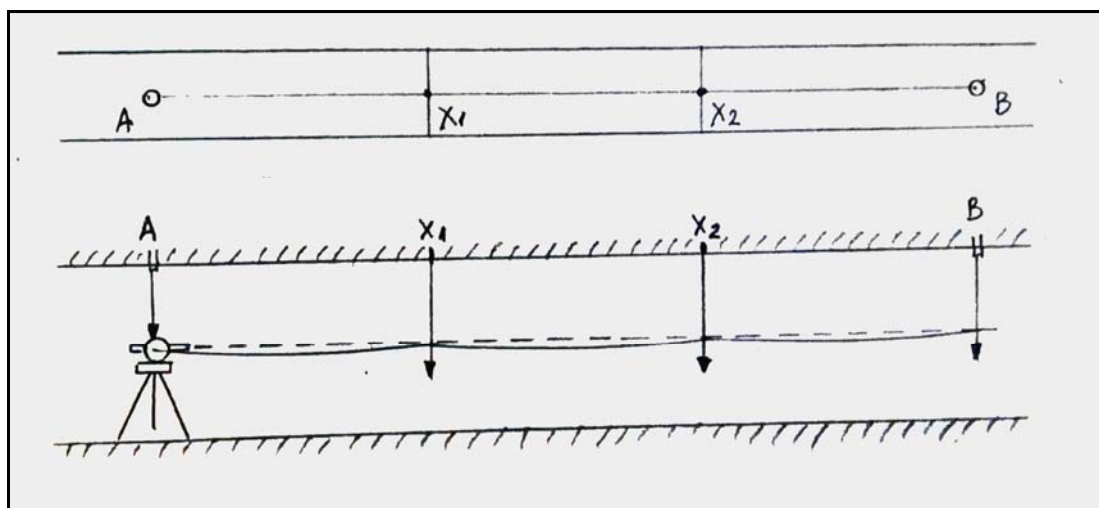
За да се осигури висока точност при измерване на дължините, ролетката трябва да се опъва със специално приспособление – динамометър. Това е пружинен силомер, с който се постига опъване на ролетката, равно на опъването при компариране.

Измерването на дължините на страните в подземните изработки става:

- а) по пода на минните изработки;
- б) във въздуха „от ръка” или с конзоли върху триноги.

Измерването по пода на минните изработки е извършва само при подходящи условия – сухи, равни и хоризонтални изработки.

Измерването „от ръка” е най-широко разпространено. Извършва се по следния начин:



Фиг. III.5. Измерване на дължини във въздуха „от ръка”

- сигнализиране на двете крайни точки с отвеси;
- ако дължината на страна между двете точки е по-голяма от дължината на ролетката, страната се разделя на няколко по-къси от ролетката дължини с помощни отвеси, поставени в правата между двете крайни точки;
- ако дължините се измерват заедно с измерването на ъгли, с помощта на инструмента се поставят белезите (кламер, карфица или др.) върху междинните и крайния отвес по хоризонтална линия ($z=100^g$ или 300^g);
- ако изработката е наклонена, може да се измерват наклонени дължини и зенитен ъгъл, чрез които по-късно се изчисляват хоризонталните дължини;
- при високи изисквания за точност се използват динамометри;

- в началната точка се съвпада сантиметрово деление точно срещу отвеса или хоризонталната ос на теодолита, а при следващия отвес – той трябва да попада в зоната на първия дециметър на ролетката, разграфен през 1 mm;
- ролетката се опъва с определената сила и по сигнал едновременно се правят отчети при двата отвеса;
- от по-големия отчет се изважда по-малкият;
- за контрол измерването се повтаря като ролетката се размества с няколко сантиметра.

Технологията със стативи и триноги е същата. Тя е по-точна, но и по-бавна.

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция разликата между резултатите от първото (I) и второто (II) измерване не трябва да надминава следните стойности:

- за полигони от I ред - $\Delta S_{I,II} = \sqrt{S}$; [mm] - S е дължина на страната в метри;
- за полигони от II ред - $\Delta S_{I,II} = \frac{S}{2,5}$; [mm] - S е дължина на страната в метри;
- за полигони от III ред - $\Delta S_{I,II} = \frac{S}{1,5}$; [mm] - S е дължина на страната в метри.

Средната квадратна грешка на двойно *реално* измерена дължина се изчислява по формулата:

$$m_l = \frac{\Delta S_{I,II}}{\sqrt{2}}; \quad (\text{III.16})$$

където: $\Delta S_{I,II}$ е разликата между първото (I) и второто (II) измерване (ако е в съответния допуск).

При проектни решения (например проект за сбойка), изчисляването на средната квадратна грешка на двойно *проектно* измерена дължина става по формулата:

$$m_l = \sqrt{\mu^2 l + \lambda^2 l^2}; \quad (\text{III.17})$$

където: l - проектна дължина;

μ - коефициент, отчитащ влиянието на случайните грешки при измерването;

λ - коефициент, отчитащ влиянието на систематичните грешки при измерването.

Стойностите на коефициентите μ и λ са (таблица 11 от [34]):

Табл. III.3.

Ред на полигона	При хоризонтални изработки		При наклонени изработки, $\delta > 15^\circ$	
	μ	λ	μ	λ
I	0,0005	0,00005	0,0015	0,00010
II	0,0005	0,00005	0,0015	0,00010
III	0,0008	0,00010	0,0025	0,00015

III.4. Подземна височинна снимка

Височинната снимка е съвкупност от измервания, изпълнени в известен ред за определяне на превишения между отделни точки, а след това и за изчисляване на надморските им височини. Тези снимки в подземните рудници се извършват в единната височинна основа за страната.

В подземните минни изработки височинната снимка се извършва за:

- определяне на надморската височина на стабилизирани точки;
- задаване на направление на минните изработки във вертикалната равнина;
- построяване на профили и вертикални разреза на изработките;
- определяне височината на характерни точки от залежа на полезното изкопаемо във връзка с решаването на минно-геометрични задачи.

Начинът на предаване на координатата Z в подземните изработки зависи от схемата на разкриване на находището. При разкриване с хоризонтална или слабо наклонена изработка, пренасянето на котата се извършва чрез геометрична нивелация. При разкриване с наклонена шахта – с тригонометрична нивелация. Ако находището е разкрито с вертикална шахта, предаването на котата може да се извърши чрез един от посочените в Техническата маркшайдерска инструкция начини – с ролетка, с дълга шахтна лента, с дълбокомер.

Подземните височинни опорни мрежи започват от репери, стабилизирани в околошахтовия двор или в капитална изработка, имащи височини, определени в резултат на вертикална съединителна снимка.

III.4.1. Геометрична нивелация в подземните изработки

В минни изработки с ъгъл на наклона, по-малък от 10° , се извършва вертикална снимка чрез *геометрична нивелация*. Тя е в два класа – I и II.

Нивелачен ход от I клас се извършва за:

- пренасяне на надморски височини в хоризонтални и слабо наклонени изработки ($\delta < 10^\circ$);
- за височинно осигуряване на прокарването на сбойки;
- за изследване на деформации, предизвикани от минните работи.

В нивелачния ход от I клас като временни се включват точки от теодолитния полигонов ход, което е необходимо за точното определяне на положението на изработките във вертикално отношение.

Нивелачен ход от II клас се извършва за:

- текущи нужди при разработване на находището;
- пренасяне на коти на временни маркшайдерски точки;
- задаване и проверка на наклона на минните изработки, релсовите пътища и т.н.

Допустимата несвързка за подземна нивелация от I и II клас е съответно 1/40000 и 1/20000 от дължината на нивелачния ход.

Когато забоят на основните изработки се отдалечи на 300 – 500 м от разкриващата изработка, се извършва първокласен нивелачен ход [34].

Реперите, определящи височинната основа, се стабилизират във фундаментите на стационарните съоръжения, в здрави скали, в пода, тавана и стените на минните изработки. В качеството на такива могат да се използват постоянните точки от полигоновите ходове. Конструкцията на реперите, които се стабилизират в пода и тавана на минните изработки, може да бъде като тази на постоянните точки от плановата подземна опорна мрежа. Възможно е поставянето и на специални репери. Техническата маркшайдерска инструкция не регламентира конструкцията на специалните репери.

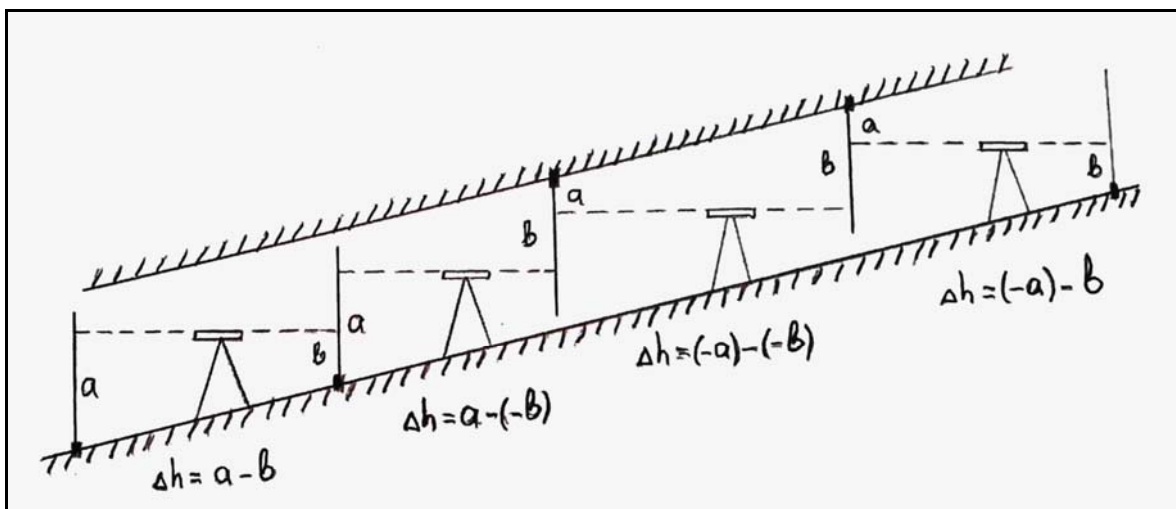
При геометричната нивелация в подземните минни изработки се използват нивелири и нивелачни лати. Нивелирите са от класовете „точни” и „технически” (средна квадратна грешка в превишението на 1 km двоен ход в границите на 3 – 10 mm) [34]. Нивелачните лати за подземна височинна снимка са аналогични на латите, използвани за техническа нивелация на повърхността, като се отличават от тях основно по дължината. Те имат нанесени на едната или на двете страни сантиметрова скала с право оцифряване. Възможно е използването и на телескопични лати. С навлизането на нови инструменти, се използват електронни нивелири и дигитални лати.

Технологията на геометричната нивелация е както на повърхността. Разстоянието между нивелира и латата не трябва да бъде по-голямо от 100 m.

При опорни мрежи нивелацията се извършва като инструментът се поставя по средата на разстоянието между двете лати. Допуска се неравенство в дължините на визурите от една станция не повече от 5 – 8 m. Отчетите по латата се вземат до милиметър [34].

Особеното на подземната геометрична нивелация е, че реперите и постоянните точки може да бъдат стабилизирани не само на пода, но и в тавана на изработките.

Възможни са четири варианта на взаимно разположение на точките от нивелачния ход:

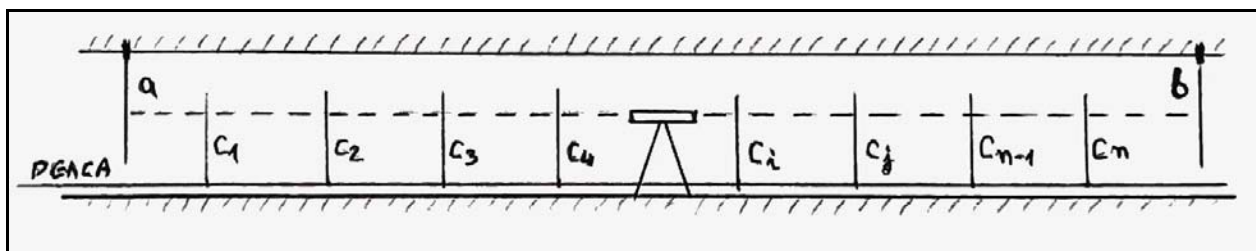


Фиг. III.6. Взаимно разположение на точките от нивелачен ход

Независимо къде са разположени точките от хода (на пода или на тавана), латата се поставя винаги с нулата към точката. Отчетите по латата, поставена върху реperi по пода на изработките са положителни, а отчетите по латата, поставена на реperi в горницето – отрицателни. Знакът „минус“ пред отчета се отбелязва задължително в нивелачния карнет.

Надморската височина на реперите и на точките от теодолитните ходове се определя с помощта на затворени, скачени (включени) или прокарани в право и обратно направление висящи нивелачни ходове.

Често пъти се налага съставянето на профил на пода на изработка или на релсовия път в нея. В този случай геометричната нивелация се извършва „по пикети“. Трасирани с помощта на ролетка, пикетните точки са разположени през 10 или 20 метра. Отбелязват се с тебешир върху релсата и със специален знак върху стената на изработката. Ходът се извършва между реperi от опорната мрежа в право и обратно направление. Нивелирът се поставя по средата между свързващите точки. Разстоянието от нивелира до пикетна точка не трябва да е повече от 100 m. При необходимост е възможно да се смени станцията като за крайна точка се използва пикетна точка.



Фиг. III.7. Геометричната нивелация на релсов път

По изчислените височини на пикетните точки се изчертава профил на релсовия път (или на пода на изработката) с хоризонтален мащаб 1:500 – 1:2000, и вертикален – 1:50 – 1:200.

Обработка на резултатите от геометричната нивелация

Обработката на резултатите от геометричната нивелация за определяне на надморските височини на реперите и на точките от плановата основа включва:

- проверка на нивелачния карнет;
- изчисляване на превишенията между точките;
- контрол на всяка страница от нивелачния карнет;
- изравняване на изчислените превишения;
- определяне на височините на точките.

Превишението между две точки се изчислява по общата формула:

$$\Delta h = a - b;$$

където: a – отчет „назад”;
 b – отчет „напред”.

В зависимост от разположението на двете точки в минната изработка, са възможни следните варианти за изчисляване на превишението:

$$\Delta h = a - b \quad \text{– при точки в долнището};$$

$$\Delta h = a - (-b) \quad \text{– при предишна точка в долнището и следваща – в горнището};$$

$$\Delta h = (-a) - (-b) \quad \text{– при точки в горнището};$$

$$\Delta h = (-a) - b \quad \text{– при предишна точка в горнището и следваща – в долнището}.$$

Ако нивелачният ход е затворен, то височинната несвързка е равна на:

$$f_h = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i. \quad (\text{III.18})$$

Ако нивелачният ход е свързан, височинната несвързка е равна на:

$$f_h = H_{нач} + \sum \Delta h_{i,i+1} - H_{кр} = H_{нач} + \left(\sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i \right) - H_{кр}. \quad (\text{III.19})$$

В случаите на всящ ход геометричната нивелация трябва да се извърши в право и обратно направление. Височинната несвързка е равна на:

$$f_h = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i. \quad (\text{III.20})$$

Ако височинната несвързка е по-малка от допустимата стойност, тя се разпределя между изчислените превишения пропорционално на разстоянието между реперите по формулата:

$$V_{\Delta h_{i,i+1}} = \frac{-f_h}{[S_i]} S_{i,i+1}. \quad (\text{III.21})$$

Котата на $i+1$ - ва точка е равна на:

$$H_{i+1} = H_i + \Delta h_{i,i+1} + V_{\Delta h_{i,i+1}}. \quad (\text{III.22})$$

При геометрична нивелация на релсов път котата на хоризонта на нивелира се определя от:

$$H_{\text{хор}} = H_i + a_i; \quad (\text{III.23})$$

където: H_i – кота на свързващата точка;

a_i – отчет „назад” към нея.

Надморската височина на междинните пикетни точки се определя чрез последователно поставяне на латата върху тях, като отчетите се записват „в средата”. Стойностите на тези отчети се изваждат от стойността на височината на хоризонта на инструмента.

Грешки при геометричната нивелация в минните изработки

При извършване на геометричната нивелация в минните изработки се допускат следните грешки:

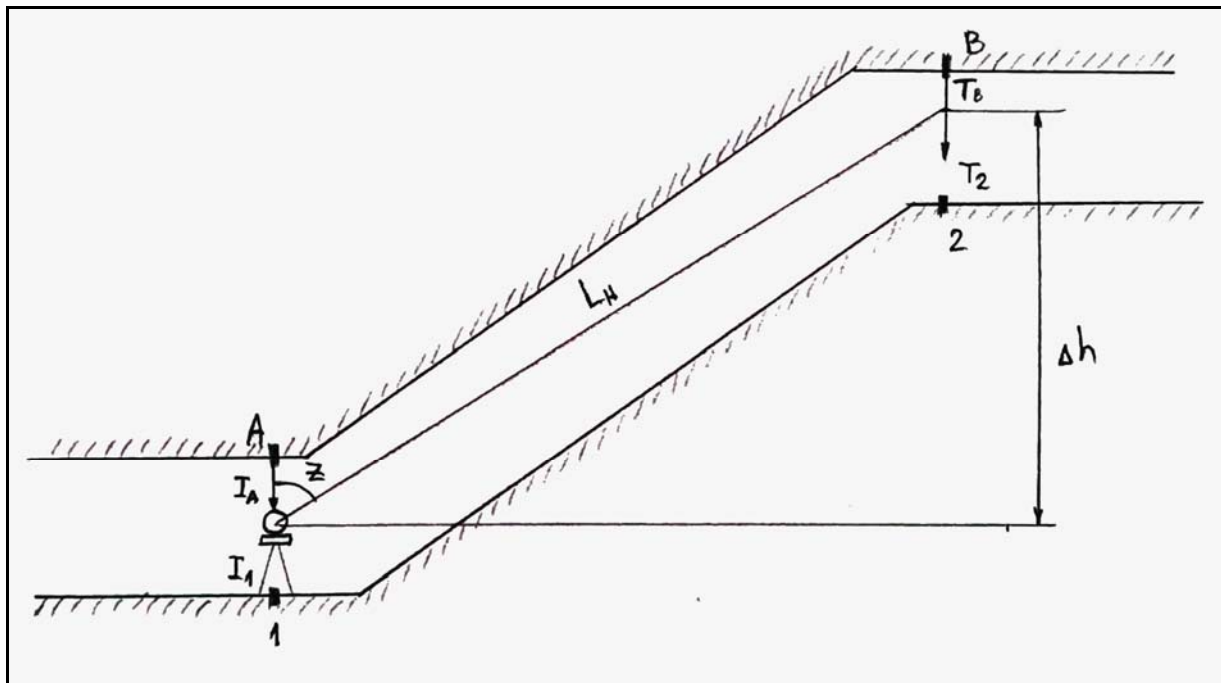
- *груби грешки* – предизвикани от невниманието на оператора;
- *систематични грешки* – от неспазени осови условия на инструмента; от неточно разграфяване на латата;
- *случайни грешки* – от неточно хоризонтиране на либелата; от неточно поставяне на латата във вертикално положение; от неточна преценка на отчета по латата; от нестабилна или потъваща тринога и т.н.

III.4.2. Тригонометрична нивелация в подземните изработки

Тригонометрична нивелация в подземния рудник се извършва в минни изработки с *ъгъл на наклона, по-голям от 10°* , където използването на геометрична нивелация за височинна снимка е нецелесъобразно. Използват се теодолити с директна точност на отчитане на вертикалния кръг не по-ниска от 1° . Тригонометричното нивелиране като правило се извършва с прокарването на полигоновия ход, като се определят котите на нивелачните репери и на полигоновите точки. Превишенията се определят в право и обратно направление като допустимата разлика в получените резултати при дължина на визурата до 30 m е 1/1500, а при дължина на визурата над 30 m – 1/2000. Допустимата несвързка при тригонометричното нивелиране зависи от точността на измерване на дължините на страните на полигоновите ходове и от общата дължина на хода. За полигони от II или III ред допустимата височинна несвързка е съответно 1/4000 и 1/3000 от дължината на хода. В случай, че тригонометричната нивелация се извършва за пренасяне на котата на временни

маркшайдерски точки или за съставяне на хипсометрични планове, допустимата височинна несвързка в ходовете се увеличава до два пъти.

На фигура III.8 е показана принципна схема на извършвана в подземни условия тригонометрична нивелация. Точките А и В са стабилизирани в горнището на изработката, а точките 1 и 2 – в долнището.



Фиг. III.8. Схема на тригонометрична нивелация

Целта е да се определят превишенията $\Delta h_{A,B}$ и $\Delta h_{1,2}$, и след това да се изчислят надморските височини на точките В и 2.

За целта под точка А (над точка 1) се поставя теодолит, а от точка В се спуска отвес. На шнура на отвеса се поставя знак (кламер, карфица, а често за знак се приема входа на шнура в отвеса или неговия връх). Зрителната тръба на инструмента се насочва към знака и по вертикалния кръг се отчита зенитния ъгъл. Зенитният ъгъл се измерва при първо и второ положение на тръбата. Измерва се разстоянието (I) от точката (А или 1) до хоризонталната ос на инструмента, както и разстоянието (Т) от точката (В или 2) до знака на шнура. Измерва се наклоненото разстояние (L_H) между хоризонталната ос на теодолита и знака на отвеса. Разстоянията I и Т се измерват с точност до 1 mm, а наклоненото разстояние L_H – по методиката за измерване на дължините на страните на подземната полигонометрия.

Котата на новите точки (В и 2) се определя чрез зависимостите:

$$H_B = H_A - I_A + \Delta h + T_B = H_A - I_A + L_H \cos z + T_B; \quad (\text{III.24})$$

$$H_2 = H_1 + I_1 + \Delta h - T_2 = H_1 + I_1 + L_H \cos z - T_2. \quad (\text{III.25})$$

В реални условия са възможни и други комбинации от разположение на двете точки. Разликата във формулата е само в знака пред разстоянията I , T и превишението Δh .

При извършване на тригонометрична нивелация в подземния рудник влияние върху точността на резултатите оказват следните грешки:

- грешка при измерване на дължините (има определящо значение за стойността на превишението);
- грешка при измерване на зенитния ъгъл (влиянието на тази грешка се увеличава с намаляване стойността на ъгъла);
- грешка при измерване на разстоянието от точката до хоризонталната ос на теодолита и от точката до знака на шнура на отвеса.

III.5. Съединителни снимки

Съединителните снимки се извършват с цел да се установи геометрична връзка между снимките на повърхността и в рудника в приетата на земната повърхност координатна и височинна система. Такава връзка е необходима [29] за:

- развитието на подземните минни работи съгласно проекта;
- осигуряване на правилно взаимно разположение на подземните минни изработки и съоръженията на повърхността;
- определяне на границите на предпазните целици за опазване на съоръжения и природни обекти на повърхността при подработването им с минни работи;
- осъществяване на сбойки на вертикални изработки и изработки от различни рудници;
- задаване на направление на изработка, преминаваща през определени точки на земната повърхност и в скалния масив;
- определяне на границите за безопасно провеждане на минните работи;
- решаване на други задачи при строителството на рудника и при разработването на находището.

Съединителните снимки трябва да се изпълняват с висока точност и изискват организация и методика, изключваща грешки. За контрол се извършват най-малко две независими съединителни снимки (ориентировки).

III.5.1. Видове и изисквания

За осъществяване на свързването и ориентирането на подземните маркшейдерски снимки, на повърхността, до устието на разкриващите изработки, се стабилизират трайно (с каменно или бетоново блокче, с бетониран метален болт или по друг начин) подходни точки. Те се свързват с най-близката точка от

опорната мрежа с полигонов ход, с не повече от три страни [34]. Дължините на полигоновите страни не трябва да бъдат по-големи от 200 m, а съотношението между две съседни страни да е 1:1 до 1:3. Разстоянията между полигоновите точки се измерват двукратно. Допустимата разлика между две измервания е 1/8000 от дължината на страната.

Полигоновите ъгли се измерват в два гируса с инструмент с увеличение на зрителната тръба повече от 24 пъти и с директна точност на отчитане по хоризонталния кръг не по-ниска от 1°. Разликата между измерените ъгли в двата гируса не трябва да бъде повече от 1°. За пренасяне на надморската височина, на земната повърхност, в близост до устието на разкриващата изработка, се стабилизират два репера. За такива могат да се използват и подходните точки. Надморската им височина се определя с двоен ход геометрична нивелация като за изходни се използват нивелачни реperi от I-IV клас. Допустимата разлика между две противоположни нивелирания е $20\sqrt{S}$, където S е разстоянието между реперите, отчетено в километри.

Съединителните снимки се разделят на хоризонтална и вертикална.

Хоризонталната съединителна снимка осигурява плановото привързване на подземните минни изработки с опорната хоризонтална мрежа на повърхността. Нейната задача се свежда до определяне на:

- координатите X и Y на първата точка на подземния полигонов ход;
- посочния ъгъл α на първата страна от подземния полигонов ход.

Допустимата разликата ($\Delta\alpha_{дон}$) между посочните ъгли, получени при две независими ориентировки, на първата страна на подземната снимка, [34] е:

- за дълбочина на шахтата до ориентирвания хоризонт по-малка от 500m

$$\Delta\alpha_{дон}^{cc} = 175^{cc} \sqrt{\frac{H}{50}}, \quad \text{където } H \text{ е дълбочина на шахтата, [m];}$$

- за дълбочина на шахтата до ориентирвания хоризонт повече от 500m

$$\Delta\alpha_{дон}^{cc} = 560^{cc}.$$

Хоризонталната съединителна снимка се извършва по геометрични или физични методи.

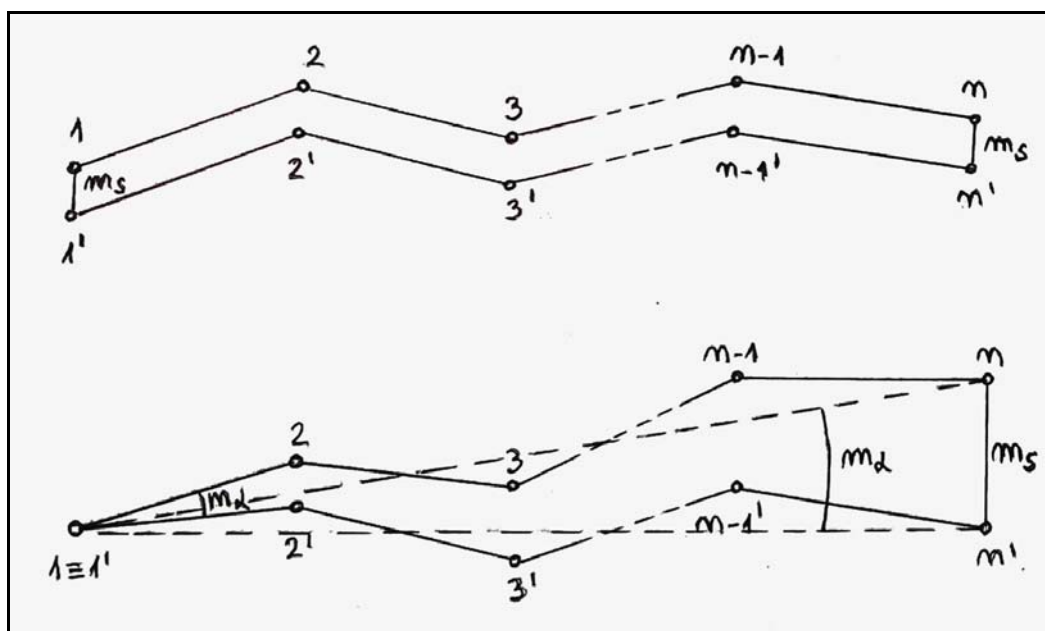
Чрез *геометричните методи на ориентирване* се осъществява непосредствена връзка между повърхността и подземните минни изработки. Използването на различни способи в геометричните методи е в зависимост от формата и разположението на изработките, свързващи повърхността и подземните изработки. Ако разкриващите изработки са щолня или наклонена шахта, за осъществяване на хоризонтална съединителна снимка, се прокарва теодолитен ход. Ако разкриващата изработка е вертикална шахта, през нея се спускат два

отвеса, фиксиращи положението на вертикална равнина между повърхността и рудника, определяща един и същ посочен ъгъл.

При геометричните методи на хоризонтална съединителна снимка, по отношение на подземната снимка, се решават две задачи [29]:

- центриране – определяне на плановете координати X и Y на първата точка на подземната маркшейдерска мрежа;
- ориентиране – определяне на посочния ъгъл α на първата страна от подземната полигонова мрежа.

Ориентирането на подземната снимка е по-значима и отговорна задача.



Фиг. III.9. Влияние на грешката от центриране и на грешката от ориентиране

Грешката от центрирането и от ориентирането се проявява в положението на точките от полигоновите ходове.

Грешката m_s на координатите на изходната точка остава постоянна величина за всички точки от хода, независимо от формата и дължината му.

Грешката при определяне на посочния ъгъл на началната страна m_α предизвиква завъртане на направлението на полигоновия ход и грешката в положението на точките нараства с отдалечаване от изходната страна.

Ако на разстояние L от изходната точка на подземния полигонов ход се намира точка K и грешката при определяне на посочния ъгъл на изходната страна е m_α , то грешката в положението на точка K се определя по формулата:

$$m_K = \frac{m_\alpha}{\rho} L. \quad (\text{III.26})$$

Към *физичните методи на ориентиране* при хоризонталната снимка се отнасят магнитното и жирокопичното ориентиране. Широко приложение, особено в дълбоките подземни рудници, намира жирокопичното ориентиране.

Вертикалната съединителна снимка се извършва с цел да се определи височинното положение на подземните минни изработки във височинната система на земната повърхност. Тази задача се решава чрез предаване („пренасяне“) от повърхността през разкриващата изработка (хоризонтална изработка, наклонена шахта, вертикална шахта), на надморските височини върху стабилизирани в минните изработки репери.

Допустимата разлика в котата на репер в минната изработка, определена от две независими измервания, е:

$$\Delta H_{\text{дон}} = 0,02 + 0,0002H ; \quad (\text{III.27})$$

където H е дълбочина на шахтата, [m].

За окончателна стойност от хоризонталната и вертикалната съединителна снимка се приемат средните аритметични от двете независими ориентировки, ако разликата между получените стойности е в съответния допуск, и при условие, че няма обосновани данни за различна тежест на измерванията.

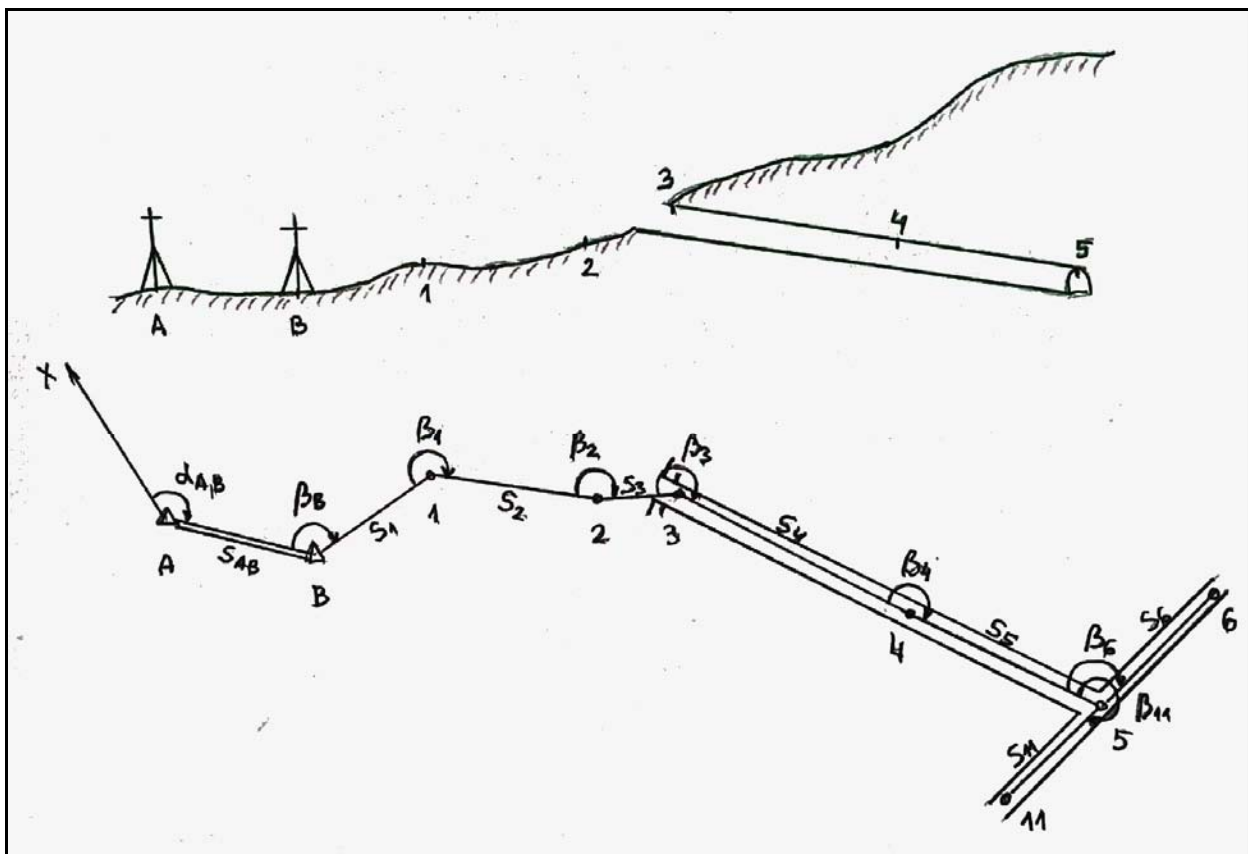
III.5.2. Съединителна снимка през щолня и наклонена шахта

При геометричното ориентиране на минните изработки се извършва пренасяне както на посочния ъгъл на първата подземна полигонова страна, така и на координатите X и Y и на котата H на първата точка от подземния полигон. В зависимост от начина на разкриване на находището геометричното ориентиране може да се осъществи:

- през щолня или наклонена шахта;
- през една вертикална шахта;
- през две вертикални шахти.

При ориентирането през щолня или наклонена шахта се преминава непосредствено с теодолитен ход от повърхността в подземните изработки.

Координатите на точките в подземните изработки се изчисляват по познат начин. Въз основа на резултати от полигонови измервания на земната повърхност и в изработките се определят стойности на посочните ъгли на страните и на координатните разлики между последователните точки.



Фиг. III.10. Ориентиране през щолня или наклонена шахта

$$\begin{aligned}
 \alpha_{B,1} &= \alpha_{A,B} + \beta_B \pm 200^g; & X_1 &= X_B + S_1 \cos \alpha_{B,1}; & Y_1 &= Y_B + S_1 \sin \alpha_{B,1}; & (III.28) \\
 \alpha_{1,2} &= \alpha_{B,1} + \beta_1 \pm 200^g; & X_2 &= X_1 + S_2 \cos \alpha_{1,2}; & Y_2 &= Y_1 + S_2 \sin \alpha_{1,2}; \\
 \alpha_{2,3} &= \alpha_{1,2} + \beta_2 \pm 200^g; & X_3 &= X_2 + S_3 \cos \alpha_{2,3}; & Y_3 &= Y_2 + S_3 \sin \alpha_{2,3}; \\
 \alpha_{3,4} &= \alpha_{2,3} + \beta_3 \pm 200^g; & X_4 &= X_3 + S_4 \cos \alpha_{3,4}; & Y_4 &= Y_3 + S_4 \sin \alpha_{3,4}; \\
 & \dots\dots\dots & & & &
 \end{aligned}$$

Когато разкриващата изработка е с наклон по-малък от 30^g , се прокарва теодолитен ход от I или II ред при спазване на изискванията за тези полигонови ходове.

При наклон на разкриващата изработка над 30^g , теодолитният ход е от I или II ред като се спазват изискванията за измерване на ъгли при стръмни визури.

При наклон на разкриващата изработка под 10^g , се прилага геометрична нивелация.

При наклон на разкриващата изработка над 10^g , се прилага тригонометрична нивелация, която се извършва едновременно с прокарването на теодолитния полигонов ход. Разстоянията от полигоновите точки (репери) до хоризонталната ос на теодолита се измерват двукратно с точност до 1 mm. Разликата между двете измервания не трябва да превишава 3 mm.

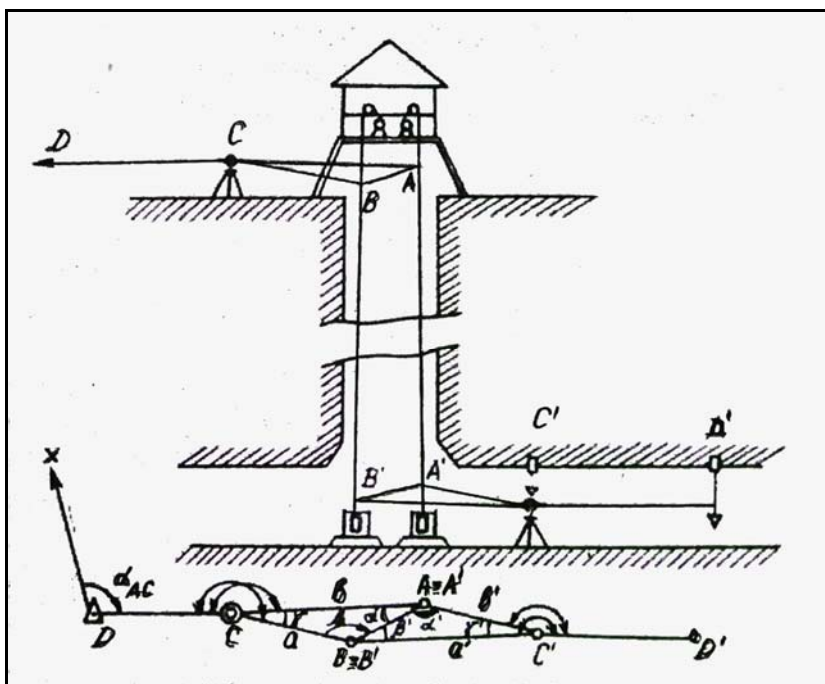
За контрол се правят най-малко две независими ориентировки. Разликата в посочните ъгли на ориентирирана страна на подземната снимка от двете независими ориентировки трябва да отговаря на изискванията на Техническата маркшайдерска инструкция.

III.5.3. Съединителна снимка през една вертикална шахта

При разкриване на находището с вертикална шахта хоризонталната съединителна снимка може да се осъществи по геометричен метод, а вертикалната – чрез използване на ролетка, на дълбокомер или на дълга шахтна лента.

Връзката на повърхността с подземните минни изработки се осъществява с помощта на отвеси. Те се спускат през шахтата до хоризонта, до който ще се извършват измервания за определяне на координатите X и Y на изходната точка и на посочния ъгъл на изходната страна на подземния полигонов ход.

Двата отвеса са закрепени в точките A и B . Отвесите определят пространственото положение на вертикална равнина, а точките A и B се проектират в точките A' и B' . Посочните ъгли на отсечките $\overline{AB}$ и $\overline{A'B'}$ са равни ($\alpha_{AB} = \alpha_{A'B'}$).



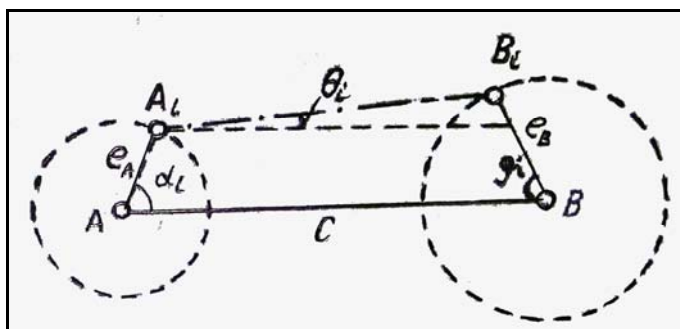
Фиг. III.11. Схема на ориентиране през една вертикална шахта

Етапи на съединителната снимка

- проектиране на точки от земната повърхност върху ориентиривания хоризонт;
- свързване към отвесите на повърхността и в рудника.

Основната трудност на проектирането на направлението през една вертикална шахта се обуславя от сравнително малкото разстояние между отвесите и влиянието на ред външни фактори (въздушна струя в шахтата, капез и т.н.). Под тяхното влияние отвесите се отклоняват от вертикалното си положение – получава се ъгъл на завъртане на створа на отвесите. Средната стойност на ъгъла на завъртане е числено равна на средната ъглова грешка θ на проектирането:

$$\vartheta = \rho \frac{e_{cp}}{c}; \quad (III.29)$$



Фиг. III.12. Ъглова грешка на проектиране

където: $\rho = 636620''$;

c - разстояние между отвесите;

e_{cp} - средно линейно отклонение на отвесите от вертикалното положение.

За проектирането се използват дълги отвеси с постоянна тежест. Стоманената тел за отвесите трябва да бъде с високи якостни стойности на опън. Диаметърът ѝ варира от 0,25 – 2,0 mm и се избира в съответствие с работната ѝ тежест. При съхраняване, телта се навива на специална лебедка с диаметър на барабана повече от 25 cm. Преди да се извърши проектирането, се изчислява удължаването ѝ в зависимост от нейната дължина и използваната тежест по формулата:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}; \quad (III.30)$$

където: P – маса на тежестта, [kg];

l – дължина на телта, [m];

F – площ на напречното сечение на телта, [m²];

E – модул на Юнг, ($E = 2 \cdot 10^{11}$ Pa).

В Техническата маркшайдерска инструкция са посочени необходимите стойности за работните тежести на отвесите в зависимост от дълбочината на ориентирувания хоризонт:

$H < 200$ m	–	25 – 50 kg;
$200 < H < 500$ m	–	50 – 100 kg;
$H > 500$ m	–	100 – 150 kg.

На нулевия хоризонт или на приемната площадка на надшахтовата кула се монтира лебедка. На приемната площадка се монтират направляващи ролки.

Над устието на шахтата се поставя дървен капак (скара) върху който се монтират центращи планки. Аналогичен капак се поставя на 1 – 1,5 m под хоризонта за който се извършва съединителната снимка. Върху този капак се поставят съдовете – успокоители (метални съдове, пълни с вода или машинно масло и дървени стърготини). При благоприятни условия, отвесът практически е неподвижен ако отклоненията му са в границите на 0,3 mm.

Преди основните работи по проектирането трябва да бъдат изпълнени всички подготвителни работи по монтажа на оборудването и покриването на устието и зумпфа на шахтата.

Етапи при проектирането на отвесите:

- спускане на отвес с малка тежест (3 – 5 kg);
- смяна на тежестта за спускане с работната тежест;
- проверка на отвеса.

Спускането на отвеса се извършва равномерно с 3 – 5 kg тежест със скорост 1–2 m/сек. Окачването на работната тежест се извършва на ориентирувания хоризонт.

След окачването на работната тежест и поставянето ѝ в съда с успокоител, се извършва проверка на отвеса дали не опира до стените или конструктивните елементи на шахтата. Проверката може да се направи по няколко начина – чрез спускане по стоманената тел на пръстенче от тел с диаметър 2 – 3 cm или чрез измерване на разстоянието между отвесите на повърхността и в рудника (измерените разстояния не трябва да се различават с повече от 2 mm). Проверката за свободно положение на шахтния отвес може да се извърши и чрез измерване на времето t за люлеене на отвеса между две негови крайни положения по формулата:

$$t \approx \sqrt{l}; \quad (III.31)$$

където l е дължина на отвеса, [m].

Ако стойността на t , получена от наблюденията, съответства на изчислената, се счита, че отвесът виси свободно.

Свързването в съединителната снимка, извършена през една вертикална шахта, може да бъде изпълнено по различни начини. Широко приложение в практиката са намерили методите на съединителния триъгълник; на съединителния четириъгълник и други.

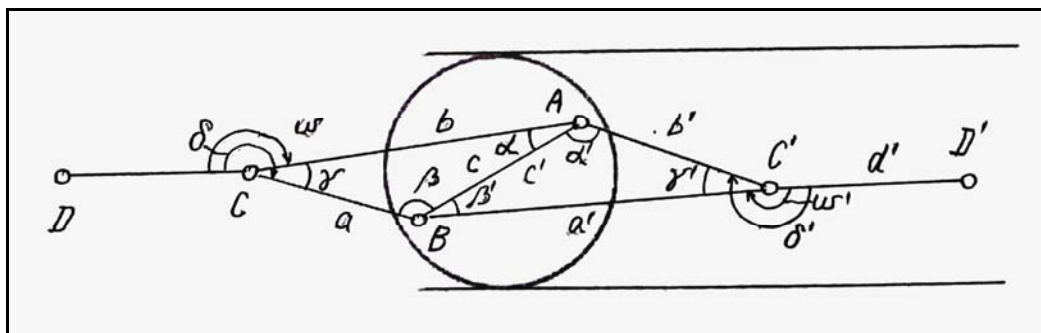
Методът на свързването се подбира така, че средната грешка при пренасянето от отвесите на посочения ъгъл $M_{\text{свързване}}$ на първата дълга страна на подземния теодолитен полигон $C'D'$ да не превишава стойността [34]:

$$M_{\text{свързване}} \leq \frac{\Delta\alpha}{2\sqrt{6}} = 175'' \frac{\sqrt{H}}{2\sqrt{6}}. \quad (\text{III.32})$$

Свързване чрез съединителен триъгълник

Свързването се извършва в следната последователност (фиг. III.13):

- в непосредствена близост до устието на шахтата се стабилизира т.С от която добре се виждат отвесите А и В, както и ориентиращата т.Д;



Фиг.III.13. Схема на ориентиране чрез съединителен триъгълник

- на ориентирвания хоризонт, в непосредствена близост до шахтата, се стабилизира т.С', от която добре се виждат отвесите А' и В' и т.Д', която е на максимално разстояние от т. С';
- в точките С и С' се центрират и хоризонтират теодолити;
- с теодолита в т.С по гирусен метод (поне в 3 гируса) се измерват посоките към т.А, т.В и т.Д, чрез които се изчисляват ъглите ω и δ , свързващи надземната снимка с точките А'и В' (ортогонални проекции на точките А и В). С компарирана роетка се измерват дължините на страните на съединителния триъгълник – a , b и c . Измерването на ъглите се извършва с инструмент с директна точност на отчитане не по-ниска от $1''$. Разликата между стойностите на съответните редуцирани посоки в отделните гируси не трябва да превишава $\pm 50''$. При определянето на дължините на страните a , b и c , роетката се опъва с постоянна сила, а измерването е най-малко три пъти. Разликата между отделните измервания на дължината на една и съща страна не трябва да превишава 2 mm, а средно аритметичните

стойности на съответните измерени посоки и дължини се приемат за окончателни резултати.

- с инструмента в т.С' по гирусен метод се измерват посоките към т.А', т.В' и т.Д', чрез които се изчисляват свързващите ъгли ω' и δ' на подземната снимка с точките А' и В' (които са ортогонални проекции на точките А и В). Измерват се дължините на страните на съединителния триъгълник А'В'С' – a' , b' и c' . Методиката за измерване на ъговете и линейните величини се покрива по изискване и допуски с тази на измерванията на повърхността с единствено изключение – разликата между изчислената и измерената стойност на хоризонталното разстояние между отвесите ($\Delta c = c_{изч} - c_{изм}$) трябва да бъде:

- за повърхността – до 3 mm;
- за ориентирвания хоризонт – до 5 mm.

За изчисляване на хоризонталното разстояние между отвесите се използва зависимостта:

$$c_{изч}^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma; \quad (III.33)$$

където a , b и γ са измерените величини на повърхността и на ориентирвания хоризонт.

Изчисляването на ъглите при отвесите (α , β , α' и β'), които са необходими за свързването, изисква решаването на съединителните триъгълници.

Ако $\gamma < 50^\circ$, ъглите α и β и разстоянието c между отвесите, се изчисляват по формулите:

$$\text{на повърхността: } \alpha = \frac{a}{c} \gamma; \quad \beta = \frac{b}{c} \gamma; \quad c_{изч} = |a - b|; \quad (III.34)$$

$$\text{в рудника: } \alpha' = \frac{a'}{c'} \gamma'; \quad \beta' = \frac{b'}{c'} \gamma'; \quad c'_{изч} = |a' - b'|.$$

Ако $\gamma > 50^\circ$, ъглите α и β и разстоянието c между отвесите, се изчисляват по формулите:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a \sin \gamma}{b - a \cos \gamma}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{b \sin \gamma}{a - b \cos \gamma}; \quad c = \frac{a \sin \gamma}{\sin \alpha} = \frac{b \sin \gamma}{\sin \beta}; \quad (III.35)$$

или по формулите:

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \gamma; \quad \sin \beta = \frac{b}{c} \sin \gamma.$$

Върху точността на свързването със съединителен триъгълник влияят грешките на измерените страни и ъгли. Когато точката С лежи приблизително на линията на отвесите, влиянието на дължинните грешки е незначително.

Грешките на измерените ъгли оказват най-малко влияние когато точка С се намира на симетралата на линията АВ. Най-благоприятната форма на съединителния триъгълник е тази, при която точка С се намира по средата между отвесите. Тази форма обаче е трудно осъществима. Затова се използват изтеглени триъгълници, осигуряващи необходимата точност на свързването.

Тази точност се постига при $\gamma < 2^g$, $\frac{b}{c} < 3$ (или $\frac{a}{c} < 3$) и $c > 1$ м.

Възможни са две схеми на ориентиране:

- едностранна схема (двата триъгълника са от едната страна на линията на отвесите);
- двустранна схема (двата триъгълника са от различни страни на линията на отвесите).

Когато се налага използването на съединителни триъгълници с по-голяма степен на изпъкналост, формата на триъгълника се избира след анализ на точността.

Координатите на подземните точки ($X_{C'}$, $Y_{C'}$, $X_{D'}$, $Y_{D'}$) и посочния ъгъл на страната $C'D'$ ($\alpha_{C'D'}$) се получават след решаване например на полигонов ход $D - C - A(A') - C' - D'$ (през отвес А). За контрола се избира още един полигонов ход. Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция поне един от двата полигонови хода трябва да мине през линията на отвесите АВ.

III.5.4. Съединителна снимка през две вертикални шахти

Съединителната снимка през две вертикални шахти е най-надеждният геометричен метод на ориентиране. Ориентировката през две вертикални шахти е възможна ако между шахтите на ориентирвания хоризонт има изработки, по които може да се развие полигонов ход. Преди извършване на ориентировката (преди изчисляване на координатите на точките от подземния полигонов ход), трябва да се изчисли общата грешка от ориентирането:

$$M_{op} = \pm \sqrt{m_{\alpha_{AB}}^2 + \theta^2 + m_{\alpha_{A'B'}}^2}, \quad (III.36)$$

която не трябва да превишава величината:

$$M_{op} \leq M_{op}^{don}; \quad (III.37)$$

където:
$$M_{op}^{don} = \frac{\Delta\alpha}{2\sqrt{2}}; \quad (III.38)$$

$m_{\alpha_{AB}}$, $m_{\alpha_{A'B'}}$ - грешки при свързването на повърхността и в рудника;

θ - ъглова грешка при проектирането;

$\Delta\alpha$ - допустима разлика между посочните ъгли на свързващата страна в рудника, определени при две независими ориентировки.

Геометричната връзка между маркшайдерските снимки на повърхността и в минните изработки се осъществява с помощта на отвеси, като във всяка от шахтите се спуска по един отвес. Точността на проектирането (центрирането) на подземната маркшайдерска снимка зависи от разстоянието между отвесите. С увеличаване на разстоянието, влиянието на грешката от проектирането намалява, а при ориентиране през две вертикални шахти разстоянието между отвесите е от десетки до стотици метри:

$$\theta = \rho \frac{e}{S}, \quad (\text{III.39})$$

където: e - линейна грешка на проектиране;

S - разстояние между отвесите.

Задачата за свързването се решава чрез:

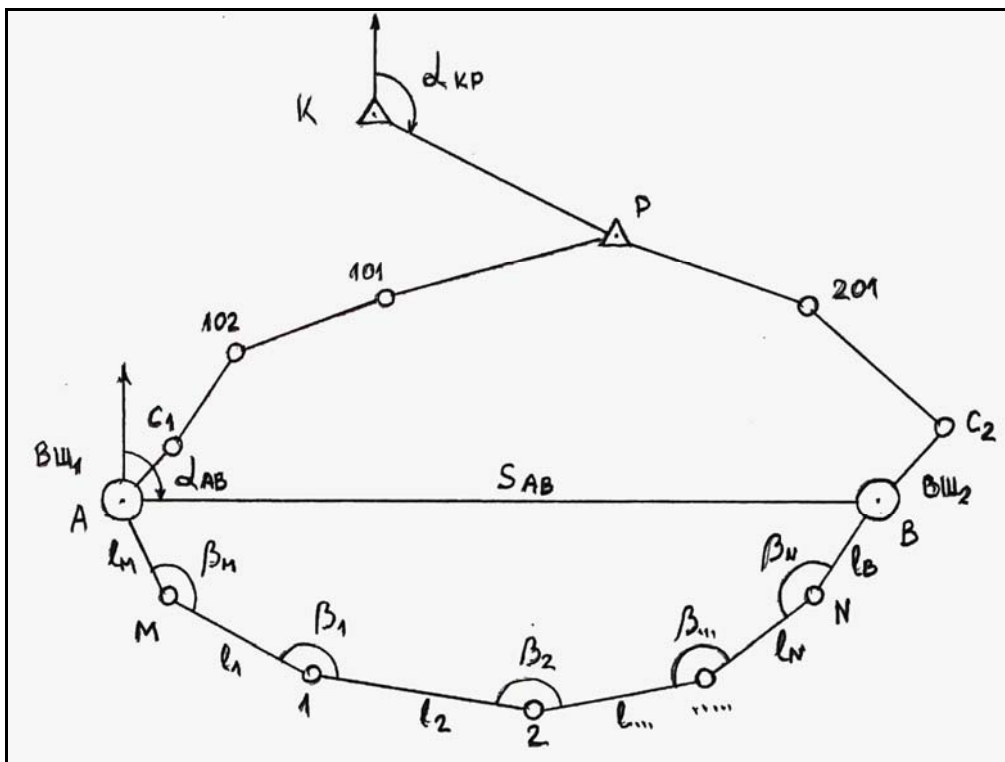
- висящи полигони с не повече от три страни от точка от опорната мрежа до отвесите за свързване на повърхността;
- съединителен полигон между отвесите за свързване в рудника.

Линейните и ъгловите измервания при полигоните на повърхността се извършват по нормите за точност на полигонометрия I и II клас, а в рудника – по нормите за подземни полигонови ходове от I или II ред.

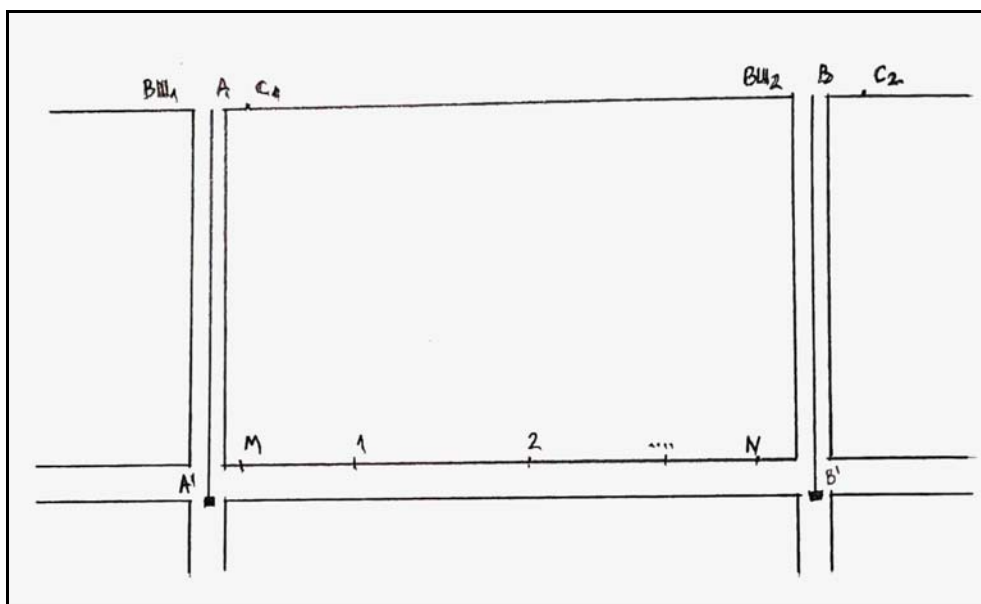
Полагането на полигоните на повърхността и в рудника може да се извърши преди или след проектирането и свързването към отвесите.

Организацията на работата при съединителна снимка през две вертикални шахти изисква извършването на следните дейности на повърхността и в рудника:

1. От точки от опорната мрежа на повърхността, в посока към шахтите (фиг. III.14), се стабилизират по не повече от 2 точки, с цел чрез полигонови ходове да бъдат определени координатите на свързващите (подходните) точки C_1 и C_2 съответно към отвесите А и В. Точките C_1 и C_2 се намират в непосредствена близост до устието на шахтите.
2. В рудника, в близост до шахтите (фиг. III.15), се стабилизират точките М и N, а в свързващата изработка – точките 1, 2, 3 и т.н., като точки от подземния полигонов ход.
3. На подшайбените площадки на надшахтовите кули ВШ₁ и ВШ₂ се монтират направляващи ролки към които, съответно в т.А и т.В, се закрепват спуснатите през шахтите отвеси.
4. На повърхността от опорната точка Р се развиват полигоновите ходове Р, 101, 102, C_1 и Р, 201, C_2 .



Фиг. III.14. План-схема на ориентиране през две вертикални шахти



Фиг. III.15. Схема на ориентиране през две вертикални шахти
(вертикален разрез)

5. Извършва се свързване към отвесите на повърхността – чрез координатите на т.Р и посочния ъгъл на страната КР, с данните от измерените величини, се определят координатите на отвесите – А (X_A, Y_A), В (X_B, Y_B).
6. Определя се посочния ъгъл α_{AB} на линията, свързваща отвесите, и разстоянието S_{AB} между отвесите:

$$\alpha_{AB} = \arctg \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; \quad S_{AB} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}; \quad (\text{III.40})$$

7. Измерват се линейните и ъгловите величини на полигоновия ход в рудника А, М, 1, 2, 3, ..., N, В.
8. Изчисляват се координатите на полигоновите точки в условна координатна система с начало отвес А и за абсцисна ос – направлението на страната АМ на съединителния полигон ($\alpha'_{AM} = 0$):

$$\begin{aligned} X'_B &= X'_A + \sum l_{i,i+1} \cdot \cos \alpha'_{i,i+1}; \\ Y'_B &= Y'_A + \sum l_{i,i+1} \cdot \sin \alpha'_{i,i+1}. \end{aligned} \quad (\text{III.41})$$

9. Изчислява се посочният ъгъл $\alpha'_{A'B'}$ на линията, свързваща отвесите, и разстоянието $S'_{A'B'}$ между отвесите в условната координатна система:

$$\alpha'_{A'B'} = \arctg \frac{Y'_B - Y'_A}{X'_B - X'_A}; \quad S'_{AB} = \sqrt{\Delta X'^2_{A'B'} + \Delta Y'^2_{A'B'}}. \quad (\text{III.42})$$

10. В Техническата маркшайдерска инструкция се посочва, че разликата между изчислените разстояния (на повърхността и в рудника) между отвесите ΔS не трябва да превишава допустимата стойност ΔS_{don} , определена чрез формулата:

$$\Delta S_{don} = 2m_{AB} + \frac{H}{R} S_{AB}; \quad (\text{III.43})$$

където: m_{AB} – надлъжна грешка по направление на линията АВ,

предизвикана от грешките на измерените ъгли и дължини;

H – дълбочина на ориентирувания хоризонт;

R – земен радиус.

11. Определя се ъгълът на завъртане на условната спрямо истинската координатна система. Получената стойност е истинският посочен ъгъл на първата страна от подземния полигонов ход:

$$\alpha_{AM} = \alpha_{AB} - \alpha'_{A'B'}. \quad (\text{III.44})$$

12. С изчисления по този начин посочен ъгъл на първата страна от подземния полигонов ход се решава отново същия ход.
13. След изчисляване на координатите на точките от подземния ход получените за т.В' стойности трябва да съвпадат с изчислените координати на отвес В на повърхността.
14. Ако има разлика в координатите на отвес В, изчислени на повърхността и в рудника, получените стойности за координатните разлики се разпределят право пропорционално, с обратен знак, на координатните разлики ΔX и ΔY на подземния полигонов ход.

III.5.5. Вертикална съединителна снимка

Вертикалната съединителна снимка осигурява единно начало за извършването на вертикални снимки на повърхността и подземните минни изработки. У нас се прилагат няколко височинни системи:

1. Балтийска височинна система – от 1959 г., с начало нулата на Кронщадския пегел на остров Котлин във Финския залив.
2. Черноморска височинна система – от 1930 г., с начало Варненския мареограф.
3. Европейска вертикална референтна система – от 2007 г., с начало Амстердамския мареограф.

Връзката между снимките на повърхността и в рудника е необходима [29] за:

- определяне на дълбочината на разработване в различни точки на подземния рудник;
- определяне на взаимното по височина положение на минни изработки от съседни рудници;
- съставяне на геоложки разрези на базата на геоложка документация за повърхността и минните изработки;
- опазване на съоръженията и природните обекти от вредното влияние на подземните минни работи.

Като процес, вертикалната съединителна снимка е предаване на височината на изходен репер от земната повърхност на изходните репери за подземната снимка.

При трасиране на устието на минните изработки в района се стабилизират изходни репери. От най-близките държавни нивелачни репери, чрез геометрична нивелация IV клас, се определя котата на изходните репери.

Начинът на разкриване на находището определя технологията на вертикалната съединителна снимка.

В случаите, когато находището е разкрито с щолня или наклонена шахта, вертикалната съединителна снимка се извършва през тези изработки съответно чрез геометрична или тригонометрична нивелация.

При вертикални минни изработки предаването на котата както от повърхността, така и от един експлоатационен хоризонт на друг, може да се извърши с дълга шахтна лента, с къса лента (ролетка) или с дълбокомер.

За контрол на пренесената върху изходните подземни репери надморска височина, се извършват две ориентировки при различно положение на уредите за измерване или по два различни начина.

Разликата $\Delta H = H_I - H_{II}$, определена от двете ориентировки (измервания), не трябва да превишава стойността:

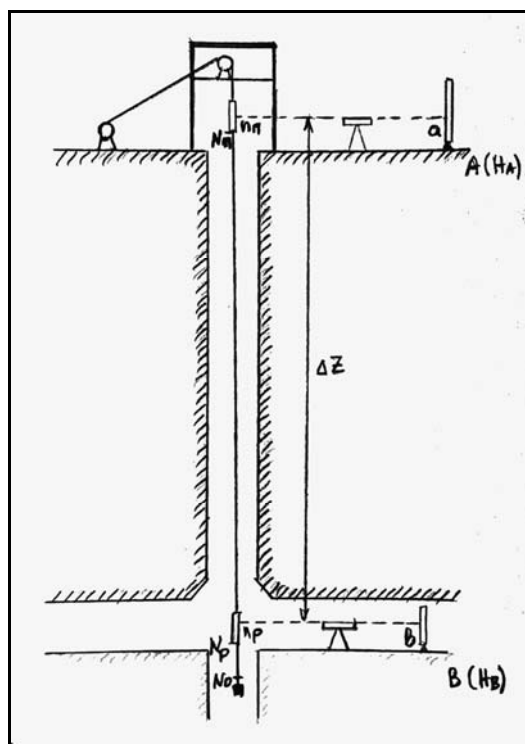
$$\Delta h_{don} = 0,02 + 0,0002H, [m]; \quad (III.45)$$

където H е дълбочина на ориентирувания хоризонт в метри.

Стабилизирането на реперите в рудника се извършва в долнището, стените или горнището на минната изработка, както и във фундаментите на стационарните съоръжения. Стабилизирант се два или три репера. Допуска се височината да бъде пренесена и на постоянни точки от опорната основа, разположени в изработки в близост до шахтата.

Вертикална съединителна снимка с дълга шахтна лента

Лентите се изработват от висококачествена стомана с различна дължина – от 100 до 1000 m. При работа с лентата, свободният ѝ край с нулевото деление се прокарва през направляваща ролка, монтирана на подшайбената площадка на кулата. С тежест до 5 kg нулевият край на лентата се спуска в шахтата. На ориентирувания хоризонт малката тежест се заменя с тежест, която създава опъване на лентата равно или близко до опъването при компариране. На повърхността и на ориентирувания хоризонт се поставят на триноги нивелири, а на предварително стабилизиран репер – нивелачни лати. Върху лентата, на повърхността и в рудника, се отбелязва хоризонта на нивелирите. Към лентата се закрепват милиметрови линейки така, че нулевите им деления да съвпадат с цяло деление на лентата. Тези цели деления на лентата се намират под хоризонтите на инструментите ($N_{n-ст}$ и $N_{p-к}$).



Фиг. III.16. Схема на вертикална съединителна снимка с дълга шахтна лента

В предварително договорен момент, на повърхността и в рудника, се измерва температурата на въздуха (съответно t_n и t_p) и се отчита $N_n + n_n$ и $N_p + n_p$.

Отчетите N_n и N_p са отчети по лентата на повърхността и в рудника, а n_n и n_p – по линейките.

Превишението между двата нивелира (разликата в надморската височина) ΔZ е $\Delta Z = (N_n + n_n) - (N_p + n_p)$.

Отчетите по латите

„назад” – a_{n-cm} (на повърхността) и

„напред” – b_{p-k} (в рудника) се правят по познатия начин.

Котата на репера в рудника е равна на:

$$H_B = H_A + a - \Delta Z - b + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4; \quad (\text{III.46})$$

където: Δl_1 – поправка за компариране на лентата (взема се от паспорта на лентата);

Δl_2 – поправка за топлинно разширение на лентата:

$$\Delta l_2 = \alpha \cdot \Delta Z (t - t_0); [\text{mm}]$$

При $\alpha = 1.10^{-5}$ – коефициент за топлинно разширение на стоманата;

$$t = \frac{t_n + t_p}{2};$$

t_0 – температура на компариране;

Δl_3 – поправка за удължаване на лентата от разликата в масата на работната тежест Q , [kg], и масата на тежестта при компарирането Q_0 :

$$\Delta l_3 = \frac{l(Q - Q_0)}{2 \cdot 10^6 F}; [\text{m}] \quad F - \text{напречно сечение на}$$

лентата по паспорт, $[\text{cm}^2]$;

Q – работна тежест, [kg];

Q_0 – тежест на компариране, [kg];

Δl_4 – поправка за удължаване на лентата от собствената маса:

$$\Delta l_4 = \frac{\Delta Z^2}{5 \cdot 10^6}.$$

Извършват се две ориентировки с разместване положенията на линейките върху лентата. Изчислява се разликата между резултатите от двете вертикални съединителни снимки. Ако тя е в допускателна стойност, за крайна стойност се взема средната аритметична стойност, ако не е, се извършва нова ориентировка.

Вертикална съединителна снимка с дълбокомер

Дълбокомерът се закрепва на приемната площадка на надшахтовата кула. Подготвят се нивелирите на повърхността и в рудника.

Стоманената жица се спуска в шахтата с помощта на латата-тежест (Т). Когато тя достигне до нивото на хоризонта на нивелира на повърхността, спускането се прекратява. Правят се отчети:

- N_n – по брояча на уреда;
- n_n – по латата-тежест (Т);
- a_n – по латата на изходния репер на повърхността.

Над латата-тежест (Т) е закрепена контролна лата (К). Жицата се спуска до достигане на контролната лата до нивото на нивелира на повърхността. Правят се отчети:

- K_n – по брояча на уреда;
- k_n – по контролната лата (К);
- a_n – по латата на изходния репер на повърхността.

След това спускането на жицата в шахтата продължава до достигане последователно на латата-тежест (Т) и контролната лата (К) до нивото на нивелира в минната изработка от ориентирвания хоризонт. Правят се отчети първоначално по латата-тежест:

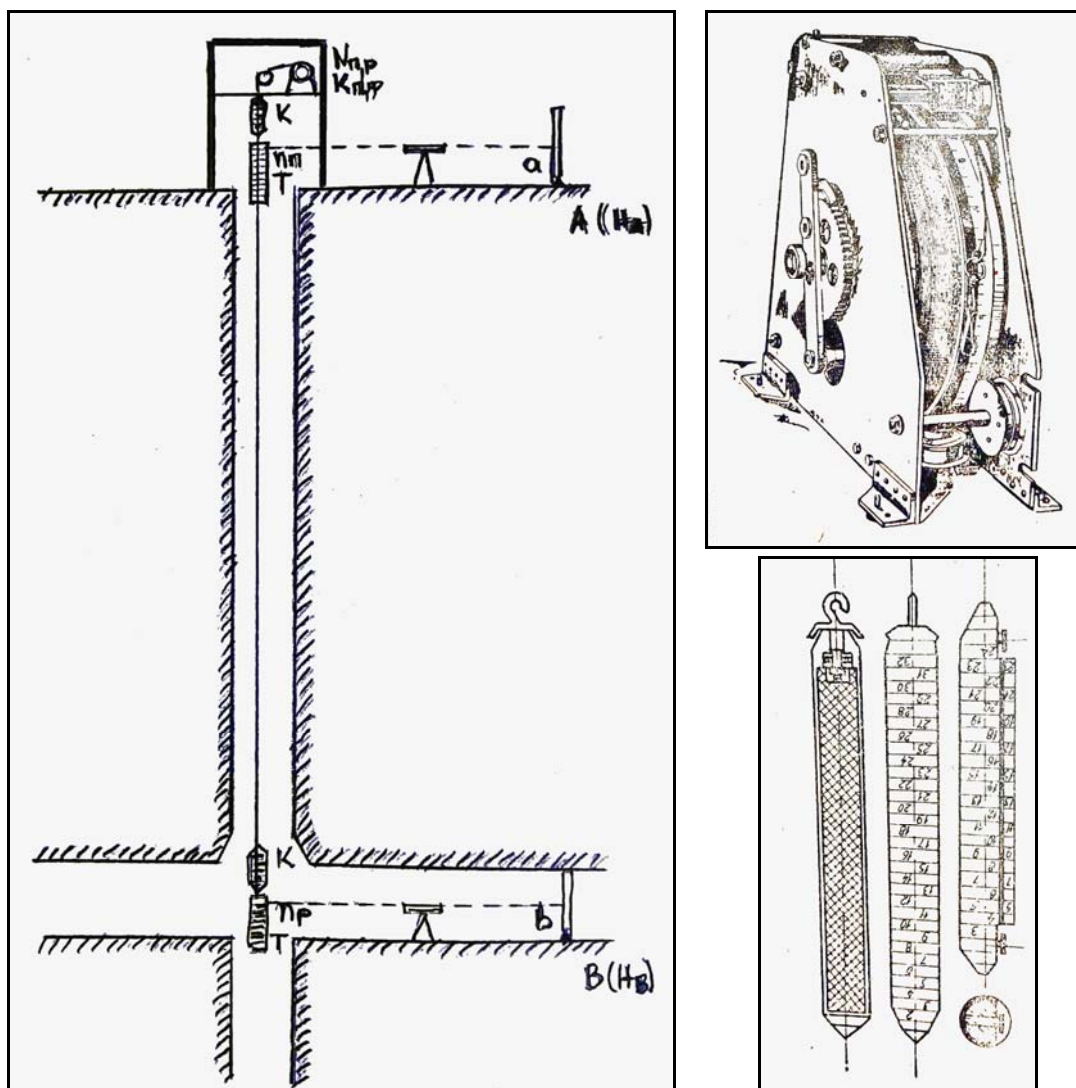
- N_p – по брояча на уреда;
- n_p – по латата-тежест (Т);
- b_p – по латата на репера в минната изработка, чиято кота се определя;

и след това по контролната лата:

- K_p – по брояча на уреда;
- k_p – по контролната лата (К);
- b_p – по латата на репера в минната изработка, чиято кота се определя.

Така завършва първото измерване. Второто измерване се извършва в обратен ред при издигане на жицата нагоре, като предварително се променят първоначалните положения на латата-тежест, контролната лата и хоризонта на нивелирите.

В началото и в края на работата се измерва температурата на въздуха на повърхността и в рудника.



Фиг. III.17. Схема и апаратура на вертикална съединителна снимка с дълбокомер

От първото измерване (при спускане надолу) се определят стойностите:

$$\Delta H_{Icp} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2}; \quad (III.47)$$

където:

$$\Delta H_1 = (N_p + n_p) - (N_n + n_n) - (a_n - b_p) \text{ — отчетено по латата-тежест}$$

превишение;

$$\Delta H_2 = (K_p + k_p) - (K_n + k_n) - (a_n - b_p) \text{ — отчетено по контролната}$$

лата превиишение.

От второто измерване (при издигане нагоре) се определят стойностите:

$$\Delta H_{IIcp} = \frac{\Delta H_3 + \Delta H_4}{2}; \quad (III.48)$$

където:

$\Delta H_3 = (N_p + n_p) - (N_n + n_n) - (a_n - b_p)$ – отчетено по латата-тежест
превишение;

$\Delta H_4 = (K_p + k_p) - (K_n + k_n) - (a_n - b_p)$ – отчетено по контролната
лата превиишение;

След това се проверява разликата между двете определени превиишения ΔH_{Icp} и ΔH_{IIcp} .

Ако $|\Delta H_{Icp} - \Delta H_{IIcp}| \leq (0,02 + 0,0002H)$, то за ΔH_{cp} се приема средно-аритметичната стойност. Ако разликата е по-голяма от допустимата, измерванията се повтарят. Средната аритметична стойност се изчислява по формулата

$$\Delta H_{cp} = \frac{\Delta H_{Icp} + \Delta H_{IIcp}}{2}. \quad (III.49)$$

След това се въвеждат поправки за:

- Δl_1 - диаметър на жицата;
- Δl_2 - топлинно разширение на жицата и на диска на уреда;
- Δl_3 - компариране на жицата и на диска на дълбокомера.

Котата на репера в минната изработка се изчислява по формулата:

$$H_B = H_A - (\Delta H_{cp} + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3). \quad (III.50)$$

III.5.6. Жироскопично ориентиране в подземните изработки

Наред с осигуряването на единна планова основа, важна задача пред маркшайдерите е и периодичният контрол на геодезическото ориентиране. Освен по познатите геометрични методи, правилното определяне на посоката на избрана полигонова страна от подземната опорна и снимачна основа може да се извършва и по физичен (автономен) метод. Жироскопическият метод е сред автономните методи, които позволяват определянето на азимути, а оттам и на посочни ъгли с относителна независимост от изходната геодезическа основа.

Автономно ориентиране

Ориентирането, въз основа на различни, постоянно проявяващи се физични свойства, се нарича автономен (физически) метод на ориентиране. Той се извършва по отношение [30] на:

- посоката на силата на тежестта;
- силовите линии на геомагнитното поле на Земята;
- посоката на ротационната ос и скоростта на въртене на Земята.

За осъществяването на автономния метод на ориентиране са необходими датчици/сензори, чувствителни към съответното влияние:

- отвес или либела – за ориентиране по отношение на посоката на силата на тежестта;
- акселерометър – по отношение на ускорението;
- компас – датчик за ориентиране по отношение на магнитните силови линии;
- жироскоп – за ориентиране спрямо ротационната ос на Земята.

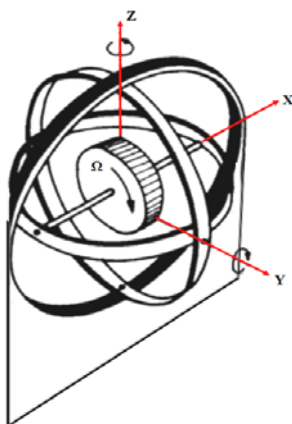


Фиг. III.18. Датчици за ориентиране: отляво надясно – отвес, либела, акселерометър, компас.

Жироскоп

В устройството на жиротеодолитите се обединяват ъгломерна и жиро-скопична част. Основен елемент в конструкцията на жиро-скопичната част е жиро-скопът. Жиро-скопът е бързовъртящо се, динамически симетрично тяло и съответна схема на окачане.

В зависимост от броя степени на свобода се различават двустепенни и тристепенни жиро-скопи. Системата от три оси на жиро-скопа извършва ротационно движение в инерциалното пространство заедно с тялото на Земята. Техническата реализация на такъв тип жиро-скоп (фиг. III.19), е постигната чрез рамки, вложени една в друга посредством карданови връзки.



Фиг. III.19. Схема на тристепенен механичен жиро-скоп

Главната (ротационната) ос на жирокопа може да заема произволно положение в пространството. Ако точката на пресичане на трите оси съвпада с центъра на тежестта му, той се определя като астатичен (уравновесен). Ако тези точки не съвпадат, жирокопът се определя като тежък (неуравновесен) [30].

В конструкцията на жирокопическите инструменти приложение намира най-вече тристепенният тежък жирокоп (жиромахало) и в по-редки случаи двустепенните когато външната карданова рамка не е налична. С жирокоп, конструиран по този начин, се определя географска ширина на точки от земната повърхност, а в случаите, когато тази величина е известна, служи за определяне на хоризонтална равнина. Инструменти, съдържащи в устройството си такъв тип жирокоп, представляват т.нар. жирохоризонти.

Жирокопът притежава две основни свойства, на базата на които се създават разнообразни устройства с различни области на приложение [30]:

- *Стабилизация* – свойството на свободния жирокоп да запазва неизменно положението на главната си ос, независимо от преместването на основата, на която е поставен. Това позволява той да се използва като чувствителен елемент за конструиране на устройства за поддържане на предварително зададена посока на подвижни обекти (самолети, ракети, кораби, сухоземни транспортни средства). Свойството да поддържа неизменно своето пространствено направление е изключително полезно в сферата на въздушната и космическата навигация, за създаването на т.нар. жирополукомпаси, където двустепенните механични роторни жирокопи са доминираща технология. За геодезически цели намира приложение във въздушната фотограметрия, за целите на аерофотозаснемането.
- *Прецесия* – движение, при което ротационната ос на жирокопа изменя положението си в световното пространство, при което посоката на преместването не съвпада с посоката на действащата сила. Непрекъснатото действие на момента, създаван от силата на тежестта и хоризонталната компонента на денонощното въртене на Земята, предизвикват непрекъснатата прецесия на главната ос на жирокопа, а равновесното положение на главната ос съответства на направлението на меридиана в точката на стоене. Проследяването на прецесията е сред основните задължения на оператора при определяне на азимут с жиротеодолити и приставки.

Класификация на жирокопите [30]:

1. Роторни жирокопи

1.1. В зависимост от степените на свобода

- Тристепенен
- Двустепенен

1.2. Според точката на окачване

- Астатичен (уравновесен)
- Тежък

През последното десетилетие, в търсене на по-евтини и по-надеждни сензори за ориентиране, се появяват множество устройства с функция на жирокоп, базирани на различни физични закони и реализирани с помощта на технологии от най-високо равнище. Развитието на нанотехнологиите, микропроцесорната и компютърната техника прави възможно жирокопните свойства да се проявяват в различни електрически и оптични устройства, определящи групата на безроторните жирокопи. Сред съществените предимства на тези устройства са сравнително простата конструкция, ниското енергийно потребление и малки размери.

2. Безроторни жирокопи

2.1. Оптични – основават се на Ефекта на Саняк

- Кръгов лазерен жирокоп (Ring Laser Gyro-RLG)
- Влакнесто-оптичен жирокоп (Fiber Optic Gyroscope – FOG)

2.2. Вибрационни – основават се на Ефекта на Кориолис

- Микро електро-механични системи (Micro ElectroMechanical Systems – MEMS)
- Жирокоп с полусферичен резонатор (Hemispherical Resonating Gyroscope – HRG)

През последните няколко десетилетия теоретично и експериментално са изследвани иновативни методи за генериране на жирокопичен ефект. Един от най-атрактивните и обещаващи похвати е свързан с появата на атомните жирокопи. Технологичната реализация е съсредоточена в две основни направления: ядрени резонатори и атомни интерферометри [30]. Визията за бъдещо приложение на атомните жирокопи е насочена към специфични научни области, сред които и геодезията.

2.3. Атомни и ядрени

- Жирокопичен ефект на базата на ядрено-магнитен резонанс (Nuclear Magnetic Resonance Gyroscope – NMRG)
- Жирокопичен ефект в атомни интерферометри (Gyro Based Atom Interferometer – GBAI)

- Жироскопичен ефект от частици в състояние на свръхфлуидност (Superfluid Gyroscope – SFG)

Традиционните механични жироскопи служат като средство за автономен контрол, позициониране и навигация, в продължение на повече от 100 години. Изцяло доминиращите до скоро роторни жироскопи постепенно се заменят от нови конструкции [30]. Това е продиктувано основно от надеждността и икономическите ползи, осигурени от нововъведенията. Предимствата им варират от много по-голяма надеждност и висока точност, до по-малкия размер и ниска цена. Въпреки това, до момента приложението на механичния роторен жироскоп в устройството на жироскопическите теодолити остава без аналог по отношение на оптималното съчетание между точност, надеждност, цена и размер.

Развитие на автономните методи за ориентиране в маркшайдерството

Идеята за създаване на уреди за жироскопично ориентиране датира от края на 18-ти и началото на 19-ти век, в отговор на необходимостта за изпълнение на геодезически и маркшайдерски задачи в специфичните работни условия на подземното строителство и подземния добив. От момента на появата си до днес, механичните роторни жироскопи са напълно доминираща технология в производството на жироскопични инструменти, независимо от това дали се касае за жироскопична приставка или монолитна конструкция [30].

През 1950 г., на база навигационните компаси на Аншюц, се разработват и изпитват маркшайдерски жирокompаси. Тогава в Русия (ВНИМИ) се появява маркшайдерският жирокompас М-1, а в Германия се създава подобен инструмент за посочване на меридиана (MW1- Meridian weiser). Това поставя началото на жироскопичното ориентиране в маркшайдерството и геодезията.

В исторически план развитието на метода у нас датира от 1965 година, когато е извършена първата жироскопична ориентировка в страната. Следва период на интензивни изследвания за целите на минно-добивната практика. Изследвана е оптималната честота на провеждане на жироскопичен контрол на ориентирането и е доказана необходимостта от задължителното му реализиране на всеки километър положен полигонов ход. Контролът на геодезическото ориентиране е особено важен, а нормативните изисквания са заложили в ТМИ (Техническа маркшайдерска инструкция). Това е възможно да се осъществи по автономен способ, чрез определяне на азимути по жироскопичен път. Посочва се, че при решаване на основните маркшайдерски задачи е напълно достатъчно точността на жироскопическите теодолити да бъде 30" [30]. Въпреки множеството практически измервания и задълбочени научни анализи през годините, днес на територията на страната жироскопическото ориентиране не е

популярен метод. Последните научни публикации датират от 80-те години на миналия век.

В съвременните напълно автоматизирани жиротеодолити се използва електронна регистрация на времеви интервали. В инструментите от по-старо поколение прецизното регистриране на отчетите е операция, зависеща изцяло от уменията и опита на оператора.

Доказано най-успешният образец сред съвременните инструменти в Европа е автоматизирана жирокопична измервателна станция тип Gyromat на германският холдинг DMT Group (Deutsche Montan Technologie GmbH & Co. KG, Essen, Germany). Моделите масово производство (фиг. III.20) осигуряват висока прецизност с точност при еднократно определяне на азимут от порядъка на 5-7" [30].



Фиг. III.20. Жиротеодолити DMT с автоматизирани измервателни станции Gyromat 2000 и Gyromat 3000 в комплект с Leica Total Station TDA 5005; модел Gyromat 5000 в комплект с Leica Nova TM50 Monitoring Station – по [30].

Наред със съвременните инструменти, в световната практика своето място заемат и някои инструменти от по-старо поколение. Такива са жиротеодолит GiB-2 (10") на унгарската фирма MOM (Magyar Optikai Művek), както и швейцарската жирокопична приставка Wild GAK-1 (30"). Въпреки че характерно за тези инструменти е ръчното извършване на основните операции, поради доказаните си качества, в световен аспект те са предпочитана апаратура.

През 2003 г., в Института по инженерна геология и геоматика към Техническият университет в Сиан, Китай, е реализиран нов тип инструмент с иновация в конструкцията – жирокопична тотална станция GAT Maglev (фиг. III.21), осигуряваща ср. кв. грешка на едно измерване 2.3".

През 2005 г. се появява и разновидност под формата на жирокопична приставка. Различните модели осигуряват точност от $5 \div 30''$ [30].



Фиг. III.21. Жирокопична станция GAT Maglev ($2.3''$) и жирокопична приставка GTA 1000R ($5''$) – по [30].

Класификация на жиротеодолитите

1. В зависимост от точността при еднократно определяне на азимут

Няма единна класификация, но в техническата литература е възприета унгарската. Тя се състои от два компонента: букви от латинската азбука (A, B, C, D, E), които съответстват на пет класа точност на азимута, определен еднократно:

- A – до $10''$ – високоточни;
- B – до $20''$ – точни;
- C – до $40''$ – средноточни;
- D – до $1'$ – с понижена точност;
- E – до $3'$ – с ниска точност.

Появата на последното поколение жиротеодолити определя въвеждане на още един клас „прецизни” жиротеодолити, които осигуряват точност на азимута при едно определяне от $\leq 5''$ [16].

2. В зависимост от типа на чувствителния елемент (жирокопа):

- Механичен роторен жирокоп – в устройството на всички съществуващи жиротеодолити и жирокопични приставки към тгломерните инструменти масово производство.

- Безроторни жирокопи – съществуват единични прототипи на инструменти, базирани на FOG и MEMS технологиите, попадащи в клас с понижена точност.

3. В зависимост от окачването на чувствителния елемент:

- с торзионно окачване – прилага се масово при производството на инструментите от прецизен, високоточен и точен клас, както при класическите, така и при съвременните модели жиротеодолити и жиروطривки.
- с магнитно окачване – чувствителният елемент левитира в магнитно поле.

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция, при извършване на жироскопично ориентиране трябва да се спазват изискванията за работа с конкретно избраните инструменти.

Определянето на посочения ъгъл на полигонова страна по жироскопичен начин се основава на свойството на:

- главната ос на *свободен жироскоп* да запазва постоянно направление в пространството;
- главната ос на *жироскоп-компас* да извършва хармонични колебания, равновесното положение на които да съвпада с меридиана в точката на измерване [29].

Приложение на жироскопическото ориентиране

Жироскопичният метод е приложим при решаване на задачи [30] като:

- определяне на посочен ъгъл на всеки рудничен хоризонт;
- контрол при определяне на посочен ъгъл при висящи полигонови ходове;
- ориентиране на междинни хоризонти през комин;
- попълване на текуща теодолитна снимка – при неустойчив контур на изработката;
- жироскопичен контрол на ориентирането на подземната полигонова мрежа – при действащите рудници и при строителството на подземни строителни съоръжения.

Съществено значение за точността на автономното ориентиране има поправката на жироскопичните инструменти, която се определя чрез еталониране (калибровка). Причините за изменението ѝ са свързани с въздействието на различни външни сили, а правилно определената стойност гарантира отстраняване на систематичните грешки, характерни за процеса на измерване.

В Техническата маркшайдерска инструкция [34] се препоръчва редът за работа в разгледаните по-долу случаи, да бъде следният:

1. При ориентиране *само на една подземна полигонова страна*:
 - определя се жирокопичният азимут на изходна страна на повърхността;
 - определя се два пъти жирокопичният азимут на полигоновата страна от ориентирвания хоризонт;
 - определя се отново жирокопичният азимут на изходната страна на повърхността.
2. При ориентиране *на две и повече подземни полигонови страни от един хоризонт*:
 - определя се жирокопичният азимут на първата полигонова страна от ориентирвания хоризонт;
 - определят се два пъти последователно жирокопичните азимути на всички останали страни на ориентирвания хоризонт;
 - определя се повторно жирокопичният азимут на първата страна от ориентирвания хоризонт.

В тези случаи процесът на еталониране на инструмента се извършва с помощта на значителен брой последователни измервания на посоки, чиито азимути са определени с висока точност. При установена промяна в инструменталната поправка след еталонирането се определя нова стойност. В този случай е необходимо наличие на еталонни направления от точки, с определени по астрономичен път азимути. Често пъти такива направления се намират на значително разстояние от обекта.

Съществува оптимизиран вариант на процеса чрез редуване на измервания на повърхността и под земята по определена схема. Тази схема дава възможност за определяне на конкретна корекция към стойността на инструментална поправка за всеки конкретен обект. Корекцията се определя от еталонните измервания на повърхността, извършени преди и след работните измервания под земята. Определена по този начин, корекцията към инструменталната поправка е показателна за текущото състояние на уреда на конкретния обект. По този начин се осигурява относителна независимост от наличието на високоточни еталонни азимути. Редуването на еталонни и работни измервания по определена схема осигурява редица съществени предимства – възможност за по-висока точност и успоредно с това възможност за значително съкращаване на времето за извършване на жирокопичното ориентиране [31].

Когато един полигонов ход свързва две жирокопично ориентирани страни и се получава ъглово несъвпадение, до два пъти по-голямо от точността на определяне на жирокопичния азимут, ъглите се изравняват и полигонът се преизчислява. Ако няма условия за приемане на различни тежести при

измерванията, ъгловото несъвпадение се разпределя поравно на всеки измерен ъгъл.

Жироскопичното ориентиране в подземни изработки може да се прилага с успех както за нуждите на минно-добивната промишленост, така и при строителство на железопътни и транспортни тунели, и други подземни инфраструктурни съоръжения.

III.5.7. Опростени начини за ориентиране на изработки в добивен блок

Опростените начини за ориентиране на подземни снимки се прилагат когато не е необходима висока точност на ориентировката поради малката дължина на ориентирваните изработки. Най-често те се използват при стръмни рудни и въглищни находища и служат за свързване на основните хоризонти с подетажните изработки, както и за заснемане на разсечните и добивните изработки [14].

Определящи за точността на ориентирането са предназначението на новата изработка и допустимото ѝ отклонение.

Точността на пренесения посочен ъгъл се определя по формулата:

$$M_{\alpha}^{cc} = \frac{\Delta l_{\partial on}}{L} \rho^{cc}; \quad (\text{III.51})$$

където:

$\Delta l_{\partial on}$ – допустимо отклонение в хоризонталната равнина за този вид изработка;

L – проектна дължина на ориентирваната изработка.

Средната грешка на ориентирането се изчислява по:

$$M_{op} = \pm \frac{M_{\alpha}}{3}. \quad (\text{III.52})$$

Ако се извършва ориентировка на няколко подетажни хоризонта, грешката на ориентирането на всеки от тях е:

$$M_{opi} = \pm \frac{M_{op}}{\sqrt{n}}, \quad (\text{III.53})$$

където

n – брой на подетажните хоризонти.

При пренасяне на котата в подетажните изработки грешката не трябва да превишава 0,15 m по отношение на изходния хоризонт [14].

В маркшайдерската практика често се използват опростените методи за ориентиране. С помощта на отвеси, ролетки и ъгломерни инструменти с

понижена точност се пренася направлението в подетажните изработки, определят се координати на полигонови точки в тях, определят се и надморските им височини.

III.6. Оперативна снимка

Оперативната снимка следва непрекъснато забоите на галериите и на добивните фронтове. С нея се постига своевременно изобразяване върху маркшайдерските планове на настъпилите изменения в положението на минните изработки.

Обекти на снимката са:

- контури на минните изработки;
- устия на проучвателни, технологични и др. сондажи;
- места на взети геоложки проби и такива с определени елементи на залягане на полезното изкопаемо;
- елементи на тектонски нарушения;
- вентилационни и други съоръжения;
- места на възникнали пожари, на повишен скален натиск и т.н.

Снимката на подготвителните изработки в добивните участъци включва:

- пренасяне на кота;
- ориентиране и снимка на подетажни изработки.

За изходни точки се използват полигоновите точки от II и III ред. Допустимата грешка при ориентиране на снимката на подетажните изработки по отношение на снимката на изходния хоризонт зависи от дължината на заснемания хоризонт (L) и допустимото отклонение ($\Delta l_{дон}$) в крайната точка. При ориентиране на подетажни изработки се допуска използването на ъгломерни инструменти с понижена точност (напр. маркшайдерски компас). Дължините се измерват с допустима относителна грешка до 1:500. Допустимата грешка при пренасяне на котата е ± 15 cm.

Снимка на добивните пространства

Извършва се ежемесечно (или през друг интервал, напр. 10 дни) и служи за определяне на добитите количества минна маса. За изходни точки се използват полигонови точки от II и III ред, както и точки от ходовете в подетажните изработки. Заснемането може да се извърши с маркшайдерски компас и ролетка. Контурът на добивния забой на подетажните изработки се определя с точност до 25 cm [34]. Дължините на полигоновите ходове се измерват два пъти при допустима относителна разлика до 1:200.

IV. Технология на маркшайдерски работи при прокарване и заснемане на нови изработки

В подземния рудник непрекъснато се проектират и прокарват нови изработки. Те осигурят необходимото количество запаси и безопасен добив. В тази връзка маркшайдерската служба извършва редица дейности.

IV.1. Задаване на направление

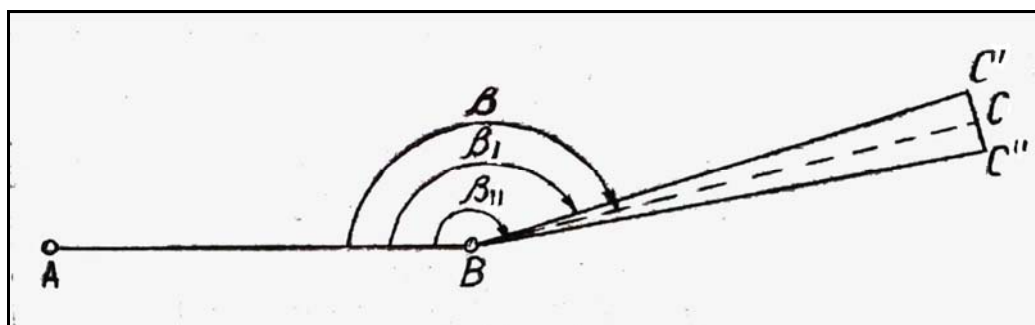
Маркшайдерска задача при прокарването на нови галерии е вярното и точно пренасяне на проекта за развитие на рудника в естествени условия. Съгласно този проект всяка изработка се характеризира в пространството с посока и наклон, които се задават в хоризонталната и вертикалната равнина в праволинейни и криволинейни участъци.

IV.1.1. Задаване на направление в хоризонталната равнина

Задаване на направление в хоризонталната равнина в праволинейни участъци

Данните за направлението на минните изработки се дават в работни проекти и чертежи. За да се зададе направление на праволинейна хоризонтална или наклонена изработка в хоризонталната равнина е необходимо да се знае посочения ъгъл на оста на изработката и трасировъчния ъгъл спрямо друга посока с известен посочен ъгъл. Трасирането може да се извърши с теодолит, със светлинен или лазерен указател на направление, с геодезическа станция. За целта може да се приложи някой от следните начини.

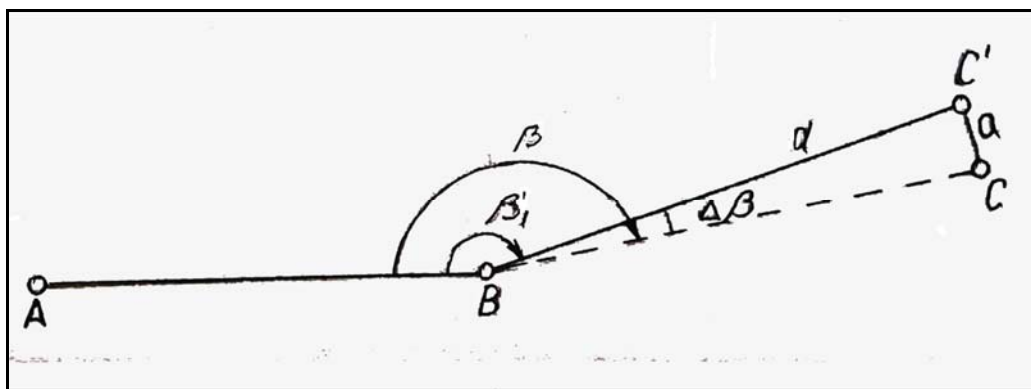
1. *Трасиране с осредняване на ъглова разлика.* Теодолитът се центрира и хоризонтира в т.В, от която трябва да се зададе направлението ВС (фиг.IV.1). Нагласява се начален отчет 0,0000^g. Със застопорени лимб и алидада се визира към т.А при I-во положение на тръбата. Освобождава се лимбът от алидадата и се отмерва трасировъчния ъгъл β . Получава се т.С'.



Фиг.IV.1. Трасиране с осредняване на ъглова разлика

Същото се повтаря при II-ро положение на тръбата. Получава се т.С''. При изправен инструмент тези две точки трябва да съвпадат. Средата на отсечката СС'' е точка С. Линията ВС е търсеното направление. За контрол $\angle ABC$ се измерва в един пълен гирус. Разликата между изчисления и измерения трасировъчен ъгъл не трябва да превишава директната точност на отчитане на инструмента.

2. *Трасиране с изчисляване на линейно отклонение.* Измерва се трасировъчният ъгъл β при едно положение на тръбата и се отбелязва т.С' (фиг.IV.2). Измерва се $\angle ABC'$ в един пълен гирус.



Фиг.IV.2. Трасиране с изчисляване на линейно отклонение

Изчислената средна стойност β_I се сравнява с проектната стойност на трасировъчния ъгъл β . Получава се величината $\Delta\beta$. Измерва се разстоянието $d = BC'$ и се изчислява линейната грешка a :

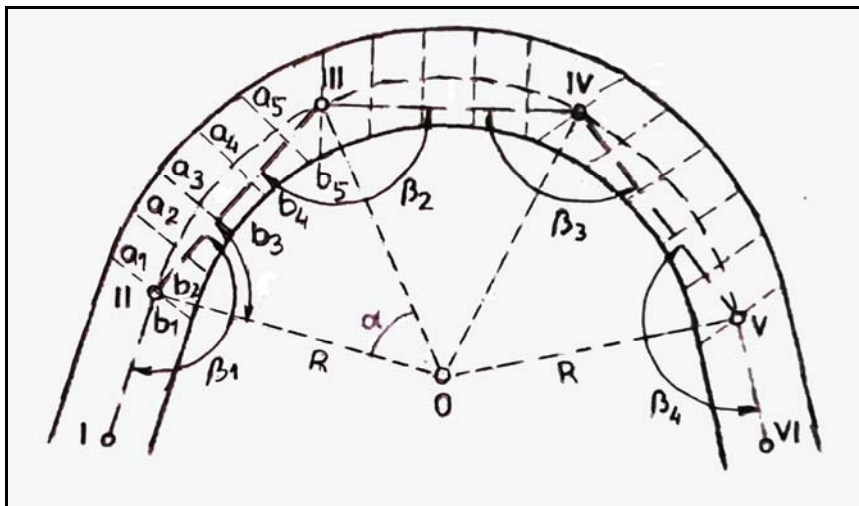
$$a = d \frac{\Delta\beta^{cc}}{\rho^{cc}} . \quad (IV.1)$$

Получената стойност за a се отмерва перпендикулярно на направлението BC' и се намира мястото на т.С. За контрол $\angle ABC$ се измерва в един пълен гирус. Разликата между изчисления и измерения трасировъчен ъгъл не трябва да превишава директната точност на отчитане на инструмента.

3. *Задаване на направление по координати.* В геодезическата станция се въвеждат данни за координати на точки от проектното направление на галерията. Чрез лазерния указател на инструмента, след ориентиране в известна точка, се посочва направлението на оста на новата изработка при първо положение на тръбата. Същото се повтаря за контрол и при второ положение на зрителната тръба. При допустима разлика между двете посоки, линейно се осреднява разликата между тях върху забойната стена. По подобен начин може да се трасират и контурите на новата изработка.

направление в криволинейни участъци са методът на перпендикулярите и методът на радиусите.

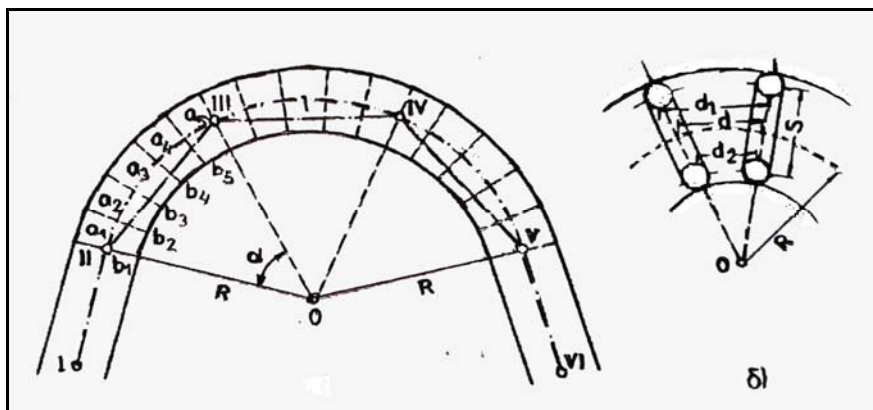
1. Метод на перпендикулярите. От проектния полигон се определят координатите на полигоновите точки в криволинейния участък, ъглите на завъртане, дължините на хордите и полигоновите ъгли. Съставя се схема в едър мащаб където се нанасят полигоновите точки. По хордите, които ги свързват, през равни интервали (напр. 1 m, 2 m или др.), се издигат перпендикуляри до двете стени на новата галерия.



Фиг.IV.4. Трасиране чрез метода на перпендикулярите

Измерват се разстоянията $a_1, a_2, \dots$ и $b_1, b_2, \dots$ от хордата до стените на изработката. Освен от схемата, необходимите стойности на ъглите и дължините може да бъдат изчислени и по аналитичен начин. Съставя се трасировъчен карнет. Трасирането става по следния начин. Инструментът се центрира и хоризонтира на полигонова точка II и по трасировъчния ъгъл β_1 се определя посоката към т. III. опъва се ролетка и през приетия интервал (1-2 m), перпендикулярно на хордата, се отмерват определените вече разстояния вляво и вдясно до стените на изработката. При напредване, малко над дължината на хордата II-III, се поставя т. III. По аналогичен начин се определя мястото на всяка от останалите полигонови точки. Между всеки две съседни точки се опъва ролетка и през приетия интервал (1 m, 2 m, ...), перпендикулярно на хордата, се отлагат определените вече разстояния до стените на изработката вляво и вдясно. С напредване на забоя се извършват контролни измервания.

2. Метод на радиусите. В трасировъчен карнет аналитично или графично се определят разстоянията от хордите до стените на изработката по направление на радиуса на кривата в съответния участък.



Фиг.IV.5. Трасиране чрез метода на радиусите

При дървен или метален крепеж се изчисляват разстоянията d_1 и d_2 между стойките, металните пръстени или вертикалните дървени подпори съответно по външната и по вътрешната стена на галерията.

$$d_1 = d + d \frac{s}{2R}; \quad d_2 = d - d \frac{s}{2R}. \quad (\text{IV.2})$$

където: d – разстояние между осите на рамките в
 праволинеен участък (по паспорт за крепежа);
 s – средна ширина на галерията (по проект);
 R – радиус на кривата в участъка.

Познат е и друг метод за трасиране в криволинейни участъци – *метод на периферните ъгли*. И при него, чрез ъглови и дължинни измервания се определят междинни точки по хордата и се засичат отстоянията им до контурите на изработката.

3. *Задаване на направление по координати*. Аналогично на трасиране на направлението в праволинейни, и тук, при криволинейни участъци, в геодезическата станция се въвеждат данни за координати на точки от проектното направление на галерията. Чрез лазерния указател на инструмента, след ориентиране в известна точка, се посочва направлението на оста на новата изработка при първо положение на тръбата. Същото се повтаря за контрол и при второ положение на зрителната тръба. При допустима разлика между двете посоки, линейно се осреднява разликата между тях върху забойната стена. По подобен начин може да се трасират и контурите на новата изработка. За целта, в зависимост от отстоянието на забойната стена от инструмента, се задава и контролира положението на всяка точка от тях.

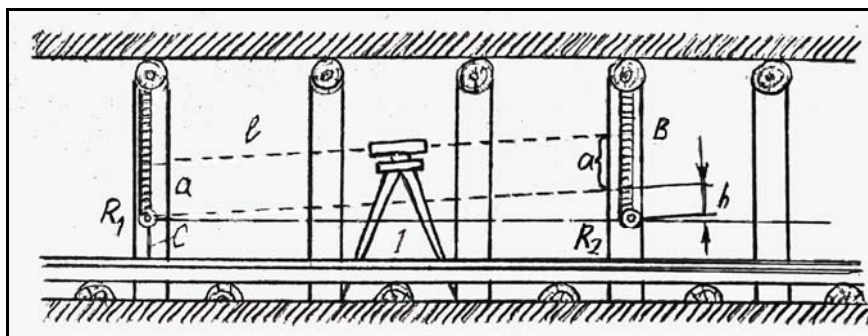
При определяне на местата на полигоновите точки от опорната и снимачна основа на рудника, с цел осигуряване на добра видимост и надеждни

результати при измерванията, се изисква визурата между точките да отстои на 30-40 cm от стените на минните изработки.

IV.1.2. Задаване на направление във вертикалната равнина

В зависимост от ъгъла на наклона на новопрокарваните изработки се използват различни методи и инструменти за задаване на направление във вертикалната равнина.

При ъгъл на наклона на оста на галерията до 10° задаването на направление във вертикалната равнина се извършва по *метода на стенните репери*.

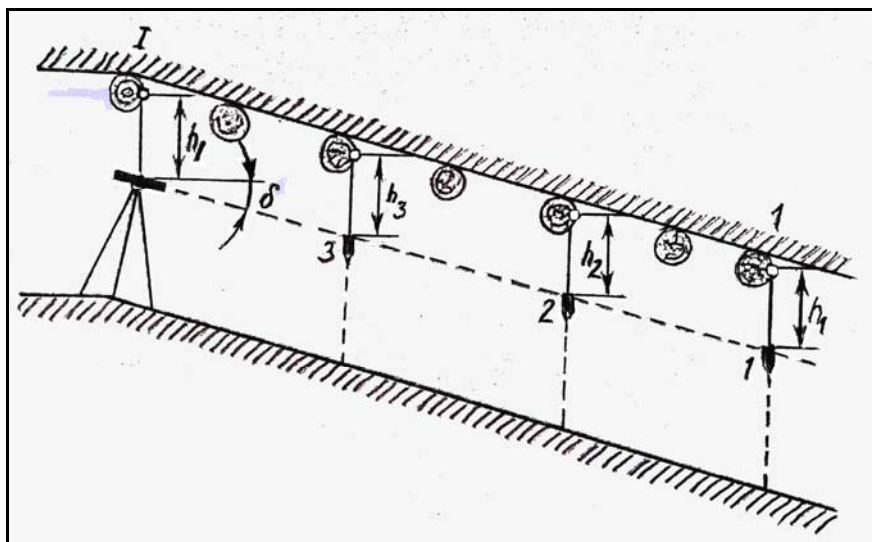


Фиг.IV.6. Схема на метода на стенните репери

Стенните репери се закрепват и на двете стени на изработката на височина около $c = 1,0$ m от проектното положение на долнището на изработката или от главата на релсата (фиг.IV.6). След измерване на това разстояние c , на стената се закрепва начален репер R_1 . С подходящи измервания се определя неговата надморска височина. След това с нивелир се прави отчет a по лата над репера R_1 . На разстояние 5 – 6 m от репера по посока на напредване на галерията се поставя точка B на нивото на хоризонта на инструмента. Измерва се разстоянието l между репера R_1 и т.В. По проектния наклон i се изчислява превишението $h = i.l$. От т.В се измерва във вертикална посока разстояние $a + h$. Така се определя мястото на репер R_2 . Створът R_1 и R_2 определя линията на наклона на галерията. По аналогичен начин се поставят репери и на другата стена на изработката.

За задаване на направление във вертикалната равнина при малки стойности на ъгъла на наклона може да се използват и други инструменти: оптически и лазерни указатели за направление, наклономери с различни конструкции и т.н.

При ъгъл на наклона над 10° е удачно прилагането на *метода на осовите репери*.



Фиг.IV.7. Схема на метода на осовите репери

Инструментът се поставя под осова точка I чиято кота е известна (фиг.IV.7). Измерва се разстоянието h_I от точката до хоризонталната ос на инструмента. На вертикалния кръг се поставя отчет, равен на проектния ъгъл на наклона δ . На най-близката до забоя точка се поставя отвес. Визира се към него. Отвесът се движи нагоре или надолу докато върхът му съвпадне с хоризонталната нишка на теодолита. В това положение отвесът се закрепва и се измерва разстоянието h_I' от осовата точка (т.1) до върха му. За контрол, след завъртане през зенит на тръбата на инструмента, се нагласява отчет на вертикалния кръг $400^\circ - \delta$. Повтарят се действията с отвеса и се измерва разстоянието h_I'' . Изчислява се средната стойност h_{Icp} :

$$h_{Icp} = \frac{h_I' + h_I''}{2}. \quad (IV.3)$$

При разлика между h_I' и h_I'' в допускателна граница за точност, се насочва хоризонталната нишка на теодолита върху средното разстояние h_{Icp} . В това направление се закрепват отвеси в междинните осови точки. Те определят проектното направление на изработката във вертикалната равнина.

Познат е вариант за предаване на направлението във вертикалната равнина за галерии с ъгъл на наклона над 10° и с метода на стенните репери.

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция (§223) направлението във вертикалната равнина се задава отново след отдалечаване на забоя на 30 m.

IV.2. Маркшайдерски работи при прокараване на подготвителни, нарезни и добивни изработки

Всяко минно предприятие има годишни и перспективни планове за развитие на минните работи. Те се разработват с прякото участие на маркшайдерския отдел. Съдържат обяснителна записка, таблични и графични материали. Графичните материали представляват календарен план за развитието на минните работи по разкриване, подготвяне и отработване на новите участъци. Плановете се съставят за всеки забой, участък, пласт. Маркшайдерската служба предоставя разчетни стойности, необходими за определяне производителната мощност на забоите, участъците и рудника като цяло. Това са данни за запасите, мощността на залежа, производителността на пласта, дължината на действащата забойна линия на подготвителните и добивните забои, скоростта на напредване на забоите и т.н.

След утвърждаване на плана, маркшайдерът задава и отлага неговите елементи в естествени условия. Той контролира изпълнението му по обем и качество. В резултат на извършени снимки, върху плана на минните работи се нанася фактическото положение на подготвителните и добивните изработки.

Маркшайдерски работи при прокараване на подготвителни изработки

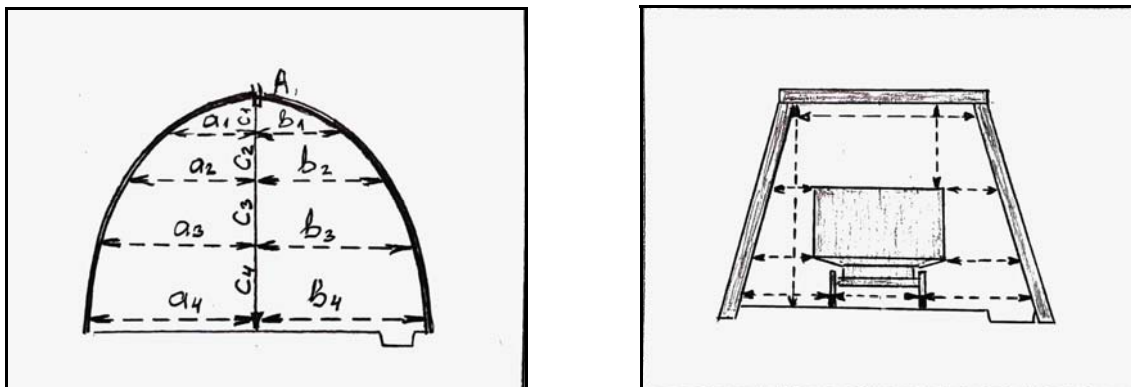
При прокараване на подготвителни изработки се решават следните маркшайдерски задачи:

- задаване на направление в хоризонталната и вертикалната равнина;
- определяне дължината на галериите и напредването им за определен период от време;
- контрол и отчет на обема на подготвителните работи;
- контролиране на напречното сечение на изработките;
- определяне елементите на залягане на полезното изкопаемо, геоложките нарушения и т.н.;
- снимка на подробностите.

Заснемането на напредването на подготвителните забои се извършва от полигонови (ако са достатъчно близо) или от допълнително поставени точки. Измерва се разстоянието от полигоновата точка до челото на забоя в началото (S_1) и в края (S_2) на отчетния период. Разликата между двете измервания ($\Delta S = S_2 - S_1$) представлява напредването на забоя на галерията за периода.

Заедно с измерване дължината на изработките се заснемат подробности в тях (разсечки, геоложки особености и т.н.). Проверява се направлението на забоя. Заснема се и напречния профил на галериите. При изработки в здрави скали, където не се прави закрепване, се заснема контура на сечението, получен

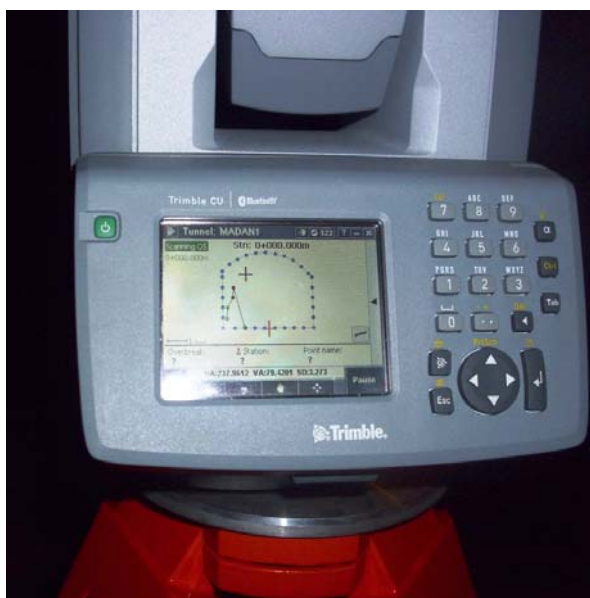
при прокарването. При изработките с крепеж се заснема черното и светлото сечение и се контролират геометричните елементи на крепежа за даденото работно място съгласно паспорта на крепежа. Измерват се височината и ширината на изработките, разстоянията между рамките, местата на проводите, разстоянията между крепежа и транспортните средства (фиг.IV.8).



Фиг. IV.8. Заснемани елементи от напречното сечение

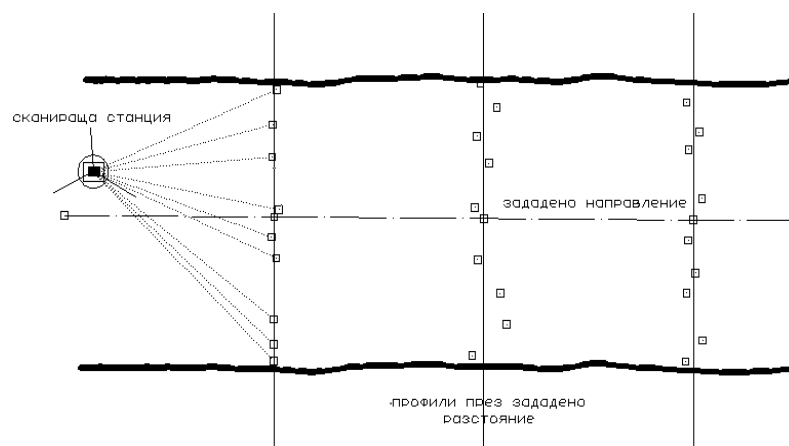
Сечението се заснема по полярен начин, чрез линейни засечки, ортогонално спрямо избрана линия (напр. спуснат отвес от полигонова точка) и т.н.

Познати са и софтуерни продукти (напр. софтуера „Tunnels” за геодезическа станция Trimble S6) чрез които, след като предварително се въведе в геодезическата станция надлъжното направление и типово напречно сечение (шаблон - template) на новата изработка, в автоматичен режим се заснема сечението на реално прокараната галерия [12].

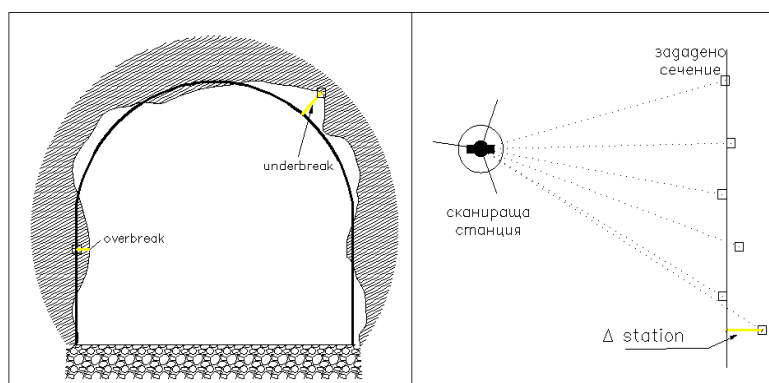


Фиг. IV.9. Trimble S6 в режим „Tunnels”

Сканирането се извършва по предварително зададени профили и при стойности на допустими отклонения в различните направления (фиг.IV.10 и IV.11).



Фиг. IV.10. Напречни профили през зададено разстояние по оста на изработката



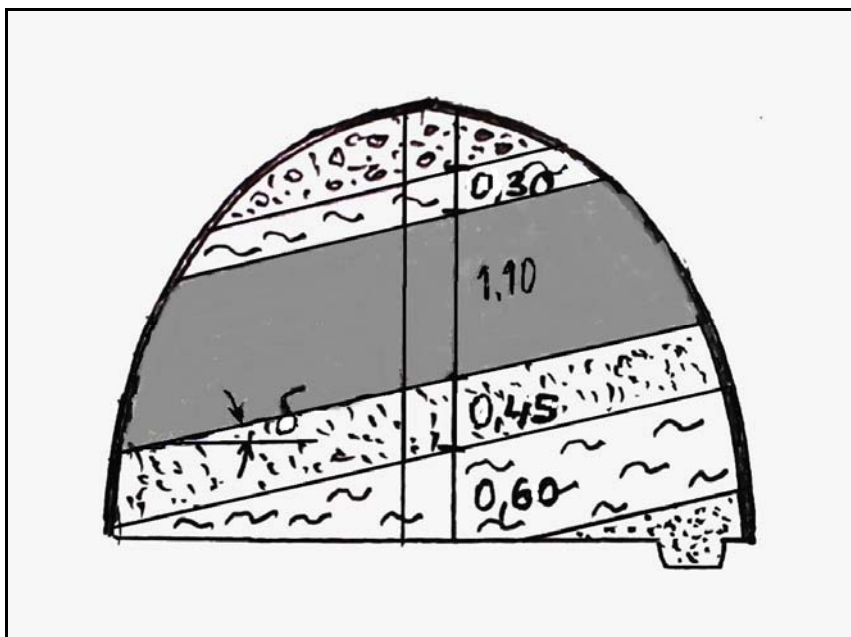
Фиг. IV.11. Реално заснет и проектен напречен профил

* Фигури (IV.9, IV.10 и IV.11) са взaimствани от [3].

Въз основа на резултатите от тези измервания могат да се определят отклоненията от проектното сечение на изработката и количествата иззета минна маса за конкретния участък в новата изработка.

При недопустими отклонения от проекта изработката се бракува в съответния участък.

При измерване елементите на залягане на полезното изкопаемо и вместващите скали се определя мощността на отделните пластове, наклона им, посоката на залягане (зарисовка на забойната стена).



Фиг. IV.12. Зарисовка на забойната стена

В зависимост от изменчивостта на тези показатели се определя през какъв линейен интервал по оста на галерията да се извършват зарисовките. Линейните измервания се правят с ролетка с точност до 1 cm, а ъгловите – с опростени ъгломерни и наклономерни инструменти (геоложки компас, маркшайдерски компас с висящ полукръг и т.н.).

Маркшайдерски работи в нарезните и добивните изработки

В добивните участъци се решават следните маркшайдерски задачи:

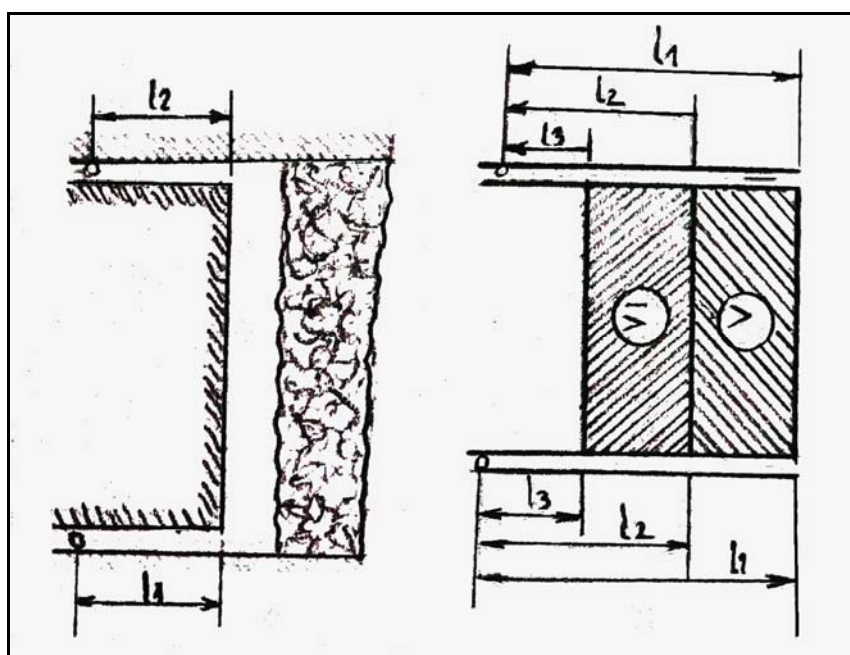
- пренасяне в естествени условия на предвидените в проекта геометрични елементи на нарезните и добивните изработки;
- контрол на геометричните елементи при прокарване на изработките;
- своєвременна снимка на нарезните и добивните изработки и изобразяването им върху планове и разрези;
- замерване напредъка на отделните изработки.

По резултатите от замерите се определя обема на отработеното пространство за отчетния период, както и добива на полезно изкопаемо за същия период. Въз основа на тях се извършва заплащане на работниците. Периодичността на замерите зависи от динамичността на водене на минните работи, от приетата система на заплащане и т.н.

В зависимост от условията на залягане и мощността на залежа (пласта) се прилагат различни системи на разработване. Снимката на забойната линия при различните системи може да се извърши или само чрез линейни измервания или чрез комбинация от линейни и ъгови измервания. Използват се теодолити, маркшайдерски компаси и други инструменти с понижена точност. При

снимката се измерва и дебелината на полезното изкопаемо, елементите на залягане, геоложките нарушения и т.н. Чрез тези данни се добива представа за пространственото положение на полезното изкопаемо и вместиращите скали, за издържаността на елементите на залягане, за вида, размера и посоката на геоложките нарушения.

При дължина на забойната линия 40 – 60 м се прилага линейно измерване само в двата края на забоя като се предполага, че тя е права или е с незначителни отклонения. Снимката се извършва от най-близките до добивния фронт полигонови точки.



Фиг. IV.13. Заснемане линията на забоя

Площта на издетото пространство се определя по графичен или аналитичен начин.

При графичния начин контурът се разделя на елементарни геометрични фигури. Чрез измервания от чертежа се определят необходимите елементи за всяка от тях. Сумата от площите на тези фигури представлява издетата площ за периода от последния до настоящия замер.

При аналитичния начин площта на издетия участък се определя чрез изчислените предварително координати на върховете на затворения многоъгълник. Изисква се номерацията на върховете да бъде по посока на часовниковата стрелка.

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$$
(IV.4)

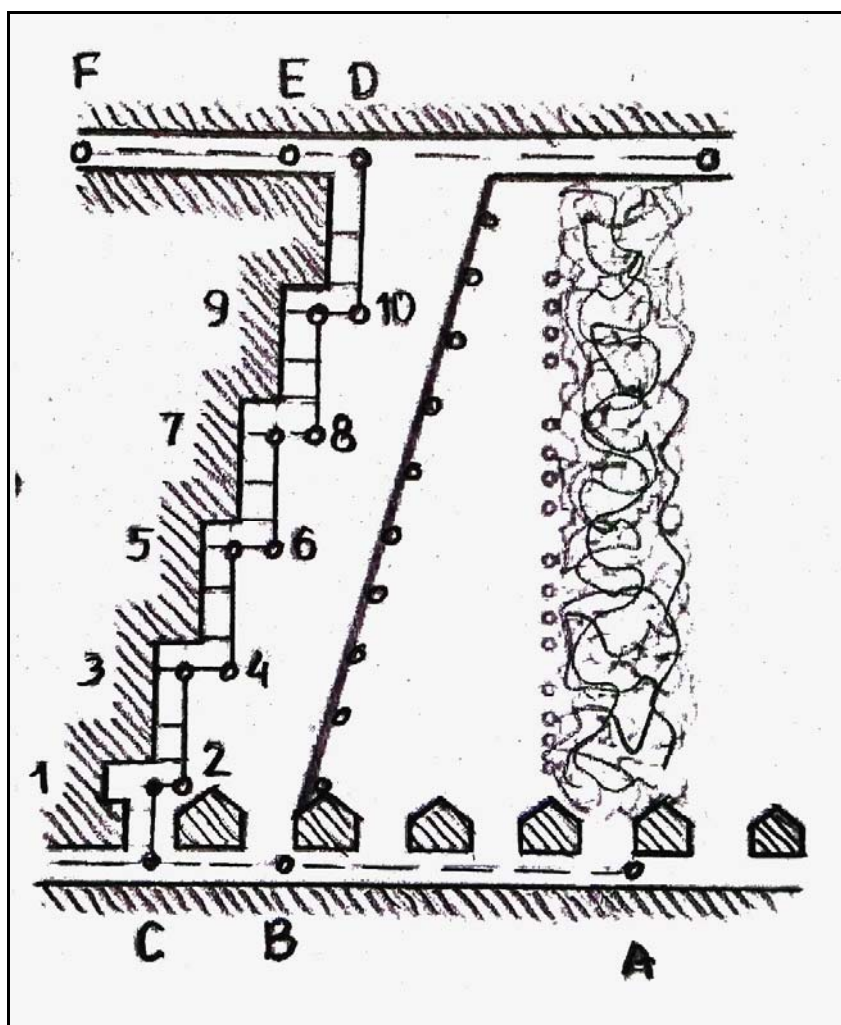
Ако фигурата има триъгълна форма може да се използва и формулата:

$$S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 y_1 1 \\ x_2 y_2 1 \\ x_3 y_3 1 \end{vmatrix} \quad (\text{IV.5})$$

Познавайки височината на добивния фронт h и средната дебелина на полезното изкопаемо m_{cp} се определя обема на добитата минна маса и количеството на полезното изкопаемо:

$$V = S.h \quad \text{и} \quad V = S.m_{cp}. \quad (\text{IV.6})$$

При изземване на наклонени и стръмни пластове измерванията може да се извършат по ортогонален начин или с маркшайдерски компас. На следващата фигура е показано ортогонално заснемане на забойната линия.



Фиг. IV.14. Заснемане на забойната линия при стръмни пластове

Изхождайки от полигоновата страна AB се отмерва разстоянието BC (т. C лежи на продължението на правата AB). От т. C последователно се трасират перпендикулярните прави $C - 1$, $1 - 2$, $2 - 3$ и т.н. до достигане до т. D от правата EF . Едновременно с това се заснемат подробностите по забойната линия. За отмерване на правите ъгли се използват ъгломерни инструменти с ниска точност или маркшайдерски компас.

При нанасянето на снимката дължините се изчертават нeredуцирани в равнината на пласта или се редуцират по ъгъла на наклона и на чертежа се нанасят техните проекции.

При криволинеен контур на забойната линия между две точки от двете подготвителни галерии се прокарва компасен полигонов ход. Измерват се магнитните азимути и дължините на страните на полигона. По ортогонален начин се заснемат необходимите подробности.

При невъзможност да се извърши привързване към две полигонови точки в двата края на забойната линия или ако тя е с по-голяма дължина, се измерват дължините на страните и ъглите в права и обратна посока.

Допустимата грешка в определянето на добива, при отчитане на тон [34], е 5%, а при отчитане в кубически метри и в зависимост от системата на разработване, варира от 3% до 8%.

Когато възникне спор относно точността на определените количества, по нареждане на главния инженер, се извършва (ако е възможно) контролен замер от главния маркшайдер. При разлика между двете измервания в допускателен диапазон, се взема за вярно първото измерване. Ако разликата е по-голяма, се приема за верен контролният замер.

При рудните находища маркшайдерското осигуряване на подготвителните и добивните работи обхваща:

- ориентиране и предаване на котата на подетажните изработки;
- снимка на подетажните галерии;
- снимка на забойната линия.

Характерно за системите на разработване в такива находища е прокарването на комини между съседни хоризонти. Те служат за рудоспусъци, за вентилация, за придвижване на хора и материали. При прокарване на комини маркшайдерът:

- определя мястото, откъдето започва комината;
- задава първоначалното направление и наклона на изработката;
- пренася направлението при напредване прокарването на комината;
- контролира геометричните елементи на сечението, направлението и наклона;
- извършва снимка на готовия комин.

IV.3. Компасна снимка. Изисквания

При снимката на нарезните и добивните изработки изискванията за точност са значително по-ниски, поради което се използват опростени ъгломерни инструменти.

Обикновено компасните (бусолни) полигони се полагат във вид на затворени фигури, които са свързани с точки от първоредната или второредната полигонова снимка.

Подробностите се заснемат по ортогонален начин.

В практиката при заснемане на нарезните и добивните изработки най-широко приложение намират маркшайдерският компас (наричан още висяща бусола) и висящият полукръг. На следната фигура е показан общ изглед на маркшайдерския компас.



Фиг.IV.15. Маркшайдерски компас

Компасното тяло е с кръгла форма и е от метал, който не влияе на магнитната стрелка. Посредством два лагера то е монтирано в пръстен, завършващ с две рамена. Чрез тях става закачването на компаса към опънат канап. При такава конструкция на инструмента се гарантира винаги хоризонтално положение на компасното тяло, независимо от наклона на опънатия канап в пространството. В центъра е монтирана специална игла върху която е закрепена магнитната стрелка. При завъртане на инструмента в произволна посока стрелката се ориентира винаги на север. По градуирания кръг се отчита стойността на магнитния азимут в избраната посока.

Маркшайдерският компас трябва да отговаря на следните условия:

1. Магнитната стрелка трябва да бъде винаги хоризонтална, т.е. да бъде добре балансирана. Уравновесяването се постига чрез преместване на поставената за целта на южния ѝ край гивничка.

2. Стрелката трябва да е достатъчно чувствителна. Ако не е така, това означава, че има увеличено триене между иглата и стрелката или стрелката не е достатъчно намагнитизирана.

3. Оста на въртене на магнитната стрелка да минава през геометричния център на градуирания пръстен. Отчетите по двата края на стрелката трябва да се различават с 200° .

Висящият полукръг представлява дъга с разграфени деления от 0° до 100° в двете страни, завършващи с кукички, служещи за закачване на канапа. В центъра на полукръга е окачен малък отвес или метална пластинка с помощта на които става отчитането. Диаметърът $100^\circ - 100^\circ$ трябва да е успореден на опънатия канап. Нулевото деление е в посока, перпендикулярна на този диаметър.



Фиг.IV.16. Висящ полукръг

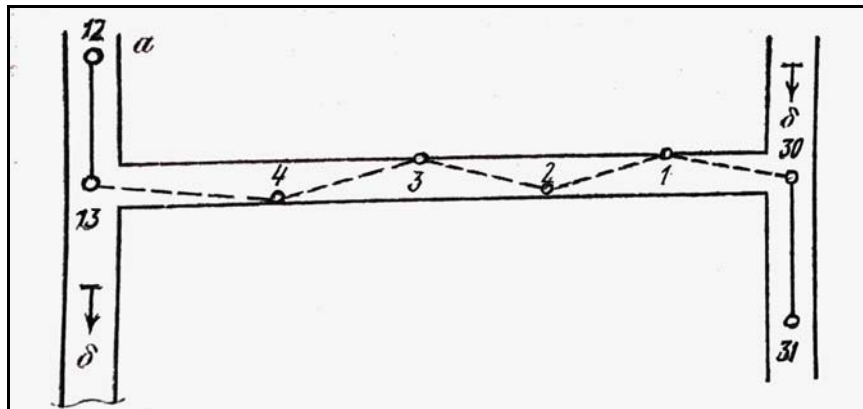
Етапи на извършване на компасната снимка

1. Полагане на компасния полигон и опъване на канапа по него;
2. Измерване на магнитните азимути на страните и на ъглите на наклона на дължините;

3. Измерване на дължините на страните и снимка на подробностите;
4. Обработване на измерванията и съставяне на компасната снимка.

Ред за работа:

- между върховете на избрания компасен полигон се опъва канап;

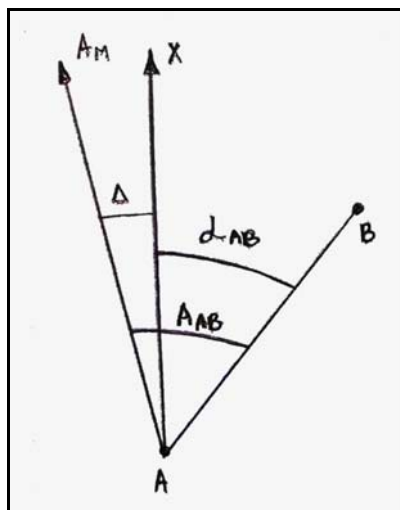


Фиг.IV.17. Схема на компасен ход

- компасът се окачва на канапа на $1/3$ от дължината на всяка страна (ако тя е над 20 м) и на $1/2$ от дължината (ако страната е по-къса от 20 м) с нулата на градуирания кръг напред по посока на развитие на компасния ход;
- прави се отчет по северния край на стрелката;
- ако страната е по-дълга от 20 м маркшайдерският компас се поставя на разстояние $2/3$ от началото ѝ и се прави нов отчет; при разлика между двата отчета по-малка от 1° се изчислява средноаритметичната им стойност;
- измерват се наклонените дължини на компасния ход с ролетка по опънатия канап;
- измерва се ъгъла на наклона на всяка страна с висящ полукръг.

Канапът, на който се закачва висящия полукръг, трябва да представлява права линия, т.е. не трябва да провисва от тежестта на ъгломерния инструмент. При къса страна ъгълът на наклона се отчита в средата, а при по-дълга – на две места ($1/3$ и $2/3$ от дължината). Във втория случай се изчислява средноаритметичната стойност. Ъгълът на наклона има положителен знак когато следващата точка е по-високо от предишната, и отрицателен – когато е по-ниско.

Общозвестно е, че посоките на магнитния север (A_m) и на геодезическия север (X) не съвпадат. Разликата между двете посоки се нарича *магнитна деклинация* Δ .



Фиг.IV.18. Магнитна деклинация

Тъй като стойността на магнитната деклинация се изменя във времето, е необходимо преди началото на компасната снимка тя да бъде определена за района на измерването. Това става като се изчисли разликата между посочения ъгъл на страна между две точки с предварително определени координати и магнитния ѝ азимут:

$$\Delta = \alpha_{AB} - A_{AB} . \quad (IV.7)$$

Компасният ход започва и завършва в точка от полигоновата мрежа на рудника. При извършване на компасната снимка се измерват магнитният азимут на всяка страна, наклонената дължина и ъгълът на наклона ѝ. При всеки връх на полигона се измерва разстоянието до тавана и до пода на изработката. Измерванията се записват в карнет, където се прави и скица на снимката. В същия карнет се изчисляват всички необходими за съставяне на снимката данни.

Посочен ъгъл на изх. страна 31-30 = 55,50°

Магнитен азимут на изх. страна 31-30 = 57,00°

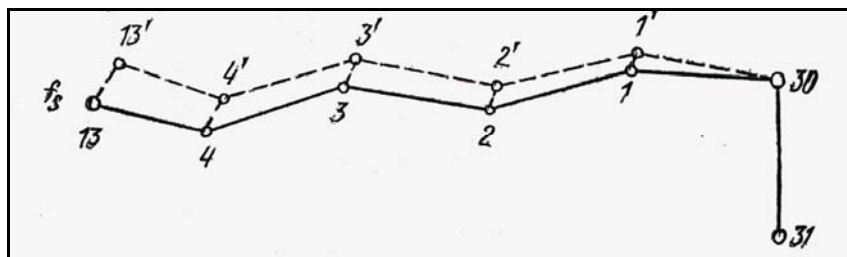
Магнитна деклинация за изх. страна 31-30 = -1,50°

Точка	Страна	Магнитен азимут	Посочен ъгъл	Наклонена дължина	Ъгъл на наклона		Редуцирана дължина	Превисение		Кота на точката	Разстояние		Кота на пода	Скица
					+	-		+	-		до пода	до тавана		
30										255,90	2,10	0,00	253,80	
	30 - 1	160,50	159,00	14,50		3,5	14,48		0,80					
1										255,10	1,08	0,00	254,02	
	1 - 2	140,50	139,00	13,36	35,5		11,34	7,07						
2										262,17	1,15	0,00	261,02	
														

Едновременно с измерванията на компасния ход се заснемат и контурите на изработките, обикновено по ортогонален начин.

Компасната снимка се нанася с транспортир и мащабна линия, като се използват посочните ъгли и редуцираните дължини. Много рядко се изчисляват координатите на върховете на полигона.

Когато полигонът е затворен или завършва в известна точка, след графичното му построяване се определя линейното несъвпадение f_s .



Фиг.IV.19. Разпределение на линейното несъвпадение

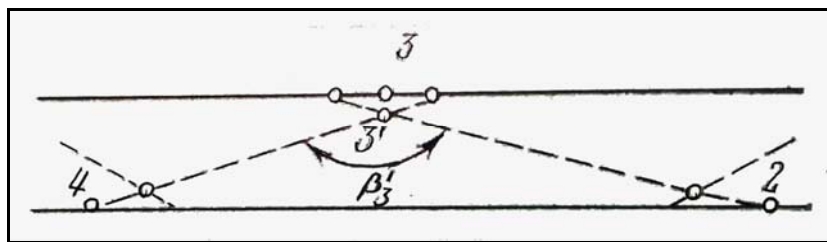
Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция, относителното линейно несъвпадение на компасните полигони не трябва да надвишава $\frac{1}{300}L$, където L е дължината на полигона. Линейното несъвпадение се разпределя графично, като през всяка точка се прекарва права, успоредна на линейното несъвпадение, и се отмерва поправка, изчислена по формулата (напр. за т.к):

$$f_k = \frac{f_s}{L} \sum l_{(1 \div k)} . \quad (\text{IV.8})$$

Поправката се нанася в обратна на линейното несъвпадение посока.

При получаване на недопустимо линейно несъвпадение се проверява за грешка при нанасянето, в изчисленията или в измерванията. Ако е допусната грешка при нанасянето или измерването на някоя дължина, то посоката на линейното несъвпадение ще бъде успоредна на тази страна от полигоновия ход. При грешка в някой от ъглите, тя ще бъде в точката, през която преминава перпендикулярът, спуснат от средата на линейното несъвпадение в последната точка. Ако по този начин не може да се открие грешката, следва да се предполага, че са се насложили две или повече груби грешки при нанасянето или измерването.

Когато измереният в различни места на една и съща страна магнитен азимут има различаващи се с повече от $1^\circ \div 2^\circ$ стойности, трябва да се предполага, че в изработката има магнитно действащи маси. В такъв случай компасната снимка се извършва, като се проектира *полигон с кръстосани шнурове*.



Фиг.IV.20. Полигон с кръстосани шнури

Магнитните азимути на страните се измерват в пресечните точки на шнура. Снимката се нанася по ъгли, които се получават като разлика от натоварените с грешката на магнитно действащите маси азимути. По-нататък технологията на съставяне на снимката се запазва.

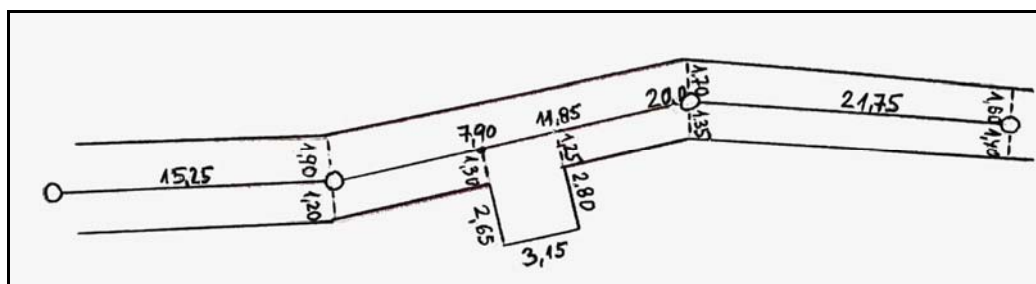
Въз основа на компасната снимка на нарезните и добивните изработки се определят контурите им към дения на извършване на замера.

IV.4. Други методи за заснемане на контурите на минни изработки

По отношение заснемането на контурите им, подземните изработки условно могат да се подразделят [3] на достъпни и недостъпни. Поради тази причина се използват различни методи и инструменти. Определящо при избора им е конкретната ситуация в рудника, видът на заснеманата празнина в масива, опитът на маркшайдерите, както и техническите възможности и характеристики на наличните инструменти. Независимо от метода на измерване при всяко заснемане се изготвя ръчна скица.

Ортогонален метод

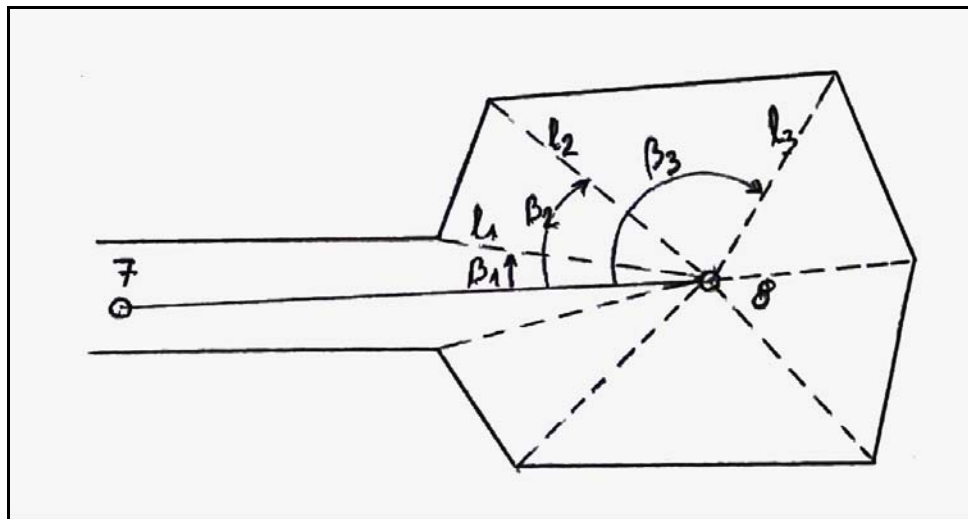
Подходящ е за приложение при заснемане на линейни обекти (напр. галерии). „На око” се построяват перпендикуляри спрямо избрана линия. За такава може да се използва правата между две полигонови точки. Разстоянията се измерват със стандартна или електронна ролетка с точност до 1 cm (фиг. IV.21.). Заснемат се всички характерни точки от контурите на изработките, съоръженията, проводите и т.н.



Фиг. IV.21. Ортогонално заснемане на галерия

Полярен метод

Полярният метод на заснемане е подходящ за приложение в подземни условия. За целта от един център (полюс, полигонова точка или свободна станция), след ориентация в избрана посока, се отмерват последователно ъгли и дължини към избрани от маркшайдера точки от контура на изработката. Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция ъглите трябва да се измерват в едно положение на тръбата на инструмента с точност до 1° , а дължините – с точност до 1 cm.

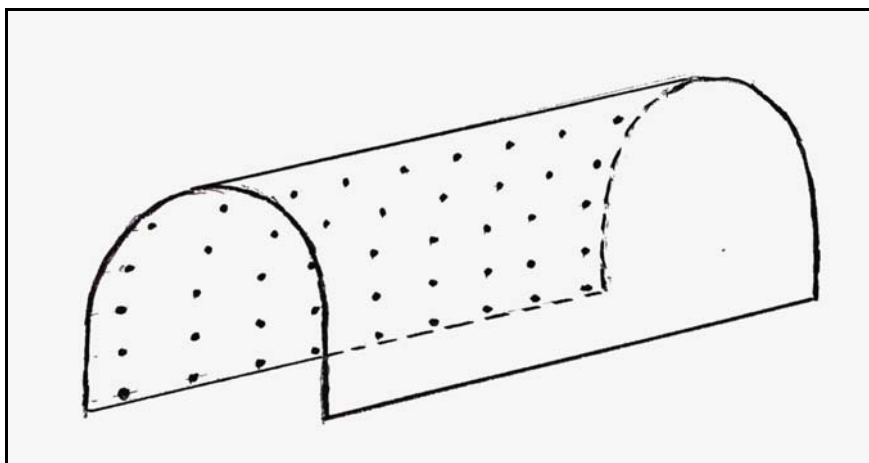


Фиг. IV.22. Полярно заснемане на подземна изработка

При използване на „по-стари“ инструменти дължините се измерват със стандартна или електронна ролетка. Ако за заснемането на контурите се ползват съвременни геодезически станции, ъглите и дължините се определят електронно. При най-новите конструкции на измервателната апаратура се ползва технологията за безрефлекторно измерване на разстояния.

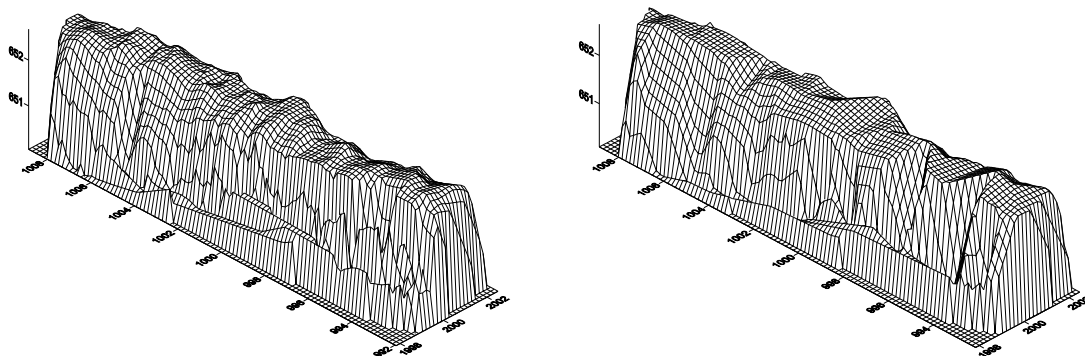
Извършените измервания позволяват да се определят координатите на наблюдаваните точки и се съставя числен модел на заснемания участък.

Някои от съвременните инструменти (т.нар. роботизирани станции) притежават функция за автоматично извършване на измервания. Заснемането се реализира с вграденото в тях специализирано програмно осигуряване, например приложението за сканиране на повърхнини, чрез което е възможно да бъде извършено заснемане чрез дефиниране на равнина по 3 точки чрез методът „Rectangular plane“. Използвайки тези възможности и задавайки границите на зоната за заснемане, измерванията се извършват в автоматизиран режим, а резултатите от тях – автоматично се записват в паметта на инструмента, което позволява съставяне на точен и актуален числен модел на изработката. Необходимо е само да се определи и зададе разстоянието между подробните точки в хоризонталната и вертикалната равнина.



Фиг. IV.23. Заснемане на контури чрез метода „Rectangular plane”

У нас са правени изследвания, в които са сравнявани резултати при заснемане на едни и същи участъци с различни интервали между точките. В [4] са създадени модели на части от изработки при интервали от 10x10 cm, 10x20 cm, 10x50 cm, 20x50 cm и т.н. до 1x1 m. За конкретните условия са направени изводи относно детайлността на снимката и влиянието ѝ върху резултатите при последващото изчисляване на обеми. Посочва се, че гъстотата на мрежата от подробни точки трябва да се съобразява с коефициента на грапавост на заснеманата повърхнина (фиг. IV.24).



Фиг. IV.24. Участък, заснет с гъстота на точките 0.10×0.50 m и 1.0×1.0 m.

В [6 и 8] са правени изследвания относно някои особености при измервания с лазерен далекомер. Препоръчва при заснемане да се отчита влиянието както на атмосферните промени (температура, налягане, влажност и запрашеност) в минните изработки, така и на материала на крепежната конструкция, ако има крепеж, тъй като и двата фактора влияят върху точността на измерваните дължини.

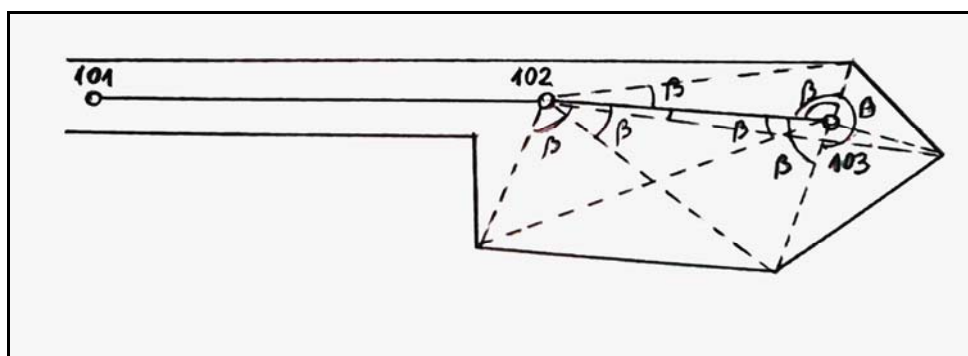
Методът е приложим както при галерии със стандартни размери, така и при заснемане на камери и други изработки с по-големи размери.



Фиг. IV.25. Полярно заснемане на подземна изработка

Метод чрез ъглови засечки

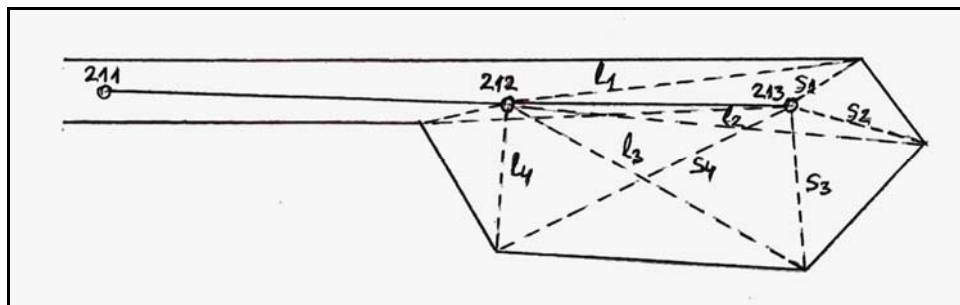
Методът с ъглови засечки може да се прилага при заснемане и на недостъпни контури на изработките. Изисква се подробните точки да се виждат и заснемат едновременно от две станции. След ориентация, двата ъгломерни инструмента определят посоките към едни и същи наблюдавани точки, маркирани или осветени подходящо по време на измерванията. Ъглите трябва да се измерват в едно положение на тръбата на инструмента с точност до 1° . При изготвяне на снимката контурите и местата на заснеманите точки се определят след пресичане на визурите на посоките към тях от двата инструмента.



Фиг. IV.26. Заснемане на подземна изработка чрез ъглови засечки

Метод чрез линейни засечки

Аналогично на горния метод, при метода на заснемане чрез линейни засечки се използват две станции, спрямо които се отмерват разстояния едновременно към характерни точки от контурите. Разстоянията се измерват с ролетка с точност до 1 cm.



Фиг. IV.27. Заснемане на подземна изработка чрез линейни засечки

Фотограметричен метод

След фотографиране на минните изработки и чрез обработката на фотографските изображения със специална апаратура, се определят координатите на точки от заснеманите повърхнини.

В средата на миналия век се предлага използването на стереоснимка с къса база. Методът е подходящ за подземни условия тъй като размерите на изработките не са големи. Този вид снимка е изпълнявана с постоянна или променлива база. Фотокамерите се разполагани така, че базата между тях да е перпендикулярна на оста на изработката, а осите им, да са взаимно успоредни. При подходящо осветление е извършвано заснемане и са получавани две изображения на минната изработка. Всяка една точка от заснетите повърхнини заема различно положение на двете снимки [3]. Чрез двойката снимки, на стереоскоп, се наблюдава стереомодел на заснетия обект. Последващата обработка осигурява изготвяне на графичен модел на заснетата изработка.

В последните години в света (в австралийските минни компании ВНР и Newcrest, южноафриканската компания AngloGold Ashanti и швейцарската минна компания Xstrata) [3] се използва съвременна апаратура с възможности за бързи измервания и получаване на 3D изображения на заснемани подземни пространства. Такава е системата CAE Stereo Camera Mark II (фиг IV.28). Стереокамерата е с две 16 мегапикселови камери Nikon, светкавица, както и бордови компютър със сензорен екран. Обработката на снимките се извършва с помощта на софтуер Sirovision – за анализ на изображения.

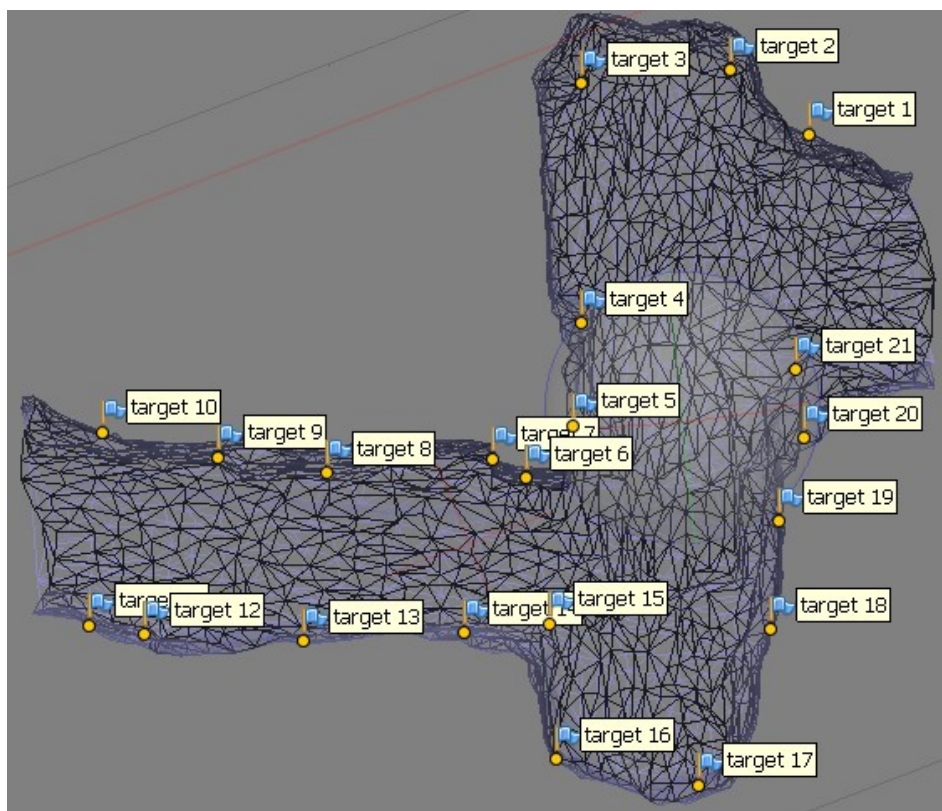


Фиг IV.28. Stereo Camera Mark II*

*Снимките на фиг. IV.28. са взаймствани от [3].

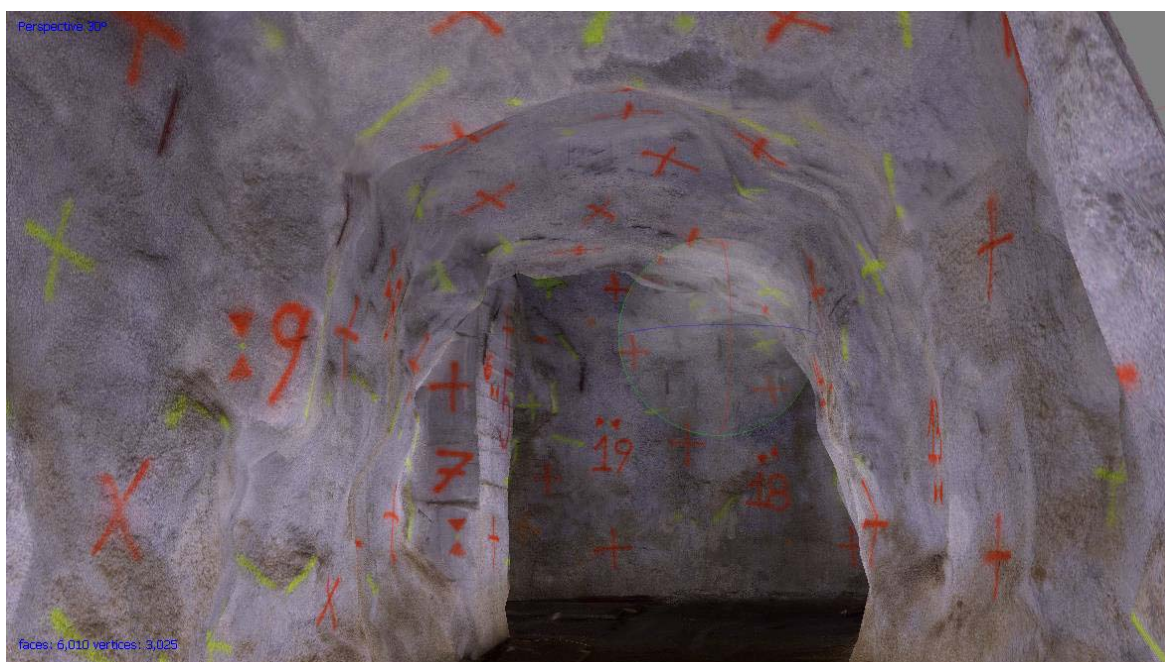
У нас се правят опити за приложение на фотографски изображения за детайлно заснемане на контури на минни изработки [17, 18]. В [21] обект на изследване е част от галерия в рудник „Ерма река”, Горубсо Златоград АД.

Фотограметричното заснемане е извършено с цифров фотоапарат Canon EOS600D с разделителна способност 16Mpix, поставен на статив. За създаване на модела са направени 314 снимки, някои от тях са фронтални, други наклонени нагоре към тавана. На обекта са маркирани трайно със спрей 21 опорни точки, които са разположени равномерно. Опорните точки са измерени с тотална станция Trimble S6, безрефлекторно в локална координатна система. Обработката на данните е реализирана в програмната среда на руския софтуер Agisoft Photo Scan Professional Edition. След приключване на изравнението се създава множество от 3D векторни точки (Dense Point Cloud). След това автоматизирано се създава нерегулярна триъгълна мрежа (т.нар. полигонален модел) – фиг. IV.29.



Фиг IV.29. Полигонален модел – изглед отгоре, [21]

Генерирането на триизмерен числен модел с текстура е една от основните задачи на фотограметричния софтуер. Визуализацията на модела е представен на фиг. IV.30.



Фиг IV.30. Визуализация на част от създадения триизмерен числен модел с текстура - изглед отвътре, [21]

Наземни системи за лазерно сканиране

Технологията за лазерно сканиране е един от най-съвременните методи за заснемане. Използва се при необходимост от създаване на модели от пространствени (3D) данни. 3D лазерното сканиране е значително по-прецизен метод в сравнение с конвенционалните методи, при който може да се гарантира не само точно заснемане, но и безопасността на персонала, който може да остане далеч от опасните зони.

Методът осигурява много добра информативност, точност и бързина. Прилага се както за заснемане на обекти на земната повърхност, така и при подземно разработване и строителство. Създадените модели са съставени от милиони точки и осигуряват добра нагледност и обективност [3]. Използва се лазерен лъч, изпратен от скенера и отразяващ се от повърхността на заснемащата повърхнина. Специализиран софтуер обработва 3D модела и изготвя различна графична и изчислителна документация.

Предимствата на лазерното сканиране се изразяват в голяма скорост на заснемане, висока точност и ниво на автоматизирана обработка, безконтактно измерване, възможност за измервания в недостъпни или опасни зони.

Предлагат се различни типове лазерни скенери от редица производители: Riegl, Leica, Trimble, Renishaw, Konica-Minolta, Zoller+Fröhlich, Optech и др.

Системата на Optech - CMS - Cavity Monitoring System, разработена за изследване, измерване и изобразяване на недостъпни или опасни за престой подземни участъци, осигурява бързо и точно пространствено заснемане, снижава риска и облекчава оператора [3].



Фиг.IV.31. Cavity Monitoring System – конфигурация на системата



Фиг.IV.32. Cavity Monitoring System – сканиране в различни участъци

Количеството и качеството на данните, получени с помощта на CMS, силно повишава ефективността на работа. Конфигурацията на системата (фиг.IV.31) е лесна за транспортиране и инсталиране и напълно програмируема, което позволява на потребителя да определи настройки за сканиране с оглед постигане на максимална производителност и детайлност. Заснемат се милиони точно координирани точки, които се използват за определяне размера, ориентацията и обема на изработката (фиг.IV.32). Снимката може да се осъществи както в напълно автоматизиран режим, така и в ръчен режим.

Универсалните формати на данните гарантират възможност за използване на резултатите от сканирането в различни софтуерни приложения, като AutoCAD, Gemcom и други специализирани продукти.

Приложение в маркшайдерските дейности има и наземният лазерен скенер RIEGL, в комбинация с програмната система RiScan Pro. Той може да бъде използван при снимка в тунели или подземни изработки, като позволява оптимизиране на времето, осигуряване на по-висока информативност и повишаване на безопасността на труда. Системата предоставя възможност за създаване на цветни 3D модели на изработките, определяне на техните параметри и изчисляване на обеми.

Друг вид подземни лазерни скенери са предлаганите от Renishaw продукти [3]:

Техният представител Void Scanner 150 (VS150) Mk3 (фиг.IV.33) е подземен 3D лазерен скенер, използван за заснемане на недостъпни минни забои, празнини, скални стени и тунели. Той може да бъде монтиран на стрела, тринога, Boretrak® пръти или на стойка. Позволява точно „събиране” на облаци от точки при пълна безопасност. Предоставя възможност за моделиране и мониторинг на опасни зони и изчисляване обема на изработката. Обработката на данните е посредством софтуера Voidscan, като данните могат да бъдат изведени към различни софтуери - за проектиране и планиране.



Фиг.IV.33. Void Scanner 150 (VS150) Mk3 – общ вид и в процес на работа

Скенерът Cavity Auto-Scanning Laser (C-ALS®) – (фиг. IV.34.), е с моторизирана сканираща глава със зрително поле от 360°, която позволява получаване на 3D изображения с обхват до 150 метра. C-ALS® MK3 има сензори за надлъжен наклон и завъртане, а също и опция за вградена инерциална система. Тези сензори осигуряват точната ориентация и позициониране на сканирания облак от точки. Системата има възможност да бъде поставяна в кухини с всякаква форма. Софтуерът CavityScan извежда на екрана видео от камерата и 3D изглед в реално време по време на сканирането.



Фиг. IV.34. Cavity Auto-Scanning Laser

Познати са и други методи за заснемане на подземни изработки и празнини, които поради необходимостта от специализирана апаратура намират по-рядко приложение при подземно разработване на находища. Такива са *телетричният, радиотричният и локационният методи.*

От 2018 година, чрез сътрудничеството на канадския доставчик на геотехнически решения Clickmoх Solutions и шведския производител на безпилотна техника Inkopova, става възможно да се заснемат подземни минни изработки и други празнини с безпилотни летателни апарати и скенери, които използват алгоритъм за локализиране и картографиране [36].

Подземната система за мобилно сканиране е първата по рода си. Представена е за първи път на конференцията MinExpo през 2016 г. в Лас Вегас. Вече е използвана в подземни рудници в Канада и в златодобивен рудник в Мали. Ядрото на системата е скенерът V-SCAN3D и софтуерът Slam, разработен и произведен от Clickmoх. Скенерът обикновено се монтира на TILT Ranger drone на фирмата Inkopova. Дронът осигурява стабилна основа за скенера и е с капацитет на полезен товар над 1 kg (фиг.IV.35). Има вградени функции за „избягване на сблъсъци” и операторски грешки. Системата е лесна за транспортиране и настройка.



Фиг.IV.35. Подземна мобилна сканираща система TILT Ranger

TILT Ranger е снабден с карбонови колела за придвижване по терена и с колела-витла, които му позволяват да лети.

IV.5. Определяне обема на добитата минна маса в прокараните подземни изработки

Основна маркшайдерска задача при подземното разработване на находища е определяне на обемите добита минна маса. Отчетите на тези количества се правят периодично по всяка прокарана изработка, била тя разкриваща, капитална, подготвителна, нарезна или добивна. Както бе казано по-горе, въз основа на тези количества се отчита изпълнението на годишния проект за развитие на рудника и се изчислява възнаграждението на персонала на минно-добивната фирма. Поради тези причини е необходимо определянето

на тези количествени показатели да става с висока точност. Тя се дефинира в Техническата маркшайдерска инструкция.

Подземните минни изработки се характеризират с форми, ограничени от неправилни повърхнини. Това затруднява изчисляването на обемите им и налага използването на различни методи за тази цел. По същество определянето на обеми се свежда до трансформиране на първоначалната форма на пространственото тяло до тела, чиито обеми могат да бъдат аналитично определени [13] и чиято сума да изразява цялостния обем. Изборът на подходящ метод зависи от формата на прокарваната изработка, от пространствената ѝ ориентация, от изменчивостта на ограничаващите я повърхнини, както и от възможностите и характеристиките на наличната измерителна апаратура в маркшайдерския отдел.

В повечето методи за определяне на обеми се изчисляват площи на основите на познати пространствени тела и се определят на място или по аналитичен път височините им. По познати формули се получават обемите.

1. Изчисляване на обеми след определяне по графичен или аналитичен начин на отработени площи

В подготвителни галерии и други линейни изработки:

Определянето на обеми при такива изработки се извършва чрез заснемане на вертикални сечения през еднакъв или променлив интервал между тях. Изчисляват се площите на сеченията по графичен или аналитичен начин. За определяне на обема при успоредни сечения през еднакъв интервал се ползва формулата:

$$V = L \left(\frac{S_k}{2} + S_{k+1} + \dots + S_{n-1} + \frac{S_n}{2} \right) + \Delta V_k + \Delta V_n; \quad (\text{IV.9})$$

където:

L – разстояние между сеченията;

k, n – номера на крайните сечения;

$\Delta V_k, \Delta V_n$ – обеми извън крайните сечения.

Ако интервалите между сеченията са различни, се определят обемите между всички двойки сечения. Познати са и формули за случаи на неуспоредни сечения.

В добивните участъци:

При пластови находища, след заснемане на отработената за известен период от време площ, и в съответствие с изискванията за точност на крайните резултати, може да се приложат графични или аналитични методи за

изчисляване на повърхнината ѝ. При графичните площта се разделя на елементарни фигури (триъгълници, правоъгълници), отмерват се необходимите елементи на фигурите и се изчислява общата повърхнина. На няколко места се измерва дебелината на пласта, изчислява се средната стойност и по формулата $V = S \cdot m_{cp}$ се получава търсеният обем. Ако отработената площ е оконтурена по координати, се ползват показани в т.IV.2 формули за изчисляване на площта. Чрез средната дебелина се изчислява и обемът.

2. Изчисляване на обеми чрез съставени числени модели на изработките

В последните години създаването на числени модели на заснемани обекти се улеснява значително от навлизането на нова техника, технологии и софтуер за обработка. Обектите се подразделят на линейни и площни. При линейните най-често обемите се изчисляват по метода на вертикалните сечения [3]. При площни обекти се използват различни методи, основаващи се главно на определяне на обеми на триъгълни и четириъгълни призми.

Най-често, при създаване на числен модел на подземната изработка, чийто обем се изчислява, той се основава на множество пространствено определени точки, които формират нерегулярна мрежа от триъгълници – TIN (Triangular Irregular Network). Софтуерните продукти използват различни методи за генериране на мрежата. Общият обем се получава като сума от обемите на елементарни пространствени фигури, съставлящи и изпълващи заснетата повърхнина.

Интерес представлява предложени в [5] метод за изчисляване на обема на подземни изработки чрез пространствени триъгълни пирамиди. След заснемане на стените, пода и тавана на минната изработка, се формират триъгълни пирамиди с основи върху заснетата повърхнина и връх при инструмента. Счита се, че триъгълниците най-добре припокриват контурите на изработката. Не се изисква да бъдат с правилна форма, нито да лежат в една равнина. Достатъчно е само заснеманите точки от контурите да бъдат на характерни места. Пространствените координати на върховете на основите на пирамидите се получават при заснемането, а на върха им (инструментът) – чрез снимачната технология. Използват се формули от аналитичната геометрия за определяне уравнението на равнината на основата на всяка от пирамидите, нейната площ, височината на всяко пространствено тяло и съответно неговия обем. Сумата от обемите на всички триъгълни пирамиди формира общия обем на минната изработка. Доказва се, че в оценката на получената стойност, освен грешки при измерванията на ъгли, дължини и превишения, съществено влияние оказват и други фактори – ъгъл на визурата спрямо наблюдаваната повърхнина

[11], вида и отражателните свойства на скалните разновидности [10], наличието на влага във въздуха или вода върху скалите [7 и 9].

Както беше казано в т.IV.4 численият модел на подземните изработки може да се създаде и по фотограметричен начин. Познати са софтуерни продукти в чиято среда също може да се изчисляват обеми на базата на такова заснемане (напр. Mesh Lab и др.). Има реализирани такива решения, напр. в [22]. Получените резултати много добре съответстват на такива, получени с числен модел от заснемане с роботизирана геодезическа станция.

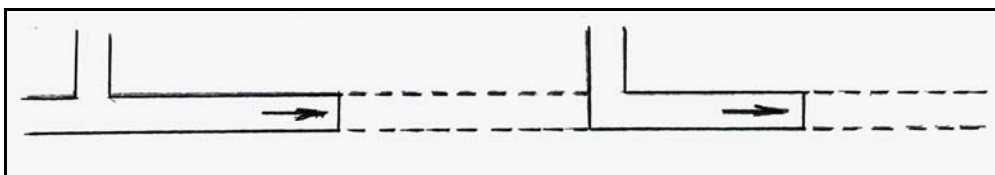
V. Маркшейдерски работи при прокарване на подземни изработки с насрещни забои

V.1. Общи сведения

В съответствие с годишните планове за развитие в подземните рудници се прокарват непрекъснато нови изработки. За част от тях това става чрез технологията с насрещни забои.

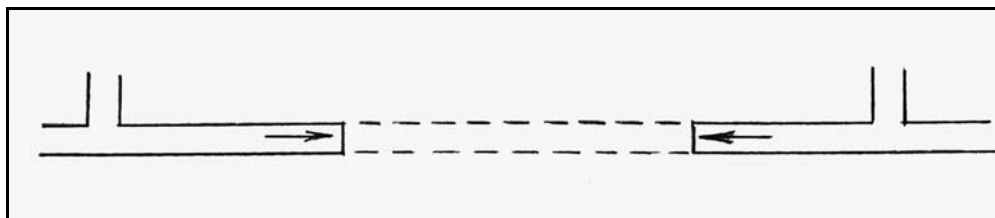
За прокарване на изработки чрез насрещни забои (т.нар. сбойки) се говори при:

- прокарване на една и съща изработка с два или повече забоя, чиито направления са едноточни (догонващи се забои):



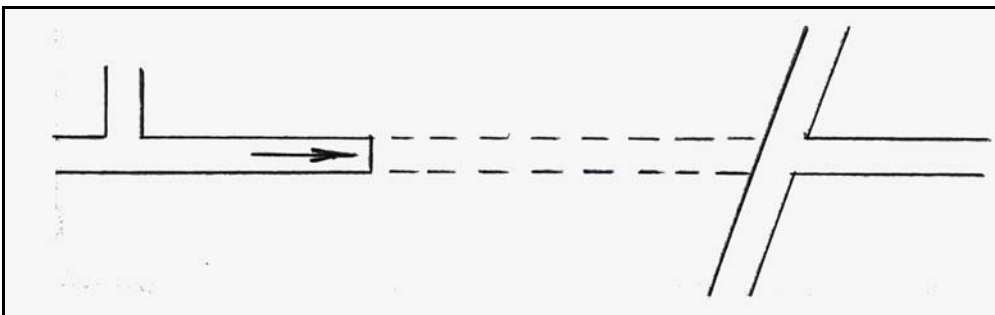
Фиг.V.1. Сбойка с догонващи се забои

- прокарване чрез сближаващи се (срещащи се забои):



Фиг.V.2. Сбойка със срещащи се забои

- прокарване на галерия, когато се цели достигане до съществуваща изработка в точно определена точка:



Фиг.V.3. Сбойка в предварително определена точка от друга изработка

Срещането се извършва в точка от пространството, която е определена предварително с пространствените си координати X_k , Y_k и Z_k .

Допустимите отклонения на срещане при прокарване на главни и второстепенни минни изработки са показани в следната таблица (табл.10, § 227 от Техническата маркшайдерска инструкция-[34]):

Табл.V.1.

Вид на изработките и крепежа	Допустимо отклонение - $M_{дон.}$ [cm]			
	Главни изработки		Второстепенни изработки	
	в хор. равнина	във верт. равнина	в хор. равнина	във верт. равнина
1.Вертикални шахти				
а) дървен крепеж	20	-	40	-
б) бетонен крепеж	10	-	30	-
2.Наклонени изработки ($10\div 60^\circ$)				
а) без крепеж	45	35	60	50
б) дървен крепеж	35	35	50	50
в) бетонен крепеж или зидария	20	20	50	50
3.Хоризонтални изработки				
а) без крепеж	50	30	60	30
б) дървен крепеж	40	30	50	30
в) бетонни сегменти	35	25	40	30
г) зидария	30	20	40	25
4.Рудоспусъци, въглеспусъци и комини				
а) дървен крепеж	50	-	50	-
б) бетонен крепеж или зидария	30	-	30	-

Съгласно инструкцията, ръководството на минното предприятие може да определи и различни стойности (включително и по-големи) на допустимите отклонения в зависимост от технологичните нужди за всеки конкретен случай.

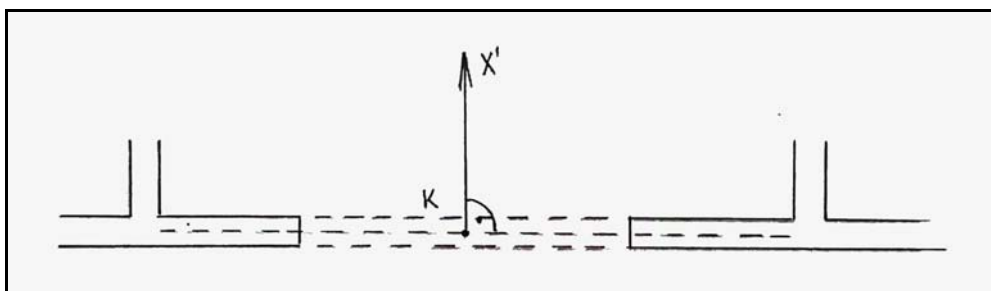
Задачи на маркшайдера при прокарване на подземни изработки с насрещни забои

При прокарване на минни изработки с насрещни забои маркшайдерът изпълнява [29] следните задачи:

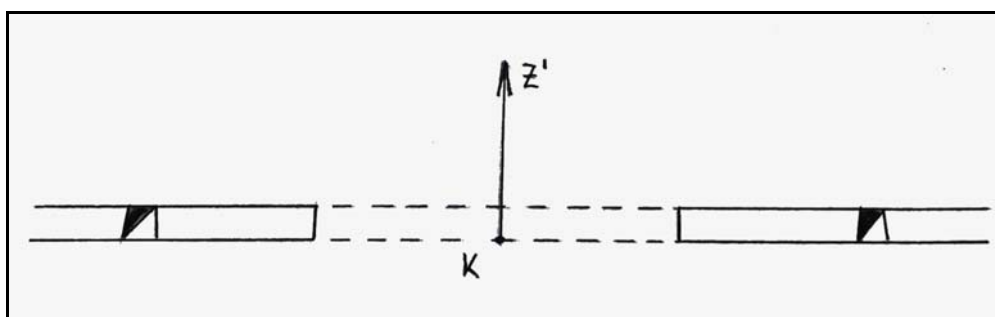
- изработване на схема на съществуващите и проектните изработки и определяне на предполагаемото място на срещане;

- избор на инструменти и методика на изпълнение на всички видове маркшайдерски измервания;

- оценка на точността на срещане на забоите чрез предварително изчисляване на очакваната грешка по *отговорното направление* - Mx' и Mz' (отговорно направление в хоризонталната равнина е посоката x' , перпендикулярна на надлъжната ос на изработката в мястото на срещане; отговорно направление във вертикалната равнина е посоката на вертикална права z' , която преминава през точката на срещане на забоите);



Фиг.V.4. Отговорно направление в хоризонталната равнина



Фиг.V.5. Отговорно направление във вертикалната равнина

- изчисляване на пределното несъвпадение $Mx'_{пред.}$ и $Mz'_{пред.}$ на срещане на забоите:

$$M_{x'_{пред.}} = \frac{k.M_{x'}}{\sqrt{2}}; \quad M_{z'_{пред.}} = \frac{k.M_{z'}}{\sqrt{2}}; \quad (V.1)$$

където:

k - коефициент, отчитащ доверителната вероятност (обикновено приема стойност 3);

$\sqrt{2}$ - показва, че крайните резултати са получени като средни от два полигонови хода.

- сравняване на изчислената пределна грешка $Mx'_{пред.}$ и $Mz'_{пред.}$ с допустимата за съответния вид изработка, наклон и крепеж;

- ако пределната грешка е по-голяма от допустимата, се прави корекция на проекта за сбойката, като може да се променят инструментите (да

се изберат по-точни), начинът на измерване на ъглите, на дължините, нивелацията, формата на полигона и т.н. След това отново се изчислява пределната грешка;

- извършване на маркшайдерски снимки в съответствие с избраната методика за измерване на ъгли, линейни и височинни величини;
- изчисляване на трасировъчните данни (ъгли, дължини, наклони);
- задаване и контролиране на направлението на прокарваните изработки чрез периодични маркшайдерски снимки;
- определяне на фактическото несъвпадение на сбойката след срещането на забоите и сравняване с предварително изчисленото.

Преди прокарването на по-значими минни изработки чрез сбойки, се изработва *проект за маркшайдерското обслужване*. Проектът се състои от:

- обяснителна част;
- изчислителна част;
- графична част.

В обяснителната част трябва да бъде посочена целта за прокарване на изработката, геоложката среда, технологията на прокарване, вида на крепежа, организацията на работа, снимачната основа, състоянието на маркшайдерските точки, възможностите за контролни измервания.

В изчислителната част се посочва:

- решението на техническото ръководство на рудника за допустимото разминаване по отговорните направления – $M_{доп.}$;
- изчисленото очаквано разминаване (Mx' и Mz') в отговорните направления в мястото на срещане на двата забоя;
- методиката на измерване и използваните инструменти.

В графичната част на проекта трябва да се покажат съществуващите и новопроектираните минни изработки, очакваното място на срещане на двата забоя и т.н.

Ежедневно в подземните рудници се извършват сбойки за нуждите на ефективното производство и безопасната работа. Като част от задачите, които маркшайдерската служба извършва при подземното разработване на находища, е осигуряването на условия за точно срещане на забоите в пространството.

Един пример за успешно извършена отговорна сбойка у нас:

През 1976-1978 г., под ръководството на четирима преподаватели от катедра „Маркшайдерство” (проф. Никола Цонков, проф. Борис Стоянов, проф. Милчо Петров и доц. Любомир Малинов) е осъществена сбойка на изработка с дължина 6341 м под Стара планина. Галерията свързва открития рудник

„Елаците” и обогатителна фабрика „Мирково” и служи за транспортиране с гумено-транспортна лента на добитата руда. За осигуряване на единна координатна основа през билото на планината е изградена триангулационна мрежа. Извършени са многобройни ъглови, линейни и височинни измервания, както на земната повърхност, така и в новопрокарваната изработка. При срещането на двата забоя е постигнато несъвпадение в хоризонталната равнина 48 mm, а във вертикалната 72 mm.

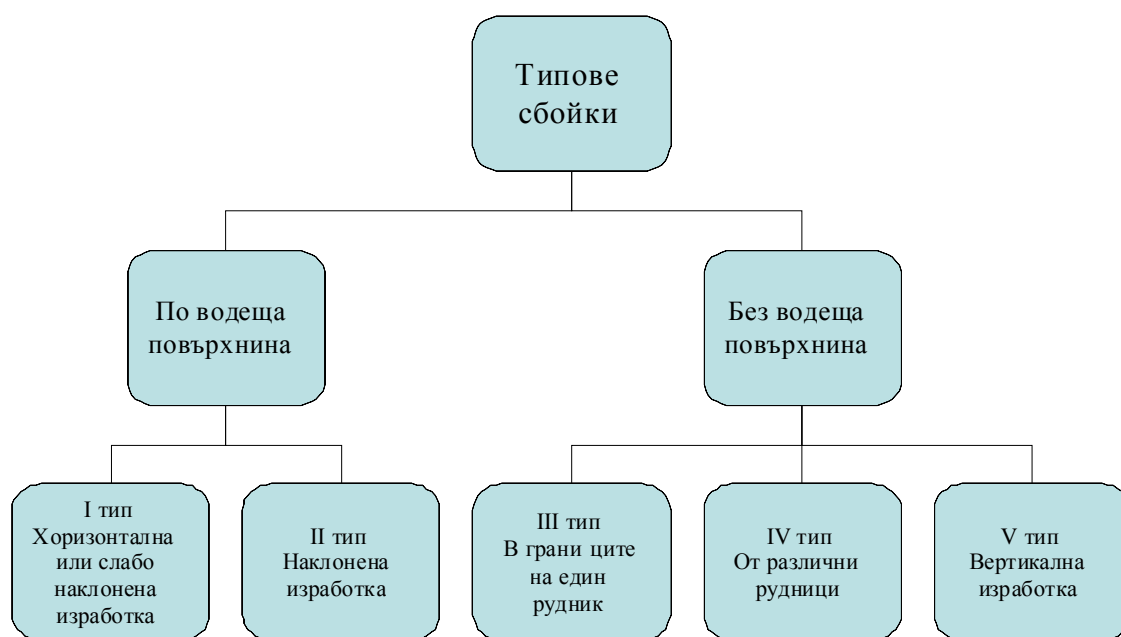
V.2. Типове сбойки

Извършваните в рудниците сбойки се класифицират в две групи.

Когато сбойката се извършва по съществуваща в масива повърхнина (горнище или долнище на пласт, геоложко нарушение, граница между различни видове скали и др.), се нарича „сбойка по водеща повърхнина”. Повърхнината трябва да бъде със запазващи се елементи на залягане в зоната, където ще се осъществява сбойката.

Ако няма такава водеща повърхнина – се нарича „сбойка без водеща повърхнина”.

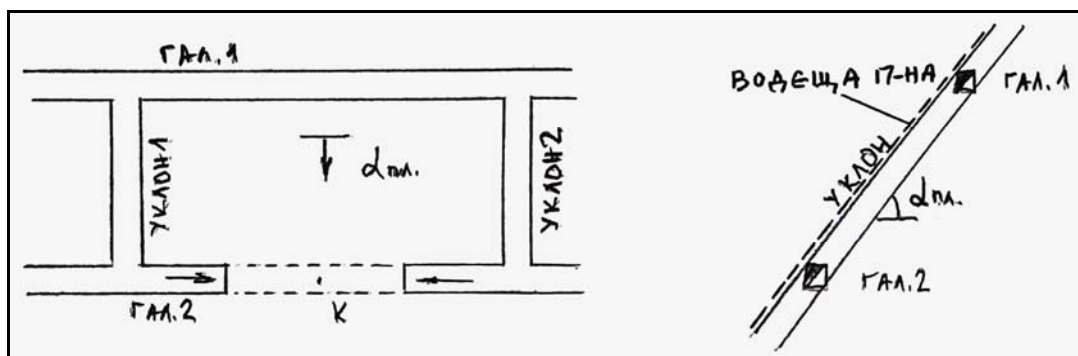
Познати са пет типа сбойки. Те са разпределени в две групи по следния начин:



Фиг.V.6. Типове сбойки

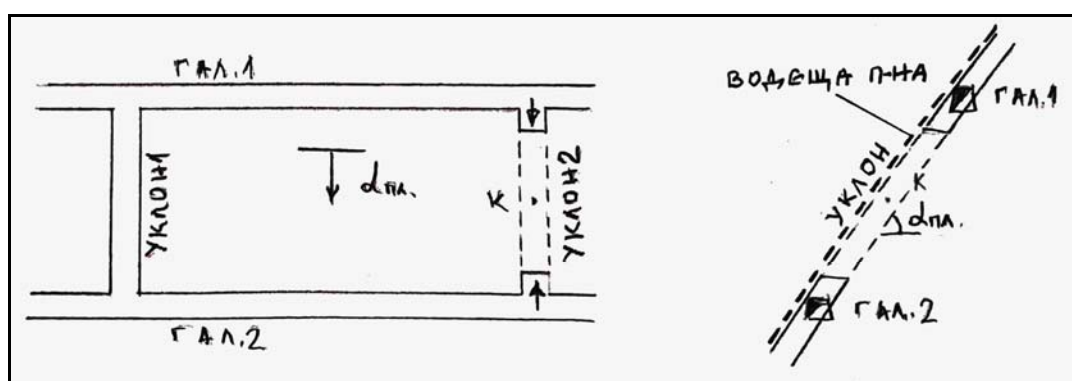
По водеща повърхнина:

I тип - сбойка на хоризонтални или слабо наклонени изработки - галерия между два уклона:



Фиг.V.7. Първи тип сбойка

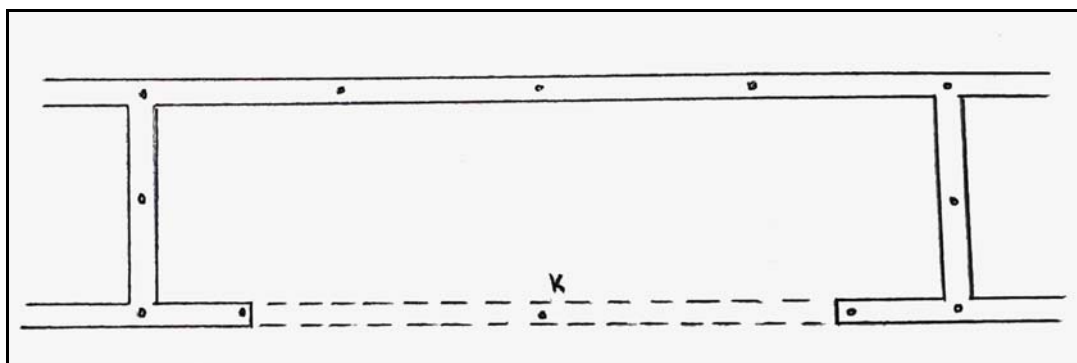
II тип - сбойка на наклонени изработки – прокаране на уклон с два забоя:



Фиг.V.8. Втори тип сбойка

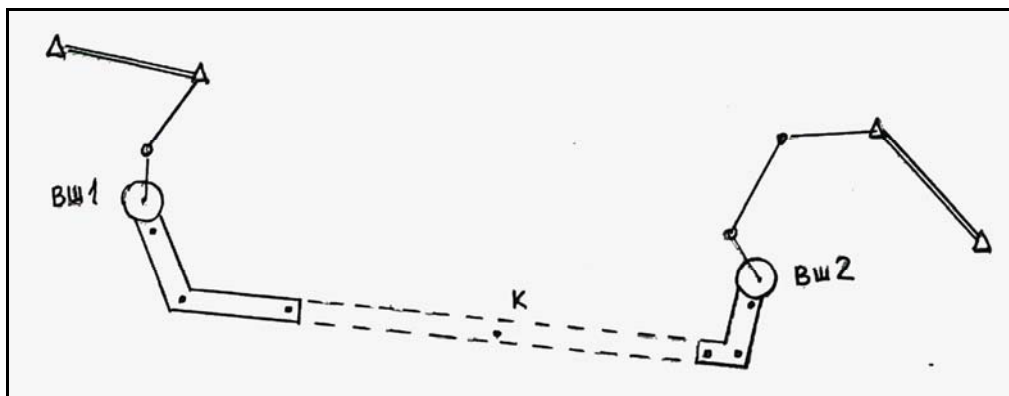
Без водеща повърхнина:

III тип – сбойка на хоризонтални или наклонени изработки в границите на един рудник (съществува подземна връзка между забоите по която може да се прокара полигонов ход):



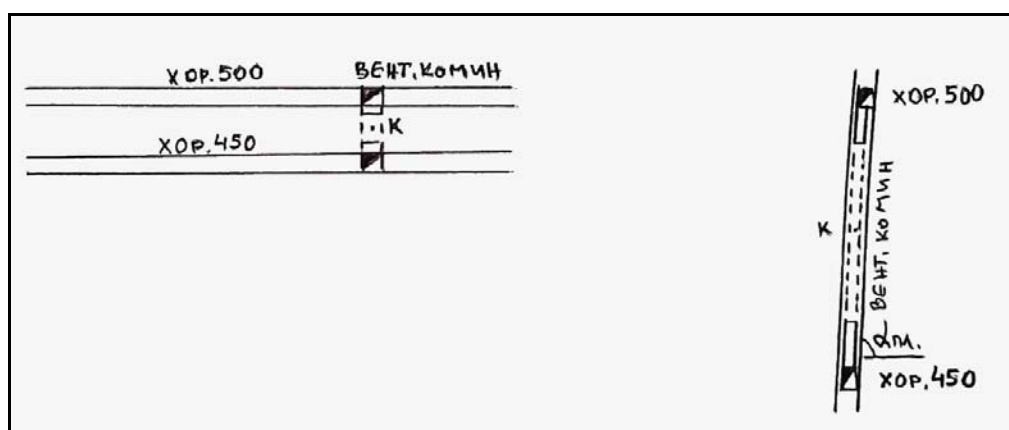
Фиг.V.9. Трети тип сбойка

IV тип - сбойка на хоризонтални или наклонени изработки от различни рудници (липсва подземна връзка между забоите по която може да се прокара полигонов ход):



Фиг.V.10. Четвърти тип сбойка

V тип - сбойка на вертикални изработки – вертикална шахта, комин между два хоризонта:



Фиг.V.11. Пети тип сбойка

При прокарване на изработки чрез сбойки, контролната хоризонтална и височинна снимка се извършват, съгласно Техническата маркшайдерска инструкция, при напредване на забоите през 200 метра.

В зависимост от конкретните минно-геоложки условия (наклон, наличие на водеща повърхнина) направлението се задава само в хоризонталната или само във вертикалната равнина или и в двете едновременно.

Грешки на срещане в отговорното направление при сбойки

В най-общ вид грешката на срещане в отговорното направление в хоризонталната равнина зависи от:

- грешки при ориентиране на полигоните в срещащите се галерии;
- грешки при измерване на хоризонталните ъгли;
- грешки при измерване на дължините на полигоновите страни.

Грешката на срещане в отговорното направление във вертикалната равнина, при сбойка от различни рудници, зависи от:

- грешки при пренасяне на котата от повърхността в рудника;
- грешки при извършване на нивелацията на повърхността;
- грешки при извършване на нивелацията в рудника.

При сбойка в границите на един рудник, грешката на срещане в отговорното направление във вертикалната равнина, зависи от:

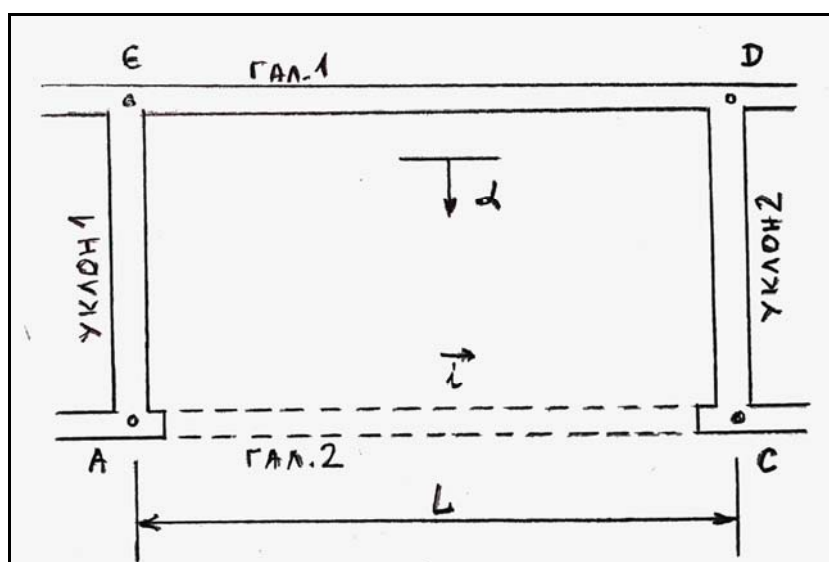
- грешки при извършване на нивелацията в рудника.

V.2.1. Прокарване на изработки с насрещни забои по водеща повърхнина (I-ви и II-ри тип сбойки)

Характерен пример за сбойка от I тип по водеща повърхнина е прокарване на хоризонтална или слабонаклонена галерия между два уклона.

Възможни са два варианта [14].

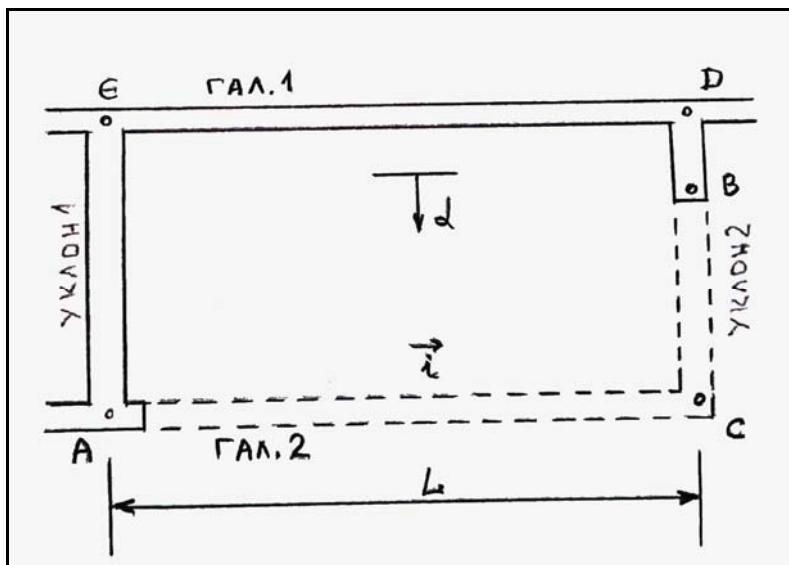
Първи вариант – и двете наклонени изработки са прокарани до мястото на разсичане на проектираната изработка (А - С).



Фиг.V.12. Пример за сбойка от първи тип – първи вариант

В проекта на сбойката предварително са определени дължината (L) и наклона (i) на новопрокарваната изработка. Чрез нивелация се определят надморските височини на т.А и т.С. Съставя се проектен надлъжен профил за участъка АС и с напредване на двата срещуположни забоя с регулярна нивелация се контролира съвпадането на проектните и действителните коти на пода на изработката. При установяване на разлики се дават указания за изменение на направлението на забоя по посока на задигане или на западане на водещата повърхнина. Спазването на проектните коти на прокарваната изработка гарантира точно срещане в оста на галерията.

Втори вариант – едната от наклонените изработки трябва да бъде прокарана до мястото на разсичане на новата галерия (т.С) и впоследствие да се прокара хоризонталната изработка (А - С).



Фиг.V.13. Пример за сбойка от първи тип – втори вариант

В този случай е необходимо да се определи с колко трябва да се удължи наклонената изработка до достигане на проектната кота в т.С, от която ще започне разсичане на проектираната хоризонтална изработка. Чрез геометрична и тригонометрична нивелация се определя надморската височина на т.А и т.В. Изчислява се проектната кота на т.С чрез котата на т.А, проектното разстояние L и наклона i .

$$Z_C = Z_A \pm i.L. \quad (V.2)$$

Тъй като новопрокарваната наклонена изработка запазва наклона на водещата повърхнина, е необходимо да се определи само наклонената ѝ дължина (В - С):

$$BC_{\text{накл.}} = \frac{\Delta h_{BC}}{\sin \alpha}, \quad (V.3)$$

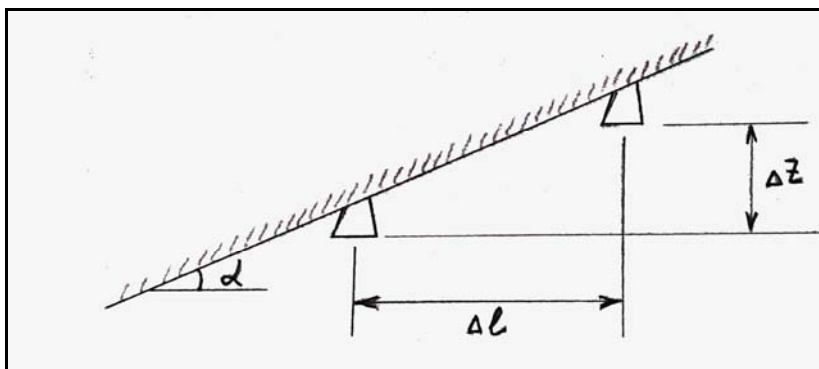
където: Δh_{BC} е превишението между т.В и т.С;

α е ъгъл на наклона на водещата повърхнина.

По-нататък се процедира както при първия вариант.

За осъществяването на I тип сбойка е необходимо извършването само на геометрична (в хоризонталните и слабонаклонени участъци) и тригонометрична (в наклонените участъци) нивелация. Препоръчва се извършването на сбойка от този вид при наклон на водещата повърхнина над 15° .

Поради неизбежни грешки при геометричната и тригонометричната нивелация е възможно двата срещуположни забоя в проектираната хоризонтална изработка да се разминат във вертикалната равнина с величината ΔZ :



Фиг.V.14. Връзка между вертикално и хоризонтално разминаване

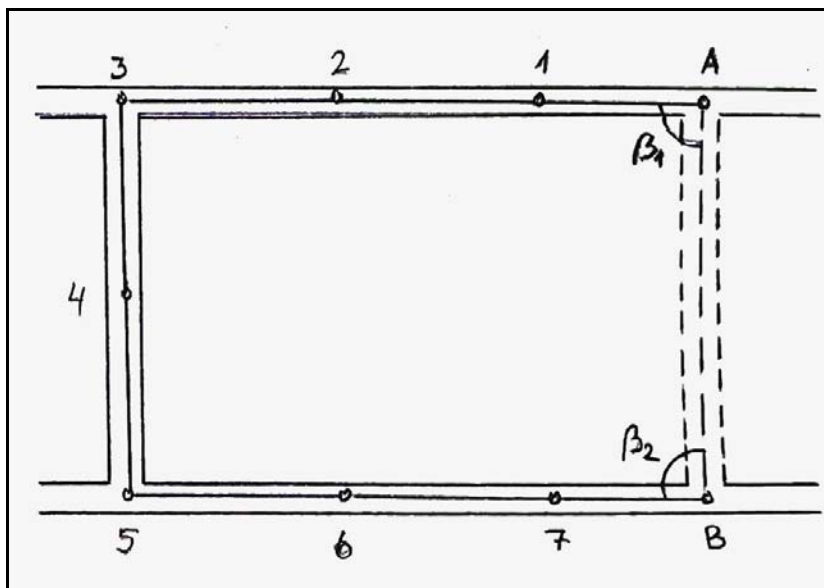
Това ще доведе до разминаване в хоризонталната равнина с величината Δl :

$$\Delta l = \Delta Z \cdot \text{ctg} \alpha . \quad (\text{V.4})$$

Колкото ъгълът на наклона на водещата повърхнина е по-голям, толкова разминаването в хоризонталната равнина ще е по-малко и обратното.

При сбойка от II тип направлението се задава само чрез ъглови измервания, без да се извършва нивелация [14]. Пример за такъв вид сбойка е прокарването на наклонена изработка по водеща повърхнина.

Първи вариант – когато началните точки (A и B) на новата изработка са известни:



Фиг.V.15. Пример за сбойка от втори тип – първи вариант

В този случай се спазва следния ред за работа:

- в галериите се стабилизират точките A и B , които се свързват с полигонов ход от първи или втори ред ($A - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - B$). Желателно е той да преминава по най-късия път между двете точки и да има изпъната форма;

- изчисляват се координатите на полигоновите точки и посочните ъгли на страните (решаването на полигона може да стане и в условна координатна система);

- изчислява се посочния ъгъл на оста на новата изработка:

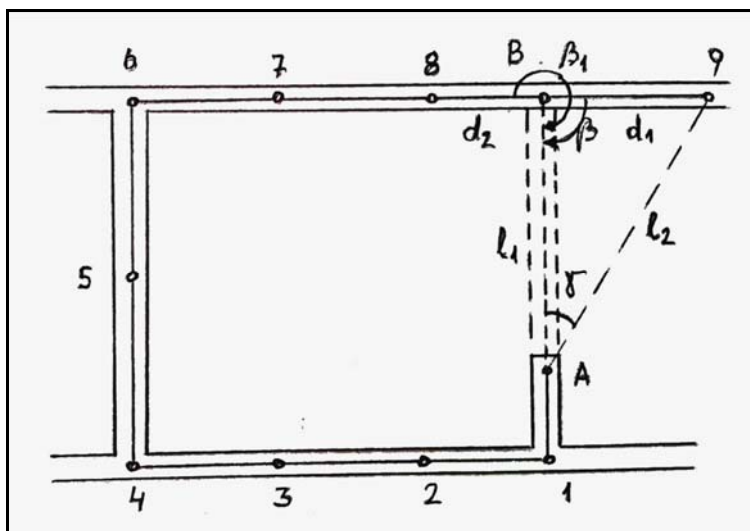
$$\alpha_{AB} = \arctg \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; \quad (V.5)$$

- изчисляват се трасировъчните ъгли β_1 и β_2 като разлики между посочните ъгли на страните AI и AB ; BA и $B7$;

- задава се направлението на забоите по известните вече начини;

- извършва се непрекъснат контрол на направлението и при необходимост, след попълване на снимката, се коригират.

Втори вариант – когато новата изработка е започната от едната страна и при запазване на направлението ѝ се търси мястото в другата галерия на началото на срещуположния забой.



Фиг.V.16. Пример за сбойка от втори тип – втори вариант

И в този случай е положен първореден или второреден полигонов ход $A - I - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9$, като се спазва изискването точките A и I да са в оста на новата наклонена галерия.

Измерват се ъглите и дължините на страните на полигона. Изчисляват се координатите на полигоновите точки.

Мястото на началото на втория забой (т. B) може да се определи по един от следните начини:

1. Аналитичен начин. Тъй като координатите на точките A , I , 8 и 9 са известни, може да се определят координатите на т. B след като се реши следната система от две уравнения:

$$\begin{aligned} Y_B - Y_A &= tg \alpha_{1,A} (X_B - X_A); \\ Y_B - Y_8 &= tg \alpha_{8,9} (X_B - X_8). \end{aligned} \quad (V.6)$$

Методът на решение е познат от математиката при намиране пресечната точка на две прави.

За определяне точното място на т.В в галерията, се изчисляват още разстоянията d_1 и d_2 до двете съседни полигонови точки – 8 и 9:

$$d_1 = \frac{Y_9 - Y_B}{\sin \alpha_{8,9}} = \frac{X_9 - X_B}{\cos \alpha_{8,9}} = \sqrt{\Delta X_{B,9}^2 + \Delta Y_{B,9}^2}, \quad (V.7)$$

$$d_2 = \frac{Y_B - Y_8}{\sin \alpha_{8,9}} = \frac{X_B - X_8}{\cos \alpha_{8,9}} = \sqrt{\Delta X_{8,B}^2 + \Delta Y_{8,B}^2}.$$

От посочните ъгли на страните 8 – 9 и А – 1 се изчислява трасировъчния ъгъл β . От котите на т.В и т.А се определя наклона между тях:

$$i = \frac{\Delta h}{l_1}. \quad (V.8)$$

2. Тригонометричен начин. Необходимите за трасиране на направлението на оста на изработката и на т.В елементи се определят от триъгълника АВ9.

От координатите на т.А и т.9 се изчислява посочния ъгъл $\alpha_{A,9}$:

$$tg \alpha_{A,9} = \frac{Y_9 - Y_A}{X_9 - X_A}. \quad (V.9)$$

Определя се и разстоянието $l_2 = A9$:

$$l_2 = \frac{Y_9 - Y_A}{\sin \alpha_{A,9}} = \frac{X_9 - X_A}{\cos \alpha_{A,9}} = \sqrt{\Delta X_{A,9}^2 + \Delta Y_{A,9}^2}. \quad (V.10)$$

От посочните ъгли на страните 8 – 9 и А – 1; А – 9 и 1 – А се изчисляват ъглите β и γ .

Хоризонталните разстояния d_1 и l_1 се получават по синусовата формула:

$$d_1 = \frac{l_2}{\sin \beta} \sin \gamma \quad \text{и} \quad l_1 = \frac{l_2}{\sin \beta} \sin(\beta + \gamma), \quad (V.11)$$

а наклоненото чрез

$$l_{1\text{накл}} = \frac{\Delta h}{\sin \delta}. \quad (V.12)$$

За контрол изчисленията се повтарят за триъгълник АВ8. От него се определят разстоянието d_2 и трасировъчния ъгъл β_1 .

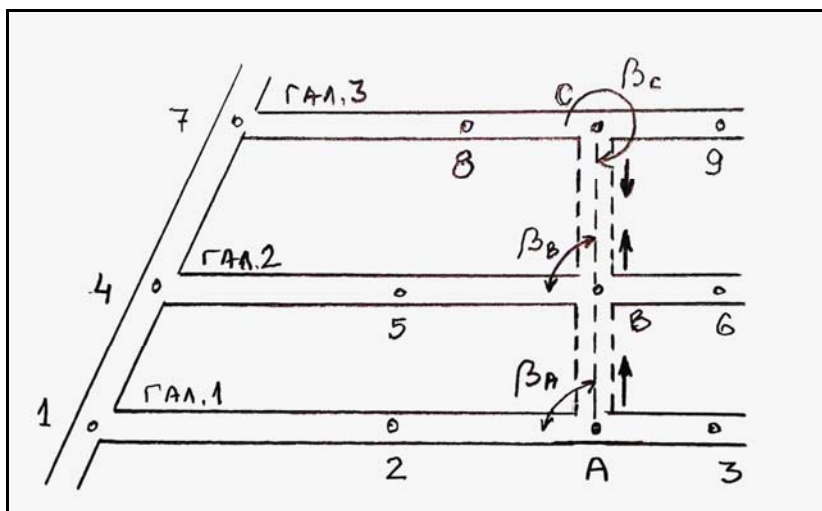
3. Графичен начин. Върху план в едър мащаб се нанасят по координати т.А, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. При продължаване на оста на изработката (1 – А) до полигоновата страна 8 – 9 се намира т.В. В галерията мястото на т.В се определя чрез измерване на графически определените разстояния d_1 и d_2 . Трасировъчният ъгъл β също се измерва по графичен начин.

Графичният начин не е достатъчно точен и трябва да се използва само когато прокарваната изработка е къса и не се изисква висока точност при срещане на забоите.

V.2.2. Прокарване на изработки с насрещни забои без водеща повърхнина (III-ти и IV-ти тип сбойки)

При сбойка от III тип се извършва срещане на забоите на новопрокарваните галерии *в границите на един рудник*. Понятието „в границите на един рудник” не означава непременно срещашите се изработки да се намират в административната територия на един и същ рудник. Определящо при този тип сбойка е условието за наличие на подземна връзка между забоите. Поради липса на водеща повърхнина направлението на забоите се задава и контролира както в хоризонталната, така и във вертикалната равнина. Предварителното изчисляване на очакваната грешка при срещане на забоите се извършва след анализ на предвидените полигонови и нивелачни измервания.

В конкретния пример на фигурата по-долу (фиг.V.17) е показана схема на сбойка от III тип, при която е необходимо да се прокара нова изработка, свързваща съществуващите галерии 1, 2 и 3. Предвижда се участък *BC* да бъде прокаран с два насрещни забоя, а участък *AB* – с догонващ забой от галерия 1 до галерия 2. В галериите са стабилизирани предварително точките 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9.



Фиг.V.17. Пример за сбойка от трети тип

Редът за работа включва:

- извършват се полигонови измервания в трите съществуващи галерии;
- изчисляват се посочните ъгли на полигоновите страни и координатите на точките;
- от точки 2, 5 и 8 се трасират точките *A*, *B* и *C* с изчислени предварително трасировъчни разстояния $S_{2,A}$, $S_{5,B}$ и $S_{8,C}$;
- между точките *A*, *B* и *C* по съществуващите изработки се прокарва нивелачен ход и се определят котите им – H_A , H_B , H_C .

- изчисляват се трасировъчните ъгли β_A , β_B и β_C и наклоните i_{AB} и i_{BC}

$$i_{AB} = \operatorname{tg} \delta_{AB} = \frac{H_A - H_B}{S_{AB}}, \quad (\text{V.13})$$

$$i_{BC} = \operatorname{tg} \delta_{BC} = \frac{H_B - H_C}{S_{BC}}.$$

- на място се трасират ъглите β_A , β_B и β_C и проектните наклони.

С напредването на забоите геометричните елементи на сбойката се контролират с хоризонтална и вертикална снимка.

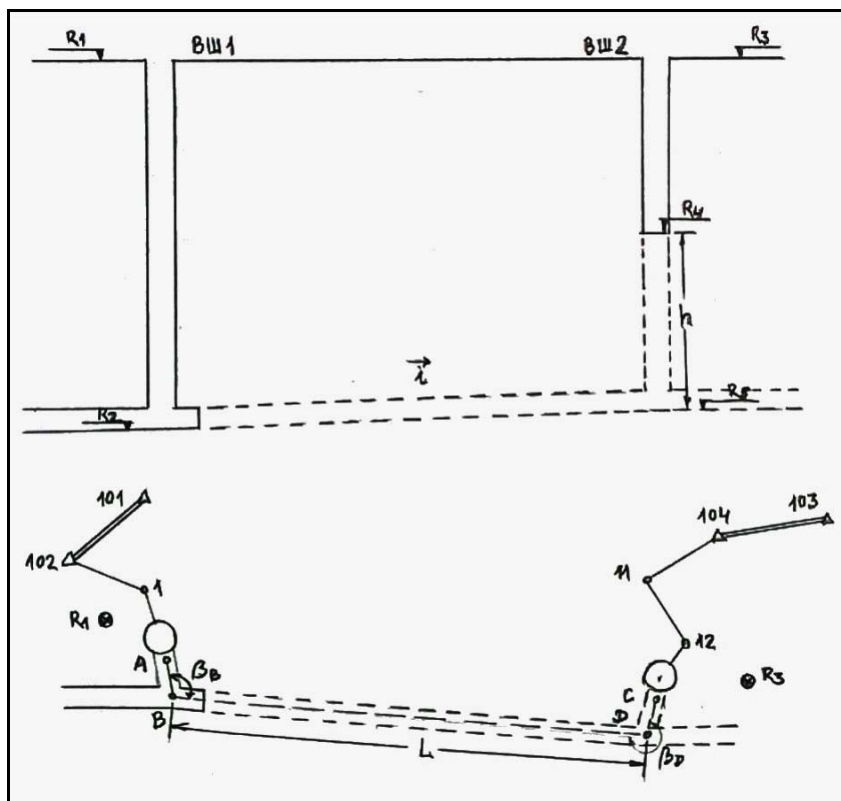
Сбойка от IV тип (сбойка от различни рудници) се прилага когато не съществува подземна връзка между срещашите се забои по която да може да се прокара полигонов ход. Изисква се двата рудника (или несвързани подземно участъци от един рудник) да бъдат в една и съща координатна система.

Пример за този вид сбойка е прокаране на травербан между две вертикални шахти. Възможни са два варианта [14, 28]:

- *първи вариант* – двете шахти са удълбани до проектния хоризонт, от който започва разсичането на забоите;

- *втори вариант* – едната от шахтите трябва да се доудълбае, за да се достигне до проектния хоризонт и след това да започне разсичането на забоите.

Тъй като вторият вариант съдържа първия, тук се разглежда само него.



ВШ1 е достигнала нивото на проектирания свързващ травербан. Прокарани са изработките от рудничния двор, извършена е хоризонтална съединителна снимка (т.А и т.В са изходни за теодолитните полигони) и вертикална съединителна снимка (от репера R_1 на повърхността е пренесена котата на R_2 в рудничния двор). ВШ2 е достигнала ниво, което е по-високо от проектното.

Подготвителните работи включват стабилизиране на нивелачен репер R_3 до устието на ВШ2 и определяне на превишението между него и репера до ВШ1 – R_1 . До забоя във ВШ2 се стабилизира репер R_4 и се определя котата му чрез репер R_3 .

Чрез проектния наклон i се изчислява проектното ниво на репер R_5 в рудничния двор на ВШ2:

$$H_{R_5} = H_{R_2} \pm i.L; \quad (V.14)$$

А в последствие и дължината на удълбаването (h) на ВШ2:

$$h = H_{R_4} - H_{R_5}. \quad (V.15)$$

След прокарване на ВШ2 до проектното ниво се извършва хоризонтална съединителна снимка във ВШ2; координират се т.С и т.Д, които са изходни за полигоновите ходове; определят се котите на същите точки чрез репер R_5 ; изчисляват се посочния ъгъл на оста на травербана - α_{BD} , трасировъчните ъгли β_B и β_D и наклона (i) на оста на травербана.

Трасирането на място включва отмерване на трасировъчните ъгли β_B и β_D и наклона (i) на оста на травербана.

Геометричните елементи на сбойката се контролират с хоризонтална и вертикална снимка.

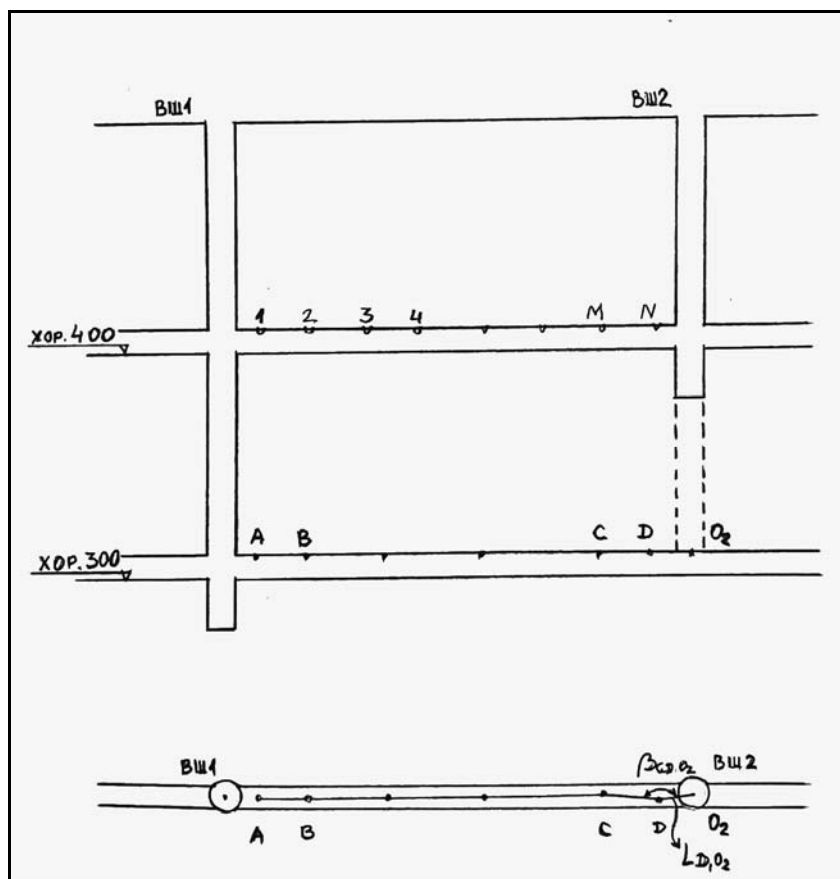
В практиката са възможни и много други варианти на разположение на съществуващите и новопрокарваните изработки.

V.2.3. Прокарване на вертикални изработки с насрещни забои (V-ти тип сбойка)

При сбойка от V тип се извършва срещане на забоите при прокарване на вертикална или силно наклонена минна изработка – вертикална шахта, комин между два хоризонта и т.н.

Главната задача на маркшайдерските работи е да се определи мястото на центъра на вертикалната изработка. Тъй като изискванията за точност на срещане са много високи, е необходимо преди започване да се направи предварително изчисляване на очакваната грешка и въз основа на това да се избере както правилна и надеждна методика за измерване на ъглите и дължините на полигоните, така и инструменти с подходящи характеристики.

По-долу е показана схема на сбойка на вертикална минна изработка.



Фиг.V.19. Пример за сбойка от пети тип

ВШ1 е разкрила хоризонти 400 и 300, а ВШ2 – хоризонт 400. Целта е ВШ2 да достигне до хоризонт 300, като прокараването ѝ се води във възходящ ред. Изисква се на хоризонт 300 да се определи центъра на вертикалната изработка и да се покаже посоката на главната ѝ ос.

През ВШ2 се извършва хоризонтална и вертикална съединителна снимка за хоризонт 400 и се развива първореден полигонов ход до ВШ1.

През ВШ1 се извършва хоризонтална и вертикална съединителна снимка за хоризонт 300, определят се координатите и котите на изходните за хоризонт 300 полигонови точки (т.А и т.В). От тях се развива първореден полигонов ход до т.С и т.Д, които са подходни за определяне на центъра (т.О₂) и на главната ос на ВШ2 на хор. 300.

Изчисляват се :

- посочният ъгъл на правата на която лежи центъра на ВШ2 (О₂) и точка D на хоризонт 300 по формулата:

$$\alpha_{D,O_2} = \arctg \frac{Y_{O_2} - Y_D}{X_{O_2} - X_D}; \quad (V.16)$$

- трасировъчният ъгъл β_{C,D,O_2} чрез двата посочни ъгъла $\alpha_{C,D}$ и α_{D,O_2} ;

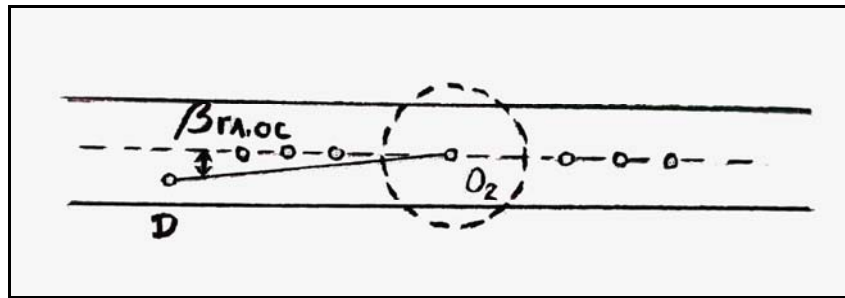
- хоризонталното разстояние от т. D до центъра на ВШ2 – т. O_2 :

$$L_{D,O_2} = \sqrt{\Delta X_{D,O_2}^2 + \Delta Y_{D,O_2}^2} ; \quad (V.17)$$

- ъгълът между главната ос на ВШ2 и направлението на последната полигонова страна DO_2 – $\beta_{гл.ос}$.

На място се трасират:

- от т. D – $\beta_{с, D, O_2}$ и L_{D, O_2} . Центърът на вертикалната шахта се обозначава с временен знак;



Фиг.V.20. Трасиране на посоката на главната ос на шахтата

- от центъра на ВШ2 (O_2) се визира към т. D и се отмерва ъгъл $\beta_{гл.ос}$;
- в тази посока се стабилизират три точки, извън сечението на новата шахта, които указват главната ос на прокарваната вертикална шахта на хоризонт 300;
- след това се трасират и стабилизират и останалите точки, също извън сечението на шахтата, от главната и второстепенната ѝ ос.

VI. Грешки при измерванията

При геодезическите и маркшайдерските работи често една и съща величина се измерва няколко пъти. Получават се резултати, които се различават един от друг с известни, малки по абсолютна стойност величини, наречени *грешки на измерванията*. Това означава, че всеки от резултатите се отличава от истинската стойност на измерваната величина.

Грешките произлизат главно от несъвършенството на инструментите и на сетивните органи на наблюдателя, както и от влиянието на външните условия, при които се извършват измерванията.

VI.1. Видове грешки, свойства, мерки за точност на измерванията

Грешките при измерванията се подразделят на *груби*, *систематични* и *случайни*.

а) *Груби грешки*. Предизвикани са от невниманието на наблюдателя при измерването. Това са грешки, чиито размер е по-голям от приетата точност на измерването. При повторни или контролни измервания лесно се откриват и отстраняват.

Примери: - пропускане на цяла дължина на лента, метър или дециметър при измерване на дължини;
- погрешно отчитане на цяло деление на лимба при измерване на ъгли;
- погрешно записване на резултатите (напр. 158 вместо 185).

б) *Систематични грешки*. При извършване на измерване запазват един и същ знак (само положителен или само отрицателен), и една и съща стойност или се изменят по определен закон.

Примери: - систематични грешки с постоянна стойност – грешка в дължината, измерена с неточна ролетка;
- систематични грешки с периодично променлива стойност – грешка при измерване на хоризонтални ъгли при нехоризонтиран инструмент;
- систематични грешки с непостоянна стойност – грешка при измерване на дължини, поради неточно поставяне на ролетката в посока на измерваната права.

Систематичните грешки с постоянна и периодично променлива стойност могат да бъдат открити и отстранени като се смени инструментът или наблюдателят, или като измерванията се извършат при други атмосферни условия. Когато се знае причината, която ги предизвиква, систематичните грешки може да бъдат изчислени и резултатът да се поправи.

в) *Случайни грешки*. Тези грешки неизбежно придружават всяко измерване. Те произлизат от непостоянни и неправилно действащи източници и се явяват ту положителни, ту отрицателни, както и с различна големина. Източници на случайните грешки са несъвършенството на наблюдателя, конструктивните недостатъци на използваните инструменти, неидеалните външни условия при измерванията.

Примери: - грешка при преценка на око милиметрите на сантиметровото деление на латата при нивелация;
- грешка при отчитане по скалата при измерване на ъгли.

В *теорията на грешките и метода на най-малките квадрати* се разглеждат само случайните грешки.

Свойства на случайните грешки

I свойство – За дадени условия, при измерване случайните грешки не могат да превишат по абсолютна стойност известна величина;

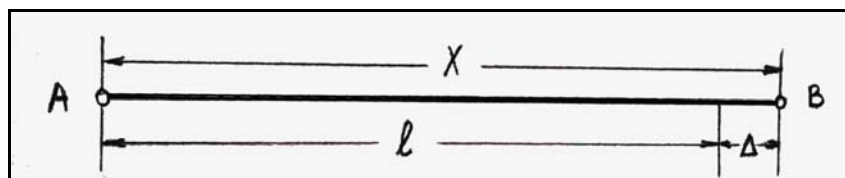
II свойство – Малките по абсолютна стойност грешки се явяват по-често, отколкото големите;

III свойство – Положителните и равните им по абсолютна стойност отрицателни грешки се явяват еднакво често, т.е. са еднакво вероятни;

IV свойство – С увеличаване на броя на измерванията средната аритметична стойност от случайните грешки при измервания с еднаква точност на една и съща величина, се стреми към нула, а при безкрайно голям брой измервания, тя е равна на нула.

Истинската случайна грешка Δ_i на измерване представлява разликата между истинската стойност X на величината и получения резултат l_i от измерването:

$$\Delta_i = X - l_i. \quad (\text{VI.1})$$



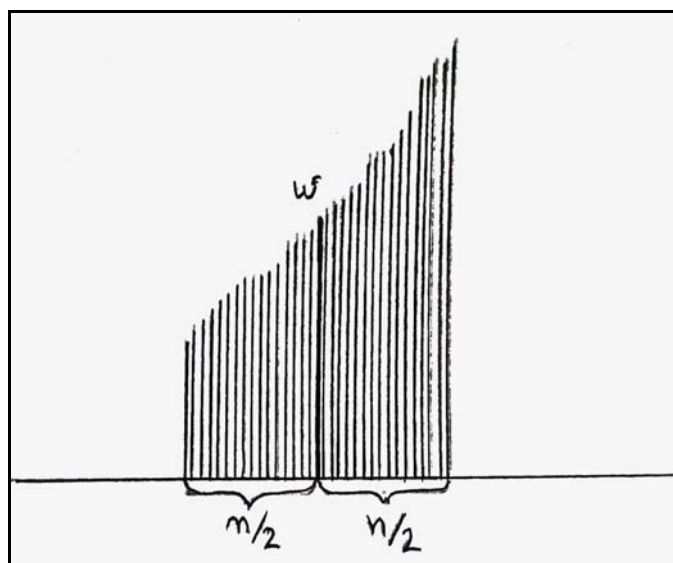
Фиг. VI.1. Истинска случайна грешка

Мерки за точност на измерванията

Точността на резултатите от измерванията се преценява по големината на техните грешки – колкото грешката е по-малка, толкова измерването е по-точно.

За оценката е необходима мярка за точността на резултатите от измерванията. В теория на грешките са приети следните мерки за точност: *вероятна грешка, средноаритметична грешка, средна квадратна грешка, допустима грешка, относителна грешка.*

а) *Вероятна грешка (ω)* – стойност на случайна грешка, по отношение на която половината от абсолютните стойности на случайните грешки от дадено измерване са по-големи, а другата половина – по-малки. Ако истинските грешки на измерването се наредят по възходящ ред на абсолютните им стойности, вероятната грешка ще бъде в средата на този ред.



Фиг. VI.2. Вероятна грешка – ω

б) *Средна аритметична грешка (s)* – това е средната аритметична от абсолютните стойности на истинските грешки от даден ред измервания:

$$s = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + \dots + |\Delta_n|}{n} = \frac{[\Delta_i]}{n}; \quad (\text{VI.2})$$

където: Δ_i – абсолютни стойности на истинските грешки;
 n – брой на измерванията.

в) *Средна квадратна грешка (m)* – равна е на квадратен корен от сумата от квадратите на истинските грешки, разделена на броя на грешките:

$$m^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n} = \frac{[\Delta_i \Delta_i]}{n}; \quad (\text{VI.3})$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta_i \Delta_i]}{n}} \text{ - формула на Гаус.} \quad (\text{VI.4})$$

Един ред от измервания е толкова по-точен, колкото е по-малка неговата средна квадратна грешка.

Между вероятната (ω), средната аритметична (s) и средната квадратна грешка (m) съществуват следните приблизителни зависимости:

$$\begin{aligned}\omega &= 0,674.m = 0,845.s ; \\ s &= 0,798.m = 1,183.\omega ; \\ m &= 1,253.s = 1,483.\omega .\end{aligned}\tag{VI.5}$$

Тези зависимости не се използват за изчисляване на оценките, а служат само за приблизително сравнение на стойностите им.

г) *Допустима грешка* ($m_{\text{дон}}$) – в теория на вероятностите се доказва, че е почти невероятно да се получи случайна грешка в отделните измервания, по-голяма от утроената средна квадратна грешка. Затова за допустима грешка се приема утроената средна квадратна грешка:

$$m_{\text{дон}} = 3.m .\tag{VI.6}$$

В отделни случаи в практиката се приема:

$$m_{\text{дон}} = 2.m .\tag{VI.7}$$

д) *Относителна грешка* $\left(\frac{1}{N}\right)$. Относителна грешка се нарича отношението на средната квадратна грешка m към измерената величина X :

$$\frac{1}{N} = \pm \frac{m}{X} .\tag{VI.8}$$

Тя представлява грешката за единица мярка.

При сравняване на точността на ъглови и линейни измервания, ъгловите грешки трябва да бъдат изразени в радиани. Например при относителна линейна грешка на разстоянието AB 1:2000 и ъглова грешка в посоката AB от 1° , при изразяване на 1° в радиани $\left(\frac{1^\circ}{\rho^\circ} = \frac{1}{6366,20}\right)$, при сравняване на относителните грешки се вижда, че точността на ъгловото измерване е повече от три пъти по-висока от тази на линейното $\frac{1}{6366,20} < \frac{1}{2000}$.

VI.2. Закон за предаване (натрупване) на грешките

При маркшайдерските и геодезическите работи има случаи, когато търсената величина е свързана с измерената чрез зависимост и трябва да се изчисли точността, с която е определена, като се знае тази зависимост и точността на измерената величина. Т.е. да се определи средната квадратна грешка на функция от независими величини, когато са известни техните средни квадратни грешки.

Това може да стане с помощта на *закона за предаване на грешките*. В най-общ вид той се изразява в следното:

При зададена функция $Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, средната ѝ квадратна грешка е:

$$m_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_2}\right)^2 \cdot m_{x_2}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_3}\right)^2 \cdot m_{x_3}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot m_{x_n}^2}, \text{ (VI.9)}$$

където: $\left(\frac{\partial Y}{\partial x_i}\right)$ - частна производна на функцията спрямо всеки от аргументите x_i ;
 m_{x_i} - средна квадратна грешка на всеки от аргументите.

Приложение на закона за предаване на грешките

За по-голяма яснота тук се разглеждат някои примери и се решават задачи, свързани с приложението на закона за предаване на грешките.

А. Средна квадратна грешка на произведение от аргумент с постоянен множител:

$$Y = a \cdot x,$$

$$m_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)^2 \cdot m_x^2} = \sqrt{a^2 \cdot m_x^2} = a \cdot m_x.$$

Пример: Ъгъл α е измерен със средна квадратна грешка $m_\alpha = 10^{\text{cc}}$. Ъгъл $\beta = 3\alpha$. С каква точност е определен ъгъл β ?

$$\beta = 3\alpha$$

$$m_\beta = 3 \cdot m_\alpha = 30^{\text{cc}}.$$

Б. Средна квадратна грешка на сума или разлика на две независими величини:

$$z = x + y,$$

$$m_z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 \cdot m_x^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 \cdot m_y^2} = \sqrt{1^2 \cdot m_x^2 + 1^2 \cdot m_y^2} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}.$$

Пример: В триъгълник са измерени двата ъгъла α и β със средни квадратни грешки $m_\alpha = 6^{\text{cc}}$ и $m_\beta = 8^{\text{cc}}$. Каква е средната квадратна грешка на изчисления ъгъл γ ?

$$\gamma = 200^{\text{g}} - (\alpha + \beta)$$

$$m_\gamma = \sqrt{\left(\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha}\right)^2 \cdot m_\alpha^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \beta}\right)^2 \cdot m_\beta^2} = \sqrt{1^2 \cdot m_\alpha^2 + 1^2 \cdot m_\beta^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10^{\text{cc}}.$$

В. Средна квадратна грешка на сума от няколко независими величини:

$$y = x_1 \pm x_2 \pm x_3 \pm \dots \pm x_n,$$

$$m_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \cdot m_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot m_{x_n}^2},$$

$$m_y = \sqrt{m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2 + \dots + m_{x_n}^2}.$$

Пример: Ъгловото несъвпадение в един триъгълник е $\omega = 200^g - (\alpha + \beta + \gamma)$, където α , β и γ са измерени ъгли със съответни средни квадратни грешки $m_\alpha = 9^{cc}$, $m_\beta = 5^{cc}$, $m_\gamma = 12^{cc}$. Да се определи средната квадратна грешка на Ѫгловото несъвпадение.

$$\omega = 200^g - (\alpha + \beta + \gamma)$$

$$m_\omega = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2 + m_\gamma^2} = \sqrt{9^2 + 5^2 + 12^2} \approx 16^{cc}.$$

Г. Средна квадратна грешка на линейна функция от независими величини:

$$y = a_1 \cdot x_1 \pm a_2 \cdot x_2 \pm a_3 \cdot x_3 \pm \dots \pm a_n \cdot x_n;$$

$$m_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \cdot m_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot m_{x_n}^2};$$

$$m_y = \sqrt{a_1^2 \cdot m_{x_1}^2 + a_2^2 \cdot m_{x_2}^2 + \dots + a_n^2 \cdot m_{x_n}^2}.$$

Д. Средна квадратна грешка на резултати от наблюдения, върху които влияят няколко независими източника на грешки:

$$Y = f(l_1, l_2, l_3, \dots, l_n, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n),$$

където: l_i - непосредствено измерени дължини;
 β_i - непосредствено измерени ъгли.

Първоначално се определя грешката на функцията в зависимост от грешките в измерените дължини (m_l), като се счита, че ъглите са измерени безгрешно. След това се определя грешката на функцията в зависимост от грешките в измерените ъгли (m_β), като се счита, че дължините са измерени безгрешно:

$$m_y = \sqrt{m_l^2 + m_\beta^2}. \quad (\text{VI.10})$$

Видове задачи, които се решават на основа закона за предаване на грешките

1. Правя задача – определяне на средната квадратна грешка на функцията, когато са известни средните квадратни грешки на аргументите.

Пример: Да се определи средната квадратна грешка на площта P – (m_p) на един правоъгълен участък с размери a и b , които се определени със средни квадратни грешки m_a и m_b .

$$P = a.b,$$

$$m_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial a}\right)^2 \cdot m_a^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial b}\right)^2 \cdot m_b^2} = \sqrt{b^2 \cdot m_a^2 + a^2 \cdot m_b^2}.$$

2. Обратна задача – определяне на средните квадратни грешки на аргументите при зададена средна квадратна грешка на функцията.

Използва се принципа на равно влияние на аргументите:

$$\left| \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right) \cdot m_1 \right| = \left| \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right) \cdot m_2 \right| = \dots = \left| \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right) \cdot m_n \right| = \frac{m_y}{\sqrt{n}}, \quad (\text{VI.11})$$

откъдето

$$m_i = \frac{m_y}{\left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right) \cdot \sqrt{n}}. \quad (\text{VI.12})$$

Пример: С каква точност трябва да се определят размерите на един правоъгълен участък при $a \approx 300 \text{ m}$ и $b \approx 1000 \text{ m}$, за да се получи площта P с точност 1 ар (т.е. $m_P = 1 \text{ ар} = 100 \text{ m}^2$)?

$$P = a \cdot b,$$

$$m_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial a}\right)^2 \cdot m_a^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial b}\right)^2 \cdot m_b^2} = \sqrt{b^2 \cdot m_a^2 + a^2 \cdot m_b^2},$$

съгласно принципа за равно влияние:

$$b \cdot m_a = a \cdot m_b = \frac{m_P}{\sqrt{2}}$$

Тогава търсените стойности за m_a и m_b са:

$$m_a = \frac{m_P}{\left(\frac{\partial P}{\partial a} \right) \cdot \sqrt{2}} = \frac{m_P}{b \sqrt{2}} = \frac{100}{1000 \sqrt{2}} = 0,071 \text{ m}$$

$$m_b = \frac{m_P}{\left(\frac{\partial P}{\partial b} \right) \cdot \sqrt{2}} = \frac{m_P}{a \sqrt{2}} = \frac{100}{300 \sqrt{2}} = 0,236 \text{ m}.$$

От получените резултати се вижда, че по-късата страна трябва да се измери по-точно.

3. Определяне условията, при които грешката на функцията е най-малка:

Пример: При какви условия грешката в ординатната разлика $\Delta Y = S \cdot \sin \alpha$, вследствие грешката в посочения ъгъл α , ще е минимална?

$$\Delta Y = S \cdot \sin \alpha,$$

При $S = \text{const}$:

$$m_{\Delta Y} = \sqrt{S^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}};$$

$$m_{\Delta Y} = S \cdot \cos \alpha \frac{m_\alpha}{\rho}.$$

След анализ на последната формула се вижда, че $m_{\Delta Y} = 0$ при $\cos \alpha = 0$. Оттук се определя, че грешката в ординатната разлика $\Delta Y = S \cdot \sin \alpha$ е минимална при $\alpha = 100^\circ$ (300°).

VI.3. Грешки при ъглови измервания

Основни грешки при измерване на ъгли в подземните полигонови ходове са:

- грешка при визиране (m_V);
- грешка при отчитане (m_O);
- грешка от неточно центриране на инструмента и сигналите (m_u).

За тези грешки, при всяко отделно измерване, може да се определят числените им стойности.

При измерването на ъгли влияят още няколко грешки, за които обаче е много трудно да се даде числена характеристика при конкретното измерване. Такива грешки са:

- грешка, предизвикана от средата в която се извършва измерването ($m_{\text{среда}}$);
- грешка от невертикалност на оста на въртене на теодолита ($m_{\text{наклон}}$);
- други инструментални (приборни) грешки ($m_{\text{прибор}}$).

VI.3.1. При измерване на хоризонтални ъгли

Общата грешка на измерен хоризонтален ъгъл се изразява чрез формулата:

$$m_\beta = \sqrt{m_V^2 + m_O^2 + m_u^2 + m_{\text{среда}}^2 + m_{\text{наклон}}^2 + m_{\text{прибор}}^2}. \quad (\text{VI.11})$$

Определящи се първите три. Ако за другите грешки липсват стойности, те се пренебрегват.

По-пълноценна стойност за m_β може да се определи, ако е известна ъгловата несвързка f_{β_i} за голям брой (N) независими теодолитни ходове [29]:

$$m_\beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{f_{\beta_i}^2}{n_i} \right)}{N}}, \quad (\text{VI.12})$$

където: n – брой на измерените хоризонтални ъгли в i -тия теодолитен ход.

Средната квадратна грешка на измерен хоризонтален ъгъл се определя по формулата:

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{m_i^2 + m_{II}^2}, \quad (\text{VI.13})$$

където:

m_i - грешка, в зависимост от начина на измерване на ъглите;

m_{II} - грешка от неточно центриране на теодолита и сигналите.

1. Грешка в хоризонтален ъгъл, измерен по *гирусен метод*:

Стойността на хоризонталния ъгъл β , измерен в n гируса е:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (b_1 - a_1)_I + \sum_{i=1}^n (b_2 - a_2)_{II}}{2n}, \quad (\text{VI.14})$$

където: a_1 и a_2 – отчети по лимба към лявата точка в I и

II положение на тръбата;

b_1 и b_2 – отчети по лимба към дясната точка в I и

II положение на тръбата.

Всяко наблюдение към различните направления се съпровожда с грешка:

$$m_{набл}^2 = m_V^2 + m_O^2. \quad (\text{VI.15})$$

При измерване на ъгъла в един гирус наблюденията са четири:

$$\beta_{1_2} = \frac{(H_2 - H_1) + (H_4 - H_3)}{2}, \quad (\text{VI.16})$$

където: H_i – всяко отделно наблюдение.

Грешката в измерения в един гирус хоризонтален ъгъл β е:

$$m_{\beta_1}^2 = \frac{(m_{H_2}^2 + m_{H_1}^2 + m_{H_4}^2 + m_{H_3}^2)}{4} = \frac{4(m_H^2)}{4} = m_H^2. \quad (\text{VI.17})$$

При n гируса стойността на хоризонталния ъгъл е $\beta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i$. Тогава

грешката в измерения в n гируса ъгъл е:

$$m_{\beta_n}^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n m_{\beta_i}^2 = \frac{n \cdot m_{\beta_i}^2}{n^2} = \frac{m_{\beta_i}^2}{n}. \quad (\text{VI.18})$$

След заместване в горната формула на m_{β}^2 с m_H^2 се получава:

$$m_{\beta_n}^2 = \frac{m_H^2}{n} = \frac{m_V^2 + m_O^2}{n}; \quad (\text{VI.19})$$

и съответно

$$m_{\beta_{нзуп.}} = \pm \sqrt{\frac{m_V^2}{n} + \frac{m_O^2}{n}}. \quad (\text{VI.20})$$

2. Грешка в хоризонтален ъгъл, измерен по репетиционен метод:

Стойността на хоризонталния ъгъл β , измерен в n повторения (репетиции)

е:

$$\beta = \frac{O_2 - O_1 + k \cdot 400^g}{2n}, \quad (\text{VI.21})$$

където: O_1 – отчет по хоризонталния кръг при първото визирание към лявата точка;

O_2 – отчет при последното визирание към дясната точка;

k – брой на пълните окръжности при натрупване на ъгъла.

За грешката при отчитане в n повторения се получава:

$$m_{O_n}^2 = \frac{m_{O_1}^2}{4n^2} + \frac{m_{O_2}^2}{4n^2} = \frac{m_O^2}{2n^2}. \quad (\text{VI.22})$$

Грешката при визирание има същата стойност както при гирусния метод на измерване:

$$m_{V_n}^2 = \frac{m_V^2}{n}. \quad (\text{VI.23})$$

Тогава грешката в измерен по репетиционния начин хоризонтален ъгъл е:

$$m_{\beta_{\text{реп.}}} = \pm \sqrt{\frac{m_V^2}{n} + \frac{m_O^2}{2n^2}}. \quad (\text{VI.24})$$

Грешка при визирание (m_V)

При насочване на зрителната тръба към сигнала, визирната ос не съвпада точно с желаното направление. Тя се отклонява на малък ъгъл (m_V), наречен *грешка при визирание*. Може да бъде определена чрез:

а) характеристиката на нишковия кръст на инструмента –

$$m_V = \frac{1}{2} \frac{b}{f_{\text{об}}} \cdot \rho^{cc}, \quad (\text{VI.25})$$

където: b – дебелина на вертикалната нишка на нишковия кръст;

$f_{\text{об}}$ – фокусно разстояние на обектива на теодолита;

б) най-малкия ъгъл на виждане на човешкото око –

$$m_V = \frac{190^{cc}}{V}, \quad (\text{VI.26})$$

където: 190^{cc} – най-малкият ъгъл при който човешкото око различава две точки като отделни;

V – увеличение на зрителната тръба.

Грешка при отчитане (m_o)

Грешката при отчитане е всъщност грешка при закръгляване на отчета по скалата на прибора. Ако α е вероятната грешка на закръгляване на отчитането, то

$$m_o = \frac{\alpha}{\sqrt{3}}. \quad (\text{VI.27})$$

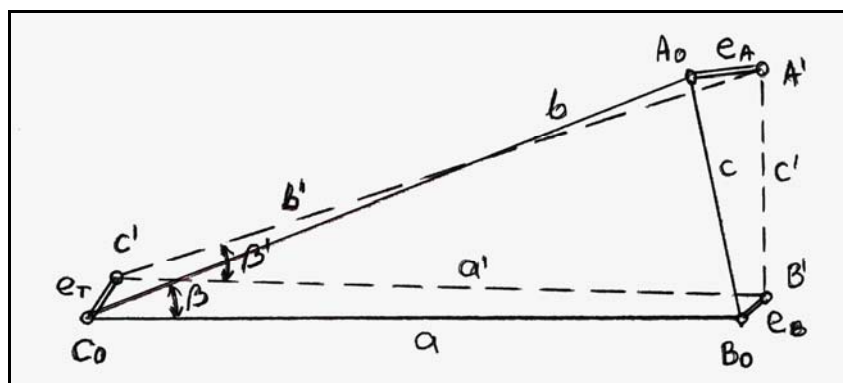
При стойност t^{cc} на едно деление на лимба (директна точност на отчитане) на теодолита, то $\alpha = \frac{t^{cc}}{2}$, откъдето

$$m_o = \frac{t^{cc}}{2\sqrt{3}} \approx \frac{t^{cc}}{3,5}. \quad (\text{VI.28})$$

Грешка от неточно центриране на инструмента и сигналите (m_u)

При къси страни на полигоновия ъгъл, което е характерно за подземните полигонови ходове, влиянието на *грешката от неточно центриране на теодолита и сигналите* е доминиращо при измерване на хоризонтални ъгли.

На фигурата по-долу с A_0 , B_0 и C_0 са показани безгрешно центрираните сигнали (A и B) и теодолита (C). Измереният ъгъл има безгрешна стойност β .



Фиг. VI.3. Грешка в ъгъл от неточно центриране

Вследствие на неточно центриране, инструментът и сигналите заемат положения A' , B' и C' . Измереният ъгъл е със стойност β' . Разликата $\beta - \beta'$ е случайна грешка.

Средната квадратна грешка на измерения ъгъл β (m_u), вследствие на средната квадратна грешка на центрирането на теодолита и сигналите, е:

$$m_u = \sqrt{m_{e_A}^2 + m_{e_B}^2 + m_{e_C}^2}, \quad (\text{VI.29})$$

като

$$m_{e_A}^2 = \frac{e_A^2}{2a^2} \cdot \rho^2; \quad m_{e_B}^2 = \frac{e_B^2}{2b^2} \cdot \rho^2; \quad m_{e_C}^2 = \frac{e_C^2 \cdot c^2}{2a^2 b^2} \cdot \rho^2, \quad (\text{VI.30})$$

където: m_{e_A} – ср.кв.грешка на центриране на сигнал A ;
 m_{e_B} – ср.кв.грешка на центриране на сигнал B ;
 m_{e_T} – ср.кв.грешка на центриране на теодолита;
 e_A – ексцентрицитет (неточно центриране) на сигнал A ;
 e_B – ексцентрицитет на сигнал B ;
 e_T – ексцентрицитет на теодолита;
 a, b – рамена на измервания ъгъл β .

При заместване в първата формула, за грешката от неточно центриране на сигналите и теодолита, се получава:

$$m_u = \sqrt{\frac{\rho^2}{2} \left[\frac{e_A^2}{a^2} + \frac{e_B^2}{b^2} + \frac{e_T^2}{a^2 b^2} (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta) \right]}. \quad (\text{VI.31})$$

Ако се приеме, че сигналите и теодолитът са центрирани еднакво неточно, т.е. $e_A = e_B = e_T$, грешката от неточно центриране е:

$$m_u = \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2 b^2} [e_{\text{сиг.}}^2 (a^2 + b^2) + e_{\text{теод.}}^2 (a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta)]}. \quad (\text{VI.32})$$

Анализирайки горната формула може да се направят изводите [28]:

1. Грешката на измерения хоризонтален ъгъл, вследствие неточното центриране на сигналите, е обратно пропорционална на дължините на рамената на ъгъла и *не зависи* от величината му.

2. Грешката на измерения хоризонтален ъгъл, вследствие неточното центриране на теодолита, е обратно пропорционална на дължините на рамената на ъгъла и *зависи* от величината му. Тя е максимална при стойност на ъгъла 200° .

3. Влиянието на грешката от центрирането на теодолита е по-голямо при голяма разлика между дължините на рамената на ъгъла.

VI.3.2. При измерване на зенитни (вертикални) ъгли

Стойността на измерен при две положения на зрителната тръба зенитен ъгъл (z) се определя по формулата:

$$z = \frac{z_1 + (400^\circ - z_2)}{2}, \quad (\text{VI.33})$$

където: z_1 и z_2 – отчети по вертикалния кръг при I и II положение на зрителната тръба.

Грешката на измерения ъгъл е:

$$m_z = \frac{1}{2} \sqrt{m_{z_1}^2 + m_{z_2}^2}. \quad (\text{VI.34})$$

От своя страна

$$m_{z_1} = m_{z_2} = \sqrt{m_V^2 + m_O^2 + m_y^2}, \quad (\text{VI.35})$$

където: m_V – грешка при визирание;
 m_O – грешка при отчитане;
 m_y – грешка от неточно поставяне на
 либелата в хоризонтално положение.

При еднократно измерване на зенитния ъгъл, при две положения на зрителната тръба, грешката е:

$$m_z = \sqrt{\frac{m_V^2 + m_O^2 + m_y^2}{2}}. \quad (\text{VI.36})$$

При n -кратно измерване на зенитния ъгъл, при две положения на зрителната тръба, грешката е:

$$m_z = \sqrt{\frac{m_V^2 + m_O^2 + m_y^2}{2n}}. \quad (\text{VI.37})$$

Стойностите на грешката при визирание (m_V) и на грешката при отчитане (m_O) се определят както при хоризонтални ъгли.

Стойността на грешката от неточно поставяне на либелата в хоризонтално положение (m_y) се определя в зависимост от вида на либелата:

- при обикновена либела - $m_y = 0,5\tau$;
- при контактна либела - $m_y = 0,15\tau$;
- при теодолит с компенсатор - $m_y = \frac{\tau}{3,5}$,

където τ е чувствителността на либелата ($''$).

VI.4. Грешки при дължинни измервания

Грешки при измерване на дължини с ролетка

При измерване на дължините на страните на подземните полигонови ходове с ролетка, главни източници на грешки са [14]:

1. Неправилна дължина на ролетката (грешка от компарирането) – M_k – систематична величина;
2. Неправилно отчитане температурата на ролетката при измерването (грешка от неточно отчитане на температурната разлика при измерването и компарирането) – M_t – случайна величина;
3. Неточно определяне на провисването на ролетката (грешка от неточно определяне на провисването на ролетката) – $M_{\text{провис}}$ – случайна величина;
4. Недостатъчно или прекомерно опъване на ролетката (грешка от неточно опъване на ролетката) – $M_{\text{он}}$ – случайна величина;

5. Неправилно поставяне на ролетката в линия с измерваната дължина (грешка от неправилно поставяне на ролетката в створ) – $M_{\text{створ}}$ – случайна по стойност, систематична по знак;

6. Неправилно определяне на ъгъла на наклона или на превишението (грешка от неточно измерване на вертикалния ъгъл или превишението) – M_{δ} – случайна величина;

7. Неправилно проектиране на отвесите върху ролетката (грешка от неточно проектиране на точките върху ролетката) – $M_{\text{проект}}$ – случайна величина;

8. Неточно отчитане (грешка от неточно отчитане) – M_o – случайна величина.

Обща грешка при измерване на дължини с ролетка

Изчисляването на грешката при измерване на дължините на подземните полигони с ролетка се извършва по формулата:

$$M_{L_{\text{обща}}} = \sqrt{M_k^2 + M_t^2 + M_{\text{провис}}^2 + M_{\text{оп}}^2 + M_{\text{створ}}^2 + M_{\delta}^2 + M_{\text{проект}}^2 + M_o^2}. \quad (\text{VI.38})$$

Съгласно изискванията на Техническата маркшайдерска инструкция, дължините на полигоновите страни се измерват в право и обратно направление. Тогава формулата за общата грешка ще има вида:

$$M_L = \frac{M_{L_{\text{обща}}}}{\sqrt{2}}. \quad (\text{VI.39})$$

Представлява интерес с каква точност трябва да се отчитат източниците на грешки така, че да се получи грешка в крайния резултат, която не надвишава допустимата.

В маркшайдерската литература това се решава по следния начин [14]. Приема се, че относителната грешка при измерване на дължините на страните на подземните полигонови ходове приблизително е равна на 1:5000 и че броят на грешките е 9, а не 8. Използвайки принципа на равно влияние на всеки от изброените видове грешки, се определя *граничната грешка от всеки източник* за равна на:

$$\Delta l_{\text{гран.}} = \frac{1}{5000 \cdot \sqrt{9}} = \frac{1}{15000}. \quad (\text{VI.40})$$

Всяка от грешките влияе върху крайния резултат по следния начин:

1. Грешка от компариране на ролетката (M_k)

Влиянието на тази грешка се изразява с формулата:

$$M_k = \Delta k \frac{L}{l}, \quad (\text{VI.41})$$

където: Δk – разликата между дължината на ролетката и еталона;
 L – дължината на страната която се измерва;
 l – дължина на ролетката.

Относителната гранична грешка от компарирането е:

$$\frac{M_k}{L} = \frac{\Delta k}{l} \leq \frac{1}{15000}, \quad (\text{VI.42})$$

т.е. компарирането на ролетката трябва да се извършва с относителна грешка не по-голяма от 1:15000 (съгласно изискванията на Техническата маркшайдерска инструкция, ролетките трябва да се компарират с относителна грешка не по-голяма от 1:20000).

2. Грешка от неточно определяне на температурата на ролетката при измерването (M_t)

Поправката в измерената дължина за температурната разлика при измерването и компарирането е:

$$\Delta L_t = \alpha \cdot L(t - t_0), \quad (\text{VI.43})$$

където: $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5}$ – коефициент на линейно разширение на стоманата;
 L – измереното разстояние;
 t – температурата в момента на измерване на дължината;
 t_0 – температурата при компариране на ролетката.

Грешката при неправилно измерване на температурата е:

$$M_t = \alpha \cdot L \cdot m_t, \text{ където } m_t \text{ е температурната разлика.}$$

Относителната гранична грешка е:

$$\frac{M_t}{L} = \alpha \cdot m_t \leq \frac{1}{15000}. \quad (\text{VI.44})$$

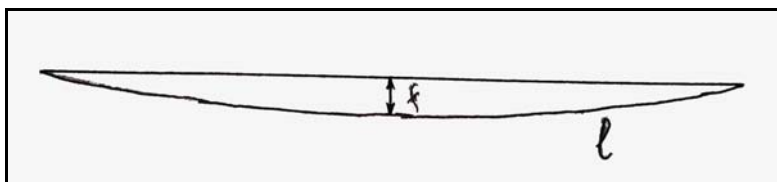
При заместване в тази формула се получава $m_t \leq 5,8^\circ \text{C}$. Следователно температурата на ролетката трябва да се определя с точност от $\pm 5^\circ \text{C}$.

3. Грешка от неточно определяне провисването на ролетката ($M_{\text{провис.}}$)

Поправката в измерената дължина за провисване на ролетката е:

$$\Delta L_{\text{провис.}} = \frac{8}{3} \frac{f^2}{l}, \quad (\text{VI.45})$$

където: f – стрела на провисването;
 l – дължина на ролетката.



Фиг.VI.4. Грешка при провисване на ролетката

Стрелата на провисването f се определя по формулата:

$$f = \frac{q.l^2}{8.P_f}, \quad (\text{VI.46})$$

където: q – маса на 1 m' от ролетката;

l – дължина на ролетката;

P_f – сила на опъване на ролетката при измерване стрелата на провисване.

Ако m_f е грешката при определяне стрелата на провисване, то грешката на поправката $\Delta L_{\text{провис.}}$ е:

$$M_{\text{провис.}} = \frac{16}{3} \frac{f}{l} m_f. \quad (\text{VI.47})$$

Относителната грешка е:

$$\frac{M_{\text{провис.}}}{L} = \frac{16}{3} \frac{f}{l^2} m_f \leq \frac{1}{15000}. \quad (\text{VI.48})$$

4. Грешка от неточно определяне опъването на ролетката ($M_{\text{оп}}$)

При измерване с ролетка е необходимо да бъде изпълнено условието:

$$P_0 = P = P_f,$$

където: P_0 – сила на опъване на ролетката при компариране;

P – сила на опъване при измерването;

P_f – сила на опъване при определяне провисването на ролетката.

Но когато $P \neq P_0$, ролетката променя дължината си с:

$$\Delta L_{\text{он}} = \frac{(P - P_0)L}{E.S}, \quad (\text{VI.49})$$

където: $E = 2.10^{11}$ Pa – модул на Юнг;

S – площ на напречното сечение на ролетката;

P – сила на опъване при измерването;

P_0 – сила на опъване на ролетката при компариране.

Грешката m_p , с която трябва да бъде определено опъването на ролетката така, че грешката в дължината $M_{\text{он}}$ да не превишава установената норма, е:

$$M_{\text{он}} = \frac{L}{E.S} m_p. \quad (\text{VI.50})$$

Относителната грешка е:

$$\frac{M_{on}}{L} = \frac{m_p}{E.S} \leq \frac{1}{15000}. \quad (VI.51)$$

Когато $P \neq P_f$, освен грешката от разтягане на ролетката, трябва да се отчете и грешката от неправилно определяне стрелата на провисване. Поправката за провисване, в зависимост от опъването на ролетката, е:

$$\Delta L_p = \frac{q^2 L^3}{24 P^2}, \quad (VI.52)$$

където: q – маса на 1 m' от ролетката;

P – сила на опъване на ролетката.

Ако опъването е определено с грешка m_p , то грешката M_p в поправката ΔL_p , е:

$$M_p = \frac{q^2 L^3}{12 P^3} m_p. \quad (VI.53)$$

Относителната грешка е:

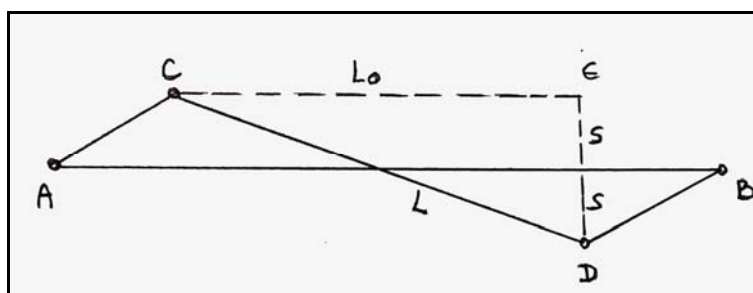
$$\frac{M_p}{L} = \frac{q^2 L^2}{12 P^3} m_p \leq \frac{1}{15000}. \quad (VI.54)$$

Общата грешка в дължината вследствие грешката при опъване на ролетката е:

$$M_{on} = \left(\frac{L}{E.S} + \frac{q^2 L^3}{12 P^3} \right) m_p. \quad (VI.55)$$

5. Грешка от неправилно поставяне на ролетката в створ ($M_{\text{створ}}$)

При измерване на дължината на страната AB в створ с нейната линия са поставени междинните точки C и D .



Фиг. VI.5. Грешка от неправилно поставяне в створ

Ако двете междинни точки се намират на разстояние s от линията на створа, както се вижда на фигурата, при решаване на триъгълник CED се получава:

$$L_0 = \sqrt{L - (2s)^2} = L \sqrt{1 - \left(\frac{2s}{L} \right)^2}. \quad (VI.56)$$

Величината $2s$, в сравнение със знаменателя L , е много малка величина. Тогава при вземане под внимание само на първите два члена на разложения в ред израз се получава:

$$L_0 = L \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{2s}{L} \right)^2 \right] = L - \frac{2s^2}{L}. \quad (\text{VI.57})$$

Полага се $M_{\text{свор}} = L - L_0$ и се замества:

$$M_{\text{свор}} = \frac{2s^2}{L}. \quad (\text{VI.58})$$

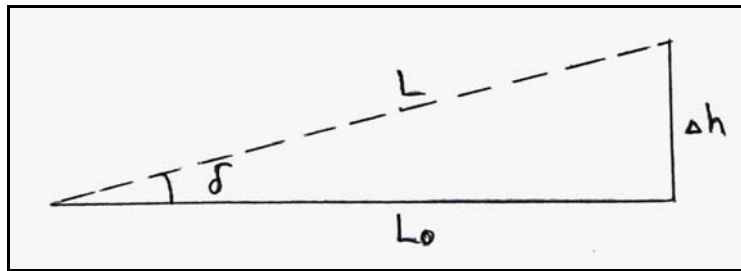
Относителната грешка е:

$$\frac{M_{\text{свор}}}{L} = 2 \left(\frac{s}{L} \right)^2 \leq \frac{1}{15000}. \quad (\text{VI.59})$$

6. Грешка от неточно измерване на вертикалния ъгъл или превишението (M_δ)

При определяне на хоризонталната проекция на полигоновата страна, поправката на дължината е равна на:

$$\Delta L = L - L_0. \quad (\text{VI.60})$$



Фиг. VI.6. Грешка от неточно определяне на превишение

и при $L_0 = L \cos \delta$, се получава:

$$\Delta L = L - L_0 = L - L \cos \delta = L(1 - \cos \delta), \quad (\text{VI.61})$$

но $1 - \cos \delta = 2 \sin^2 \frac{\delta}{2}$ и при заместване има вида:

$$\Delta L = 2L \sin^2 \frac{\delta}{2}. \quad (\text{VI.62})$$

Ако ъгълът на наклона е измерен с грешка m_δ , то грешката на измерената страна е:

$$M_\delta = 4L \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \frac{m_\delta}{2} \frac{1}{\rho^{cc}}, \quad (\text{VI.63})$$

$$M_\delta = \frac{L \sin \delta}{\rho^{cc}} m_\delta. \quad (\text{VI.64})$$

Относителната грешка е:

$$\frac{M_{\delta}}{L} = \frac{\sin \delta}{\rho^{cc}} m_{\delta} \leq \frac{1}{15000}. \quad (\text{VI.65})$$

При голяма стойност на ъгъл δ , измерването му трябва да е по-точно.

Ако превишението Δh между крайните точки на полигоновата страна е определено с грешка m_h , то грешката в стойността на страната е:

$$M_{\delta} = \frac{\Delta h}{L} m_h. \quad (\text{VI.66})$$

Относителната грешка има вида:

$$\frac{M_{\delta}}{L} = \frac{\Delta h}{L^2} m_h \leq \frac{1}{15000}, \quad (\text{VI.67})$$

откъдето

$$m_h \leq \frac{L^2}{\Delta h \cdot 15000}. \quad (\text{VI.68})$$

7. Грешка от неточно проектиране на точките върху ролетката ($M_{\text{проект}}$)

Проектирането на точки от горнището на изработката върху ролетката се извършва обикновено с шнуров отвес. При това проектиране влияят следните грешки:

- от несъвпадане на оста на отвеса с геометричната ос на маркшайдерската точка;
- от люлеене на отвеса от въздушния поток в галерията.

Грешката от проектирането m_n има случаен характер и по литературни данни е в границите на $1 \div 3,5 \text{ mm}$.

Стойността на грешката на измерваната дължина на страната е:

$$M_{\text{проект}} = m_n \sqrt{2}. \quad (\text{VI.69})$$

8. Грешка от неточно отчитане по ролетката (M_o)

Влиянието на тази грешка върху точността на измерената дължина се изразява с формулата:

$$M_o = \frac{m_o \sqrt{2n}}{\sqrt{k}}, \quad (\text{VI.70})$$

където: m_o – грешка при отчитане $\left(m_o = \frac{t}{3,5}\right)$;

n – брой на положените дължини на ролетката при измерването;

k – брой на отчетите.

Закон за натрупване на грешките при линейните измервания

При измерване на дължините на полигоновите страни с ролетка, общата дължина L се получава чрез n -кратно наслагване на лентата с дължина l .

$$L = l + l + l + \dots + l = n.l \quad (\text{VI.71})$$

При всяко полагане на ролетката, съвместно влияят случайни и систематични грешки, както и грешки, които са случайни по величина, но с постоянен знак.

Определяне влиянието на случайните грешки:

Ако с m се означи влиянието на случайните грешки при едно полагане на ролетката, то грешката в измерваната дължина $M_{L'}$, вследствие влиянието на случайните грешки, е:

$$M_{L'} = \sqrt{m^2 + m^2 + m^2 + \dots + m^2} . \quad (\text{VI.72})$$

Ако всички интервали на дължината са измерени равноточно, то:

$$M_{L'} = \sqrt{n.m^2} = m\sqrt{n} . \quad (\text{VI.73})$$

Но се знае, че $n = \frac{L}{l}$, откъдето

$$M_{L'} = m\sqrt{\frac{L}{l}} = \frac{m}{\sqrt{l}}\sqrt{L} . \quad (\text{VI.74})$$

Отношението $\mu = \frac{m}{\sqrt{l}}$ представлява коефициент на влиянието на случайните грешки на единица измерена дължина. Тогава грешката в измерваната дължина $M_{L'}$, вследствие влиянието на случайните грешки, има вида:

$$M_{L'} = \mu\sqrt{L} . \quad (\text{VI.75})$$

Определяне влиянието на систематичните грешки:

Ако σ е систематичната грешка при едно полагане на ролетката, то общата систематична грешка при измерване на цялата дължина е:

$$M_{L''} = \sigma + \sigma + \sigma + \dots + \sigma . \quad (\text{VI.76})$$

При равноточно измерване на интервалите:

$$M_{L''} = n.\sigma , \text{ но } n = \frac{L}{l} . \quad (\text{VI.77})$$

Тогава

$$M_{L''} = \frac{L}{l}\sigma = \frac{\sigma}{l}L . \quad (\text{VI.78})$$

Отношението $\lambda = \frac{\sigma}{l}$ представлява коефициент на влиянието на систематичните грешки на единица измерена дължина. Тогава грешката в измерваната дължина $M_{L''}$, вследствие влиянието на систематичните грешки, има вида:

$$M_{L''} = \lambda L. \quad (\text{VI.79})$$

Определяне съвместното влияние на случайните и систематичните грешки

Съвместното влияние на случайните и систематичните грешки при измерване на дължината с ролетка е равно на:

$$M_L = \sqrt{M_{L'}^2 + M_{L''}^2} = \sqrt{\mu^2 L + \lambda^2 L^2}. \quad (\text{VI.80})$$

Горната формула се използва при оценка на „проектни“ измервания.

В Техническата маркшайдерска инструкция коефициентите на влияние на случайните и систематичните грешки при измерване на дължини приемат различни стойности в зависимост от категорията на полигоновия ход. В същия нормативен документ (табл.11), тези коефициенти са означени с $a \equiv \mu$ и $b \equiv \lambda$ и за полигон от I-ви ред имат стойности $a = 0,0005$ и $b = 0,00005$.

При реални измервания се използва формулата $M_L = \frac{\Delta S_{1,2}}{\sqrt{2}}$, където $\Delta S_{1,2}$ е разлика между двете измервания на дължината, ако е в съответния допуск.

Грешки при измерване на дължините с далекомер

Действието на този клас инструменти се основава на законите за разпространение на електромагнитните вълни, чрез сравняване характеристиките на изпратения и отразения лъч [26]. Излъчените от предавател електромагнитни вълни се отразяват от отражател и се връщат в приемник. Разстоянието между предавателя и отражателя се определя от скоростта на разпространение на електромагнитните вълни и от времето t [27].

$$S = V \frac{t}{2} = \frac{c}{n} \cdot \frac{t}{2}, \quad (\text{VI.81})$$

където: V – скорост на разпространение на електромагнитните вълни в атмосферата;
 c – скорост на разпространение на електромагнитните вълни във вакуум $-299\,792\,458 \pm 1.2 \text{ m/sec}$;

n – показател на пречупване на въздуха, зависещ от дължината на вълната и състоянието на атмосферата (температура, атмосферно налягане, влажност).

Времето t може да бъде определено пряко или косвено, като в зависимост от метода за определянето му, далекомерите се делят на две основни групи - импулсни и фазови [3].

Тези, при които времето се измерва пряко, са импулсни – предавателят излъчва периодично електромагнитни вълни на кратки импулси. След отразяването им, приемникът улавя сигнала и отчита времето между изпращане и приемане.

Фазовите далекомери определят разстоянието чрез разликата между фазите на изпратените и приетите електромагнитни вълни.

Далекомерите, в които носещата честота отговаря на видимите или инфрачервените лъчи се наричат светлодалекомери (известни са също като електронни или лазерни далекомери). Далекомерите с носеща честота, отговаряща на ултракъсите радиовълни, се наричат радиодалекомери (ултракъсовълнови далекомери). Радиодалекомерите имат активен отражател – параболична антена. Светлодалекомерите имат пасивен отражател, най-често призма [27].

Независимо от вида на далекомерите, те измерват наклонени дължини.

Грешката на измерените дължини се определя по формулата:

$$m_s = a + b.S, [\text{mm}], \quad (\text{VI.82})$$

където a и b са коефициенти, а S – разстоянието в km.

Коефициентът a отразява неточността на определяне на събирателните константи на сигнала и инструмента.

Коефициентът b отразява грешките с които се определя скоростта на светлината в атмосферата.

За съвременните далекомери, коефициентът a приема стойности $1 \div 5 \text{ mm}$, а коефициентът b – $1 \div 5 \text{ mm}$ за 1 km измерена дължина [27].

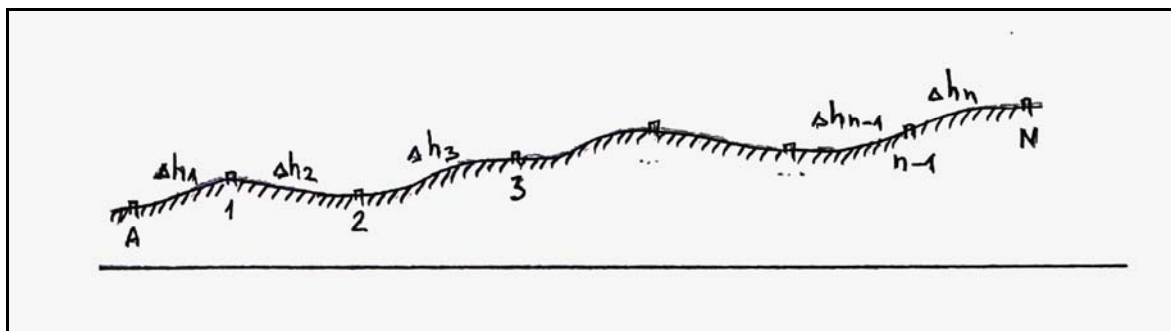
При измерванията се използват призми, отражателно фолио или се работи без отражател. Технологията без отражател се използва предимно за заснемане на недостъпни обекти, като за отражател служи самата им повърхност. В случая за качеството на получените резултати е от значение грапавостта на отразяващата повърхност, както и ъгълът под който се пресича визирната линия на инструмента с нея. Влияние оказват също и вида и свойствата на околната среда.

VI.5. Грешки при височинни измервания

В зависимост от ъгъла на наклона на подземните минни изработки за определяне на надморската височина на точките се прилагат както следва:

- при ъгъл на наклона до 10° – геометрична нивелация;
- при ъгъл на наклона над 10° – тригонометрична нивелация.

VI.5.1. Анализ на точността на геометрична нивелация



Фиг. VI.7. Схема на ход от геометрична нивелация

Котата на т. N от свободен нивелачен ход е равна на:

$$H_N = H_A + \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \dots + \Delta h_n = H_A + \sum_{i=1}^n \Delta h_i, \quad (\text{VI.83})$$

където: $\Delta h_i = a_i - b_i$ е i -то превиишение в нивелачния ход;

a – отчет „назад“ по латата;

b – отчет „напред“ по латата;

H_A – кота на изходната точка.

Ако с m_i се означат грешките при определяне на превиишенията Δh_i .

Тогава грешката в котата на т. N е:

$$m_{H_N}^2 = m_{H_A}^2 + m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2, \quad (\text{VI.84})$$

където: m_{H_A} – грешка в котата на изходната точка A.

При равни разстояния между точките от нивелачния ход може да се запише, че измерванията са равноточни, т.е.:

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_n = m_{\Delta h}, \quad (\text{VI.85})$$

където: $m_{\Delta h}$ – средна грешка на едно превиишение.

Тогава грешката в котата на т. N е:

$$m_{H_N}^2 = m_{H_A}^2 + n \cdot m_{\Delta h}^2. \quad (\text{VI.86})$$

При определяне на едно превиишение ($\Delta h_i = a_i - b_i$) има две отчитания по латата. При равенство на средните грешки при отчет „назад“ (m_{Oa}) и отчет „напред“ (m_{Ob}) се получава:

$$m_{\Delta h}^2 = m_O^2 + m_O^2 = 2m_O^2. \quad (\text{VI.87})$$

Тъй като грешката в котата на изходната точка $A - m_{H_A}$, не зависи от грешките в нивелачния ход, то грешката в котата на т. N вследствие *само на измерванията в хода* (n превиишения), има вида:

$$m_{H_N}^2 = n \cdot 2m_O^2, \quad (\text{VI.88})$$

откъдето
$$m_{H_N} = m_O \sqrt{2n}. \quad (\text{VI.89})$$

Ако геометричната нивелация се извършва на два хоризонта или в два хода (отиване и връщане), грешката в котата на т. N вследствие на измерванията в хода, е:

$$m_{H_N} = \frac{m_O \sqrt{2n}}{\sqrt{2}} = m_O \sqrt{n}. \quad (\text{VI.90})$$

Определяне средната грешка при отчитане по латата

Стойността на тази грешка зависи от:

- качеството на използвания нивелир (увеличение на зрителната тръба, чувствителност на либелата и т.н.);
- външните условия (осветеност, запрашеност на въздуха и т.н.);
- разстоянието от инструмента до латата.

Влиянието на тези фактори се изразява в два вида грешки:

- а) грешка в отчитането вследствие грешка при визирание – m_V ;
- б) грешка в отчитането вследствие неточно хоризонтиране на либелата на нивелира – m_τ .

Тогава:

$$m_O = \sqrt{m_V^2 + m_\tau^2}, \quad (\text{VI.91})$$

където:

$$m_V = \frac{100''}{V \cdot \rho''} l, \quad (\text{VI.92})$$

V – увеличение на зрителната тръба на нивелира;

l – разстояние от нивелира до латата.

$$m_\tau = \frac{0,1 \cdot \tau''}{\rho''} l, \quad (\text{VI.93})$$

τ – стойност на едно деление на либелата на нивелира (чувствителност на либелата).

Откъдето:

$$m_O = \frac{l}{\rho''} \sqrt{\frac{100''^2}{V^2} + 0,01 \cdot \tau^2}. \quad (\text{VI.94})$$

От курса по геодезия са известни стойностите на ρ в старо и ново деление:

$$\begin{aligned} \rho^o &= 57,2958^o & \rho^s &= 63,6620^s \\ \rho' &= 3437,75' & \rho^c &= 6366,20^c \\ \rho'' &= 206265'' & \rho^{cc} &= 636620^{cc} \end{aligned} \quad (\text{VI.95})$$

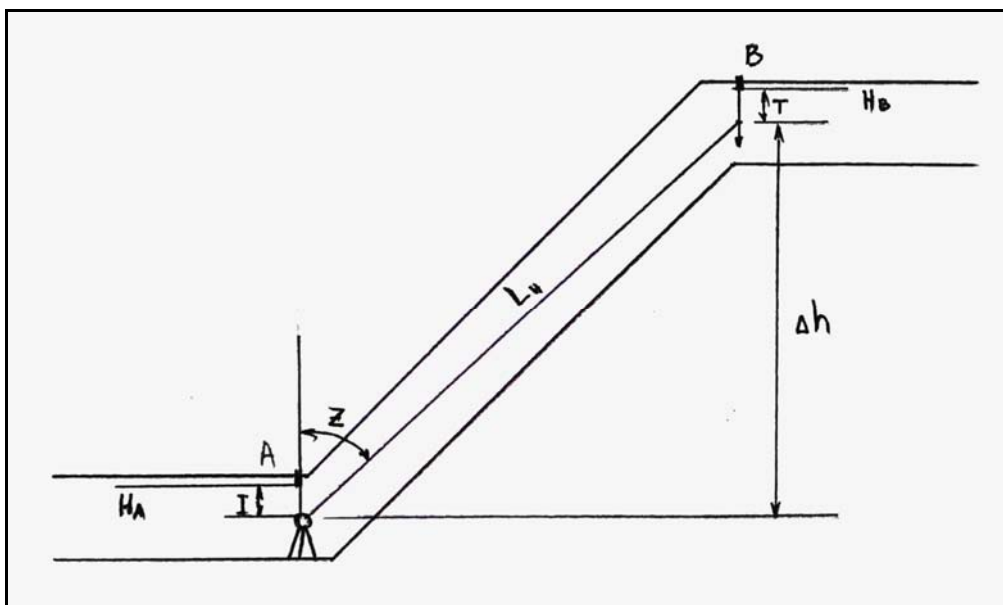
За всеки нивелир се съблюдава съответствие между стойността на едно деление на либелата и увеличението на зрителната тръба.

Грешката при отчитане може да се изрази със следните формули:

$$m_o = 0,7 \frac{l}{V} \quad \text{и} \quad m_o = 0,0007 \cdot l \cdot \tau, \quad (\text{VI.96})$$

В горните две формули грешката в отчитането m_o се получава в [mm] при l – в [m] и τ – в ["].

VI.5.2. Анализ на точността на тригонометрична нивелация



Фиг. VI.8. Схема на тригонометрична нивелация

Тригонометричното превишение между двете точки A и B от фиг. VI.8 се изчислява по формулата:

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB}, \quad (\text{VI.97})$$

$$H_B = H_A - I + \Delta h + T, \quad (\text{VI.98})$$

и при $\Delta h = L_n \cos Z$ се получава

$$H_B = H_A - I + L_n \cos Z + T, \quad (\text{VI.99})$$

където: H_A – кота на изходната точка;
 I – разстояние от маркшайдерската точка над
инструмента до хоризонталната му ос;
 L_n – измерено наклонено разстояние между т.А и т.В;
 Z – измерен зенитен ъгъл;
 T – разстояние от маркшайдерската точка до визирания с
теодолита белег на отвеса под нея.

Съгласно закона за натрупване на грешките средната грешка ($m_{\Delta H}$) на едно тригонометрично определено превиишение (ΔH) е:

$$m_{\Delta H} = \sqrt{(L \sin Z)^2 \frac{m_Z^2}{\rho^2} + \cos^2 Z m_L^2 + m_I^2 + m_T^2}. \quad (\text{VI.100})$$

Когато кота на т.В се определя чрез повече от едно тригонометрични превиишения, общото превиишение е:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \dots + \Delta H_n. \quad (\text{VI.101})$$

Грешката на целия тригонометричен ход има вида:

$$M_{\Delta H_{AB}}^2 = m_{\Delta H_1}^2 + m_{\Delta H_2}^2 + m_{\Delta H_3}^2 + \dots + m_{\Delta H_n}^2. \quad (\text{VI.102})$$

От анализа на точността на дължинните измервания се знае:

$$m_L^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2. \quad (\text{VI.103})$$

Тогава грешката на тригонометричен нивелачен ход, отчитайки влиянието на случайните и систематичните грешки при измерване на дължините, е:

$$M_{\Delta H_{AB}}^2 = \frac{m_Z^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n (L_i^2 \sin^2 Z_i) + \mu^2 \sum_{i=1}^n (L_i \cos^2 Z_i) + \lambda^2 \sum_{i=1}^n (L_i^2 \cos^2 Z_i) + n m_I^2 + n m_T^2. \quad (\text{VI.104})$$

Разстоянията от точката до теодолита и от точката до визирания белег на отвеса се измерват равноточно, т.е. $m_I = m_T = m_C$.

При заместване в горната формула нейният вид става:

$$M_{\Delta H_{AB}}^2 = \frac{m_Z^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n (L_i^2 \sin^2 Z_i) + \mu^2 \sum_{i=1}^n (L_i \cos^2 Z_i) + \lambda^2 \sum_{i=1}^n (L_i^2 \cos^2 Z_i) + 2n m_C^2. \quad (\text{VI.105})$$

В маркшайдерската практика стойността на грешката m_C се приема за ± 2 mm [14].

Ако е известно с каква точност (m_{H_A}) е определена котата на изходната точка A , може да се запише формулата за оценка на точността на котата на последната точка (т. B) от тригонометричен нивелачен ход по следния начин:

$$m_{H_B}^2 = m_{H_A}^2 + M_{\Delta H_{AB}}^2, \quad (\text{VI.106})$$

$$m_{H_B}^2 = m_{H_A}^2 + \frac{m_Z^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n (L_i^2 \sin^2 Z_i) + \mu^2 \sum_{i=1}^n (L_i \cos^2 Z_i) + \lambda^2 \sum_{i=1}^n (L_i^2 \cos^2 Z_i) + 2n.m_C^2. \quad (\text{VI.107})$$

Ако за определяне котата на оценяваната точка са приложени и геометрична, и тригонометрична нивелация, то оценката на тази кота е:

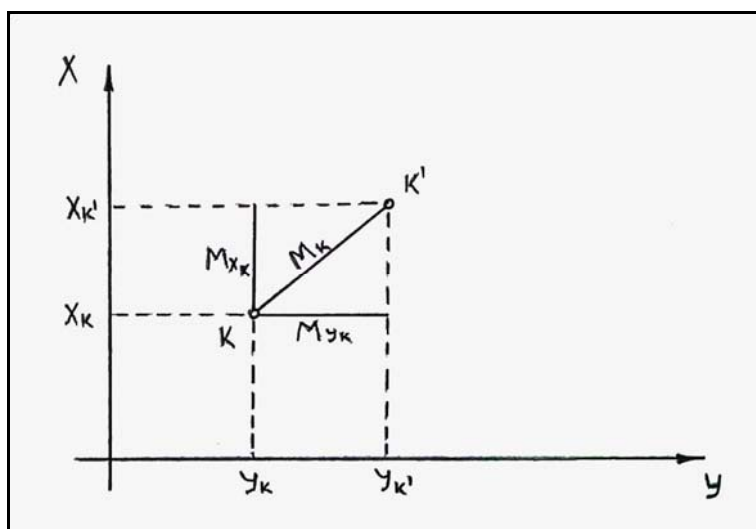
$$m_{H_B}^2 = m_{H_A}^2 + M_{H_{\text{геом}}}^2 + M_{H_{\text{тригоном}}}^2. \quad (\text{VI.108})$$

VII. Анализ на точността на подземните маркшайдерски снимки

VII.1. Оценка на координатите на последната точка на свободен полигонов ход

При измерване на ъглите и дължините на страните на подземните полигонови ходове, неизбежните грешки от измерванията довеждат до неправилно определяне на координатите на върховете на полигоните. Тези грешки могат да бъдат дефинирани числено.

На фиг. VII.1 по-долу се вижда теоретичното място на полигоновия връх К (при безгрешни измервания) и фактическото място на същия връх - К' (при измервания, които са натоварени с грешки). Разликата между двете положения е M_k , а проекциите ѝ върху двете оси са съответно M_{x_k} и M_{y_k} .



Фиг.VII.1. Грешка в положението на т.К

За определяне на грешките в координатите на върховете на полигонов ход с произволна форма се приемат (съгласно фиг. VII.2) следните означения:

- зададени величини:

- X_1, Y_1 ;

- α_0 – начален посочен ъгъл на страната А – 1;

- измерени величини:

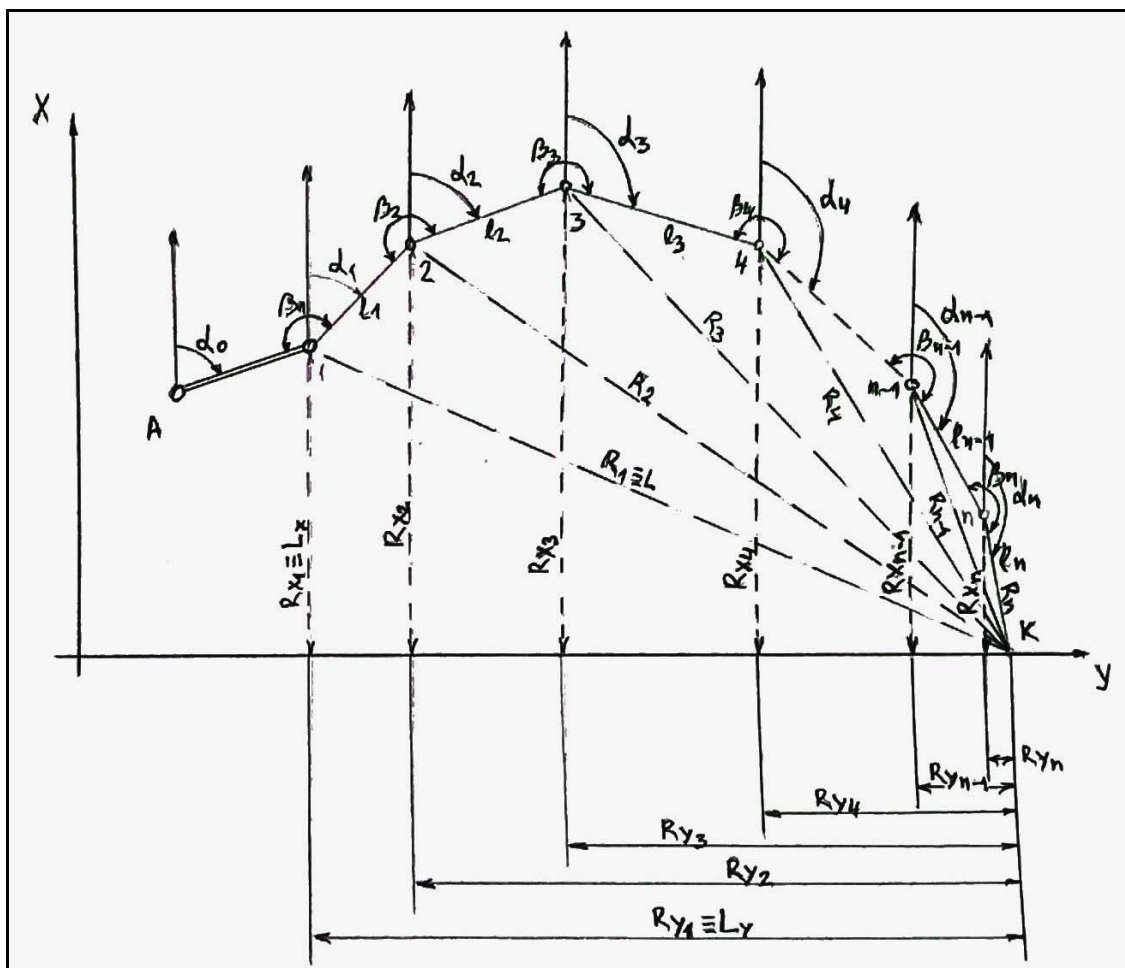
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – измерени полигонови ъгли;

- $l_1, l_2, \dots, l_n$ – измерени дължини на полигоновите страни;

- изчислени величини:

- X_i, Y_i – координати на полигоновите върхове;

- $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – посочни ъгли на полигоновите страни;
- грешки на измерените величини:
 - $m_{\beta_1}, m_{\beta_2}, \dots, m_{\beta_n}$ – средни грешки на измерените ъгли;
 - $m_{l_1}, m_{l_2}, \dots, m_{l_n}$ – средни грешки на измерените дължини;
 - m_{α_0} – средна грешка в началния посочен ъгъл.



Фиг.VII.2. Полигонов ход с произволна форма

Координатите на т.К се изчисляват по известните формули:

$$\begin{aligned} X_K &= X_1 + l_1 \cos \alpha_1 + l_2 \cos \alpha_2 + l_3 \cos \alpha_3 + \dots + l_n \cos \alpha_n; \\ Y_K &= Y_1 + l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin \alpha_2 + l_3 \sin \alpha_3 + \dots + l_n \sin \alpha_n. \end{aligned} \quad (\text{VII.1})$$

От тях се вижда, че координатите X_K и Y_K са функции на измерените дължини и на посочните ъгли. От своя страна, посочните ъгли са функция на измерените ъгли.

От фиг.VII.1 следва:

$$M_K = \sqrt{M_{X_K}^2 + M_{Y_K}^2} ; \quad (\text{VII.2})$$

От своя страна M_{X_K} и M_{Y_K} са:

$$M_{X_K} = \sqrt{M_{X_1}^2 + M_{X_{K\beta}}^2 + M_{X_{Kl}}^2 + M_{X_{K\alpha_0}}^2} ; \quad (\text{VII.3})$$

$$M_{Y_K} = \sqrt{M_{Y_1}^2 + M_{Y_{K\beta}}^2 + M_{Y_{Kl}}^2 + M_{Y_{K\alpha_0}}^2} ,$$

където: M_{X_1}, M_{Y_1} - ср.грешки в координатите на изходната точка;
 $M_{X_{K\beta}}, M_{Y_{K\beta}}$ - ср.грешки в координатите на т.К, получени вследствие на грешки при измерване на ъглите на полигона;
 $M_{X_{Kl}}, M_{Y_{Kl}}$ - ср.грешки в координатите на т.К, получени вследствие на грешки при измерване на дължините на страните на полигона;
 $M_{X_{K\alpha_0}}, M_{Y_{K\alpha_0}}$ - ср.грешки в координатите на т.К, получени вследствие на грешка в посочения ъгъл на изходната страна на полигона.

Тъй като грешките в координатите на изходната точка 1 не зависят от измерванията в полигоновия ход, в изложението по-долу няма да се отчитат. Ако те са известни от други изследвания, се добавят съгласно формула (VII.3).

Прилага се закона за предаване на грешките към (VII.1):

$$\begin{aligned} M_{X_K}^2 = & \left(\frac{\partial X_K}{\partial \beta_1} \right)^2 \frac{m_{\beta_1}^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial X_K}{\partial \beta_2} \right)^2 \frac{m_{\beta_2}^2}{\rho^2} + \dots + \left(\frac{\partial X_K}{\partial \beta_n} \right)^2 \frac{m_{\beta_n}^2}{\rho^2} + \\ & + \left(\frac{\partial X_K}{\partial l_1} \right)^2 m_{l_1}^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial l_2} \right)^2 m_{l_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial X_K}{\partial l_n} \right)^2 m_{l_n}^2 + \\ & + \left(\frac{\partial X_K}{\partial \alpha_0} \right)^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} ; \\ M_{Y_K}^2 = & \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \beta_1} \right)^2 \frac{m_{\beta_1}^2}{\rho^2} + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \beta_2} \right)^2 \frac{m_{\beta_2}^2}{\rho^2} + \dots + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \beta_n} \right)^2 \frac{m_{\beta_n}^2}{\rho^2} + \\ & + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial l_1} \right)^2 m_{l_1}^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial l_2} \right)^2 m_{l_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial l_n} \right)^2 m_{l_n}^2 + \\ & + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \alpha_0} \right)^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} . \end{aligned} \quad (\text{VII.4})$$

При съкратено записване горните формули имат вида:

$$M_{X_K}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial X_K}{\partial \beta_i} \right)^2 m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial X_K}{\partial l_i} \right)^2 m_{l_i}^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial \alpha_0} \right)^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} ; \quad (\text{VII.5})$$

$$M_{Y_K}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \beta_i} \right)^2 m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y_K}{\partial l_i} \right)^2 m_{l_i}^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \alpha_0} \right)^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2}.$$

Определяне на грешката в координатите на т.К, обусловена от грешките при измерване на полигоновите ъгли

Стойностите на частните производни в (VII.4) по отношение на измерените ъгли са:

$$\frac{\partial X_K}{\partial \beta_1} = - \left(l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_1} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_1} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_1} \right); \quad (\text{VII.6})$$

$$\frac{\partial X_K}{\partial \beta_2} = - \left(l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_2} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_2} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_2} \right);$$

.....

$$\frac{\partial X_K}{\partial \beta_n} = - \left(l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_n} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_n} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_n} \right).$$

Знае се, че:

$$\alpha_1 = \alpha_0 + \beta_1 \pm 1.200^g; \quad (\text{VII.7})$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 \pm 2.200^g;$$

.....

$$\alpha_n = \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n \pm n.200^g.$$

Тогава

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_1} = \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_1} = \dots = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_1} = 1; \quad (\text{VII.8})$$

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_2} = 0; \quad \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_2} = \dots = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_2} = 1;$$

.....

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial \beta_n} = \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_n} = \dots = \frac{\partial \alpha_{n-1}}{\partial \beta_n} = 0; \quad \frac{\partial \alpha_n}{\partial \beta_n} = 1.$$

При заместване на (VII.8) в (VII.6) се получава:

$$\frac{\partial X_K}{\partial \beta_1} = -(l_1 \sin \alpha_1 \cdot 1 + l_2 \sin \alpha_2 \cdot 1 + \dots + l_n \sin \alpha_n \cdot 1); \quad (\text{VII.9})$$

$$\frac{\partial X_K}{\partial \beta_2} = -(0 + l_2 \sin \alpha_2 \cdot 1 + \dots + l_n \sin \alpha_n \cdot 1);$$

.....

$$\frac{\partial X_K}{\partial \beta_n} = -(0 + 0 + \dots + l_n \sin \alpha_n \cdot 1).$$

1. *Определяне на случайната съставяща ($M'_{X_{Kl}}$ и $M'_{Y_{Kl}}$):*

За (VII.4) се определят частните производни спрямо измерените дължини:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_K}{\partial l_1} &= \cos \alpha_1; & \frac{\partial X_K}{\partial l_2} &= \cos \alpha_2; & \dots\dots\dots; & \frac{\partial X_K}{\partial l_n} &= \cos \alpha_n; \\ \frac{\partial Y_K}{\partial l_1} &= \sin \alpha_1; & \frac{\partial Y_K}{\partial l_2} &= \sin \alpha_2; & \dots\dots\dots; & \frac{\partial Y_K}{\partial l_n} &= \sin \alpha_n. \end{aligned} \quad (\text{VII.13})$$

Случайната съставяща при измерване на дължините е:

$$\begin{aligned} M'^2_{X_{Kl}} &= \cos^2 \alpha_1 . m_{l_1}^2 + \cos^2 \alpha_2 . m_{l_2}^2 + \dots\dots + \cos^2 \alpha_n . m_{l_n}^2; \\ M'^2_{Y_{Kl}} &= \sin^2 \alpha_1 . m_{l_1}^2 + \sin^2 \alpha_2 . m_{l_2}^2 + \dots\dots + \sin^2 \alpha_n . m_{l_n}^2. \end{aligned} \quad (\text{VII.14})$$

При съкратено записване се получава:

$$\begin{aligned} M'^2_{X_{Kl}} &= \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i . m_{l_i}^2; \\ M'^2_{Y_{Kl}} &= \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i . m_{l_i}^2. \end{aligned} \quad (\text{VII.15})$$

Случайната грешка при измерване на всяка дължина е:

$$m_{l_i} = \mu \sqrt{l_i}. \quad (\text{VII.16})$$

Замества се в (VII.15) и се получава:

$$\begin{aligned} M'^2_{X_{Kl}} &= \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i . \cos^2 \alpha_i; \\ M'^2_{Y_{Kl}} &= \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i . \sin^2 \alpha_i. \end{aligned} \quad (\text{VII.17})$$

2. *Определяне на систематичната съставяща ($M''_{X_{Kl}}$ и $M''_{Y_{Kl}}$):*

За (VII.4) се определят частните производни спрямо измерените дължини:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_K}{\partial l_1} &= \cos \alpha_1; & \frac{\partial X_K}{\partial l_2} &= \cos \alpha_2; & \dots\dots\dots; & \frac{\partial X_K}{\partial l_n} &= \cos \alpha_n; \\ \frac{\partial Y_K}{\partial l_1} &= \sin \alpha_1; & \frac{\partial Y_K}{\partial l_2} &= \sin \alpha_2; & \dots\dots\dots; & \frac{\partial Y_K}{\partial l_n} &= \sin \alpha_n. \end{aligned} \quad (\text{VII.18})$$

Систематичната съставяща при измерване на дължините е:

$$\begin{aligned} M''_{X_{Kl}} &= \cos \alpha_1 . m_{l_1} + \cos \alpha_2 . m_{l_2} + \dots\dots + \cos \alpha_n . m_{l_n}; \\ M''_{Y_{Kl}} &= \sin \alpha_1 . m_{l_1} + \sin \alpha_2 . m_{l_2} + \dots\dots + \sin \alpha_n . m_{l_n}. \end{aligned} \quad (\text{VII.19})$$

При съкратено записване се получава:

$$\begin{aligned} M''_{X_{Kl}} &= \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i . m_{l_i}; \\ M''_{Y_{Kl}} &= \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i . m_{l_i}. \end{aligned} \quad (\text{VII.20})$$

Систематичната грешка при измерване на всяка дължина е:

$$m_{l_i} = \lambda.l_i. \quad (\text{VII.21})$$

Замества се в (VII.20) и се получава:

$$M_{X_{K_l}}'' = \lambda \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i . l_i = \lambda \sum_{i=1}^n \Delta X_i = \lambda . L_X ; \quad (\text{VII.22})$$

$$M_{Y_{K_l}}'' = \lambda \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i . l_i = \lambda \sum_{i=1}^n \Delta Y_i = \lambda . L_Y .$$

Окончателно, средната грешка в координатите на т.К, обусловена от грешки при измерване на дължините с ролетка, е:

$$M_{X_{K_l}}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L_X^2 ; \quad L_X = \Delta X_{1,K} ; \quad (\text{VII.23})$$

$$M_{Y_{K_l}}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L_Y^2 ; \quad L_Y = \Delta Y_{1,K} ;$$

При измерване на дължините с далекомер:

Средната грешка на едно измерване с далекомер е:

$$m_{l_i} = a + b.l_i , \quad (\text{VII.24})$$

където a и b са коефициенти от паспорта на далекомера. Тази грешка има случаен характер.

Съставлящите на грешката в координатите на т.К, вследствие на грешки при измерване на дължините с далекомер, са:

$$M_{X_{K_l}}^2 = \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i . m_{l_i}^2 ; \quad (\text{VII.25})$$

$$M_{Y_{K_l}}^2 = \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i . m_{l_i}^2 .$$

Определяне на грешката в координатите на т.К, обусловена от грешката в посочения ъгъл на изходната страна ($\alpha_0 \rightarrow m_{\alpha_0}$)

Във формула (VII.4) влиянието на грешката в посочения ъгъл на изходната страна се изразява чрез:

$$M_{X_{K_{\alpha_0}}} = \left(\frac{\partial X_K}{\partial \alpha_0} \right) \frac{m_{\alpha_0}}{\rho} \text{ и } M_{Y_{K_{\alpha_0}}} = \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \alpha_0} \right) \frac{m_{\alpha_0}}{\rho} . \quad (\text{VII.26})$$

Частните производни на (VII.1) спрямо началния посочен ъгъл са:

$$\begin{aligned}\frac{\partial X_K}{\partial \alpha_0} &= -\left(l_1 \sin \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \alpha_0} + l_2 \sin \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \alpha_0} + \dots + l_n \sin \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \alpha_0}\right); \\ \frac{\partial Y_K}{\partial \alpha_0} &= \left(l_1 \cos \alpha_1 \frac{\partial \alpha_1}{\partial \alpha_0} + l_2 \cos \alpha_2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial \alpha_0} + \dots + l_n \cos \alpha_n \frac{\partial \alpha_n}{\partial \alpha_0}\right).\end{aligned}\quad (\text{VII.27})$$

но се знае, че

$$\alpha_i = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \pm n.200^g; \quad (\text{VII.28})$$

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial \alpha_0} = \frac{\partial \alpha_2}{\partial \alpha_0} = \dots = \frac{\partial \alpha_n}{\partial \alpha_0} = 1;$$

$$l_{i-1,i} \sin \alpha_{i-1,i} = \Delta Y_{i-1,i} \quad \text{и}$$

$$l_{i-1,i} \cos \alpha_{i-1,i} = \Delta X_{i-1,i}.$$

При заместване в (VII.27) се получава:

$$\frac{\partial X_K}{\partial \alpha_0} = -(\Delta Y_{1,2} \cdot 1 + \Delta Y_{2,3} \cdot 1 + \dots + \Delta Y_{n,K} \cdot 1) = -(Y_K - Y_1) = Y_1 - Y_K; \quad (\text{VII.29})$$

$$\frac{\partial Y_K}{\partial \alpha_0} = (\Delta X_{1,2} \cdot 1 + \Delta X_{2,3} \cdot 1 + \dots + \Delta X_{n,K} \cdot 1) = X_K - X_1.$$

От фиг.VII.2 се вижда, че:

$$\frac{\partial X_K}{\partial \alpha_0} = Y_1 - Y_K \equiv L_Y; \quad (\text{VII.30})$$

$$\frac{\partial Y_K}{\partial \alpha_0} = X_K - X_1 \equiv L_X.$$

Замества се в (VII.26) и за влиянието на грешката в посочения ъгъл на изходната страна и се получава:

$$M_{X_{K\alpha_0}} = \Delta Y_{K,1} \frac{m_{\alpha_0}}{\rho} = L_Y \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}; \quad (\text{VII.31})$$

$$M_{Y_{K\alpha_0}} = \Delta X_{1,K} \frac{m_{\alpha_0}}{\rho} = L_X \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}.$$

Обща средна грешка в положението на последната точка (т.К) на полигонов ход с произволна форма

Съставлящите на общата грешка в положението на т.К, изразени чрез общото влияние на грешките при измерване на полигоновите ъгли, на полигоновите страни и на грешката в посочения ъгъл на изходната страна, съгласно (VII.3), са:

$$M_{X_K}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2 m_{\beta_i}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L_X^2 + L_Y^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2}; \quad (\text{VII.32})$$

$$M_{Y_K}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{X_i}^2 m_{\beta_i}^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L_Y^2 + L_X^2 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2}.$$

Общата грешка в положението на т.К се намира чрез събиране на горните изрази. Тогава (VII.2) ще има вида:

$$M_K^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n m_{\beta_i}^2 (R_{Y_i}^2 + R_{X_i}^2) + \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i (\cos^2 \alpha_i + \sin^2 \alpha_i) + \lambda^2 (L_X^2 + L_Y^2) + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} (L_Y^2 + L_X^2). \quad (\text{VII.33})$$

При сумиране в скобите на горния израз се получава окончателната формула:

$$M_K^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n m_{\beta_i}^2 R_i^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} L^2. \quad (\text{VII.34})$$

Ако ъглите в полигоновия ход са измерени равноточно формулата има вида:

$$M_K^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_i^2 + \mu^2 \sum_{i=1}^n l_i + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} L^2. \quad (\text{VII.35})$$

Изводи:

1. Влиянието на грешките на ъгловите и линейните измервания върху точността на положението на точка К съществено *зависи от формата на полигоновия ход*.

2. Влиянието на *случайната съставляща* на грешката от линейните измервания върху общата грешка *зависи само от периметъра на полигоновия ход* ($\sum_{i=1}^n l_i$).

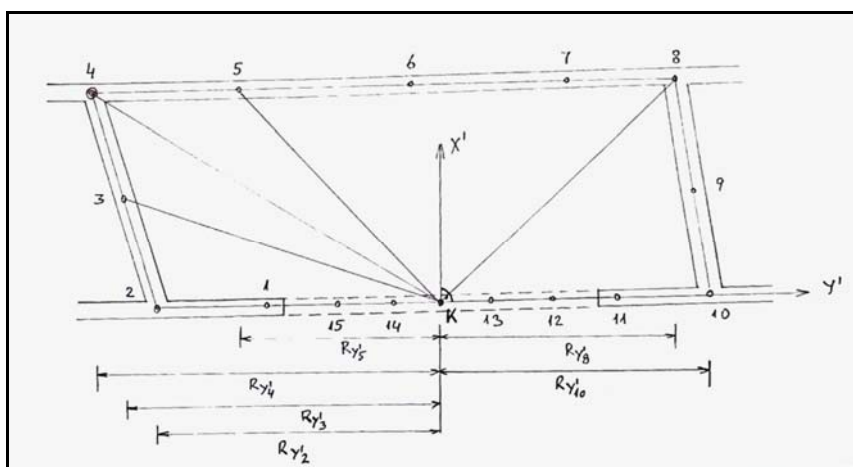
3. Влиянието на *систематичната съставляща* на грешката от линейните измервания *и на грешката на посочния ъгъл* на изходната страна е *право пропорционална на разстоянието (L)* между изходната (т.1) и оценяваната точка (т.К).

VII.2. Предварително изчисляване на грешката на срещане на изработки, прокаравани с насрещни забои, в границите на един рудник

При определяне на очакваните грешки на срещане на минните изработки, прокаравани чрез насрещни забои, се използват формулите, получени при анализа за натрупване на грешките в полигоновите и нивелачните ходове.

Когато се говори за сбойка в границите на един рудник, това означава, че между двата насрещни забоя съществува подземна връзка по която може да се положат полигонов и нивелачен ход.

Грешките на срещане се определят по отговорното направление в предполагаемата точка на срещане на забоите.



Фиг.VII.3. Сбойка в границите на един рудник – определяне на очакваната грешка на срещане в хоризонталната равнина

Тази точка (т.К) се разглежда като крайна на два полигонови хода. Двата хода са с общо начало (напр. т.4).

По всеки от тях се определя очакваната грешка на срещане в положението на крайната точка по всяко от отговорните направления.

За решаване на задачата в хоризонталната равнина може да се използват два начина:

1. В условна координатна система

Въвежда се условна координатна система така, че X' да бъде в посока на отговорното направление. След анализ на точността на първия полигонов ход (напр. т.4-3-2-1-15-14-K), решен в условната координатна система, се получава оценка за положението на крайната точка К по оста X' :

$$M_{X_{KI}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2 \cdot m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i' \cdot m_{l_i}^2, \quad (\text{VII.36})$$

където: R_{Y_i} - проекции върху оста Y' на отсечките, свързващи последната точка К с всеки от върхове на първия полигонов ход;
 α_i' - посочни ъгли на страните на първия полигонов ход в условната координатна система.

В тази формула трябва да се вземат предвид и новопроектираните полигонови точки в непрокараната още част от галерията (т.15 и т.14 от фиг.VII.3).

По аналогичен начин се намира оценката за положението на крайната точка т.К на втория полигонов ход (т.4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-К):

$$M_{X_{KI}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2 \cdot m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i' \cdot m_{l_i}^2, \quad (\text{VII.37})$$

където: R_{Y_i} - проекции върху оста Y' на отсечките, свързващи последната точка К с всеки от върхове на втория полигонов ход;
 α_i' - посочни ъгли на страните на втория полигонов ход в условната координатна система.

В тази формула трябва да се вземат предвид и новопроектираните полигонови точки в непрокараната още част от галерията (т.12 и т.13 от фиг.VII.3).

И в двете формули средната грешка на измерените дължини на страните от полигоновите ходове m_{l_i} се изчислява по формулата:

а) за реално измерени дължини:

$$m_{l_i} = \frac{\Delta S_{I,II}}{\sqrt{2}}; \quad (\text{VII.38})$$

където: $\Delta S_{I,II}$ е разликата между първото (I) и второто (II) измерване (ако е в съответния допуск).

б) за проектни дължини:

$$m_{l_i} = \sqrt{\mu^2 l_i + \lambda^2 l_i^2}, \quad (\text{VII.39})$$

където: μ - коефициент, отчитащ влиянието на случайните грешки при измерване на дължините на страните l_i ;
 λ - коефициент, отчитащ влиянието на систематичните грешки при измерване на дължините на страните l_i .

Стойностите на коефициентите μ и λ са определени в Техническата маркшайдерска инструкция и зависят от категорията на полигоновия ход и наклона на подземната минна изработка.

Чрез събиране на оценките за положението на крайната точка на двата полигонови хода се получава средната грешка на срещане на забоите в т.К по отговорното направление:

$$M_{X_K} = \sqrt{M_{X_{K_I}}^2 + M_{X_{K_{II}}}^2} . \quad (\text{VII.40})$$

2. В истинска координатна система

Задачата се решава по аналогичен начин чрез два полигона с общо начало и последна точка К, но в истинската координатна система.

Пълните оценки на положението на последната точка К, определени от двата полигонови хода, имат вида:

$$M_{K_I}^2 = M_{X_{K_I}}^2 + M_{Y_{K_I}}^2 ; \quad M_{K_{II}}^2 = M_{X_{K_{II}}}^2 + M_{Y_{K_{II}}}^2 . \quad (\text{VII.41})$$

Оценките в положението на последната точка К по осите X и Y (M_{X_K} и M_{Y_K}) за двата полигона се изчисляват по известните формули:

$$M_{X_K}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2 . m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i . m_{l_i}^2 ; \quad (\text{VII.42})$$

$$M_{Y_K}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{X_i}^2 . m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i . m_{l_i}^2 .$$

При заместване във формулите за пълните оценки на положението на точка К се получава

$$M_{K_I}^2 = M_{X_{K_I}}^2 + M_{Y_{K_I}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_i^2 . m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n m_{l_i}^2 ; \quad (\text{VII.43})$$

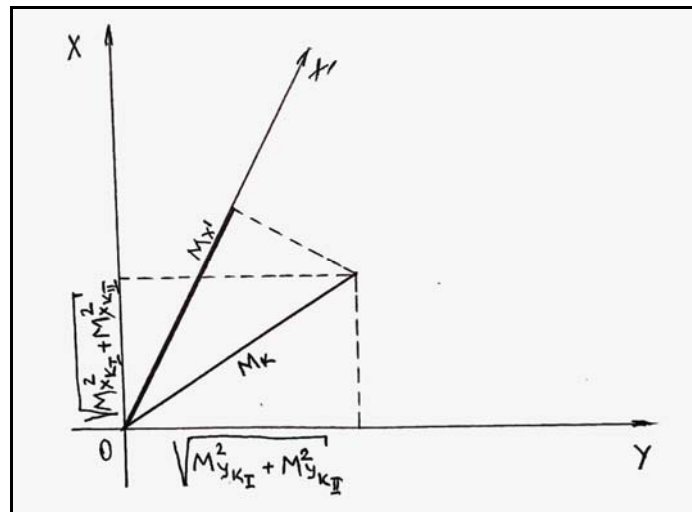
$$M_{K_{II}}^2 = M_{X_{K_{II}}}^2 + M_{Y_{K_{II}}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_i^2 . m_{\beta_i}^2 + \sum_{i=1}^n m_{l_i}^2 ,$$

където: R_i - дължини на отсечките, свързващи последната точка (К) с всеки от върховете на съответния полигонов ход.

Стойността на очакваната грешка на срещане на двата забоя се определя от формулата:

$$M_K = \sqrt{M_{K_I}^2 + M_{K_{II}}^2} . \quad (\text{VII.44})$$

Посоката на M_K зависи от стойностите на $M_{X_{KI}}$, $M_{Y_{KI}}$, $M_{X_{KII}}$ и $M_{Y_{KII}}$. Познавайки посочения ъгъл на отговорното направление X' и посочения ъгъл на очакваната грешка на срещане на двата забоя M_K , може да се определи стойността на очакваното разминаване в посока на отговорното направление. Това става чрез проектиране на вектора M_K върху отговорното направление X' . Получава се стойността $M_{X'}$.



Фиг.VII.4. Определяне на очакваното разминаване

След определяне на очакваното разминаване в посока на отговорното направление в хоризонталната равнина се изчислява пределната (граничната) очаквана грешка - $M_{X' пред.}$:

$$M_{X' пред.} = \frac{k \cdot M_{X'}}{\sqrt{2}}, \quad (VII.45)$$

където:

k - коефициент, отчитащ доверителната вероятност, обикновено приема стойност 3);

$\sqrt{2}$ - показва, че крайните резултати са получени като средни от два полигонови хода.

Получената стойност за пределната грешка $M_{X' пред.}$ се сравнява с допустимата стойност на разминаване на двата забоя:

$$M_{X' пред.} \leq ? \geq M_{X' доп.} \quad (VII.46)$$

Допустимата стойност се взема от Техническата маркшайдерска инструкция (табл.10) в зависимост от вида на изработката, наклона и крепежа ѝ, или се посочва в техническото задание за проекта на сбойката.

Решаване на задачата във вертикалната равнина.

Постъпва се по аналогичен на решението в хоризонталната равнина начин. От обща точка с определена кота се проектират два нивелачни хода до т.К.

Видът на нивелацията зависи от наклона на изработките по които ще се извършва. Възможно е нивелачните ходове да съдържат участъци с геометрична и участъци с тригонометрична нивелация.

Оценката на т.К във височинно отношение се получава от различните нивелачни ходове:

$$\text{от I ход - } M_{Z_I} = \sqrt{M_{Z_I \text{ геом.}}^2 + M_{Z_I \text{ тригоном.}}^2}; \quad (\text{VII.47})$$

$$\text{от II ход - } M_{Z_{II}} = \sqrt{M_{Z_{II} \text{ геом.}}^2 + M_{Z_{II} \text{ тригоном.}}^2}, \quad (\text{VII.48})$$

където:

$M_{Z_I \text{ геом.}}$ и $M_{Z_{II} \text{ геом.}}$ - средни грешки при геометричната нивелация в двата хода;

$M_{Z_I \text{ тригоном.}}$ и $M_{Z_{II} \text{ тригоном.}}$ - средни грешки при тригонометричната нивелация в двата хода.

Общата очаквана грешка във вертикалната равнина ще бъде:

$$M_{Z'} = \sqrt{M_{Z_I}^2 + M_{Z_{II}}^2}. \quad (\text{VII.49})$$

Следва определяне на пределната (граничната) очаквана грешка - $M_{Z' \text{ пред.}}$:

$$M_{Z' \text{ пред.}} = \frac{k \cdot M_{Z'}}{\sqrt{2}}, \quad (\text{VII.50})$$

където:

k - коефициент, отчитащ доверителната вероятност, обикновено приема стойност 3);

$\sqrt{2}$ - показва, че крайните резултати са получени като средни от два нивелачни хода.

Получената стойност за пределната грешка $M_{Z' \text{ пред.}}$ се сравнява с допустимата стойност на разминаване на двата забоя:

$$M_{Z' \text{ пред.}} \leq ? \geq M_{Z' \text{ доп.}}. \quad (\text{VII.51})$$

Допустимата стойност се взема от Техническата маркшайдерска инструкция (табл.10) в зависимост от вида на изработката, наклона и крепежа ѝ, или се посочва в техническото задание за проекта на сбойката.

Ако пределните стойности за очакваното разминаване в отговорните направления в хоризонталната и вертикалната равнина са над допустимите, се коригира технологията на измерване на ъгلوвете и линейните величини, променя се формата на полигона, предвиждат се по-точни инструменти за ъгلوвете, дължинните и височинните измервания.

VII.3. Предварително изчисляване на грешката на срещане на изработки, прокаравани с насрещни забои, от различни рудници

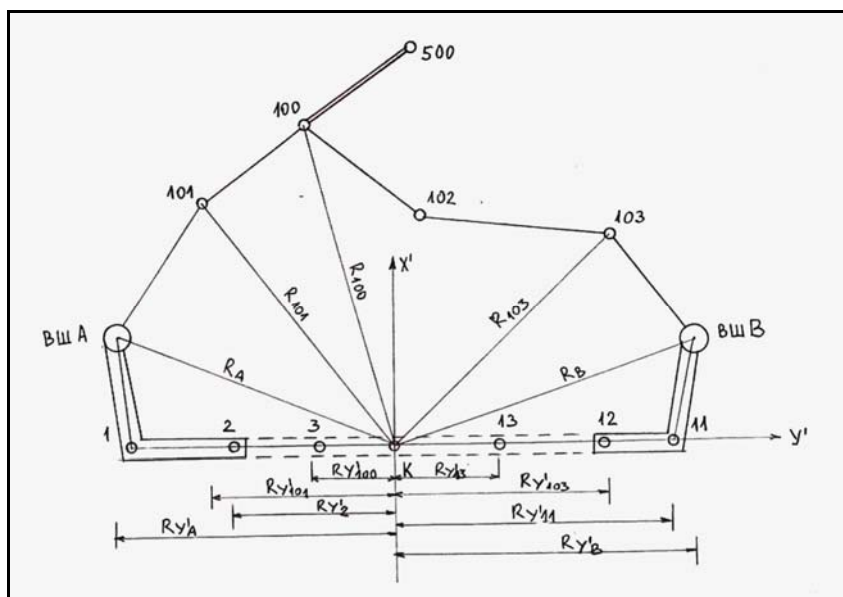
Когато се говори за сбойка от различни рудници, това означава, че между двата насрещни забоя не съществува подземна връзка по която може да се положат полигонов и нивелачен ход.

Характерен пример за този вид сбойка е прокараването с насрещни забои на травербан между две вертикални шахти.

Необходимо условие за правилното решение е двата рудника да бъдат в единна координатна система.

Най-важни етапи при този вид сбойка са:

1. От опорната мрежа на повърхността се координират подходни точки в близост до устията на разкриващите изработки.
2. Извършва се съединителна снимка през разкриващите изработки.
3. Развиват се (проектират се) полигонови и нивелачни ходове от изходните за подземните маркшайдерски снимки точки до мястото на сбойката (т.К).



Фиг.VII.5. Сбойка от различни рудници – определяне на очакваната грешка на срещане в хоризонталната равнина

1. Решаване на задачата в хоризонталната равнина

Стойността на очакваното разминаване на двата насрещни забоя по посока на отговорното направление в хоризонталната равнина зависи от:

А) грешките при измерване на хоризонталните ъгли на полигоновите ходове на повърхността и в рудника:

$$M_{X'_{\beta}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y'_{i_{нов.}}}^2 \cdot m_{\beta_{i_{нов.}}}^2 + \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y'_{i_{руд.}}}^2 \cdot m_{\beta_{i_{руд.}}}^2, \quad (\text{VII.52})$$

където:

$R_{Y'_{i_{нов.}}}$, $R_{Y'_{i_{руд.}}}$ - проекции върху оста Y' на отсечките, свързващи точка К с всеки от върховете на полигоновите ходове на повърхността и в рудника;

$m_{\beta_{i_{нов.}}}$, $m_{\beta_{i_{руд.}}}$ - средни грешки на измерените полигонови ъгли на повърхността и в рудника.

Б) грешките при измерване на дължините на страните на полигоновите ходове на повърхността и в рудника:

$$M_{X'_l}^2 = \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha'_{i_{нов.}} \cdot m_{l_{i_{нов.}}}^2 + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha'_{i_{руд.}} \cdot m_{l_{i_{руд.}}}^2, \quad (\text{VII.53})$$

където:

$\alpha'_{i_{нов.}}$, $\alpha'_{i_{руд.}}$ - ъгли между отговорното направление и всяка страна от полигоновите ходове на повърхността и в рудника;

$m_{l_{i_{нов.}}}$, $m_{l_{i_{руд.}}}$ - средни грешки на измерените дължини на страните на полигоновите ходове на повърхността и в рудника.

Средните грешки на измерените дължини на страните от полигоновите ходове m_{l_i} се изчисляват по формулата:

а) за реално измерени дължини:

$$m_{l_i} = \frac{\Delta S_{I,II}}{\sqrt{2}}, \quad (\text{VII.54})$$

където: $\Delta S_{I,II}$ е разликата между първото (I) и второто (II) измерване (ако е в съответния допуск).

б) за проектни дължини:

$$m_{l_i} = \sqrt{\mu^2 l_i + \lambda^2 l_i^2}, \quad (\text{VII.55})$$

където: μ - коефициент, отчитащ влиянието на случайните

грешки при измерване на дължините на страните l_i ;
 λ - коефициент, отчитащ влиянието на систематичните
 грешки при измерване на дължините на страните l_i .

Стойностите на коефициентите μ и λ са определени в Техническата маркшайдерска инструкция и зависят от категорията на полигоновия ход и наклона на подземната минна изработка.

В) грешките при ориентирането през разкриващите изработки:

$$M_{X'_O} = \sqrt{M_{X'_{O_A}}^2 + M_{X'_{O_B}}^2}, \quad (\text{VII.56})$$

където:

$$M_{X'_{O_A}} = \frac{1}{\rho} \cdot M_{O_A} \cdot R_{Y'_A}; \quad (\text{VII.57})$$

$$M_{X'_{O_B}} = \frac{1}{\rho} \cdot M_{O_B} \cdot R_{Y'_B}, \quad (\text{VII.58})$$

където:

$M_{X'_{O_A}}$ и $M_{X'_{O_B}}$ - грешки при ориентирането през разкриващите

изработки в посока на отговорното
направление X' ;

M_{O_A} и M_{O_B} - грешки при ориентирането през двете
вертикални шахти;

$R_{Y'_A}$ и $R_{Y'_B}$ - проекции върху оста Y' на отсечките,
свързващи центровете на двете шахти и
предполагамата точка на срещане на
забоите (т.К).

При заместване в общата формула за грешките при ориентирането се получава:

$$M_{X'_O} = \frac{1}{\rho} \sqrt{M_{O_A}^2 \cdot R_{Y'_A}^2 + M_{O_B}^2 \cdot R_{Y'_B}^2}. \quad (\text{VII.59})$$

Ако не са известни грешките при ориентирането през двете шахти, то за M_{O_A} и M_{O_B} се приема [34]:

$$M_{O_A} = M_{O_B} = \frac{\Delta\alpha_{\text{дон.}}}{2\sqrt{2}} = \frac{560^{\text{cc}}}{2\sqrt{2}} \approx 200^{\text{cc}}, \quad (\text{VII.60})$$

където $\Delta\alpha_{\text{дон.}}$ е допустимата разлика в ориентиращия ъгъл на подземните снимки от две независими ориентировки през двете разкриващи изработки.

Стойността на очакваното разминаване на двата насрещни забоя по посока на отговорното направление в хоризонталната равнина се определя от сумарното влияние на трите вида грешки:

$$M_{X'} = \sqrt{M_{X'_\beta}^2 + M_{X'_l}^2 + M_{X'_o}^2} . \quad (\text{VII.61})$$

След определяне на очакваното разминаване в посока на отговорното направление в хоризонталната равнина се изчислява пределната (граничната) очаквана грешка - $M_{X'_{\text{пред.}}}$:

$$M_{X'_{\text{пред.}}} = \frac{k \cdot M_{X'}}{\sqrt{2}} , \quad (\text{VII.62})$$

където:

k - коефициент, отчитащ доверителната вероятност, обикновено приема стойност 3);

$\sqrt{2}$ - показва, че крайните резултати са получени като средни от два полигонови хода.

Получената стойност за пределната грешка $M_{X'_{\text{пред.}}}$ се сравнява с допустимата стойност на разминаване на двата забоя:

$$M_{X'_{\text{пред.}}} \leq ? \geq M_{X'_{\text{дон.}}} . \quad (\text{VII.63})$$

Допустимата стойност се взема от Техническата маркшайдерска инструкция (табл.10) в зависимост от вида на изработката, наклона и крепежа ѝ, или се посочва в техническото задание за проекта на сбойката.

2. Решаване на задачата във вертикалната равнина

Стойността на очакваното разминаване на двата насрещни забоя по посока на отговорното направление във вертикалната равнина зависи от:

- А) грешките при извършване на геометричната нивелация на повърхността;
- Б) грешките при извършване на нивелация (геометрична и тригонометрична) в рудника;
- В) грешките при пренасяне на котата през разкриващите изработки.

Общата очаквана грешка на разминаване във вертикалната равнина на насрещните забои е:

$$M_{Z'} = \sqrt{M_{h_{\text{нов.}}}^2 + M_{h_{AK}}^2 + M_{h_{BK}}^2 + M_{h_A}^2 + M_{h_B}^2} , \quad (\text{VII.64})$$

където:

$M_{h_{\text{нов.}}}$ - средна грешка при нивелацията на повърхността;

$M_{h_{AK}}$ - средна грешка при нивелацията в рудника от т.А до т.К;

$M_{h_{BK}}$ - средна грешка при нивелацията в рудника от т.В до т.К;

M_{h_A} - средна грешка при пренасяне на котата през разкриваща изработка А;

M_{h_B} - средна грешка при пренасяне на котата през разкриваща изработка В.

Средните грешки при пренасяне на котата през вертикалните шахти А и В се определят по следния начин:

$$M_{h_A} = \frac{\Delta H_A}{3\sqrt{2}} = \frac{0,02 + 0,0002 \cdot H_A}{3\sqrt{2}}; \quad (\text{VII.65})$$

$$M_{h_B} = \frac{\Delta H_B}{3\sqrt{2}} = \frac{0,02 + 0,0002 \cdot H_B}{3\sqrt{2}}, \quad (\text{VII.66})$$

където:

H_A и H_B - дълбочина на вертикални шахти А и В до ориентирвания хоризонт, (m);

ΔH_A и ΔH_B - разлика (допустима) между две измервания на дълбочината на вертикални шахти А и В, (m).

Следва определяне на пределната (граничната) очаквана грешка - $M_{Z'_{пред.}}$:

$$M_{Z'_{пред.}} = \frac{k \cdot M_{Z'}}{\sqrt{2}}, \quad (\text{VII.67})$$

където:

k - коефициент, отчитащ доверителната вероятност, обикновено приема стойност 3);

$\sqrt{2}$ - показва, че крайните резултати са получени като средни от два нивелачни хода.

Получената стойност за пределната грешка $M_{Z'_{пред.}}$ се сравнява с допустимата стойност на разминаване на двата забоя:

$$M_{Z'_{пред.}} \leq ? \geq M_{Z'_{доп.}}. \quad (\text{VII.68})$$

Допустимата стойност се взема от Техническата маркшайдерска инструкция (табл.10) в зависимост от вида на изработката, наклона и крепежа ѝ, или се посочва в техническото задание за проекта на сбойката.

Ако пределните стойности за очакваното разминаване в отговорните направления в хоризонталната и вертикалната равнина са над допустимите, се коригира технологията на измерване на ъгловите и линейните величини, променя се формата на полигона, предвиждат се по-точни инструменти за ъгловите, дължинните и височинните измервания.

Заклучение

В последните години се забелязва промяна в подземния добив на полезни изкопаеми у нас. С отдаването на концесия на различни видове находища започва увеличаване на инвестициите в минната промишленост, внедряване на нова високопроизводителна добивна техника, увеличаване на добитата продукция, пълноценно изземване на запасите. Добивните работи се водят на по-голяма дълбочина, често пъти в много сложни минно-технически и геоложки условия.

В съответствие с тези промени, маркшайдерското осигуряване в минно-добивните фирми се стреми да подпомага и технически да направлява правилното развитие и водене на минните работи. Заедно с доказали се методи и технологии, все по-често и успешно се прилагат нови, внедряват се инструменти и апаратури, основаващи се на достиженията на съвременната наука и техника. Възможностите им осигуряват висока точност, огромен брой данни, бързина и надеждност на получената информация. Разбира се, всичко това трябва да бъде съобразено с необходимата точност при определяне параметрите на наблюдаваните процеси и технологичните изисквания при подземния добив. Регламентирането на тази точност на извършваните маркшайдерски дейности се задава в нормативните документи и се основава на натрупания опит и на извършените научно-изследователски разработки.

За постигане на желаните резултати по отношение на количество и качество на добитата продукция от минно-добивната фирма е необходимо наличието на добри специалисти, надеждна и производителна съвременна техника за всички звена в предприятието, високо ниво на техниката на безопасност, добра организация и контрол.

Литература

1. Алманах 50 години Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски” (1953-2003), изд.къща „Св.Ив.Рилски”, 2003.
2. Бегновска, М., Необходимост от създаване на кадастър на минно-добивните фирми. сп.”Минно дело и геология”, №1, 2006. ISSN: 0861-5713. ISSN: 0861-5713.
3. Бегновска, М., Методи и средства за маркшайдерско заснемане на недостъпни повърхнини, Дисерт.труд, 2018.
4. Бегновска, М., Маркшайдерска снимка на капитална изработка при различна детайлност на информацията, Пета национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, Девин, България, октомври 2016. ISSN: 1314-7056.
5. Бегновска, М., Определяне обема на отработени пространства в подземни минни изработки и оценка на точността му, Шеста национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 01-04 октомври 2018, Девин, България, с. 189-194. ISSN: 1314-7056.
6. Бегновска, М., Анализ на резултатите от експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер до образци от строителни материали, XXVIII Международен симпозиум „Съвременни технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, 08-09-ноември 2018, София. ISSN: 2367-6051.
7. Бегновска, М., П.Савов, Експериментални резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер, Четвърта национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 23-26 септември 2014, Девин, България, с. 276-283. ISSN: 1314-7056.
8. Бегновска, М., П.Савов, Експериментални резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер, Геология и минерални ресурси (София), 2014, № 9, с. 18-22. ISSN: 1310:2265.
9. Бегновска, М., П.Савов, Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето, Геология и минерални ресурси (София), 2015, № 6, с. 31-33. ISSN: 1310:2265.
10. Бегновска, М., П.Савов, Анализ на резултати от измерване на разстояния с лазерен далекомер до група образци с различни отразителни характеристики, XIII Национална конференция с международно участие

- по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 1-5 септември 2015, Варна, България, с. 198-204. ISSN: 1314-8877.
11. Бегновска, М., П.Савов, А.Кехайов, С.Венков, Изследване и анализ на грешки, дължащи се на разстоянието, албедото, различен ъгъл, дъжд и мъгла при безрефлекторни измервания, VII Международна конференция по геомеханика, 27 юни-01 юли 2016, Варна, България, с. 394-401. ISSN: 1314-6467.
 12. Бегновска, М., Р.Петков, Д.Атанасова., Маркшайдерска снимка на хоризонтална изработка в рудник „Крушев дол“, Четвърта национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практика при подземен добив и минно строителство“, Девин, септември 2014, стр.254-261. ISSN: 1314-7056.
 13. Боев, К., Минна геометрия, „Нова звезда“, София, 2006.
 14. Велев, К., Общо маркшайдерство с анализ на маркшайдерските работи, „Техника“, София, 1965.
 15. Велев, К., М.Мирчев, Д.Радев, П.Ганчев, Маркшайдерство – I и II част, Учебник за техникумите по минна промишленост, „Техника“, София, 1979.
 16. Воронков, Н., Н. Ашимов. Гироскопическое ориентирование, изд. Недра, Москва, 1973.
 17. Господинова, В., Класификация на приложните направления на числените фотограметрични модели в подземния добив, сп.”Минно дело и геология”, бр.1, 2019 г., ISSN: 0861-5713; ISSN: 2603-4549.
 18. Господинова, В., Приложение на цифровата фотограметрия за маркшайдерско картографиране на подземни минни изработки, Шеста национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 01-04 октомври 2018, Девин, България, с. 171-176. ISSN: 1314-7056.
 19. Господинова, В., М.Бегновска, Р.Петков, Изследване възможностите на безпилотното въздушно снимане при решаване на геодезически задачи, XXVI межд.симп.”Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, НТС, 03-04 ноември 2016, София. ISSN: 2367-6051.
 20. Господинова, В., Л.Делийска, Реализиране на основни фотограметрични процеси при използване на безпилотни летателни апарати, сп.”Геология и минерални ресурси”, №10, 2015, стр.31-35. ISSN: 1310-2265.

21. Господинова, В., П.Георгиев, П.Иванов, Създаване на числен фогограметричен модел в подземен рудник, Сборник доклади от VI Национална научно-техническа конференция с международно участие, “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, стр. 155-161, ISSN: 1314-7056.
22. Господинова, В., П.Георгиев, П.Иванов, Създаване на числен фогограметричен модел в подземен рудник, XXVIII Международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области” гр.София, 08-09 ноември 2018г., ISSN: 2367-6051.
23. Господинова, В., М.Бегновска, Р.Петков, Изследване възможностите на безпилотното въздушно снимане при решаване на геодезически задачи, сп.”Геодезия, картография, земеустройство”, №1, 2017, стр.23-26. ISSN: 0324-1610.
24. Даскалова, М., Ив.Здравчев, Математическа геодезия, София, 2005, стр.349-358.
25. ИНСТРУКЦИЯ № РД-02-20-12 от 03 август 2012 г. за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“.
26. Маждраков М., Геодезия. Част 1 – Обща геодезия., ИК „Св. Иван Рилски”, София, 2001.
27. Маждраков, М., Ил.Иванова, Геодезия., Издателство на ШУ „Епископ Константин Преславски”, Шумен, 2014.
28. Маркшейдерское дело, Учебник для вузов, Д.Н.Оглоблин, Г.И.Герасименко, А.Г.Акимов и др. 3-е изд., Москва, „Недра”, 1981.
29. Маркшейдерское дело, учебник для вузов – в двух частях. Част 1 – И.Н.Ушаков, Д.А.Казаков, Г.А.Кротов и др., Москва, „Недра”, 1989, ISBN: 5-247-01799-4. Част 2 – А.Н.Белоликов, В.Н.Земисев, Г.А.Кротов и др., Москва, „Недра”, 1989, ISBN: 5-247-01800-1.
30. Миланова, В., Приложение на жироскопическото ориентиране в маркшайдерското осигуряване на подземното разработване на находищата и подземното строителство, Дисерт.труд, 2018.
31. Миланова, В., М. Минчев, Жироскопичен контрол на ориентирането на подземни изработки. V Национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, Девин, октомври 2016.
32. Минно-геоложката Алма Матер на България, изд.къща „Св. Ив.Рилски”, 2018.

33. Минно-технологичен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски”, изд.къща „Св. Ив. Рилски”, 2011.
34. Техническа маркшайдерска инструкция, ДИ „Техника”, София, 1969.
35. <http://bg.wikipedia.org/wiki>
36. http://m.miningweekly.com/article/underground-mapping-drone-can-enhance-safety-surveyor-2018-04-27/rep_id:3861

Александър Цонков
МАРКШАЙДЕРСТВО
ПРИ ПОДЗЕМНО РАЗРАБОТВАНЕ НА НАХОДИЩА
(КРАТЪК КУРС)
София 2024

ИЗДАТЕЛСКА КЪЩА „СВ. ИВАН РИЛСКИ“ НА МГУ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

СОФИЯ • 2024