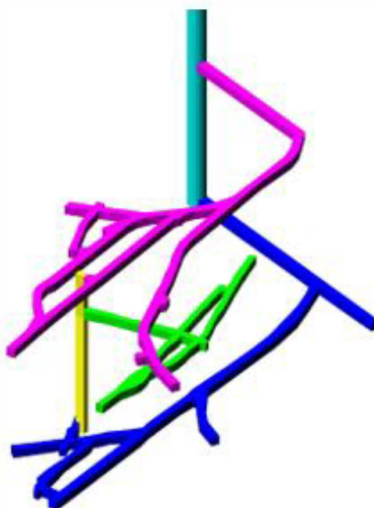




МИЛЕНА БЕГНОВСКА

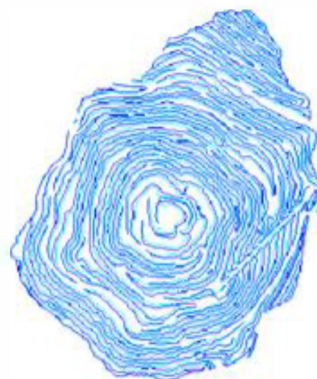
СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА В МАРКШАЙДЕРСКОТО ОСИГУРЯВАНЕ НА МИННИ ОБЕКТИ



$$m_{X_i}^2 = m_{X_{\text{ст}}}^2 + \cos^2 \alpha_i m_{S_i}^2 + S_i^2 \sin^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2}$$

$$m_{Y_i}^2 = m_{Y_{\text{ст}}}^2 + \sin^2 \alpha_i m_{S_i}^2 + S_i^2 \cos^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2}$$

$$m_{Z_i}^2 = m_{Z_{\text{ст}}}^2 + m_{I_i}^2 + \cos^2 Z_i m_{L_{H_i}}^2 + L_{H_i}^2 \sin^2 Z_i \frac{m_{Z_i}^2}{\rho^2}$$



СОФИЯ 2024

Милена Бегновска

**СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГИИ
И СРЕДСТВА В МАРКШАЙДЕРСКОТО
ОСИГУРЯВАНЕ НА МИННИ ОБЕКТИ**

**София
2024**

Автор: доц. д-р инж. Милена Дончева Бегновска
СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА В
МАРКШАЙДЕРСКОТО ОСИГУРЯВАНЕ НА МИННИ ОБЕКТИ
Катедра „Маркшайдерство и геодезия“
Минно-Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“
Българска, първо издание
Рецензент: проф. д-р Георги Стоянчев
Научен редактор: доц. д-р Александър Цонков
ISBN (print): 978-954-353-445-6
ISBN (online): 978-954-353-485-2
Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“
София, 2024

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор	6
I. Маркшайдерството - наука и изкуство	7
II. Минни дейности	8
II.1. Обекти на минно-добивна дейност.....	8
II.2. Видове подземни минни изработки.....	9
II.2.1. Хоризонтални минни изработки.....	10
II.2.2. Наклонени минни изработки.....	12
II.2.3. Вертикални минни изработки.....	14
II.2.4. Изработки от камерен тип.....	15
II.2.5. Добивни минни изработки.....	15
II.3. Видове открити минни изработки.....	15
II.4. Насипища и хвостохранилища.....	20
III. Маркшайдерско осигуряване - същност и реализация	22
III.1. Маркшайдерско осигуряване при проучване и оценка на находищата на подземни богатства.....	22
III.2. Маркшайдерско осигуряване при проектирането на минно-добивното предприятие.....	22
III.3. Маркшайдерско осигуряване при строителството на минно-добивното предприятие.....	23
III.4. Маркшайдерско осигуряване при разработване на находището (експлоатационно осигуряване).....	23
III.4.1. При открито разработване.....	23
III.4.2. При подземно разработване.....	24
III.5. Отчитане и контрол.....	24
III.6. Маркшайдерско осигуряване при рекултивация и ликвидация на минното предприятие.....	25
IV. Съвременни методи, технологии и средства в маркшайдерското осигуряване при разработването на находища на подземни богатства..	26
IV.1. „Класически“ методи, технологии и средства в маркшайдерската практика.....	26
IV.1.1. Измерване на разстояния - принципи и инструменти.....	26
IV.1.2. Ъглови измервания - принципи и инструменти.....	27
IV.1.3. Височинни (вертикални) измервания - принципи и инструменти.....	29
IV.2. Съвременни методи, технологии и средства в маркшайдерската практика.....	30

IV.2.1. Измерване на разстояния с помощта на електромагнитни вълни - принципи и инструменти.....	30
IV.2.2. Заснемане контурите на минните изработки - принципи и инструменти.....	34
IV.2.3. Жироскопични измервания.....	44
IV.2.4. Георадари.....	48
IV.2.5. Глобални навигационни спътникови системи (ГНСС).....	49
IV.2.6. Изчисляване на обеми на отработени пространства.....	53
IV.2.6.1. Общи положения.....	53
IV.2.6.2. Методи за изчисляване на обеми на отработени пространства....	53
IV.2.6.3. Определяне обема на отработени пространства в подземни минни изработки чрез пространствени триъгълни пирамиди и оценка на точността - авторова идея.....	59
V. Обработка и интерпретация на резултатите от маркшайдерски измервания.....	67
V.1. Теория на грешките при измерванията.....	67
V.1.1. Оценка на възможността за приложение на някои геодезични задачи при наблюдения за устойчивостта на инженерно съоръжение.....	75
V.2. Вероятностна оценка на резултатите.....	81
V.2.1. Метод „Монте Карло“.....	81
V.2.2. Последователен анализ - Метод на Валд.....	87
V.3. Анализ на резултати от маркшайдерски измервания чрез времеви редове.....	90
V.3.1. Общи сведения от теорията на времевите редове.....	90
V.3.1.1. Автокорелационна и частна автокорелационна функция.....	91
V.3.1.2. Анализ на тренда.....	92
V.3.2. Приложение на теорията на времевите редове при определяне изменението на пространственото положение на наблюдавани точки от бортове на открит рудник.....	95
V.3.3. Изследвания върху коефициента на рефракция при маркшайдерски наблюдения.....	102
V.3.3.1. Общи сведения.....	102
V.3.3.2. Определяне на коефициента на рефракция при маркшайдерски наблюдения.....	102
V.3.3.3. Използване на променлив коефициент на рефракция при маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на бортовете на открит рудник.....	105

VI. Изучаване на деформационното състояние на скалния масив чрез маркшайдерски наблюдения.....	110
VI.1. Общи положения.....	110
VI.2. Изчисляване елементите на деформации.....	112
VI.3. Изчисляване на елементите на деформации по данни от маркшайдерски наблюдения за различни минни обекти - примери.....	113
VI.3.1. Изчисляване на деформации в скалния масив около подготвителни и нарезни изработки.....	113
VI.3.2. Определяне на елементите на деформации на скалния масив около наклонена разкриваща изработка и две подетажни галерии	118
VI.3.3. Определяне деформационното състояние на опорни целици при подземен добив при камерно-стълбова система на разработване.....	128
VI.3.4. Определяне деформационното състояние на стената на хвостохранилище по време на неговата експлоатация.....	132
Заключение.....	142
Литература.....	143

Предговор

Една от основните задачи при маркшайдерското осигуряване на геолого-проучвателната и минно-добивна дейности е правилното и безопасно водене на минните работи. Развитието на новите технологии разкрива нови възможности за повишаване на ефективността и безопасността на работа, както и за получаване на по-точна и по-обективна маркшайдерска информация.

В маркшайдерското осигуряване на минни обекти все повече се прилагат съвременни методи, технологии и средства, обединяващи теоретичните и практическите основи на науки като математика, физика, оптика, електроника, автоматика, роботика, изчислителна техника, разпознаване на образи и др.

При добива на подземни богатства или строителството на подземни съоръжения е необходимо осигуряване на обективни изходни данни за решаване на широк кръг инженерни, минно-геоложки и технико-икономически задачи. Съвременните маркшайдерски инструменти и технологии, освен отделните измервания, позволяват извършването на различни изчисления по време на самото измерване, а също така осигуряват и много добра основа за последващи графични построения. Те позволяват качествено и пълно обезпечаване на всеки етап от минната дейност от проектирането, до изграждането и експлоатацията на едно минно-добивно предприятие.

Настоящата разработка е монографичен труд, в който са разгледани теоретичните основи на маркшайдерските работи и са приведени примери от изпълнени практически задачи, свързани с различни маркшайдерски дейности. Представени са съвременните направления в развитието на методите, технологиите и средствата за събиране, съхранение и обработка на маркшайдерска информация, както и теоретичната основа за тяхното приложение.

Книгата може да се използва като учебно помагало за студентите от специалност „Маркшайдерство и геодезия” при МГУ „Св. Иван Рилски“, както и от специалисти с приложни интереси в областта на маркшайдерската практика.

I. Маркшайдерството - наука и изкуство

Маркшайдерството е обособен дял от минната наука и практика, подпомагащ непосредствено проучването, строителството, безопасната експлоатация на находищата на полезните изкопаеми, както и дейностите свързани с окончателната ликвидация на рудника и екологичните последици от неговата дейност.

Терминът „Маркшайдерско дело” произлиза от немската дума Markscheidenkunst, която буквално преведена означава: Mark – граница, знак; Scheiden – обозначавам, поставям, пренасям; Kunst – изкуство [66].

Още в древността, с усъвършенстване на уменията да бъдат извършвани минни работи, са били необходими знания за размерите на минните изработки и тяхното взаимно разположение. Запазените исторически ръкописи и археологически разкопки свидетелстват за това, че още тогава хората са притежавали умения за прокарване на подземни минни изработки с достатъчно висока точност.

В процеса на своето развитие маркшайдерството е придобило много по-комплексен характер, но основната задача е осигуряване на безопасна и ефективна работа на минно-добивното предприятие. Маркшайдерът участва във всички дейности на минното предприятие, а от своя страна всяка една дейност се характеризира със свои специфики.

Маркшайдерството е пряко свързано с науки като геодезия, геология, физика, математика, информатика. Като клон от минната наука включва още геометрия на недрата, геомеханика, инструментознание, теория на грешките, фотограметрия и дистанционни изследвания, кадастър и др. Не на последно място специалистът маркшайдер трябва да бъде запознат с действащата в страната нормативна уредба.

Обекти за реализация на маркшайдерското осигуряване (съобразно същността на маркшайдерските задачи при тях) са:

- Открити рудници;
- Подземни рудници;
- Кариери;
- Други минни обекти (шламо и хвостохранилища, места за депониране на отпадъци, насипища и др.).

II. Минни дейности

Природните богатства, като източник на минерални и енергийни суровини са от основно значение за нашето общество. На съвременния етап от развитието на техниката и технологиите добивът им се осъществява чрез високо ефективни методи, подчинени на съответни екологични изисквания и норми.

Минните дейности представляват съвкупност от въздействия върху природната среда, осъществявани на повърхността, под нея или под водни повърхности, с цел строителство и съоръжаване на минни изработки и добив на подземни богатства [29, 53]. Минните работи се реализират чрез процеси или съвкупност от процеси, изпълнявани в определен ред с необходимите технически средства и човешки труд.

II.1. Обекти на минно-добивна дейност

В зависимост от мястото на извършването им, минните работи биват: открити, подземни и подводни. Прекият ефект от изпълнението на различните минни дейности са различните минни изработки, добитите подземни богатства, насипаните скални маси и състоянието на природната среда.

Минните изработки са изкуствено създадените в резултат на минни работи празнини на или под земята [29, 53]. Обвързано с минните дейности изработките могат да се намират в строителство, в завършен вид, изоставени или в ликвидация, или в експлоатация. Също така те могат да обслужват добива или да бъдат добивни.

Минните изработки са ориентирани в пространството и се характеризират с:

- местоположение, конфигурация, направление и наклон;
- дължина, обем, форма и размери на напречното сечение;
- елементи, съоръжаване и начин на използване на изработката.

Може да бъде направена следната обобщена класификация на минните изработки:

- В зависимост от местоположението - открити и подземни.
- В зависимост от конфигурацията - коридорни, лентообразни и камерни.
- В зависимост от направлението си - праволинейни и криволинейни, с начупена и винтова ос.
- В зависимост от наклона - хоризонтални, наклонени, стръмни и вертикални.

Минно-добивното предприятие и дейността на хората работещи в него са обвързани пряко с живота и просперитета на съвременното общество [29, 97, 53]. Минната дейност въздейства върху много от компонентите на околната среда (земни недра, геоложка основа, подземни богатства, хидрология, хидрогеология, ландшафт, земи, почви, културно-историческо наследство, обществено-икономически живот, чистота на атмосферния въздух, растителен и животински свят, и др.). Голямото многообразие на природни условия обуславя и необходимостта от голямо многообразие на минно-техническите решения, за осъществяване на безопасен, ефективен и екологосъобразен добив на подземни богатства. Отговорността на минните инженери, при оценка на ситуациите, при проектирането, строителството, управлението и контрола на дейностите в минно-добивното предприятие, е огромна. В работата си те се ръководят от заложените в проекта решения, съобразявайки се с конкретната ситуация в интерес на здравето и безопасността на хората.

Рудничната технологична схема включва следните обекти:

➤ при открит добив на подземни богатства: рудник, руднично поле, насипище, обслужващи сгради, съоръжения и присъединителни пътища. Присъединителните пътища включват вътрешнорудничните, пътищата до насипището и приемните бункери на обогатителната фабрика или преработвателното звено, и пътищата до сградите и съоръженията, обслужващи рудника.

➤ при подземното разработване на находищата: надземен рудничен комплекс, разкриващи изработки, подготвителни изработки, добивни изработки, транспорт, вентилация, водоотлив, енергоснабдяване и др. В надземния комплекс и технологичната площ, ангажирана за работата на рудника, се изграждат различни основни и обслужващи обекти и присъединителни пътища. Техният брой, предназначение и местоположение се влияе силно от вида на подземното богатство, обект на добив, формата на залягане на залежа, използваните технически средства и прилаганите добивни технологии.

II.2. Видове подземни минни изработки

Подземните минни изработки са изкуствено създадена система от празнини в земните недра, чрез която се осигурява достъп до подземното богатство и се създават условия за ефективно и безопасно извършване на добивните процеси [29, 53]. Също така се изграждат и подземни складови помещения, хранилища и транспортно-комуникационни изработки.

Според предназначението си във връзка с проучването и усвояването на находищата те са проучвателни, разкриващи, подготвителни и добивни (експлоатационни).

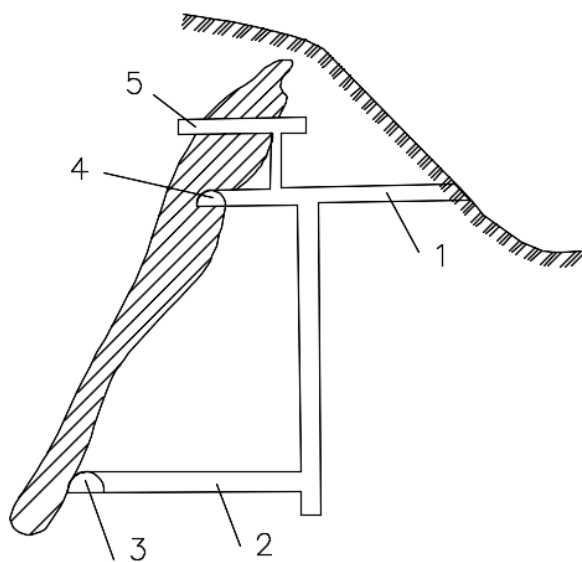
Проучвателните изработки са предназначени за проучване на находището и извършване на предварителна оценка за количеството и качеството на суровината и на природните условия. С разкриващите изработки се създава достъп до залежа или част от него. С подготвителните изработки се осигурява подготовката за добив, а с добивните изработки се осъществява непосредственото отделяне на полезното изкопаемо от вместиращите скали.

Според технологичното си предназначение подземните минни изработки могат да бъдат транспортни, вентилационни, пътеходни и др.

В зависимост от наклона те биват: хоризонтални, наклонени, вертикални и камерни изработки.

II.2.1. Хоризонтални минни изработки (фиг. II.1)

Към тази група се включват всички подземни изработки с различно ориентирани оси, сечения, предназначения и др., при които наклонът на изработките не превишава $2 \div 5 \text{ ‰}$ [29, 53, 54]. Наклонът на изработките трябва да осигурява гравитачно оттичане на водите от тях. Тези изработки са: тунел, щолня, галерия, травербан, орт и ниша.



Фиг. II.1. Хоризонтални изработки [54]

Тунел - хоризонтална или леко наклонена изработка с два изхода на повърхността. Използва се за транспортно-комуникационни, хидротехнически (фиг. II.2) и други цели.

Щолня (1) - хоризонтална подземна минна изработка с пряк изход на повърхността (фиг. II.3). Използва се за геолого-проучвателни цели, разкриване на рудници и осигуряване на транспортно и технологично обслужване на рудника.



Фиг. II.2. Тунел



Фиг. II.3. Щолня

Галерия (3, 4) - хоризонтална изработка без изход на повърхността, прокарана успоредно на линията на простирание на залежа. Служи за хоризонтален извоз и се включва в транспортно-обслужващата дейност в рудника. В зависимост от предназначението си получава допълнително уточняващо наименование най-често поставяно пред основното „галерия“ - събирателна, капитална, хоризонтна, етажна, стълбова, пластова, скална и др.

Травербан (2) - хоризонтална изработка без пряк изход на земната повърхност, прокарана напречно или косо на линията на разпространение на залежа. Оста на изработката най-често е праволинейна. Използва се като допълнителна разкриваща, подготвителна и нарезна изработка в рудника или негов участък. В зависимост от конкретното предназначение травербанът получава допълнително уточняващо наименование най-често поставяно пред основното: капитален травербан, етажен травербан, участъков, блоков и др.

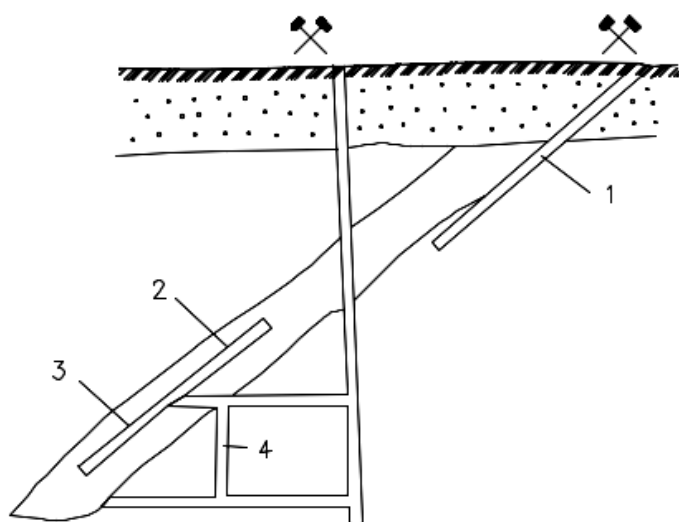
Орт (5) - хоризонтална минна изработка без изход на повърхността свързваща долнището с горнището на залежа. Използва се за геологопроучвателни, нарезни и добивни цели. Ортът е глуха минна изработка, осигуряваща най-често връзка с галерии.

Ниша - хоризонтална минна изработка с един вход-изход с основна минна изработка. Използва се за различни технологични цели при добива и като

укритие в дълги подземни изработки. В съответствие с изискванията за безопасност, през 600 m по дължина, в изработките се изграждат ниши-укрития.

II.2.2. Наклонени минни изработки (фиг. II.4)

Към тази група спадат всички изработки, с наклон по-голям от 3-5 ‰ [29, 53, 54]. Към тях се отнасят: наклонена шахта, бремсберг, уклон и комин. В зависимост от наклона си се делят на полегати (до 10°), наклонени (10°÷36°) и стръмни (36°÷90°). Границата 36° се обосновава с това, че насипан върху долнището скален материал започва гравитачно движение по изработката при наклон 34°÷36°.



Фиг. II.4. Наклонени изработки [54]

Наклонена шахта (1) - наклонена изработка с изход на повърхността. Ориентира се различно спрямо залежите. Прокарва се с праволинейна, начупена или винтова ос, с наклон в зависимост от възможностите на използвания вид транспорт. Наклонените шахти се използват като основни и спомагателни разкриващи изработки на подземните рудници.

Бремсберг (2) - наклонена изработка без изход на повърхността, предназначена за спускане на товари с механични средства. Ориентира се по линията на западане, в залежа или в скалите от горнище и долнище. Обикновено е с праволинейна ос и наклон в зависимост от възможностите на използваното механично средство за транспорт. Използва се като основна подготвителна изработка за рудника или негов участък. Рядко се използва за добивни цели.

Уклон (3) - наклонена изработка без изход на повърхността, предназначена за изкачване на товари с механични средства. Тя има същите признаци като бремсберга.

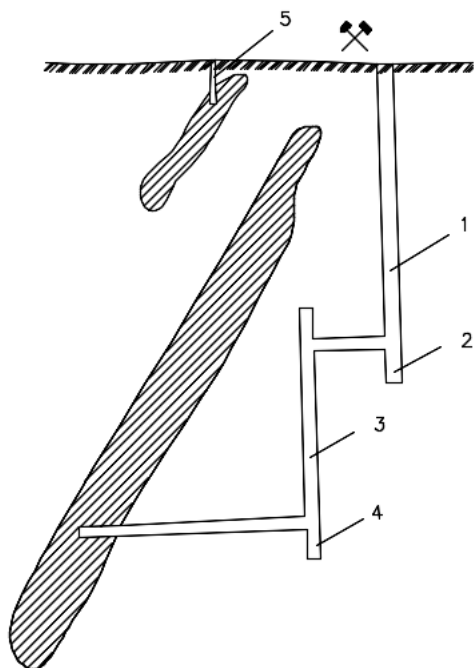


Фиг. II.5. Комин

Комин (4) - стръмно наклонена минна изработка без пряк изход на повърхността, предназначена за гравитачно спускане на полезни изкопаеми или скален материал, за вентилация и др. Често коминът е предназначен за движение на хора, като е оформено пътеходно отделение съоръжено със стълби (фиг. II.5). Ориентира се по линията на западане в залежа или по скала. Обикновено е с праволинейна ос и наклон от 55° до 90° . Формата на напречното сечение обикновено е кръг, правоъгълник или квадрат с размер на напречното сечение от 1 до 12 m^2 и дължина от 2-3 m (къси комини), 40-100 m (блокови комини) и от 100 до 300 m (капитални спусъци). Съоръжават се с едно, две и повече отделения. Използват се като подготвителни и нарезни изработки в руднични участъци (блокове). Най-често свързват две близки руднични нива, подготвени с галерии. Понякога се използват и за добивни цели. Комините в рудниците се отличават с голямо многообразие на параметри и използване. Затова конкретното наименование се формира с допълнителни определения.

II.2.3. Вертикални минни изработки (фиг. II.6)

Към тази група минни изработки са включени: вертикална шахта, шурф, сяпа вертикална шахта, гезенк и кладенец [29, 53, 54].



Фиг. II.6. Вертикални изработки [54]

Вертикална шахта (1) - вертикална минна изработка с пряк изход на повърхността. Прокарва се с различно местоположение спрямо залежа. Съоръжава се за изкачване и спускане на полезно изкопаемо, материали и хора, с механичен подем. Най-често използваната минна изработка за разкриване на рудници с дълбочина на разработване от 50-100 до 3000 и повече метра. В зависимост от конкретното предназначение получава допълнително уточняващо наименование - главна, спомагателна, допълнителна. Частта от

вертикалната шахта под последния рудничен двор (2, 4) се нарича „зумпф“.

Шурф (5) - вертикална минна изработка с изход на повърхността и дълбочина до 50 m. Залага се на различно местоположение спрямо залежа. Използва се за геологопроучвателни цели и като спомагателна изработка в действащи подземни рудници на малка дълбочина.

Сяпа шахта (3) - вертикална минна изработка без непосредствен изход на повърхността. Прокарва се във връзка с други разкриващи изработки и има същите признаци както вертикалната шахта. Използва се като главна или допълнителна разкриваща изработка в рудници с дълбочина до и над 3000 m.

Гезенк - вертикална минна изработка без изход на повърхността, предназначена за гравитачно спускане на товари. Използва се като основна изработка в транспортната схема на рудника или участъка. Получава допълнително уточняващо наименование (капитален, участъков, стълбов).

Кладенец - вертикална минна изработка с един изход/вход на повърхността или в друга минна изработка. Биват плитки и дълбоки. Плитките кладенци обикновено се прокарват чрез минни работи и са с диаметър от 1 до 2.5 m и дълбочина от 3-4 до 50 m. Дълбоките кладенци се прокарват чрез сондажни работи и имат диаметър до 0.5 m и дълбочини от 15-20 m до няколко

хиляди метра. Използват се за проучвателни цели и сондажен добив на течни, твърди и газообразни природни богатства. При добив на твърди полезни изкопаеми кладенците се съоръжават и използват главно за осушаване на добивни полета, за водосборни и водоотливни цели.

II.2.4. Изработки от камерен тип

Това са подземни минни изработки с голям обем и приблизително еднакви размери по трите взаимно-перпендикулярни направления [29, 53]. Ориентирани са различно спрямо залежа в пространството на минния масив. Използват се за обслужване на рудничната дейност или при добив. В зависимост от конкретното предназначение получават допълнително уточняващо наименование: технологични камери, добивни камери, бункер камери, машинни камери и др. Камерите се използват като машинни зали, скривалища, хранилища, производствени цехове, за санитарни нужди и др.

II.2.5. Добивни минни изработки

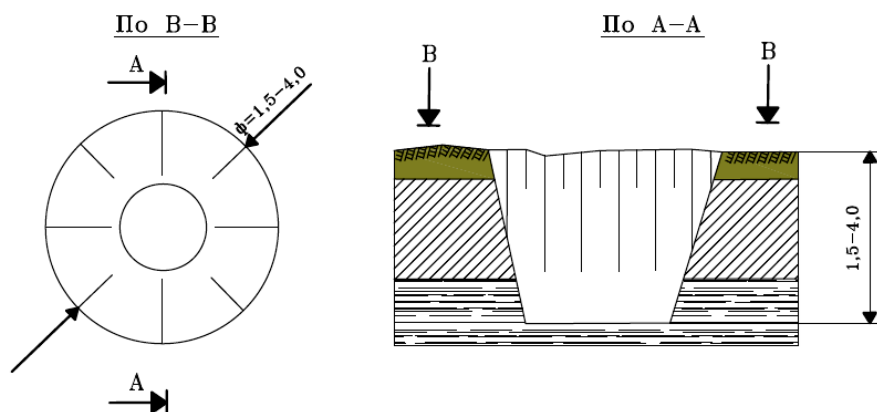
Минните изработки, създадени и поддържани за целите на добива, се наричат добивни [29, 53]. Те са ограничени по площ и обем пространства от масива, в които се извършват съвкупност от процеси и операции, осигуряващи безопасен и ефективен добив на подземни природни богатства. Характеризират се с голямо многообразие в конфигурацията, параметрите и динамиката в минния масив.

Важен елемент на добивната изработка е добивният забой. Той може да бъде ориентиран различно в пространството, спрямо елементите на залягане (по простирание, по западане или задигане), да има различна конфигурация (праволинеен, стъпаловиден, дъговиден и др.), различна дължина и височина. Добивните изработки, като обекти и наименования, много често се заместват с термина добивен забой. Камерите, в които се извършва добив на полезно изкопаемо, се наричат добивни.

II.3. Видове открити минни изработки

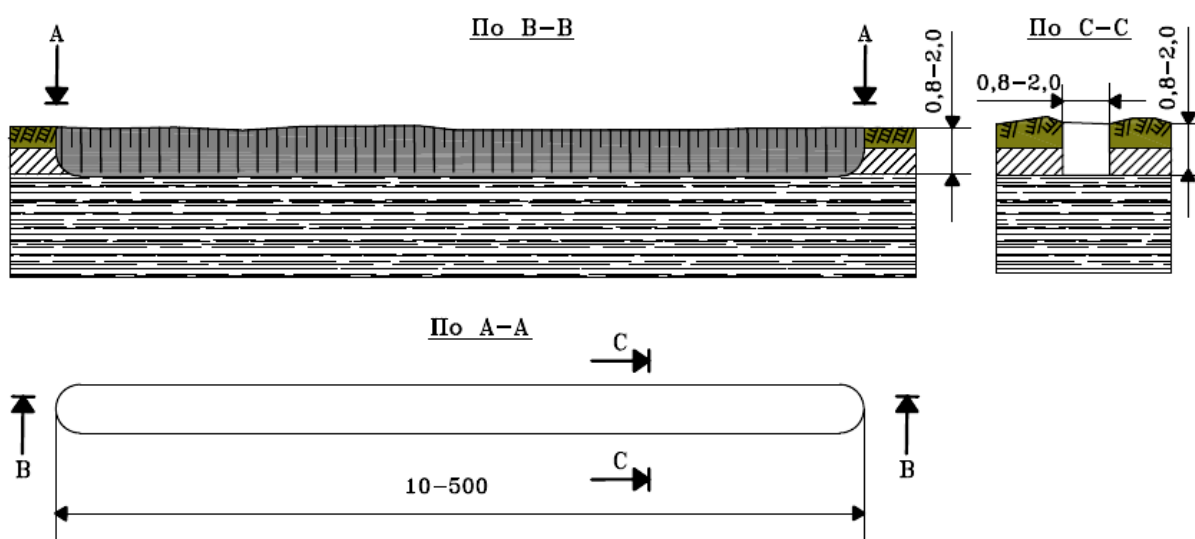
Открити минни изработки са всички изработки разположени на земната повърхност [29, 53]. Те имат отворен контур и се използват за геологопроучвателни, миннодобивни и транспортно-комуникационни цели. Към тях спадат: яма, канава (канавка), траншея, полутраншея, разчистка, спусък, рудоскат, рудоподемник, канал.

Яма - конусообразен изкоп с ограничена площ и дълбочина (фиг. II.7). Диаметърът и дълбочината на изкопа се движат от 1.5 до 4 m. Ямата се използва най-често за геологопроучвателни цели в етапа на геоложката снимка и търсене на плитко залягащи залежи.



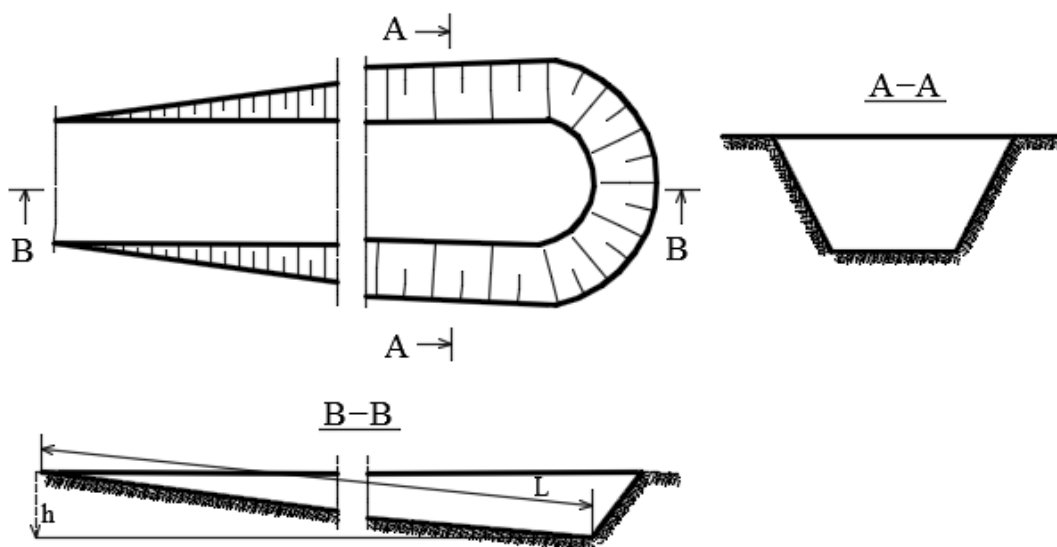
Фиг. II.7. Яма [29]

Канава - лентообразен изкоп с постоянна дълбочина (фиг. II.8). Разположен е и следва теренните особености на земната повърхност. Формата на напречното сечение е различна, най-често правоъгълник или трапец с ширина от 0.5 до 2 m и дълбочина от 0.8 до 4-5 m. Дължината варира от 10 до 200-500 m. Използват се за проучване в етапа на геоложкото търсене. Канавите с дължина над 100 m се наричат магистрални. В района на действащите рудници канавите-канавки се използват за отводнителни цели. Прокарват се ръчно или с механични средства.



Фиг. II.8. Канава [29]

Траншея - лентообразен изкоп с голямо напречно сечение и променлива дълбочина (фиг. II.9). Ориентирана е различно спрямо залежа и е най-често с трапецовидно сечение. Оста на траншеята може да бъде праволинейна или криволинейна. Размерите на напречното сечение, дължината и наклонът ѝ зависят от нейното предназначение, начина на прокарване и използваните технически средства за транспорт. Големината на сечението на траншеите е от 18-20 m² до 300-400 m². Дължината им може да бъде от 100-200 m до 5-10 km, а максимално допустимият наклон - от 25 до 150 ‰. Траншеята се използва за проучване, разкриване и подготовка на открити рудници. В зависимост от конкретното предназначение приема допълнително уточняващо наименование - капитална, нарезна, проучвателна, вътрешна, външна и др.



Фиг. II.9. Траншея [29, 53]

Полутраншея - траншея с непълен профил (един борд). Притежава признаците на траншеята. Най-често се прокарва при силно пресечени терени. Използва се за проучване, разкриване и добив.

Разчистка - ограничена по площ и обем площадка с разкритие на основен геоложки комплекс. Обикновено се прокарва по склон и служи за геолого-проучвателни цели в етапа на геоложкото търсене, за площадка при строителство (устия и портали) на подземни минни изработки или за ограничена добивна дейност. Прокарва се с пробивно-взривни работи или с механични средства.

Спусък - наклонен лентообразен изкоп, осигуряващ пътна връзка между две съседни нива (стъпала, хоризонти) за движение на машини и хора. Използва се като спомагателна изработка в откритите рудници и кариери.

Рудоскат - борд на стъпало, по който се извършва гравитачно спускане на полезно изкопаемо. Представлява част от претоварна гара (площадка), която най-често се използва при смяна на вида на транспорта или за регулиране качеството на полезното изкопаемо чрез смесване.

Рудоподемник - стръмнонаклонен лентообразен изкоп, съоръжен за подем (изкачване на товари с помощта на подемни уредби и скипови вагони, движещи се по релси). Сечението му се определя от броя на скиповите пътища и размерите на скиповете. Наклонът на рудоподемника варира от 25 до 60°, а дължината от 50 до 500 m.

Канал - лентообразен изкоп запълнен с вода. Прокарва се с различно сечение, размер и дълбочина. Използва се за транспортни, отводнителни, спомагателни и добивни цели.

Основните добивни изработки при открито разработване на полезни изкопаеми са работните стъпала [29, 53]. Те се формират и развиват в рамките на рудника, в резултат на изкопно-транспортни, добивни и насипищни работи.

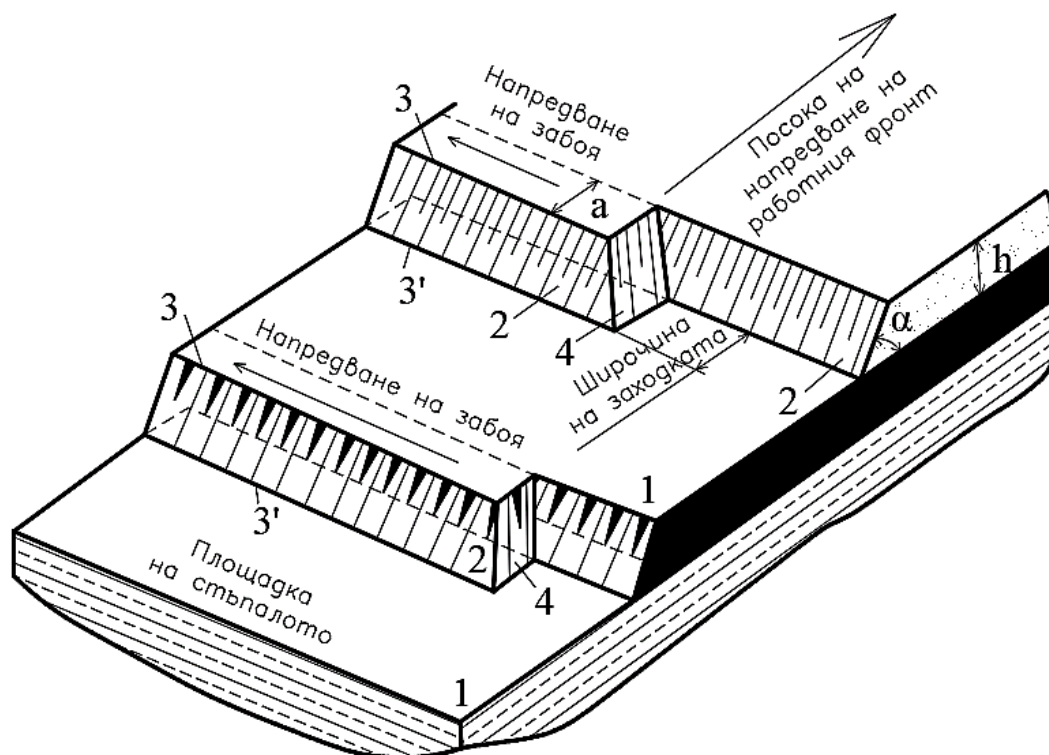
Работно стъпало е хоризонталният слой от минния масив, в изкопаване или насипване, отработван със самостоятелни средства за механизация. В зависимост от вида на минния масив (почви, скали, полезно изкопаемо), работното стъпало може да бъде:

- по откривка – откривно;
- по полезно изкопаемо – добивно;
- в насипване – насипищно.

Стъпалото има горна и долна площадка, откос и ръбове (фиг. П.10 и П.11). Откосът на стъпалото е наклонената повърхност, която го ограничава откъм издетото пространство. Тя сключва с хоризонта ъгъл, наречен ъгъл на откоса. Този ъгъл варира от 10-15 до 75-80°. Линията на пресичане на откоса, съответно с горната и долната площадки, се нарича, съответно горен и долен ръб на стъпалото. Височината на стъпалото е най-късото разстояние между долната и горната площадки. Хоризонталните повърхности на стъпалото, ограничаващи го по височина, се наричат площадки. В зависимост от съоръжаването и състоянието, площадките биват: транспортни, работни, неработни, предпазни и др. Широчината им варира от 7-10 до 50-70 m.

Параметрите на работните стъпала се определят в зависимост от целите, вида и спецификата на обекта, мястото, вида и възможностите на средствата за

осъществяване на изкопно-транспортните и насипищни работи. Всяко стъпало се характеризира с конфигурация, направление и фронт. Формата му е праволинейна, криволинейна или начупена. Основният параметър е дължината на фронта на стъпалото. По линия на фронта, стъпалото много често се разделя на блокове, които се обработват чрез ивици-заходки. Много рядко отработването е фронтално - по откоса на стъпалото.



Фиг. II.10. Елементи на стъпалото [53]

1 – площадка; 2 – откос на стъпалото; 3, 3' – горен и долен ръб на стъпалото;
4 – забой; а – заходка; α – ъгъл на откоса; h – височина на стъпалото.

Заходка - част от стъпало или подстъпало, определена по ширина и разработвана със самостоятелни средства за механизация на минните работи. Заходките могат да бъдат напречни и надлъжни по отношение на формата на стъпалото. Челната част на заходката, която служи за работно място на добивната машина се нарича забой. В него непосредствено се изкопава или разполага минната маса. Ширината на заходката (добивният забой) се определя от вида и параметрите на изкопно-товарната механизация и варира от 10-20 до 20-60 m.



Фиг. II.11. Открити минни изработки

II.4. Насипища и хвостохранилища

В Република България урегулирането на дейностите по управление на минните отпадъци се извършва по реда на Наредба за управление на минните отпадъци от 19.01.2016 г. и Глава 8 от Закона за подземните богатства.

Въз основа на качествената характеристика и състава на минните отпадъци и според степента на риска за околната среда и/или човешкото здраве минните отпадъци се класифицират като [52]: незамърсени почви, инертни отпадъци, неопасни отпадъци от проучването, отпадъци от добива и преработката на торф, неопасни неинертни отпадъци, опасни отпадъци.

Класификацията служи за подбор на съоръжение за приемане и обезвреждане на отпадъците.

Минните отпадъци се депонират и съхраняват на определени за целта площадки или в съоръжения за минни отпадъци, чието местоположение, конструкция и управление предотвратяват или максимално намаляват отрицателното им въздействие върху компонентите на околната среда и/или човешкото здраве, без да причиняват безпокойство чрез шум или миризми, и без да влияят отрицателно на места от особен интерес [32]. Не се допуска насипването или депонирането на минни отпадъци на места извън посочените за това съоръжения, както и изоставянето на съоръженията без надзор и контрол.

С оглед осигуряване на безопасна работа и екологично съобразена експлоатация на съоръженията, е необходимо провеждането на точни и надеждни маркшайдерски измервания, както и последваща интерпретация на получените резултати.

Съоръжение за минни отпадъци е всяко пространство – насипище, хвостохранилище (шламоохранилище) или друго, предназначено за събиране

или депониране на минни отпадъци в твърда или в течна фаза, в разтвор или суспензия [52]. Съоръжението за минни отпадъци включва и всяка язовирна стена/бент или друга структура, служеща да съдържа, задържа, ограничава или поддържа по друг начин съоръжението.

В зависимост от своите особености съоръженията за минни отпадъци са:

- насипища (табани) (фиг. П.13);
- хвостохранилища (фиг. П.12) и шламоохранилища;
- други.



Фиг. П.12. Хвостохранилище „Лъки-2 временно“



Фиг. П.13. Обединени северни насипища, рудник „Трояново – 1“

III. Маркшайдерско осигуряване - същност и реализация

Успешното решаване на различни минно-технически задачи до голяма степен зависи от качеството на маркшайдерското осигуряване, а това от своя страна е предпоставка за вземане на ефективни управленски решения, надеждно проектиране, правилно и безопасно водене на минните работи.

Маркшайдерското осигуряване започва с геолого-проучвателните работи и завършва с ликвидацията на минно-добивното предприятие.

III.1. Маркшайдерско осигуряване при проучване и оценка на находищата на подземни богатства

Маркшайдерското осигуряване при геоложкото проучване се състои в създаване на опорна мрежа и работна основа, заснемане на земната повърхност в района на проучването, трасиране на точките от мрежата за детайлно геоложко картиране, както и трасиране местата на проучвателните изработки (сондажи, шурфове, канали, проучвателни галерии и др.). Маркшайдерът е водещ специалист при създаване на необходимите графични материали, съвместно с геолога, с нанесени всички геолого-проучвателни изработки, планове на опробването и съответни разрези и планове за изчисляване на запасите. Друга основна задача при маркшайдерското осигуряване е извършването на геометризация на недрата (научноизследователски процес за изучаване на находищата на подземни богатства), чрез събиране на данни за различните показатели на находището и тяхната обработка с оглед построяването на геолого-математически и геометрични модели и графики (извършва се през всички етапи от усвояването на находището). След приключване на геолого-проучвателните работи в находището се изготвя доклад, с приложен координатен регистър на проучвателните изработки, отразяващ извършените маркшайдерски дейности и изчислените запаси.

Заклучителен етап при проучване и оценка на находищата на подземни богатства е изготвянето на технико-икономическа оценка, относно икономическата изгода от разработване на находището, която да послужи при вземане на обосновано решение за бъдеща експлоатация.

III.2. Маркшайдерско осигуряване при проектирането на минно-добивното предприятие

На този етап се извършват допълнителни проучвателни работи в района на минно-добивното предприятие. В етапа на проектирането се обосновават методите на разкриване на находището, приетата система на разработване,

планира се разположението на елементите от наземния технологичен комплекс, набелязват се мероприятия за опазване на съоръженията (надземни и подземни) от вредното влияние на минните работи, съставя се програма за развитието на минните работи, изчисляват се промишлените запаси от подземно богатство и възможните загуби.

III.3. Маркшайдерско осигуряване при строителството на минно-добивното предприятие

В периода на строителство, маркшайдерските задачи са изключително разнообразни и отговорни. Маркшайдерът осигурява пренасянето на проекта в естествени условия. Извършва трасиране на всички проектни елементи на съоръженията, задаване и контролиране прокарването на разкриващите изработки, попълване на строителните книжа и контрол през време на строителството.

След приключване на този етап се извършва екзекутивно заснемане на всички съоръжения и отразяването им върху съответната графична документация.

III.4. Маркшайдерско осигуряване при разработване на находището (експлоатационно осигуряване)

III.4.1. При открито разработване

При разработване на находища на подземни богатства в световен мащаб, откритият добив заема водеща позиция. Съвременното развитие на механизацията и автоматизацията на процесите позволяват достигане на изключително висока производителност, безопасен, ефективен и икономически изгоден добив.

При добива по открит способ се извършва голям обем от дейности, подлежащи на маркшайдерско осигуряване [40]. Основните маркшайдерски функции са свързани с осигуряване на основните технологични процеси в рудника, планиране развитието на минните работи, проектиране и контрол на откривната, добивната и насипищната дейности. Основна задача на маркшайдерската служба е и създаване и поддържане на точни, пълни и актуални модели на минните изработки, наблюдение и анализ на деформационни процеси (наблюдения за устойчивост на бордовете и откосите на стъпалата). Също така, основно е и участието на маркшайдера при рекултивацията на нарушените в резултат от минната дейност територии, както

и изпълнението на задължения, свързани с изпълнението на концесионния договор.

III.4.2. При подземно разработване

През периода на експлоатация на минно-добивното предприятие, основните маркшайдерски задачи са свързани с осигуряване на геометрична връзка между координатната и височинна система на земната повърхност и същите системи в подземните минни изработки. Съединителните снимки са отговорни, сложни и трудопоглъщащи дейности, изискващи висока точност, особено при определяне на посочения ъгъл на първата подземна полигонова страна.

Друга не по-малко отговорна задача е задаване на направление за прокарването на нови изработки, своевременното им и пълно заснемане, изобразяването им върху маркшайдерските планове и разреза [66]. Също така, при разработване на находището, маркшайдерът определя границите на безопасно водене на минните работи и на предпазните целици в масива, провежда наблюдения и мероприятия за опазване на обектите на земната повърхност и в масива от вредното влияние на минните работи, изучава характера и параметрите на движение и деформации на скалите и земната повърхност, проявите на скалния натиск, планира развитието на минните работи, изчислява обемите добита минна маса, запасите и нивото на загубите и обедняването за отчет на движението на запасите.

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция (ТМИ) всяка маркшайдерска дейност се съпътства с анализ на точността.

Не на последно място трябва да се отбележи, че маркшайдерът участва в създаването и поддържането в актуално състояние на модела на минните изработки, което е условие и предпоставка за ефективно управление и планиране на минните работи.

III.5. Отчитане и контрол

Всички етапи от усвояването на находищата на подземни богатства се съпътстват и от съответни отчетни и контролни дейности, осъществявани пряко от маркшайдера в рамките на неговата компетентност, а по-точно:

- текущо отчитане на развитието на минните работи;
- оперативен отчет на добива и контрол на всички маркшайдерски дейности и измервания по отношение качествено изпълнение на минните

работи в съответствие с утвърдените технически проекти, месечните и годишни планове;

- контрол за максимално и пълно изземване на запасите;
- отчет за рационалното управление на запасите (съвместно с геолога);
- контрол за правилното и безопасно водене на минните работи;
- мониторинг на обекти и технически съоръжения;
- текущо поддържане на документацията и съответни архивни материали.

III.6. Маркшайдерско осигуряване при рекултивация и ликвидация на минното предприятие

Маркшайдерското осигуряване на едно минно-добивно предприятие не приключва с преустановяване на добива в находището. Съществен елемент, при експлоатацията на всяко едно минно-добивно предприятие е извършване на дейности по рекултивацията на нарушените терени в границите на минното предприятие.

Ликвидацията на едно минно-добивното предприятие е процес свързан с окончателно прекратяване на дейностите по производството и преработка на минерали, осигуряване на безопасност и условия изключващи достъпа в минните изработки, опазване на околната среда, сградите и съоръженията.

След ликвидацията на минното предприятие се извършва окончателна снимка на минните изработки до крайните им контури, допълване на чертежи, изчисляване на координати и попълване на координатни регистри, окомплектоване и предаване в държавния архив на цялата документация, касаеща проучването, експлоатацията и ликвидацията на минно-добивното предприятие [66]. Също така е необходимо да бъдат решени проблемите, свързани с останалите запаси от полезно изкопаемо в земните недра.

IV. Съвременни методи, технологии и средства в маркшайдерското осигуряване при разработването на находища на подземни богатства

IV.1. „Класически“ методи, технологии и средства в маркшайдерската практика

В практиката на маркшайдерите се извършват ъглови, линейни и височинни измервания за нуждите на маркшайдерското обслужване на минното предприятие.

IV.1.1. Измерване на разстояния - принципи и инструменти



Фиг. IV.1. [101]

При измерване на разстояния се прилагат непосредствени и посредствени методи.

– Непосредствен метод за измерване на дължини - известен е още от зората на маркшайдерските и геодезически измервания и се състои в непосредствено полагане на определен мерен уред върху измерваното разстояние [66, 39]. Обикновено се използват 20, 30 или 50

метрови ролетки, разграфени през 1 cm (първият дециметър е разделен през 1 mm.) (фиг. IV.1). Преди започване на измерването, ролетката трябва да бъде компарирана. Практиката показва, че относителната грешка на измерване на дължини с ролетка е между $1/2\ 000$ и $1/3\ 000$ [39].

– Посредствени методи за измерване на дължини - стойността на дължината се изчислява чрез други измерени величини, на базата на съответни зависимости [3, 39].

Могат да се приложат три начина за посредствено измерване (определяне) на дължини:

– Геометричен – Построяват се подходящи геометрични фигури и се измерват непосредствено необходимите от тях елементи, за изчисляване на търсеното разстояние.

– Тригонометричен – Измерват се ъгли и дължини и с помощта на тригонометрични функции се изчислява търсеното разстояние.

Измерването на дължини по гореизброените методи при днешните условия е изгубило своето предишно значение. Прилага се само в отделни частни случаи [39].

Ъгълът се определя от два различни лъча с общо начало.

– Хоризонтален ъгъл (β) - мярка за въртене на равнина около неподвижна вертикална ос по посока на часовниковата стрелка (фиг. IV.2).

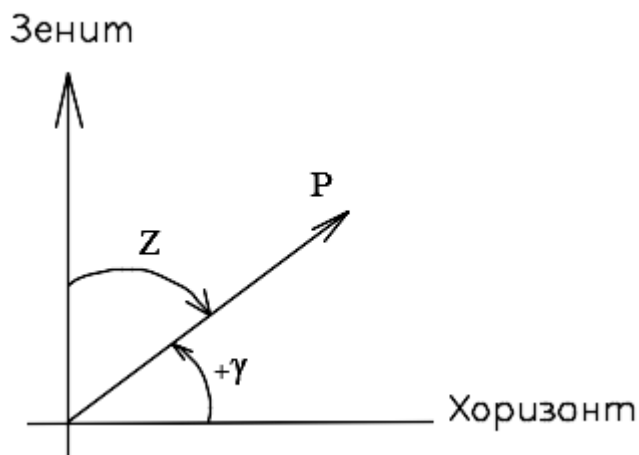
– Вертикален ъгъл (γ) - ъгълът
склучен между хоризонта и
наблюдаваната посока. Той може да
бъде положителен (над хоризонта) или
отрицателен (под хоризонта).

склучен между посоката към зенита и наблюдаваната посока.

$$Z + \gamma = 100 \text{ g} \quad (\text{IV.1})$$

„Класическите“ инструменти, с чиято помощ се измерват хоризонтални и зенитни (вертикални) ъгли, се наричат теодолити (фиг. IV.4).

В зависимост от тяхното устройство и начина на отчитане те се делят на [3, 39]:



Фиг. IV.3

– Оптико-механични - при тях системата на отчитане е оптико-механична. Основните части на теодолита са: лимб, алидада, вертикална ос, зрителна тръба, вертикален кръг, хоризонтална ос, отчетни приспособления, затегателни, подравнителни, микрометрични и поправителни винтове, либели и/или компенсатори на наклона.



Фиг. IV.4. [101]

В зависимост от точността им, като средство за отчитане се използва:

- микроскоп с индекс (за теодолити с ниска точност);
- скален микроскоп (за теодолити със средна точност);
- оптичен микрометър (за теодолити с висока точност).

– Електронни (фиг. IV.5), наричани още електрооптични или цифрови (дигитални) - при тях системата за отчитане е електронно-оптична, отчетите се представят в цифров вид върху дисплей. Те автоматизират голяма част от операциите при измерване на ъгли, съчетавайки достиженията на микроелектроника, оптико-електроника и изчислителна техника със съвременна оптика и механика.



Фиг. IV.5. [101]

В древността ъглите са се определяли с помощта на подобни триъгълници с три измерени дължини [39]. През XV-ти век е конструиран квадрантът – инструмент с деления за измерване на ъгли. Впоследствие са се използвали механични конструкции – пантометър и астрометър.

Теодолитът се появява като ъгломерен инструмент през XVIII-ти век с метални кръгове за отчитане. През 1920 г. металните ъгломерни кръгове са заменени със стъклени. Тези теодолити са наречени оптични.

Оптичните теодолити от своя страна са заменени от електронните теодолити през втората половина на 20-ти век. През 1977 г. за първи път в България са извършени измервания с помощта на лазерен лъч при снимка на недостъпни празни пространства от инж. Иван Маринов в рудник „Плакалница” [46]. Снимката е извършена с лазерен теодолит Kern DKM-2AL и базисен редукиционен тахиметър BRT-006.

Този вид снимка дава възможност за заснемане на характерни точки по определени профили от стените, тавана и пода на минните изработки.

Измерването на ъгли с теодолит в наши дни е крайно ограничено поради навлизането на по-нова и продуктивна измервателна техника.

IV.1.3. Височинни (вертикални) измервания - принципи и инструменти

В маркшайдерската практика положението на точките трябва да бъде определено не само планово (в хоризонталната равнина), но и по височина, което се осъществява чрез т. нар. вертикални измервания. Височините на точките се определят спрямо предварително избрана ниво-повърхнина.

Различават се:

- Абсолютна (надморска) височина - вертикалното разстояние на точките до морското ниво (основна ниво-повърхнина).
- Относителна височина - спрямо условно приета ниво-повърхнина.

Методът по който се определят височините на точките се нарича нивелация. При този вид измервания се определят превишенията между точките, а чрез тях и надморските (абсолютните) или условните (относителните) им височини.

В зависимост от характера на обекта, изискваната точност и използваните инструменти се прилага: геометрична, тригонометрична, барометрична или хидростатична нивелация.

– Геометричната нивелация се прилага при наклон на терена до 10° . При този метод се използва хоризонтална визирна линия. Инструментите, които се използват са нивелири и нивелачни лати (фиг. IV.6).



Фиг. IV.6. [101]

– При големи разстояния и наклон на терена над 10° приложение намира тригонометричната нивелация (нивелация с наклонена визура). При нея превишението се определя като се използва зависимостта между хоризонталното/наклоненото разстояние, зенитния/вертикалния ъгъл, височината на инструмента и височината на сигнала.

В практиката приложение намират геометричната и тригонометричната нивелация, но напоследък все по-голямо значение придобива определянето на височините на точките с помощта на ГНСС технологии [39].

IV.2. Съвременни методи, технологии и средства в маркшайдерската практика

Дълго време геодезическата техника се е развивала чрез усъвършенстване на успешно наложени традиционни технологии, в чиято основа стоят физически принципи.

Развитието на микроелектрониката полага началото на нова епоха в средствата и методите за геодезически и маркшайдерски работи [4]. Съвременните инструменти се явяват продукт на високи технологии, обединяващи в себе си последните достижения на електрониката, механиката, оптиката, материалознанието и др. Характерът на условията, в които се извършват маркшайдерските дейности и нуждата от повишаване на производителността им, довеждат до непрекъснато усъвършенстване на използваното оборудване. Развитието на новите технологии предоставя нови възможности за повишаване на ефективността и безопасността на работа, както и за получаване на по-точна и по-обективна маркшайдерска информация.

В основата на технологията на маркшайдерските дейности в съвременните условия стоят нови принципи и методи за измерване на дължини. Те осигуряват повишена точност на резултатите и бързина за тяхното получаване.

IV.2.1. Измерване на разстояния с помощта на електромагнитни вълни - принципи и инструменти

Съвременната далекомерна техника се основава на високо технологични разработки в областта на физиката, оптиката, автоматиката, електрониката, изчислителната техника и др.

Светлодалекомери. Светлодалекомерът представлява сложна електронно-оптична система. Принципът на действие на този клас инструменти се основава на законите за разпространение на електромагнитните вълни, чрез

сравняване характеристиките на изпратения и отразения лъч [4, 39]. Основно, те имат два компонента – предавател + приемник и отражател. Излъчените от предавателя електромагнитни вълни се отразяват от отражателя и се връщат в приемника. Отражателите биват два вида - пасивни и активни. Пасивните само отразяват попадналите върху тях вълни, докато активните и ги усилват. При известна скорост на разпространение на електромагнитните вълни, се изчислява разстоянието на база измереното време:

$$S = V \frac{t}{2} = \frac{c}{n} \frac{t}{2}, \quad (\text{IV.2})$$

където:

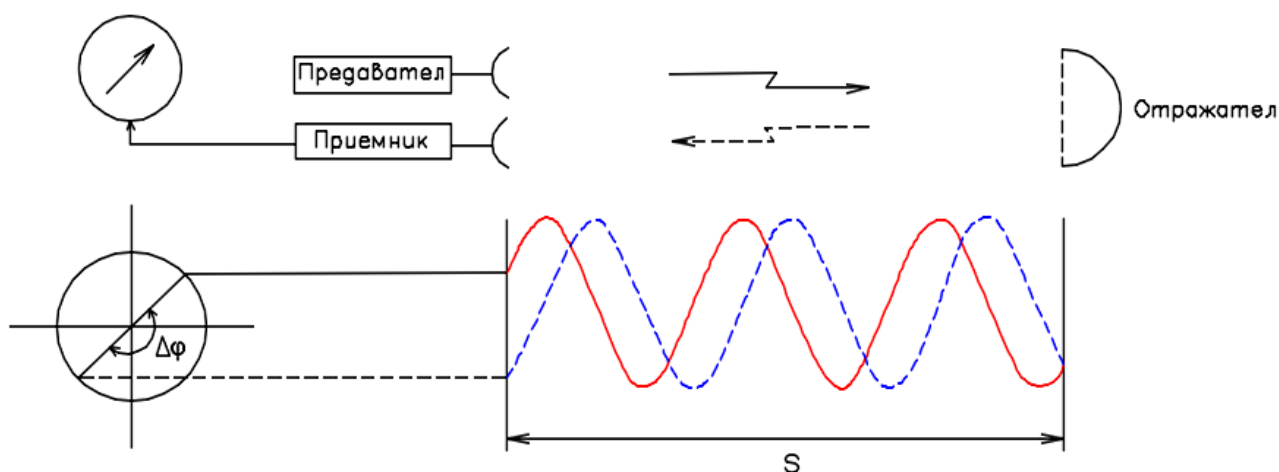
V – скорост на разпространение на електромагнитните вълни в атмосферата;

c – скорост на разпространение на електромагнитните вълни във вакуум – $299\,792\,458 \pm 1.2 \text{ m/s}$;

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. В зависимост от метода за определянето му, далекомерите се делят на две основни групи - импулсни и фазови.

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.



Фиг. IV.7. Принцип на действие на фазов далекомер [39]

Фазовите далекомери (фиг. IV.7) определят разстоянието чрез разликата между фазите на изпратените и приетите електромагнитни вълни. Предавателят

изпраща едновременно две вълни – една към отражателя и втора (наречена опорна) – за определяне на разликите между фазите $\Delta\varphi$. Приемникът изпраща получената вълна във фазомера, където се извършва измерването.

$$\Delta\varphi = \omega t = 2\pi f t, \quad (\text{IV.3})$$

където:

ω – кръговата честота;

f – честота на електромагнитните вълни.

Измереното разстояние е:

$$S = V \frac{\Delta\varphi}{2\omega} \quad (\text{IV.4})$$

Фазомерът измерва само разликата във фазите на една вълна, а времето зависи и от броя на целите вълни N , които са преминали разстоянието $2S$, т.е.

$$S = \frac{V}{2\omega} (2\pi N + \Delta\varphi) = \left(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) \frac{V}{2f} \quad (\text{IV.5})$$

Величините S и N са неизвестни, поради което е необходимо да се определи $\Delta\varphi$ при две, а при по-големите разстояния, при три различни дължини на вълните, което предопределя известна трудност при решаването на получената система с целочислени неизвестни. Затова се избират постоянни и достатъчно различаващи се дължини на вълните - λ_1 и λ_2 , или плавно изменящи се дължини, при които фазовите разлики се нулират - $\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = 0$

Съвременните средства позволяват да се определи разликата във фазите с грешка $1/2000 - 1/3000$ [39]. При дължина на вълната $\lambda = 30 \text{ m}$ ($f = 10 \text{ MHz}$) тази грешка е $0.8\text{-}0.5 \text{ cm}$. Втората дължина на вълната, с която трябва да се установи разстоянието приблизително, но еднозначно, е по-малка, например 10 m ($f = 30 \text{ MHz}$). Вълните с такава дължина, не се разпространяват праволинейно, докато при $\lambda = 1 \text{ m}$ практически са праволинейни, но при тях има трудности при определянето на $\Delta\varphi$. Преимуществовата на двата диапазона се съчетават, като честотата се модулира и сигналите с по-малка честота се предават с по-висока носеща честота. Модулацията се свежда до промяна на един от параметрите на носещата вълна (амплитудата, честотата или фазата), с честота равна на тази на измерителните сигнали ($f = 10 \text{ MHz}$ за $\lambda = 30 \text{ m}$). Поради това, след предавателя, на пътя на вълните се включва модулатор, а преди приемника – демодулатор.

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 (фиг. IV.8).



Фиг. IV.8. Отражатели [90]

Безрефлекторни далекомери. В последните години в маркшайдерската практика все по-широко се използват безрефлекторни технологии за измерване. Възможностите за безконтактно измерване, високата точност и бързина при работа са основни фактори предопределящи избора им [4].

Измерването на дължини с инструмент без отражател се прилага най-често при заснемане на недостъпни обекти с ясни очертания [39, 55, 83]. Вместо отражател се използва самата повърхнина на обекта. При този метод на измерване е важен ъгълът, под който се пресичат визирната линия на инструмента и отразяващата повърхност. При малък ъгъл между тях може да се получи приплъзване на лъча и разстоянието да е грешно. Другият проблем, който може да възникне, е от грапавостта на отразяващата повърхност. Когато тя е със значителни грапавини, например в руднични условия, също могат да се получат „лъжливи“ разстояния. Като цяло, точността на измереното разстояние зависи от ъгъла между визирния лъч и отразяващата повърхност, от цвета и грапавината ѝ, от запрашеността и влажността на атмосферата. Необходимо е да се имат предвид физическите закони за отразяване на светлината и оптичните свойства на материалите [4]. В съвременните безотражателни системи се използват далекомери от два типа: импулсни и фазови. Всеки метод на измерване е предназначен за решаването на конкретни задачи и се използва в различни приложения. Както при всеки метод на измерване, така и при безрефлекторните системи, са налице и определени недостатъци и ограничения при използването им.

Далекомерни приставки. Далекомерната приставка има отделна оптическа система [39]. Тя се прикрепя механично, точно по определен начин (съсно) над зрителната тръба на ъгломерния инструмент.



Фиг. IV.9. [101]

Електронни ролетки. Първите електронни ролетки са създадени през 80-те години на XX век. За осъществяване на измерванията са използвани ултразвукови вълни. Този тип ролетки не са намерили широко приложение поради голямото разсейване на ултразвуковите вълни и малкия обхват на измерване [39].

Съвременните електронни ролетки (фиг. IV.9) работят на принципа на светлодалекомерите. Те са с малки размери и маса, прилагат се много успешно при маркшайдерски измервания в подземни минни изработки, но с отчитане спецификата на рудничната атмосфера. Някои модели имат възможност и за посредствено измерване на разстояния.

IV.2.2. Заснемане контурите на минните изработки - принципи и инструменти

За извършването на маркшайдерски снимки са възможно приложими различни методи и технологии.

Полярен метод - основан е на използване на инструменти и технологии за заснемане, даващи възможност да бъдат определени координатите на заснеманите точки.

Съвременните темпове в развитието на техниката и технологиите доведоха до конструирането на електронни теодолити, позволяващи автоматизиране на ъгловите измервания, разнообразни технически средства и технологии, електронен тахиметър, обединяващ електронно измерване на хоризонтални и зенитни (вертикални) ъгли и разстояния, регистриране, запаметяване и показване на резултатите от измерванията в числен вид в избран от оператора формат, както и възможност за извършване на допълнителни изчисления [4, 39].



Фиг. IV.10. [88]

Тоталните станции са последните модели електронни тахеиметри (фиг. IV.10). Основните им части са електронен теодолит, светлодалекомер и компютър, които постоянно се развиват и усъвършенстват. На пазара се предлагат голям набор от модели тотални станции, представени в серии, като във всяка серия влизат по няколко модела и съответните им модификации. Разликата в моделите е според точността на ъгловите измервания – от 0.5" до 10". В последните модели тотални станции е вградена технология за измерване без отражател, (режим DR - Direct Reflex). Това създава удобство за работа там, където използването на отражател е невъзможно или е съпроводено с известен риск относно осигуряването на

безопасност. Съвременните тотални станции разполагат с вградено програмно осигуряване, което облекчава рутинните изчисления и предоставя възможност някои от тях да бъдат извършвани по време на измерването. Напоследък все по-често се предлагат автоматизирани/роботизирани тотални станции, както и станции съчетаващи в себе си възможностите на класическа тотална станция с тези на 3D скенер и наземна фотограметрична станция. Различните модели разполагат с усъвършенствани системи за центриране и хоризонтиране. Тези допълнителни приложения са много подходящи за условията, в които се извършват маркшайдерските измервания и част от маркшайдерските трасировъчни дейности. Освен това, в трудните и опасни условия в някои от минните обекти, приложенията намаляват риска за оператора и сътрудниците му. Немалко предимство е и тяхната все по-висока производителност. За работа при екстремни температури, повишена влажност на въздуха, силно запрашаване, се произвеждат специализирани тотални станции.

Въпреки бързите темпове в развитието на техническите средства и технологиите, и усъвършенстването на маркшайдерското оборудване, трябва да се отбележи, че все още в някои рудници, поради специфичните условия (при рудници опасни по газ и прах/взривоопасни рудници) или поради други обективни причини, се налага използването на теодолит и ролетка, а също така и ортогонален метод на заснемане. В някои случаи е възможно и използване на инструменти с понижена точност на отчитане.

Фотограметричен метод - при него се използват инструменти и методи за заснемане, използващи принципите за фотографичане на недостъпните

пространства [14, 37]. Определят се координатите на точките, чрез преобразуване на фотограметричните координати в истински, чрез обработката на фотографското изображение (първичната информация) със специална апаратура.



Фиг. IV.11. [92]

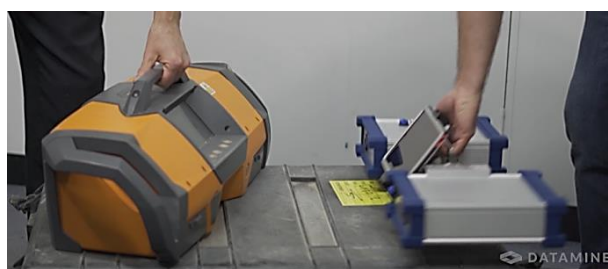
Възможностите за прилагането на този метод се увеличават все повече.

В последните години, минните компании търсят все по-съвременни и по-малко трудоемки технологии [13, 24, 91, 92, 93]. Пример за достиженията на съвременната промишленост е системата CAE Stereo Camera Mark II, предназначена за бързо и безопасно създаване на 3D изображения в подземни пространства (фиг. IV.11, IV.12 и IV.13). Стерео камерата притежава защитен от прах и корозия, водоустойчив, монолитен корпус. В корпуса са разположени две 16 мегапикселови камери Nikon, светкавица и бордови компютър със сензорен екран.

Обработката на снимките се извършва с помощта на софтуер Sirovision – за генериране и анализ на изображения. Тази система е използвана основно в австралийските минни компании BHP и Newcrest, южноафриканската компания AngloGold Ashanti и швейцарската минна компания Xstrata.



Фиг. IV.12. [92]



Фиг. IV.13. [92]

На пазара вече е и следващото поколение подземна стерео камера на Sirovision MKIII [91] (фиг. IV.13 и IV.14). Тя прави подземното заснемане лесно и с минимално време за настройка. Камерата е лека, но същевременно достатъчно здрава, за да издържи и на най-тежките подземни условия, водоустойчива и удароустойчива. Заснемането може да бъде осъществено за

няколко минути, с минимални смущения в добивния цикъл. Минимизира рисковете и опасностите от работата в непредсказуема подземна среда. Новият МКШ е по-лек, по-бърз и по-маневрен от предишните модели.



Фиг. IV.14. [92]



Фиг. IV.15. [99]

При създаването на числени фотограметрични модели при подземното разработване, предвид специфичните условия (в руднични условия, измерванията са затруднени от наличния прах в рудничната атмосфера вследствие на различни технологични процеси, променливите влажност, температура, скорост на въздушната струя и др. [4]), се налага внимателен подбор на метод и апаратура за извършване на занемането. Добър пример за апаратура, приложима в руднични условия, е камерата NCTech iSTAR, снабдена с 4 сензора, позволяващи заснемане при слаба осветеност, с висока резолюция (фиг. IV.15).

Цифровата фотограметрия намира своето приложение в подземния добив на полезни изкопаеми при създаването на числени модели, позволяващи решаването на разнообразни задачи [27].

Методиката може да бъде използвана за генериране на триизмерни модели на опорни целици и за откриването на области на пространствени изменения между две и повече измервания, както и при изследване и мониторинг на скалния масив в подземни рудници [77, 78, 79].

През 2018 г. в нашата страна е реализирано първото цифрово фотограметрично заснемане на част от галерия в подземен рудник [23]. Определен е обемът на заснетия участък на базата на създадения фотограметричен модел. Изчислен е обемът на същия участък и чрез заснемане с тотална станция. Получената разлика в определените обеми по двата метода, е

от порядъка на 1%. Това доказва приложимостта на методиката за изчисляване на обеми иззета минна маса.

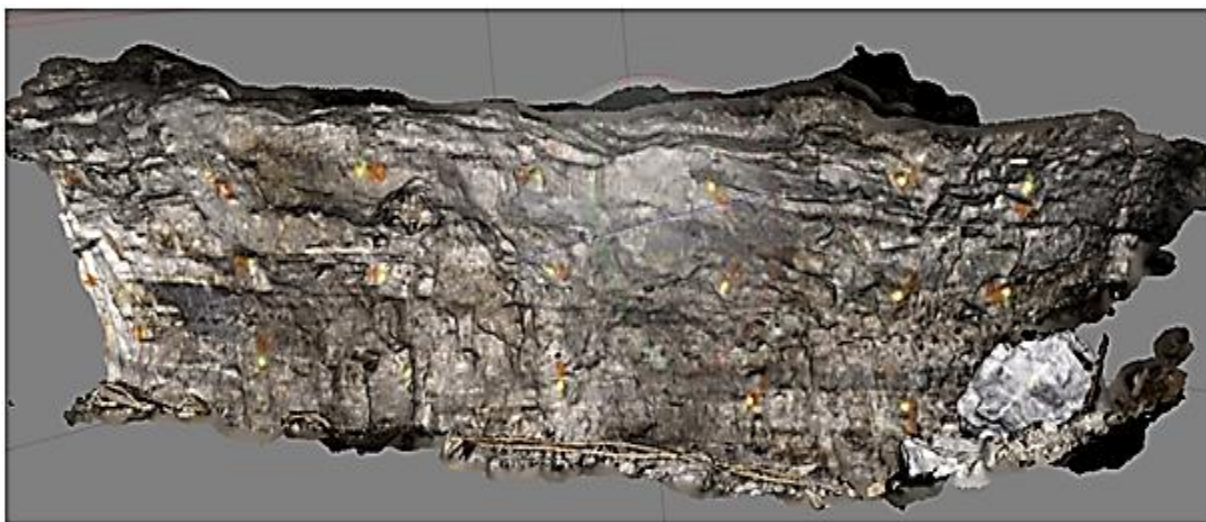
От проведено изследване [80] през 2019 г. е установено, че дори при редуциране броя на опорните точки, при съответно качество на изображенията и в зависимост от формата на заснемания обект, прилаганият метод осигурява достатъчно висока точност за множество задачи, като при подходящи условия дори може да претендира за регистриране на деформации. Подчертано е, че за правилно определяне проявите на скалния натиск в масива е необходимо точно спазване на избраната методика на заснемане.

През 2021 г. са извършени две последователни (с интервал от един месец) фотограметрични заснемания на опорен целик (фиг. IV.16) в метазалеж 6 в рудник „Джурково“, „Лъки Инвест – Джурково“ ЕООД. Заснемането е извършено с цифрова огледално-рефлексна камера Canon EOS7D Mark II с 20.2 - мегапикселов сензор [28].



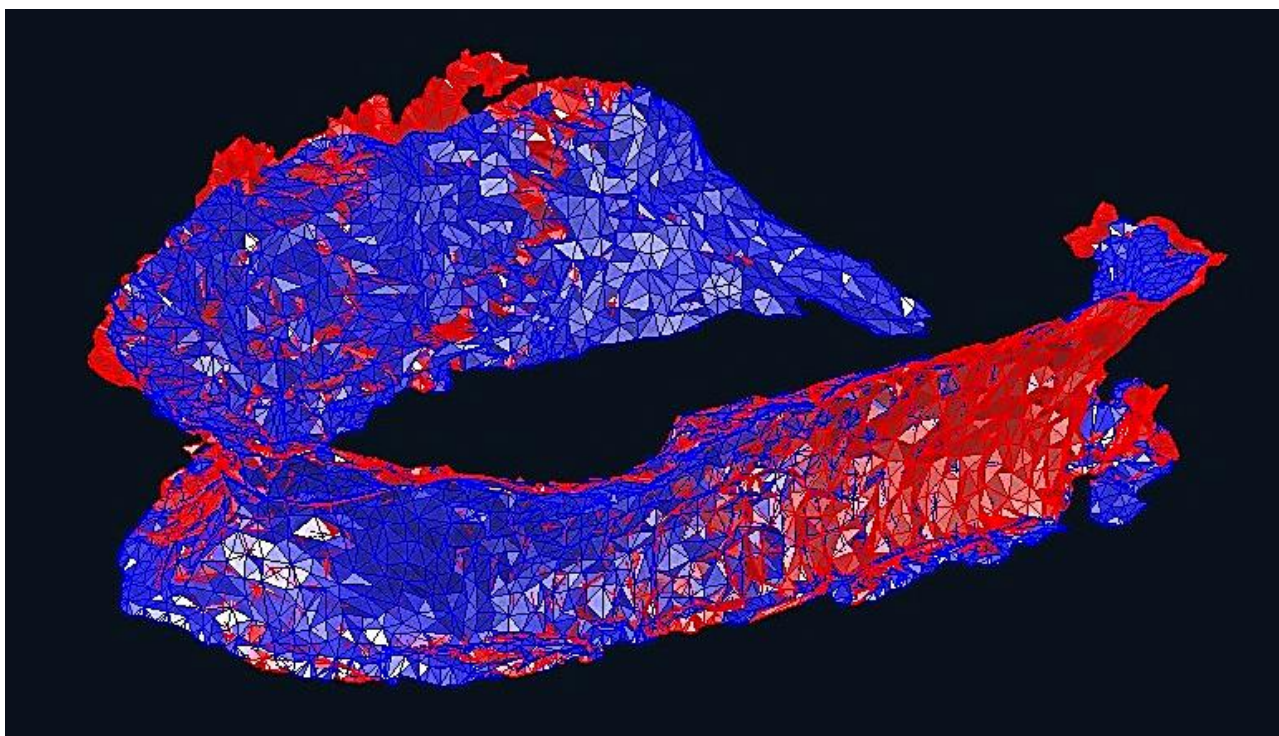
Фиг. IV.16. Цветно изображение [28]

Фотограметричната обработка е извършена със софтуера Agisoft PhotoScan. За георефериране на модела, с тотална станция Sokkia CX-62 са измерени 6 броя опорни точки, разположени равномерно по повърхността на целика. След фотограметричната обработка са получени числени модели с текстура (фиг. IV.17).



Фиг. IV.17. Числен модел с текстура [28]

На базата на получените числени модели на целика, с помощта на програмния продукт AutoCAD Civil 3D, са създадени повърхнини, изобразяващи повърхността на целика към момента на всяко от заснеманията (фиг. IV.18). Двете повърхнини са получени от двете последователни заснемания, извършени при едни и същи условия и методика.



Фиг. IV.18. Съвместени повърхнини от двете последователни фотограметрични заснемания [28]

Извършено е заснемане на същия целик и с тотална станция (извършени са 7 регулярни измервания). От предварително координирани опорни точки в стените на изработките около целика, по полярен метод са определени пространствените координати на наблюдавани 49 контролни точки. Чрез техните изменения в различните моменти на наблюдение са получени характеристиките на деформационното състояние на масива в целика. Определени са преместванията в хоризонталната и вертикалната равнина между последното и началното измервания. Изчислени са и размерите на пространствените вектори на тези изменения за всяка точка.

Анализът на резултатите от проведените изследвания показва възможността за приложението на цифрова блискообхватна фотограметрия при изучаване на деформационни процеси в подземните рудници [28]. Може да се заключи, че използването на повече от един метод при извършването на мониторинг на минния масив дава възможност за по-добро представяне и визуализиране на състоянието му. Ефективно комбинирани, тези методи могат да послужат като геотехнически инструмент в подземната минна среда. Но за установяване на точен подход са необходими още тестови данни от различни по вид подземни рудници, както и определянето на необходимите параметри при фотограметричната обработка на данните.

Вече е възможно да се заснемат подземни изработки и с безпилотни летателни апарати (фиг. IV.19 и IV.20), които с помощта на скенери и съответен софтуер, осигуряват триизмерно (3D) профилиране и картографиране на минните изработки [93]. В най-новите модели са вградени системи за „избягване на сблъсъци“ и операторски грешки. Някои от компаниите, разработващи такава технология, са Eхyn Technologies, Emesent, Inkonova [93, 94, 95]. Всички те използват различни подходи за да интегрират безпилотен летателен апарат с LiDAR скенер и компютър чрез които да сканират недостъпните пространства в подземни рудници [51]. Едно от основните предимства при заснемането на големи подземни празни пространства посредством сканиращ дрон, е пълнотата на получения облак от точки. Това се дължи на факта, че системата сканира обекта непрекъснато и от различни позиции, докато се движи. По този начин се постига максимално детайлно заснемане, при което „сенките“ са сведени до минимум.



Фиг. IV.19. Подземна мобилна сканираща система TILT Ranger [93]



Фиг. IV.20. Автономен сканиращ дрон Ехup Technologies [94]

През последните години и в нашата страна, в геодезическата и в маркшайдерската практиката, при открития добив на подземни богатства, все повече навлиза въздушното фотограметрично заснемане чрез безпилотни летателни апарати. Получените изображения, успешно се използват за създаване на ортофотопланове и числени модели на терена.

При извършено експериментално заснемане на част от парк „Студентски” в гр. София с хексакоптер Trimble ZX5 (фиг. IV.21) и последващо измерване с тотална станция Trimble S6 на същия участък, като крайни продукти са генерирани числен модел и ортофото изображение [26].



Фиг. IV.21. Хексакоптер модел Trimble ZX5 [89]

На база извършения анализ и обобщаване на резултатите може да бъде направен извод, че технологията на безпилотно въздушно снимане осигурява минимизиране на времето за заснемане, също така методът осигурява по-голяма гъстота на пространствено дефинираните дискретни точки.

Предимства на технологията за безпилотно въздушно заснемане:

- 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 (дистанционен метод на заснемане).
- Недостатъци на технологията за безпилотно въздушно заснемане:
- Влияние на метеорологичните условия върху полета и качеството на снимките;
 - Необходимост от мощни работни станции за обработката на снимковия материал.
 - От значение за качеството на крайния продукт при предложената технология е компетентността и опитът на оператора, който трябва точно да дешифрира заснетите подробни точки.

Въпреки изброените недостатъци, за които науката продължава да търси решения, използването на безпилотни летателни апарати гарантира гъвкавост, точност, безопасност и икономичност при решаването на различни инженерни задачи.

При реализираната на всеки един полет от съществено значение е конкретната инженерна задача, която трябва да се реши. Целта на заснемането определя какъв безпилотен летателен апарат да се използва, с каква камера да се снима и какви параметри да се зложат при съставяне на плана на летене. Но не по-маловажна е използваната технология и опитност на оператора.

Резултатите от извършени подобни изследвания [22, 56] потвърждават предимствата на тази технология по отношение на проектиране, планиране и мониторинг на минните дейности. Цифровата въздушна фотограметрия предоставя необходимата точност и детайлност на крайните продукти, осигурява висока производителност и едновременно с това безопасност на труда.

Технологията е успешно приложима в минното дело при изчисляване на обеми, изследване състоянието на скални откоси, заснемане на инфраструктура, насипища и др. Съвременните въздушни фотограметрични методи са една добра алтернатива на традиционните геодезически и маркшайдерски технологии.

Системи за лазерно сканиране - Съвременните темпове на развитие на технологиите доведоха до създаване на лазерни сканиращи системи (фиг. IV.22 и IV.23), чието използване при заснемане на подземни минни изработки осигурява висока точност, бързина и достатъчна безопасност при работа [4, 13, 39]. Те обединяват в себе си възможностите на роботизираниите тотални станции и безрефлекторните далекомири.



Фиг. IV.22. Лазерен скенер Trimble TX8 [87]

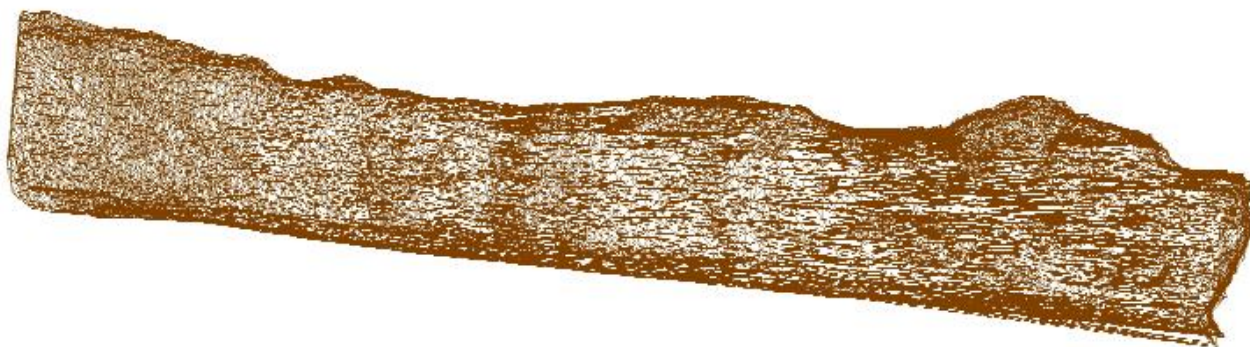


Фиг. IV.23. CMS - Cavity Monitoring System [98]

Особено подходящи са при заснемане на недостъпни изработки и изработки със сложна форма. Полученото изображение осигурява информативност (обективност) и нагледност. На база на полученото изображение могат да бъдат създадени достатъчно точни модели на елементите на минните изработки, изчисляване на обеми, построяване на различно ориентирани сечения, които впоследствие да бъдат обработвани със специализирани програмни продукти, вкл. за минно планиране, и изготвяне на минно-графична документация. Технологията за лазерно сканиране е един от най-съвременните методи за заснемане. Особено полезна е в сфери, нуждаещи се от пространствени (3D) данни. Традиционните геодезически методи, позволяват измерване само на дискретни точки, докато използването на наземни лазерни скенери осигурява не само повишаване на производителността на труда при маркшайдерските измервания, но и получаване на данни за пространственото положение на обектите във вид на триизмерни компютърни модели. Съвременните скенери притежават голяма точност на позиционирането на обектите от снимката. 3D лазерното сканиране е значително по-прецизен метод в сравнение с конвенционалните методи, гарантиращ точен анализ на заснетото пространство и безопасност на персонала, но методът не е изрично

класифициран като конструктивно безопасен и възможността за приложението му в участъци където има риск от запалим/взривоопасен газ трябва да бъде потвърдена. Също така методът трябва да продължава да се изследва и доусъвършенства, поради специфичната атмосфера в подземните изработки и наличието на влага, мъгла, запрашеност и влиянието им върху отражението на лазерния сигнал (това важи и за тоталните станции).

Съвременните дигитални технологии навлизат все по-широко в минното дело. Разработени са вече и системи за мобилно лазерно сканиране. Лазерното сканиране и използването на технологии за създаване на 3D модели на минните изработки (фиг. IV.24) помагат за по-точно отчитане на добива и по-добро планиране на минните работи. Съвременните софтуерни решения за планиране, отчитане и управление на минните дейности вече са част от ежедневието в модерните минно-добивни компании.



Фиг. IV.24. 3D повърхнина на подземна минна изработка (изглед от страни) [4]

IV.2.3. Жироскопични измервания



Фиг. IV.25. [103]

При подземен добив на полезни изкопаеми е от особена важност осигуряването на единна ориентация на плановата основа на повърхността и под земята, както и периодичен контрол на ориентирането на подземните полигонови ходове при тяхното напредване.

През 1852 г. Леон Фуко (фиг. IV.25), френски физик, член на Парижката академия на науките, представя идеята за жироскопа [16]. В маркшайдерската практика жироскопите започват да се прилагат след Втората световна война.

Жироскоп е всяко бързо въртящо се около оста си на симетрия свободно тяло. Основното му свойство е, че оста му се стреми да запази първоначалното

си направление в пространството. В зависимост от конструкцията им жирокопите биват:

- свободен жирокоп - притежава свойството неизменност в пространството. Центърът на тежестта на чувствителния му елемент съвпада с точката на окачване (център на жирокопа - точката на пресичане на трите оси). В осите му няма сили на триене. Притежава три степени на свобода. Не е намерил приложение в маркшайдерската практика;

- жирокоп компас - извършва хармонични колебания около едно равновесно положение, съвпадащо с астрономическия меридиан прекаран през точката на стоене. Действието му се основава на жирокопичните свойства на чувствителния му елемент и денонощното въртене на земята. При него е полуограничена едната степен на свобода на движение, а центърът му на тежестта лежи под точката на окачване. Жирокоп компасите в литературата са известни под името махални жирокопи и служат като чувствителен елемент при жиротеодолитите. В устройството на жиротеодолитите се обединяват тгломерна и жирокопична част.

Жирокопическият метод е сред автономните методи, които позволяват определянето на азимути, а оттам и на посочни ъгли с относителна независимост от изходната геодезическа основа [66, 47].

Съгласно Техническата маркшайдерска инструкция жирокопичният метод на ориентиране се прилага във всички случаи на ориентиране на шахти, но той е задължителен за шахти с дълбочина, по-голяма от 500 m, и в шахти с по-малка дълбочина, където скоростта на въздушната струя не може да бъде намалена под 1,5 m/s или капежът е повече от $1,000028 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ [62].

При съвременното развитие на техниката и технологиите под жирокоп се разбира множество от уреди, построени на принципа на бързо въртящи се тела [16].

Първата жирокопична ориентировка в нашата страна е извършена през 1965 година [66, 47]. На базата на многобройни научни изследвания за целите на минно-добивната практика е доказана необходимостта от жирокопичен контрол на ориентирането на всеки един километър положен полигонов ход. Нормативните изисквания по отношение контрол на геодезическото ориентиране са заложени в Техническата маркшайдерска инструкция. Посочва се, че при решаване на основните маркшайдерски задачи е достатъчно точността на жирокопическите теодолити да бъде 30". Въпреки множеството практически измервания и научни разработки през годините, на територията на нашата страна, днес жирокопическото ориентиране не е популярен метод.

Класификация на жиротеодолитите [66, 18, 47]

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 (А, В, С, D, Е), които съответстват на пет класа точност на азимута, определен еднократно:

- А – до 10" – високоточни;
- В – до 20" – точни;
- С – до 40" – средноточни;
- D – до 1' – с понижена точност;
- Е – до 3' – с ниска точност.

Появата на последното поколение жиротеодолити определя въвеждане на още един клас „прецизни“ жиротеодолити, осигуряващи точност на азимута при едно определяне от $\leq 5''$.

В зависимост от типа на чувствителния елемент (жироскопа):

- Механичен роторен жироскоп – в устройството на всички съществуващи жиротеодолити и жироскопични приставки към ъгломерните инструменти масово производство.

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

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 жироприставки.

- с магнитно окачване – чувствителният елемент левитира в магнитно поле.

Определянето на посочения ъгъл на полигонова страна по жироскопичен начин се основава на свойството на [66, 14, 64]:

- 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.

Приложение на жироскопическото ориентиране

Жироскопичният метод е приложим при решаване на задачи [66, 47] 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 маркшайдерска снимка – при неустойчив контур на изработката;
- жироскопичен контрол на ориентирането на подземната полигонова мрежа – в действащи рудници и при строителство на подземни 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 се препоръчва редът за работа, да бъде следният:

При ориентиране само на една подземна полигонова страна:

- определя се жироскопичният азимут на изходна страна на повърхността;
- определя се два пъти жироскопичният азимут на полигоновата страна от ориентирвания хоризонт;
- определя се отново жироскопичният азимут на изходната страна на повърхността.

При ориентиране на две и повече подземни полигонови страни от един хоризонт:

- определя се жироскопичният азимут на първата полигонова страна от ориентирвания хоризонт;
- определят се два пъти последователно жироскопичните азимути на всички останали страни на ориентирвания хоризонт;
- определя се повторно жироскопичният азимут на първата страна от ориентирвания хоризонт.

Процесът на еталониране на инструмента се извършва с помощта на значителен брой последователни измервания на посоки, чиито азимути са определени с висока точност [66, 48]. 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 [48]. 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 осигурява редица съществени предимства – възможност за по-висока точност и успоредно с това възможност за значително съкращаване на времето за извършване на жирокопичното ориентиране.

Когато дадена полигонова верига свързва две жирокопично ориентирани страни и се получава ъглово несъвпадение, два пъти по-голямо от точността на определяне на жирокопичния азимут, ъглите се изравняват и полигонът се преизчислява, ако няма обосновани данни за тежестите на измерванията [62]. При наличност на данни несъвпаденията се уравновесяват.

Жирокопичното 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 [66, 48]. В съвременните 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.

IV.2.4. Георадари

Съвременният георадар представлява сложен геофизичен уред, предназначен за подповърхностно изследване на дадена среда като почва, бетонни съоръжения, стени, вода, лед и други [96]. Основните компоненти на една георадарна система са монитор, контролер и антена (фиг. IV.26).



Фиг. IV.26. Монитор, контролер и комплект защитени антени [96]

За правилната и ефективна работа на системата са необходими и някои спомагателни компоненти, като батерия, кабели, датчици, ГНСС приемник и др. в зависимост от нуждите за конкретното изследване.

Принципът на работа е подобен на радиолокационните системи, използвани за откриване на обекти във въздушното и морското пространство. Целта е не само обектът да бъде открит, но по възможност да се определят неговите габарити, геометрични параметри и разстояние до антената.



Фиг. IV.27. [96]

Принципът на действие на георадара е следния (фиг. IV.27): Предавателят на антената генерира високочестотен сигнал, който прониква във вместващия материал, отразява се от търсения обект и постъпва в приемника за по-нататъшна обработка [96]. Антената се движи над обекта, като през определено константно разстояние се генерират импулси и се получава профил на изследваното трасе, който се нарича радарграма. Интерпретирането на радарграмите представлява бавен и сложен процес, изискващ време за компютърна обработка на резултатите.

С помощта на георадарите е възможно да се извърши недеструктивно изследване, локализиране, определяне на дълбочината, оценка на състоянието, картиране и мониторинг в находищата на подземни богатства. Методът позволява да бъдат открити стари минни галерии, рудни залежи, подземни комуникации, разседи, каверни, водни хоризонти, опасни зони и др. Георадарното изследване е приложимо и при локализиране на подземни проводни и съоръжения и обекти на културно историческо наследство, и изработването на специализирани кадастрални карти.

За успешното извършване на изследването, от основно значение са физикохимичните свойства на сканираната среда и обследваните обекти.

IV.2.5. Глобални навигационни спътникови системи (ГНСС)

ГНСС технологиите през последните години навлязоха масово в геодезическата и маркшайдерската практика. Тяхната приложимост в минното

дело е безспорна, разбира се при спазването на определени правила за работа и съобразяване с характера на извършваните дейности.

ГНСС технологията позволява извършване на маркшайдерски заснемания (замери) с достатъчно висока точност и ефективност, особено при влошени метеорологични условия, характерни за откритите рудници и кариери. Точността на заснемане остава постоянна за целия обект, което предотвратява натрупването на грешки (при конвенционалните методи на измерване постигнатата точност е зависима от разстоянието до тази точка). Не се изисква директна видимост между точките за извършване на измерванията и не е необходимо предварително развиване на работна основа. Също така при използване на ГНСС част от задачите се решават директно „на терен“ без необходимост от допълнителна обработка на резултатите от измерванията. Могат да бъдат извършвани измервания по всяко време на денонощието. С ГНСС технологиите успешно се задава проектно ниво на работа на багерите, трасира се местоположението на гумено-лентови транспортъори, решават се разнообразни задачи, свързани с контрол на изпълнението на различни строителни и минно-добивни дейности.

Системата се състои от три части [66, 39]:

- космическа част, съставена от спътници, обикалящи по орбита около Земята, излъчващи непрекъснати специални сигнали.
- наземна контролна част, управляваща системата, която включва контролни и мониторинжни станции;
- потребителска част, включваща различни типове приемници.

Към момента в СВЕТОВЕН мащаб съществуват четири системи за глобално позициониране [66]:

- GPS (САЩ) – първоначално е използвана само за военни нужди. Впоследствие се въвежда и за използване за граждански цели. В пълната си конфигурация (минимум 24 спътника в 6 орбити) космическата част осигурява глобално покритие с по четири до осем едновременно наблюдаеми спътника с тъл 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 в 3 орбити. Във всеки момент и във всяка точка на Земята се виждат най-малко 5 от тях;
- GALILEO (Европа) – Глобална навигационна система, създадена от Европейския съюз, пусната през 2016 г. Тя е с 26 спътника към юли 2018 г. и 30 през 2020 г. 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), 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 10, 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 г. услугите са отворени за публично ползване.

Съвременните ГНСС 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. При нейното приложение се използват кодови и фазови измервания. С тяхна помощ се получават разстоянията между приемниците и наблюдаваните от тях спътници.

Основните източници на грешки при ГНСС измерванията и обработката на наблюденията са [50]:

- грешки от синхронизиране на времето на спътниците и приемника;
- спътниковата орбита;
- тропосферната рефракция;
- йоносферната рефракция;
- вариации на фазовите центрове на антените;
- влияние на отразените сигнали.

При различни геодезически и маркшайдерски задачи може да се реализират различни видове измервания, а обработката на данните от тях да се извърши по многообразни начини. Получените резултати ще се различават по своята точност.

Първостепенен интерес за практически цели представляват високоточните относителни фазови ГНСС измервания. Извършват се едновременно на две точки - базова (референтна) и определяема (подвижна). В зависимост от начина на протичане на измерванията и тяхната обработка се различават следните методи [50]:

- статични и кинематични;
- в реално време и с последваща обработка на данните.

Статичните методи позволяват постигането на най-висока точност. Характерни за тях са следните особености [50]:

- ГНСС приемниците на базовата и определяемата точки са неподвижни по време на измерванията;

- измерванията на базовите вектори са независими, освен ако не са извършени с повече от два приемника едновременно. Тогава броят на независимите вектори е с един по-малко от броя на приемниците;

- минимален брой едновременно наблюдавани спътници – 4 (препоръчително 5 и повече);

- интервал между регистрациите на измерванията – от 5 до 30 s.

Статичните методи са в две разновидности:

- статични (същински);

- бързи статични.

Същинските статични методи служат за създаване на геодезически мрежи с висока точност. В зависимост от целта на задачата времето варира от половин час до няколко денонощия и не зависи от конкретните условия.

Бързи статични методи се прилагат за създаване на съгъстващи мрежи, изходна и работна геодезическа основа, при разстояния между приемниците до около 10 km. Времето за наблюдение се определя в зависимост от условията за измерване.

При кинематичните методи новоопределяната точка обикновено е подвижна спрямо референтната. Нейната работа се контролира чрез специално устройство (контролер). При работа в реално време референтната станция работи с предавателен, а новоопределяната точка – с приемателен радиомодем.

Резултатите се получават след обработка със специализиран софтуер, като при работа не в реално време са налични след приключване на измерванията.

При работата в реално време резултатите и тяхната обработка се получават на място.

Кинематичните методи в реално време („Real Time Kinematic” – RTK) са най-продуктивни.

Математическата обработка на ГНСС измерванията обхваща следните етапи [50]:

1. Изчисление на вектори.

2. Проверка на геометричните условия в мрежата.

3. Изравнение на мрежата по МНМК.

Подобряването на параметрите и функционалността на ГНСС технологията позволяват по-широкото ѝ приложение в практиката за

получаване на надеждни и високоточни резултати при решаване на текущи и отговорни маркшайдерски задачи.

IV.2.6. Изчисляване на обеми на отработени пространства

IV.2.6.1. Общи положения

При добива на подземни богатства, една от основните задачи на маркшайдерската служба е периодично определяне местоположението на контурите и размерите на минните изработки, отразяването им върху модела на минните работи, както и изчисляването на обемите на отработените пространства. Формата на минните изработки е сложна и неправилна, което налага обемът им да бъде определян като функция на площите на сечения на „тялото“ [4, 14, 40].

$$V = f(P) \quad (\text{IV.6})$$

IV.2.6.2. Методи за изчисляване на обеми на отработени пространства

Изчисляването може да бъде извършено по метода на вертикалните, или хоризонтални успоредни сечения, през еднакъв или променлив интервал.

При изчисляване с вертикални успоредни сечения през еднакъв интервал:

$$V = Lc \left(\frac{P_k}{2} + P_{k+1} + \dots + P_{m-1} + \frac{P_m}{2} \right) + \Delta V_k + \Delta V_m, \quad (\text{IV.7})$$

където:

Lc – интервалът между сеченията;

k, m – номерата на крайните сечения;

$\Delta V_k, \Delta V_m$ – обемите минна маса, извън крайните сечения.

Определянето на обема с хоризонтални сечения се прилага рядко, при малка изменчивост във формата на напречното сечение на камерата.

Методът на вертикалните неуспоредни сечения се прилага при изчисляване на обема при подводен добив, когато галсовете (предварително определените проектни курсове на лодката) не са успоредни.

При съвременното развитие на минното дело пресмятането на обемите на минните изработки може бъде извършено и чрез изграждане и поддържане на числени модели в приложни софтуерни продукти.

Познатите ни методи, прилагани за изчисляване на обеми, предполагат разделянето на обектите на две групи - линейни и площни [82]. При линейните обекти е подходящо обемите да се изчисляват по метода на вертикалните сечения. Обемът на площен обект може да се изчисли чрез сечения, по метода на трапецоида (прави правоъгълни или триъгълни призми), метода на Симпсън,

метода на средната стойност, както и подобрени методи (на основата на Симпсън, кубичен сплайн и др.). При обектите, ограничени от повърхнини, обемът може да бъде изчислен по няколко метода, наречени най-общо методи на трапецоида.

➤ **Метод на трапецоида** - За изчисляване на обем по метода на трапецоида са възможни два начина – с четириъгълни или с триъгълни призми [82]. Предимството на метода с четириъгълните призми е регулярността на моделирането. Но при този метод неправилните форми на терена не могат да бъдат описани точно при по-големи размери на основата. Доказано е, че триангулационната структура приляга по-оптимално към терена.

Формула за изчисляване с триъгълни призми:

Средна височина:

$$h_{m_i} = \frac{h_{i_1} + h_{i_2} + h_{i_3}}{3} \quad (\text{IV.8})$$

Обем на една призма:

$$V_i = P_i h_{m_i} \quad (\text{IV.9})$$

Обем на целия обект над базовата равнина:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n P_i h_{m_i}, \quad (\text{IV.10})$$

където:

i - номер на триъгълника;

n - брой на триъгълниците;

$h_{i_1}, h_{i_2}, h_{i_3}$ - височини на върховете в триъгълника;

h_{m_i} - средна височина на върховете на триъгълника;

V - обем на обекта;

V_i - обем на една призма;

P_i - площ на един триъгълник.

Формула за изчисляване с четириъгълни призми:

Средна височина на върховете на четириъгълника:

$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i h_i)}{4n} \quad (\text{IV.11})$$

Обем на целия участък:

$$V = P(h_m - h_o), \quad (\text{IV.12})$$

където:

h_m - средна височина на всички върхове;

g_i - брой на върховете на прилежащите четириъгълници;

h_i - височина на i -ия връх;

n - брой на четириъгълниците;

V - обем на целия обект;

P - площ на целия обект;

h_o - височина на хоризонталната референтна повърхнина.

Формулата отразява площта, като сума от съставлящите я четириъгълници. Площта на всеки четириъгълник може да бъде изчислена и като сума от два триъгълника.

Обемът може да бъде изчислен между обекта (например числения модел на терена - DTM) и референтна равнина или между два обекта (две повърхнини). Ако изчислението е извършено по втория начин, е по-добре първо да се изчисли обема между обекта и референтна равнина. След това да се вземе разликата между двата резултата. Ако единият обект не е хоризонтален, но е наклонен, е възможно да възникне грешка.

➤ **Числен модел на терена (повърхнина) - DTM (Digital Terrain Model)** - В различните страни са възприети различни изрази за един и същи обект – числен модел на терена [82]. Съществуват също и други описания – напр. DEM (Digital Elevation Model), DHM (Digital Height Model), DTEM (Digital Terrain Elevation Model), DGM (Digital Ground Model) и др. Всички те са свързани с описанието на един и същи обект. Само базата за изчисленията е различна. Първата дефиниция за термина DTM е въведена през 1958 г. от проф. Милер от Масачузетския технологичен институт. Според нея – Численият модел на терена е просто статистическо представяне на непрекъсната повърхнина на местността чрез голям брой точки с известни X , Y , Z координати в произволно поле.

Целта е била да се опише този теренен модел на математическа основа, така че да може да се обработва и чете от компютърна програма. В днешно време DTM са основа за много приложения. Множество данни могат да бъдат осигурявани от DTM – топографски карти; хоризонтали; геометрични стойности: ъгли, градиенти, криви, площи; надлъжни и напречни профили; изчисляване на земни маси и др.

Най-често основните данни са разпръснати или равномерно разпределени точки с X , Y , Z - координати и топографска информация (хоризонтали). Те могат да бъдат получени чрез конвенционални тахиметрични измервания или чрез такива от ГНСС, фотограметрия, лазерно сканиране (земно или въздушно), дигитализиране/сканиране от аналогови карти. Независимо от метода, най-важният етап е точното построяване на теренните линии (в модела структурните линии - breaklines). Единичните точки трябва да бъдат измерени и

привързани към отделни линии. Правилният подход се състои в избора на характерните точки като вдлъбнатини (отрицателни инвариантни линии) и възвишения (положителни инвариантни линии), които да бъдат определени с допълнителни точки. Колкото повече точки са определени, толкова по-адекватен би бил моделът. Естествено, повечето точки водят до оскъпяване на модела, а умението за професионално моделиране на терени се свежда до изобразяването на точната форма с минимум данни.

За моделирането и изчисляването на DTM са се утвърдили четири подхода:

- ✓ Модел, основан на отделни точки;
- ✓ Модел, базиран на триъгълници;
- ✓ Модел, базиран на мрежа;
- ✓ Смесен модел, комбинация от два от посочените три подхода.

Най-често използвани са моделите базирани на мрежа и моделирането чрез триъгълници [82]. В по-голямата част от програмите, потребителят може да укаже кой метод да бъде използван. Наблюдават се някои разлики в резултатите в зависимост от прилагания метод. Тъй като точките обикновено не са измерени в регулярна мрежа, то височините трябва да бъдат интерполирани чрез моделиране базирано на мрежа. Поради тази причина, чрез този метод се създава изкуствен модел без директно измерени точки. Въпреки това, ако има две равнини, е по-лесно да се направи разрез и да се извърши сравняване или да се изчислят разликите с модела. Единственият параметър, който потребителят трябва да избере, е разстоянието между линиите на мрежата. Колкото е по-малко разстоянието, толкова повече данни трябва да бъдат изчислени и е необходимо по-дълго време, но това предвид възможностите на съвременните софтуерни приложения и дори за най-широко достъпния хардуер, вече не е сериозна пречка. За сметка на това, моделирането чрез триъгълници е по-гъвкаво. По този начин могат по-добре да се изобразят структурните линии (breaklines) и се получава по-точно изобразяване на терена. Моделът се създава от оригиналните точки, като всяка точка е връх на триъгълник. Ако моделът е създаден от точки, които се обединяват в мрежа с помощта на триъгълници това се нарича TIN (Triangular Irregular Network - нерегулярна мрежа от триъгълници).

Три са основните изисквания за създаването на TIN [82]:

- ✓ За даден набор от точки, резултантната TIN трябва да бъде единствена, ако се използва един и същи алгоритъм, въпреки че може да се

започва от различни места, например: геометричния център, горен ляв ъгъл, долен ляв ъгъл или друга точка;

✓ Геометричните форми на получените триъгълници да са оптимални, т.е. всеки триъгълник да е почти равноностранен, ако няма други специфични условия;

✓ Всеки триъгълник да е съставен от най-близките съседни точки, така че сумата от страните на триъгълниците да е минимална.

Всички тези изисквания са изпълнени при триангулацията на Делоне.

Съществуват различни методи за създаване на триангулация. Всеки метод има свои собствени основни изисквания:

- по-къс диагонал: този диагонал, от двата диагонала в четириъгълника, който е по-къс;

- триангулация с минимално тегло: сумата от страните на триъгълниците да е минимална; между n измерени точки да има n праволинейни връзки;

- критерий за максимален/минимален ъгъл: когато се създават триъгълниците, най-малкият ъгъл да бъде възможно по-голям.

Последният критерий е едно от главните условия за триангулацията на Делоне, което я прави и най-често използвана.

Въпреки всички изисквания, не бива да се забравя, че DTM е приближение към повърхността, т.е. той не би могъл да покаже най-точната форма на терена [82]. Освен това съществуват и определени фактори, които се явяват важни за качеството на модела. На първо място, техниката и методите на измерване влияят върху точността и сигурността на модела. Гъстотата на точките и характера на терена също са важни. От значение е и методът на работа в последващата обработка – например, модел базиран на мрежа или на триъгълници, това също оказва влияние върху качеството на получения резултат.

➤ **Делоне триангулация** - Делоне триангулацията притежава качества, които са важни за DTM [82]. Триъгълниците в мрежата са свързани, но не припокриващи се и празни пространства между тях не съществуват. Окръжността описана около триъгълника не съдържа други точки, освен трите съставлящи го от което следва, че триангулацията е определена. Структурните линии (breaklines) съвпадат със страните на триъгълниците.

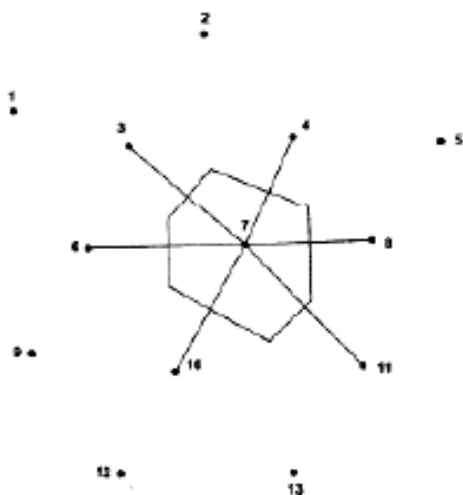
Принципите на Делоне триангулацията са:

✓ Най-близките точки P_j около една точка P_i , така наречените естествени съседи, са свързани към P_i . В средата на линиите свързващи тези съседи и P_i е издигнат перпендикуляр. Перпендикулярите образуват затворен

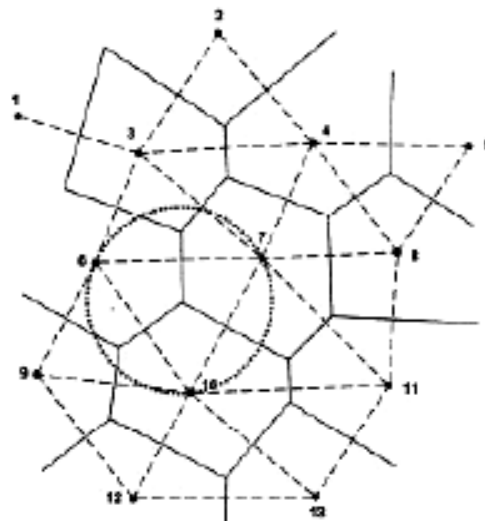
полигон. Това е така нареченият „Thiessen” полигон (фиг. IV.28) (наречени на американския метеоролог Alfred H. Thiessen (1872-1931)).

✓ Ако са изградени „Thiessen” полигони около всички точки от мрежата, то тогава е построена диаграмата на Вороной.

✓ Когато съседните точки от „Thiessen” полигон се свържат, се получава т. нар. Делоне триангулация. (фиг. IV.29).



Фиг. IV.28. „Thiessen” полигон [82]



Фиг. IV.29. Делоне триангулация [82]

➤ **Фактори, от които зависи точността на определения обем**

Независимо от използваната техника, определянето на обема на отработеното пространство се състои от два процеса [33, 40]:

✓ Заснемане на обекта, чиито обем трябва да бъде определен и създаване на модел на заснетата повърхност.

✓ Определяне на обема, чрез вписване на елементарни обеми в пространството, ограничено от тази повърхност.

Общата грешка при определяне на обема трябва да бъде определяна с отчитане на закономерностите в натрупване на грешките при всеки от процесите.

Когато говорим за определяне на обеми иззети пространства не би могло да се определи кой метод и по-добър. Всеки метод има съответни предимства и недостатъци в зависимост от формата на обекта и размера на заснеманото пространство, от наличното оборудване и необходимата точност, и не на последно място и от определени икономически съображения.

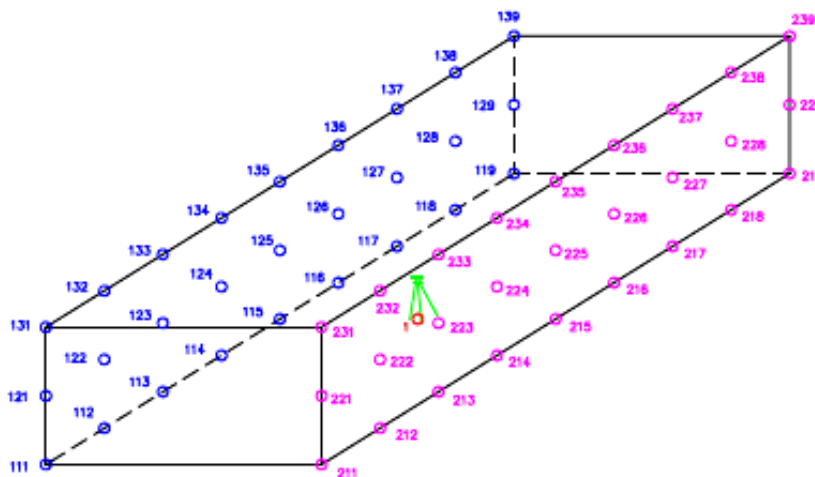
IV.2.6.3. Определяне обема на отработени пространства в подземни минни изработки чрез пространствени триъгълни пирамиди и оценка на точността - авторова идея

При извършване на маркшайдерско заснемане на минните изработки се координират характерни точки от елементите им (стените, тавана и пода на изработките) [4, 10]. Определянето на обема за конкретен участък може да бъде извършено чрез прилагането на различни методи и софтуерни продукти.

Ще разгледаме една авторова идея за определяне обема на отработеното пространство чрез триъгълни пирамиди (фиг. IV.30).

Обемът на едно тяло, може да бъде определен като сума от обемите на съставляващите го елементарни тела [40].

За илюстриране на предложения метод се избира елементарно тяло, триъгълна пирамида, като трите точки, образуващи нейната основа в пространството, са точки от елементите на изработката с определени координати при заснемането, а връхът на пирамидата е точка с координати, определени чрез снимачната технология. По този начин се формират множество пространствени триъгълни пирамиди. Сумирайки изчислените им обеми, се определя и обемът на заснетото пространство. Броят и взаимното разположение на елементарните тела задължително трябва да бъдат подчинени на алгоритъм, осигуряващ коректност и еднозначност на решението.



Фиг. IV.30. [4, 10]

Обемът на всяка пирамида се определя по формулата:

$$V = \frac{SH}{3}, \quad (\text{IV.13})$$

където:

S - площ на основата на пирамидата;

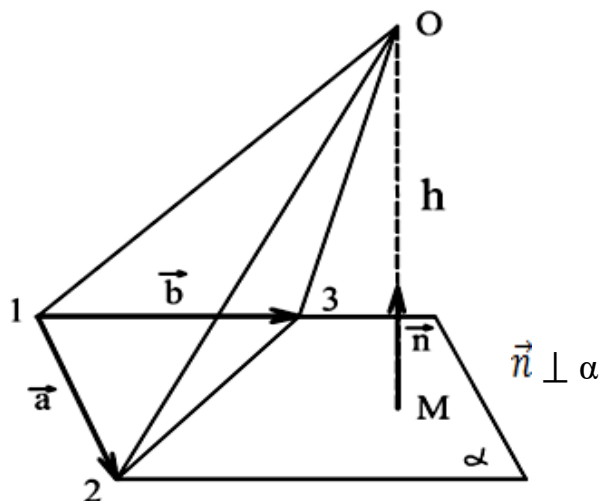
H - височина на пирамидата.

Чрез координатите (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) , (X_3, Y_3, Z_3) , на три заснети точки от контурите на изработките се определя равнината на основата на всяка от пирамидите в пространството [59].

Тъй като равнината на основата на всяка от пирамидите е с различно пространствено положение, поради характера на заснеманите повърхнини в подземните минни изработки, изчислението трябва да бъде извършвано за всяка една от пирамидите поотделно. По аналогични причини и височините на тези пирамиди имат различни стойности. За всяка от тях, височината се определя като разстояние в пространството между точка (върха на пирамидата) и равнина (равнината на нейната основа).

– Определяне на размера (стойността) на височината на пирамидата (разстоянието от върха ѝ до равнината на основата) (фиг. IV.31):

$$H = \frac{|Ax+By+Cz+D|}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} - \text{разстояние от точка до равнина} \quad (\text{IV.14})$$



Фиг. IV.31. [4, 10]

– Определяне координатите на петата на височината на пирамидата.

$$\vec{a}(X_2 - X_1, Y_2 - Y_1, Z_2 - Z_1)$$

$$\vec{b}(X_3 - X_1, Y_3 - Y_1, Z_3 - Z_1)$$

$$\vec{n}(A, B, C)$$

$$\alpha = \begin{vmatrix} X - X_1 & Y - Y_1 & Z - Z_1 \\ X_2 - X_1 & Y_2 - Y_1 & Z_2 - Z_1 \\ X_3 - X_1 & Y_3 - Y_1 & Z_3 - Z_1 \end{vmatrix} \Rightarrow$$

$$\alpha: A(X - X_1) + B(Y - Y_1) + C(Z - Z_1) = 0, \quad (\text{IV.15})$$

където:

$$A = (Y_2 - Y_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(Y_3 - Y_1) \quad (\text{IV.16})$$

$$B = -\{(X_2 - X_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(X_3 - X_1)\} \quad (\text{IV.17})$$

$$C = (X_2 - X_1)(Y_3 - Y_1) - (Y_2 - Y_1)(X_3 - X_1) \quad (\text{IV.18})$$

$$h: \begin{cases} X = X_o + At \\ Y = Y_o + Bt \\ Z = Z_o + Ct \end{cases} \quad (\text{IV.19})$$

$$\text{От (IV.15)} \Rightarrow A(X_o + At - X_1) + B(Y_o + Bt - Y_1) + C(Z_o + Ct - Z_1) = 0 \quad (\text{IV.20})$$

$$t = \frac{A(X_o - X_1) + B(Y_o - Y_1) + C(Z_o - Z_1)}{A^2 + B^2 + C^2} \quad (\text{IV.21})$$

$$M: \begin{cases} X_M = X_o + At \\ Y_M = Y_o + Bt \\ Z_M = Z_o + Ct \end{cases} \quad (\text{IV.22})$$

Площта на основата на всяка от пирамидите в пространството се изчислява по известните формули [85]:

$$S_{YZ} = \frac{1}{2} [Y_1(Z_2 - Z_3) + Y_2(Z_3 - Z_1) + Y_3(Z_1 - Z_2)] \quad (\text{IV.23})$$

$$S_{XZ} = \frac{1}{2} [Z_1(X_2 - X_3) + Z_2(X_3 - X_1) + Z_3(X_1 - X_2)] \quad (\text{IV.24})$$

$$S_{XY} = \frac{1}{2} [X_1(Y_2 - Y_3) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_1 - Y_2)] \quad (\text{IV.25})$$

$$S_{\Delta} = \sqrt{S_{YZ}^2 + S_{XZ}^2 + S_{XY}^2}, \quad (\text{IV.26})$$

където:

S_{YZ} , S_{XZ} , S_{XY} – площи на проекциите на пространствения триъгълник върху координатните равнини YZ , XZ и XY ;

S_{Δ} – площ на основата на пирамидата в пространството.

Оценка на точността

Точността на координатите на измерените точки от горепосочените повърхнини се оценява по известни формули:

Елементарната пирамида се образува от точки, координирани при измерванията (3 точки в основата и една на върха) $\Rightarrow X_i, Y_i, Z_i$

$$X_i = X_{\text{станция}} + S_i \cos \alpha_i \quad (\text{IV.27})$$

$$Y_i = Y_{\text{станция}} + S_i \sin \alpha_i \quad (\text{IV.28})$$

$$Z_i = Z_{\text{станция}} + I_{\text{станция}} + \Delta h_i \quad (\text{IV.29})$$

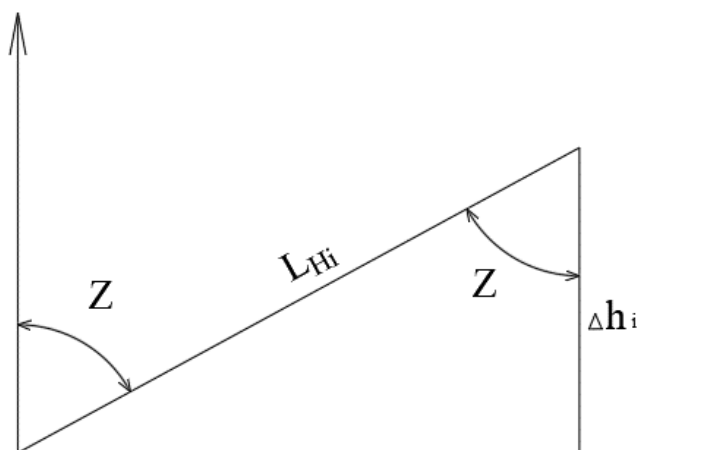
$$\Delta h_i = L_{H_i} \cos Z_i, \quad (\text{IV.30})$$

където (фиг. IV.32):

S_i – хоризонтално разстояние;

L_{H_i} – наклонено разстояние;

$I_{\text{станция}}$ – височина на инструмента.



Фиг. IV.32. [4, 10]

$$m_{X_i}^2 = m_{X_{\text{ст}}}^2 + \cos^2 \alpha_i m_{S_i}^2 + S_i^2 \sin^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (\text{IV.31})$$

$$m_{Y_i}^2 = m_{Y_{\text{ст}}}^2 + \sin^2 \alpha_i m_{S_i}^2 + S_i^2 \cos^2 \alpha_i \frac{m_{\alpha_i}^2}{\rho^2} \quad (\text{IV.32})$$

$$m_{Z_i}^2 = m_{Z_{\text{ст}}}^2 + m_{I_i}^2 + \cos^2 Z_i m_{L_{H_i}}^2 + L_{H_i}^2 \sin^2 Z_i \frac{m_{Z_i}^2}{\rho^2} \quad (\text{IV.33})$$

Ако измерването се извършва само от една станция, от формули (IV.31), (IV.32) и (IV.33) отпадат грешките на положението (в координатите) на тази станция (m_X, m_Y, m_Z, m_I). При заснемане от повече от една станция е необходимо да се оценят координатите им и съответно тези оценки ще участват в общата оценка на изчислените обеми.

- Оценката на точността на площта на основата за всяка от пирамидите в пространството се определя по формула [85]:

$$m_{S_{\Delta}}^2 = \frac{1}{2} \frac{S_{YZ}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (Y_i^2 + Z_i^2) + \frac{1}{2} \frac{S_{XZ}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 + Z_i^2) + \frac{1}{2} \frac{S_{XY}^2}{S_{\Delta}^2} m^2 \sum_{i=1}^n (X_i^2 + Y_i^2), \quad (\text{IV.34})$$

където:

X_i, Y_i, Z_i са редуцирани спрямо центъра на тежестта на триъгълника;

S_{Δ} – площ на основата на пирамидата в пространството, изчислена по формула (IV.26);

m – средна квадратна грешка на координатите на центъра на тежестта на триъгълника в пространството, определена чрез оценките на трите точки, формиращи основата на пирамидата.

$$m = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (m_{X_i}^2 + m_{Y_i}^2 + m_{Z_i}^2)} \quad (\text{IV.35})$$

- Оценка на точността на височината на пирамидата:

Височината на пирамидата може да бъде определена чрез координатните разлики на върха на пирамидата и петата ѝ върху равнината на основата [86].

$$H = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}, \quad (\text{IV.36})$$

където:

X_1, Y_1, Z_1 – координати на върха на пирамидата;

X_2, Y_2, Z_2 – координати на петата на височината на пирамидата.

$$m_H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial X_1}\right)^2 m_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial X_2}\right)^2 m_{X_2}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Y_1}\right)^2 m_{Y_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Y_2}\right)^2 m_{Y_2}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Z_1}\right)^2 m_{Z_1}^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial Z_2}\right)^2 m_{Z_2}^2} \quad (\text{IV.37})$$

- Оценката на изчисления обем за всяка една от пирамидите се получава чрез формули:

$$V = \frac{SH}{3} \quad (\text{IV.38})$$

$$m_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial H}\right)^2 m_H^2} \quad (\text{IV.39})$$

$$m_V = \sqrt{\left(\frac{H}{3}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{S}{3}\right)^2 m_H^2} \quad (\text{IV.40})$$

- Оценката на общия обем се получава чрез изчислените грешки за отделните пирамиди.

$$m_V^{\text{общ}} = \sqrt{m_{V_1}^2 + m_{V_2}^2 + \dots + m_{V_n}^2} \quad (\text{IV.41})$$

В общата оценка на обема трябва да участват грешките при измерване на хоризонтални ъгли, грешките при измерване на зенитни ъгли и грешките при измерване на дължини.

Общата грешка на измерен хоризонтален ъгъл се изразява чрез формулата [14]:

$$m_\beta = \sqrt{m_{\text{изм}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{среда}}^2 + m_{\text{наклон}}^2 + m_{\text{прибор}}^2}, \quad (\text{IV.42})$$

където:

$m_{\text{изм}}$ – грешка в измерен хоризонтален ъгъл в зависимост от метода на измерване;

$m_{\text{ц}}$ – грешка от центриране.

За тези грешки, при всяко отделно измерване, може да се определят числените им стойности.

При измерването на ъгли влияние могат да окажат и допълнителни грешки, за които трудно може да се даде числена стойност при конкретно измерване, а именно:

$m_{\text{среда}}$ – грешка, предизвикана от средата в която се извършва измерването;

$m_{\text{наклон}}$ – грешка от невертикалност на оста на въртене на инструмента;

$m_{\text{прибор}}$ – други инструментални (приборни) грешки.

В зависимост от начина на измерване на хоризонталните ъгли, $m_{\text{изм}}$ се изразява чрез общото влияние на грешките при визиране ($m_{\text{в}}$) и при отчитане ($m_{\text{о}}$):

- при *гирусен метод* (в n *гируса*):

$$m_{\text{изм}} = \pm \sqrt{\frac{m_{\text{в}}^2}{n} + \frac{m_{\text{о}}^2}{n}} \quad (\text{IV.46})$$

n - брой на гирусите

- при *репетиционен метод*:

$$m_{\text{изм}} = \pm \sqrt{\frac{m_B^2}{n} + \frac{m_0^2}{2n^2}} \quad (\text{IV.47})$$

n - брой на повторенията

Грешката от визиране може да бъде определена:

- чрез характеристиката на нишковия кръст на инструмента:

$$m_B = \frac{1}{2} \frac{b}{f_{\text{об}}} \rho^{\text{cc}}, \quad (\text{IV.43})$$

където:

b – дебелина на вертикалната нишка на нишковия кръст;

$f_{\text{об}}$ – фокусно разстояние на обектива на инструмента.

- чрез най-малкия ъгъл на виждане на човешкото око:

$$m_B = \frac{190^{\text{cc}}}{V}, \quad (\text{IV.44})$$

където:

190^{cc} – най-малкият ъгъл, при който човешкото око различава две точки като отделни;

V – увеличение на зрителната тръба.

Грешката при отчитане може да бъде определена чрез:

$$m_o = \frac{t^{\text{cc}}}{2\sqrt{3}}, \quad (\text{IV.45})$$

където:

t^{cc} – директна точност на отчитане на инструмента.

При съвременните инструменти, грешката от отчитане е грешката на ъгловия датчик, посочена в техническата характеристика на инструмента от фирмата-производител [39].

Грешката от неточно центриране на инструмента зависи от дължините на раменете на измерения хоризонтален ъгъл и неговата стойност. Тя може да се отчете от таблица (на проф. Белоликов) или да се изчисли по следната формула:

$$m_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e_c^2(a^2 + b^2) + e_{\text{и}}^2(a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta)]}, \quad (\text{IV.48})$$

където:

e_c – ексцентрицитет (неточно центриране) на сигнала;

e_n – ексцентрицитет (неточно центриране) на инструмента;
 a, b – рамена на измервания ъгъл.

Грешката при измерване на зенитни ъгли се определя от следните формули (при n -кратно измерване на зенитния ъгъл, при две положения на зрителната тръба):

$$m_Z = \sqrt{\frac{m_B^2 + m_0^2 + m_y^2}{2n}}, \quad (\text{IV.49})$$

където:

m_B – грешка от визиране;

m_0 – грешка при отчитане;

m_y – грешка от неточно хоризонтиране на инструмента. При съвременните инструменти, точността на компенсатора е указана в паспорта на инструмента.

Грешката от визиране и грешката при отчитане се определят по същия начин, както при измерване на хоризонтални ъгли, а грешката от неточно хоризонтиране на инструмента зависи от вида и точността на либелата и компенсатора на инструмента.

Грешката при измерване на дължини при съвременните далекомерни инструменти се определя по следната формула [39]:

$$m_l = a + bS_{km}, \quad (\text{IV.50})$$

където:

a – коефициент, отразяващ неточността при определяне на събирателните константи на сигнала и на самия далекомер и някои други постоянни грешки; отчита влиянието на грешките, които не зависят от стойността на измереното разстояние;

b – коефициент, отразяващ грешките с които се определя скоростта на светлината в реалната атмосфера; отчита влиянието на грешките, зависещи от измереното разстояние;

S – разстоянието в km .

По така предложения алгоритъм може да бъдат изчислявани обеми на отработено пространство в минни изработки и да бъде извършена оценка на точността, в зависимост от характера на отражателната повърхност и условията на измерване, което е представено в [4, 11].

V. Обработка и интерпретация на резултатите от маркшайдерски измервания

V.1. Теория на грешките при измерванията

В маркшайдерската практика се извършват измервания на различни физически величини, чиито стойности се сравняват с величина приета за единица мярка. В резултат от това се получава число, което показва колко пъти измерваната величина е по-голяма или по-малка от еталона. При многократни измервания на една величина, получените резултати от измерванията се различават един от друг, с известни, малки по абсолютна стойност величини. Следователно всеки от резултатите се отклонява от истинската стойност на измерваната величина [2, 66]. Тези отклонения се наричат грешки. Грешките произлизат главно от несъвършенството на мерните уреди, несъвършенството на сетивните органи на наблюдателя, както и от комплексното влияние на външните условия, при които се извършват измерванията.

В зависимост от факторите, които ги пораждат, грешките могат да се класифицират като: инструментални, лични и грешки, дължащи се на влиянието на околната среда [2, 39].

В теорията на грешките, разделянето е по свойства и закономерности на появяване. В този случай грешките се делят на груби, систематични и случайни [2, 39, 66].

Грубите грешки най-често са предизвикани от невнимание на оператора или неизправност на инструмента. Техният размер е по-голям от приетата точност на измерването. При повторни или контролни измервания лесно се откриват и отстраняват.

Систематичните грешки в процеса на измерване запазват своя знак и стойност или се изменят по определен закон. Систематичните грешки с постоянна или периодично променяща се стойност могат да бъдат открити и отстранени като се смени инструментът или методиката. Грешките, които се изменят по периодични закони, се отстраняват с подходящ начин на измерване или с въвеждане на поправки. Част от систематичните грешки не могат да бъдат отстранени, тъй като се подчиняват на твърде сложни закони [39].

Случайните грешки са неизбежни [3, 66]. Влиянието им върху измерените величини е невъзможно да се определи, поради комплексния характер на факторите, които ги предизвикват. Източници на случайните грешки са несъвършенството на наблюдателя, конструктивните недостатъци на използваните инструменти, влиянието на външните условия при измерванията.

При извършване на изчисления с измерени величини случайните грешки се предават по определен закон и практически определят точността на измерванията.

В теорията на грешките и метода на най-малките квадрати се разглеждат само случайните грешки [2, 39, 66]. Те притежават следните основни свойства:

- При дадени условия на измерване, не могат да превишат по абсолютна стойност известна граница;
- Малките по абсолютна стойност грешки се явяват по-често, отколкото големите;
- Положителните и равните им по абсолютна стойност отрицателни грешки се явяват еднакво често, т.е. са еднакво вероятни;
- С увеличаване броя на измерванията и при относително постоянство на условията, средната аритметична стойност от случайните грешки при измервания на една и съща величина, се стреми към нула.

Относно точността на геодезическите и маркшайдерски дейности има извършени многобройни теоретични изследвания на резултатите от извършените измервания [39]. Установени са основните фактори, от които зависи точността на геодезическите и маркшайдерски работи, и чието действие трябва да бъде отчитано в практиката. Извършването на анализи относно влиянието на грешките на изходните измервания върху точността на крайните резултати се извършва по закона за предаване на грешките (формула V.1).

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 [66]. Т.е. да се определи средната квадратна грешка на функция от независими величини, когато са известни техните средни квадратни грешки.

При зададена функция $Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, средната ѝ квадратна грешка ще бъде:

$$m_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial x_1}\right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_2}\right)^2 m_{x_2}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_3}\right)^2 m_{x_3}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_n}\right)^2 m_{x_n}^2}, \quad (V.1)$$

където:

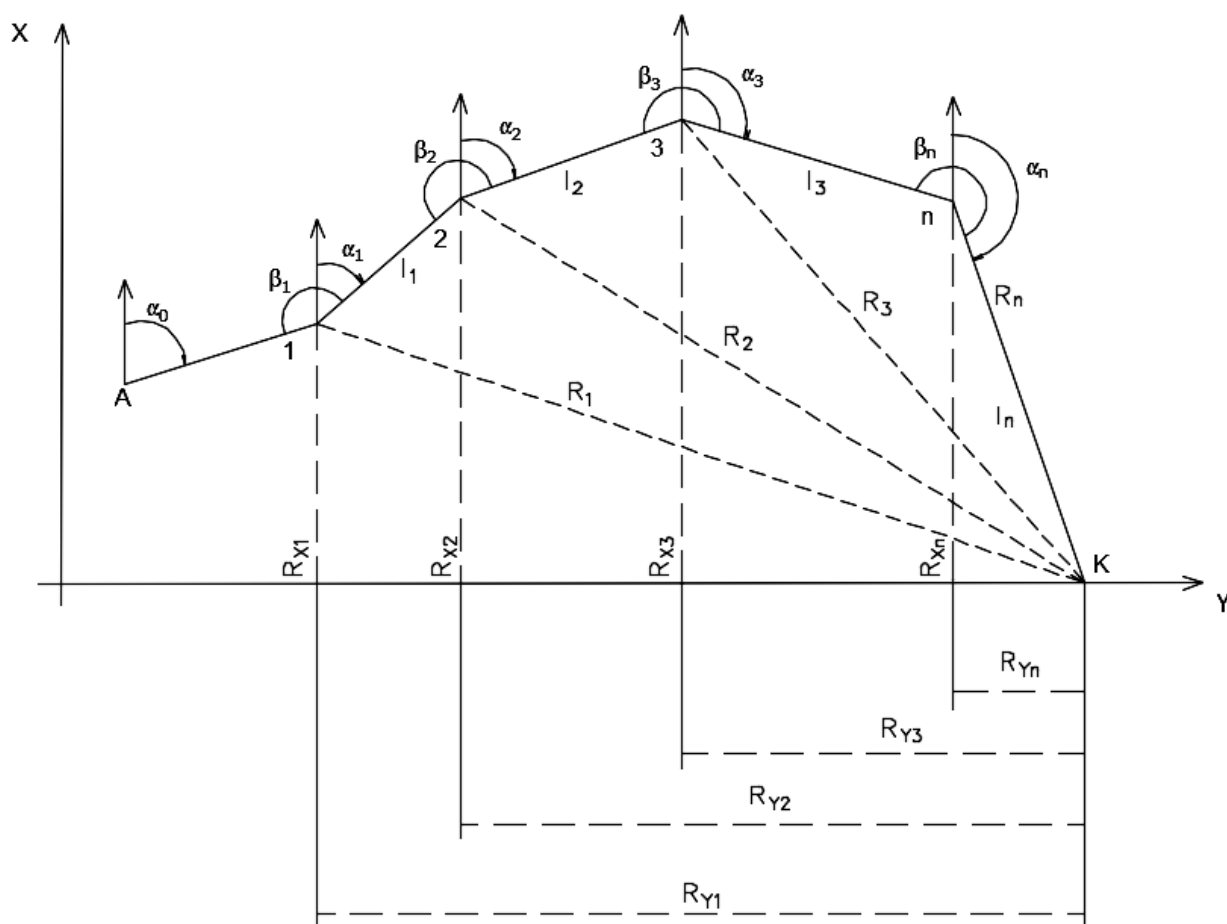
$\left(\frac{\partial Y}{\partial x_i}\right)$ - частна производна на функцията спрямо всеки от аргументите x_i ;

m_{x_i} - средна квадратна грешка на всеки от аргументите.

В маркшайдерската практика, при провеждането на минните работи, често се налага те да бъдат осигурявани с помощта на свободни полигонови ходове.

Един пример за приложение на закона за предаване на грешките е оценката на точността на координатите и надморската височина на последната точка K от свободен полигонов ход (фиг. V.1) с произволна форма [14, 66]. При измерване на ъглите и дължините на страните на полигоновите ходове, неизбежните грешки от измерванията довеждат до неправилно определяне на координатите на върховете на полигоните. Тези грешки могат да бъдат определени.

По тази методика може да се определи оценката на координатите на всяка полигонова точка, с условието, че за тази оценка се взимат под внимание само измерванията до тази точка.



Фиг. V.1. Свободен полигонов ход

Формулите по които се извършва изчисляването са известни от курса по геодезия:

$$X_K = X_1 + l_1 \cos \alpha_1 + l_2 \cos \alpha_2 + \dots + l_n \cos \alpha_n \quad (V.2)$$

$$Y_K = Y_1 + l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin \alpha_2 + \dots + l_n \sin \alpha_n \quad (V.3)$$

За определяне на средната грешка в координатите на т.К се използват следните формули:

$$M_K = \sqrt{M_{X_K}^2 + M_{Y_K}^2} \quad (V.4)$$

$$M_{X_K} = \sqrt{M_{X_1}^2 + M_{X_{K\beta}}^2 + M_{X_{Kl}}^2 + M_{X_{K\alpha_0}}^2} \quad (V.5)$$

$$M_{Y_K} = \sqrt{M_{Y_1}^2 + M_{Y_{K\beta}}^2 + M_{Y_{Kl}}^2 + M_{Y_{K\alpha_0}}^2}, \quad (V.6)$$

където:

M_{X_i}, M_{Y_i} - средни грешки в координатите на изходната точка;

$M_{X_{K\beta}}, M_{Y_{K\beta}}$ - средни грешки в координатите на т. К, получени вследствие на грешки при измерване на ъглите на полигона;

$M_{X_{Kl}}, M_{Y_{Kl}}$ - средни грешки в координатите на т. К, получени вследствие на грешки при измерване на дължините на полигоновите страни;

$M_{X_{K\alpha_0}}, M_{Y_{K\alpha_0}}$ - средни грешки в координатите на т. К, получени вследствие на грешка в посочния ъгъл на изходната страна на полигона.

➤ **Средни грешки в координатите на изходната точка** – M_{X_1}, M_{Y_1} – получават се от предишни (други) изследвания и не зависят от измерванията в полигоновия ход . Ако стойностите им не са известни, то във формули (V.5) и (V.6) те не се отчитат.

➤ **Средни грешки в координатите на т. К, обусловени от средните грешки при измерване на ъглите на свободен полигонов ход с произволна форма** – $M_{X_{K\beta}}, M_{Y_{K\beta}}$:

След прилагането на закона за предаване на грешките към формули (V.2) и (V.3) се получават следните крайни формули:

При неравноточно измерени ъгли – $(m_{\beta_1} \neq m_{\beta_2} \neq \dots \neq m_{\beta_n})$:

$$M_{K\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_i^2 m_{\beta_i}^2, \quad \text{където } R_i = \sqrt{\Delta Y_{i,K}^2 + \Delta X_{i,K}^2} \quad (V.7)$$

В тази формула R_i е радиус-вектор, свързващ оценяваната точка с всяка точка от полигоновия ход, в която има измерен полигонов ъгъл β_i , а m_{β_i} е грешката на съответния измерен ъгъл.

Радиус-векторът R_i , проектиран върху осите X и Y , има съставлящи R_{X_i} и R_{Y_i} :

$$M_{X_{K\beta}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2 m_{\beta_i}^2, \quad \text{където } R_{Y_i} = \Delta Y_{i,K} \quad (\text{V.8})$$

$\Delta Y_{i,K}$ е координатната разлика по Y между оценяваната точка K и всяка друга, в която има измерен ъгъл β .

$$M_{Y_{K\beta}}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{X_i}^2 m_{\beta_i}^2, \quad \text{където } R_{X_i} = \Delta X_{i,K} \quad (\text{V.9})$$

$\Delta X_{i,K}$ е координатната разлика по X между оценяваната точка K и всяка друга, в която има измерен ъгъл β .

При равноточно измерени ъгли – ($m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = \dots = m_{\beta_n} = m_{\beta}$):

$$M_{K\beta}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_i^2, \quad \text{където } R_i = \sqrt{\Delta Y_{i,K}^2 + \Delta X_{i,K}^2} \quad (\text{V.10})$$

$$M_{X_{K\beta}}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2, \quad \text{където } R_{Y_i} = \Delta Y_{i,K} \quad (\text{V.11})$$

$$M_{Y_{K\beta}}^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{X_i}^2, \quad \text{където } R_{X_i} = \Delta X_{i,K} \quad (\text{V.12})$$

Грешката на измерен хоризонтален ъгъл m_{β_i} зависи от грешката $m_{\text{изм}}$ (грешка, в зависимост от начина на измерване на ъгъла), и от грешката от неточно центриране на инструмента и сигналите – $m_{\text{ц}}$

➤ **Средни грешки в координатите на т. К, обусловени от средните грешки при измерване на дължините на страните на свободен полигонов ход с произволна форма** – $M_{X_{K_l}}$, $M_{Y_{K_l}}$:

$$M_{K_l}^2 = \sum_{i=1}^n m_{l_i}^2, \quad (\text{V.13})$$

а проекциите ѝ върху осите X и Y са съответно:

$$M_{X_{K_l}}^2 = \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i m_{l_i}^2 \quad (\text{V.14})$$

$$M_{Y_{K_l}}^2 = \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i m_{l_i}^2 \quad (\text{V.15})$$

В горните формули α_i е посочният ъгъл на всяка полигонова страна, определен при изчисляване на координатите на точките от полигоновия ход.

Стойността на m_{l_i} се изчислява за всяка дължина поотделно и зависи от вида на използвания инструмент и от вида на измерванията (реални или проектни).

При измерване на дължините с ролетка:

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

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

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

При проектни решения, изчисляването на средната квадратна грешка на двойно проектно измерена дължина се извършва по формулата:

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

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:

Табл. V.1

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

При измерване на дължините с далекомер, както вече беше посочено се използва формулата:

$$m_l = a + bS, [\text{mm}], \quad (\text{V.18})$$

където a и b са коефициенти, а S – разстоянието в km.

За съвременните далекомири, коефициентът a приема стойности $1 \div 5 \text{ mm}$, а коефициентът b – $1 \div 5 \text{ mm}$ за 1 km измерена дължина.

➤ **Средна грешка в координатите на т. К, обусловена от средната грешка в посочения ъгъл на изходната страна на свободен полигонов ход с произволна форма – $M_{x_{K\alpha_0}}, M_{y_{K\alpha_0}}$:**

Средната грешка в началния посочен ъгъл m_{α_0} предизвиква завъртане на целия полигонов ход и оказва влияние върху точността на координатите на всяка полигонова точка. Разбира се, колкото оценяваната точка е по-далече от началото на хода, толкова по-голяма е и грешката в координатите ѝ. За

определяне на тази грешка в координатите на точката се използват следните формули:

$$M_{K\alpha_0} = L \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}; \quad L = \sqrt{L_Y^2 + L_X^2}, \quad (\text{V.19})$$

а проекциите ѝ върху осите X и Y са съответно:

$$M_{XK\alpha_0} = L_Y \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}, \quad (\text{V.20})$$

$$\text{където } L_Y = \Delta Y_{K,1} = Y_1 - Y_K \quad (\text{V.21})$$

$$M_{YK\alpha_0} = L_X \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}, \quad (\text{V.22})$$

$$\text{където } L_X = \Delta X_{1,K} = X_K - X_1 \quad (\text{V.23})$$

В тези формули X_1 и Y_1 са координати на началната точка, X_K и Y_K – координатите на оценяваната точка.

Оценката на началния посочен ъгъл m_{α_0} се получава от предишни (други) изследвания. Ако не е известна нейната стойност, във формули (V.5) и (V.6) $M_{XK\alpha_0}$ и $M_{YK\alpha_0}$ не се отчитат.

Оценка на надморската височина на последната т. К на полигоновия

ход

➤ Анализ на точността при извършване на геометрична нивелация

Надморската височина на последната т. K от свободен нивелачен ход се изчислява по известната формула [66]:

$$H_K = H_A + \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n = H_A + \sum_{i=1}^n \Delta h_i \quad (\text{V.24})$$

Ако с m_i се означат грешките при определяне на превишенията Δh_i .

Тогава грешката в надморска височина на т. K е:

$$m_{H_K}^2 = m_{H_A}^2 + m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2, \quad (\text{V.25})$$

където: m_{H_A} – грешка в надморската височина на изходната точка A .

При определяне на едно превишение ($\Delta h_i = a_i - b_i$) има две отчитания по латата. При равенство на средните грешки при отчет „назад” (m_{O_a}) и отчет „напред” (m_{O_b}) се получава:

$$m_{\Delta h}^2 = m_0^2 + m_0^2 = 2m_0^2 \quad (\text{V.26})$$

Тъй като грешката в надморската височина на изходната точка A – m_{H_A} , не зависи от грешките в нивелачния ход, то грешката в надморската височина на т. K , вследствие само на измерванията в хода (n превишения), има вида:

$$m_{H_K}^2 = n2m_0^2, \quad (\text{V.27})$$

откъдето

$$m_{HK} = m_0 \sqrt{2n} \quad (\text{V.28})$$

Грешката при отчитане се изразява с формулата:

$$m_o = 0.7 \frac{l_{cp}}{V}, \quad (\text{V.29})$$

където: V е увеличение на зрителната тръба на нивелира;

l_{cp} е средна дължина на визурата за целия нивелачен ход.

Или с формулата:

$$m_o = 0.0007 l_{cp} \tau, \quad (\text{V.30})$$

където: τ е чувствителност на либелата на нивелира.

Съгласно изискванията на Техническата маркшайдерска инструкция (ТМИ) геометричната нивелация се извършва на два хоризонта или в два хода (отиване и връщане).

Грешката в надморската височина на т. K , вследствие на измерванията в хода, е:

$$m_{HK} = \frac{m_o \sqrt{2n}}{\sqrt{2}} = m_o \sqrt{n}, \quad (\text{V.31})$$

където: m_o е грешка при отчитане по латата;

n е брой на станциите в нивелачния ход.

➤ Анализ на точността при извършване на тригонометрична нивелация

Тригонометричното превиишение между две точки A и K се изчислява по известната формула:

$$H_K = H_A + \Delta H_{AK} \quad (\text{V.32})$$

$$H_K = H_A \pm I + \Delta h \pm T \quad (\text{V.33})$$

При $\Delta h = L_H \cos Z$ се получава

$$H_K = H_A \pm I + L_H \cos Z \pm T, \quad (\text{V.34})$$

където: H_A – надморска височина на изходната точка;

I – височина на инструмента;

L_H – измерено наклонено разстояние между т. и т. K ;

Z – измерен зенитен ъгъл;

T – височина на сигнала.

Съгласно закона за предаване на грешките средната грешка ($m_{\Delta H}$) на едно тригонометрично определено превиишение (ΔH) е:

$$m_{\Delta H} = \sqrt{(L \sin Z)^2 \frac{m_Z^2}{\rho^2} + \cos^2 Z m_L^2 + m_I^2 + m_T^2} \quad (\text{V.35})$$

Когато надморска височина на т. K се определя чрез повече от едно тригонометрични превиишения, общото превиишение е:

$$\Delta H_{AK} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_n \quad (V.36)$$

Грешката на целия тригонометричен ход има вида:

$$M_{\Delta H_{AK}}^2 = m_{\Delta H_1}^2 + m_{\Delta H_2}^2 + \dots + m_{\Delta H_n}^2 \quad (V.37)$$

Тогава формула (V.35) придобива вида:

$$M_{\Delta H_{AK}}^2 = \frac{m_Z^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n (L_i^2 \sin^2 Z_i) + \sum_{i=1}^n (\cos^2 Z_i m_{L_i}^2) + nm_I^2 + nm_T^2 \quad (V.38)$$

Стойността на m_{L_i} се изчислява за всяка дължина поотделно и както вече беше отбелязано, зависи от вида на използвания инструмент и от вида на измерванията (реални или проектни).

Височината на инструмента и сигнала се измерват равноточно, т.е. $m_I = m_T = m_C$. Съгласно ТМИ тази стойност се приема за ± 2 mm.

При заместване във формула (V.38), нейният вид става:

$$M_{\Delta H_{AK}}^2 = \frac{m_Z^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n (L_i^2 \sin^2 Z_i) + \sum_{i=1}^n (\cos^2 Z_i m_{L_i}^2) + 2nm_C^2 \quad (V.39)$$

Ако е известно с каква точност е определена надморска височина на изходната точка A , може да се запише формулата за оценка на точността на надморска височина на последната точка (т. K) от тригонометричен нивелачен ход по следния начин:

$$\begin{aligned} m_{H_K}^2 &= m_{H_A}^2 + M_{\Delta H_{AK}}^2 \\ m_{H_K}^2 &= m_{H_A}^2 + \frac{m_Z^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n (L_i^2 \sin^2 Z_i) + \sum_{i=1}^n (\cos^2 Z_i m_{L_i}^2) + 2nm_C^2 \end{aligned} \quad (V.40)$$

Ако за определяне на надморската височина на оценяваната точка са приложени и геометрична, и тригонометрична нивелация, то оценката се извършва по следната формула:

$$m_{H_K}^2 = m_{H_A}^2 + M_{H_{геом}}^2 + M_{H_{тригоном}}^2 \quad (V.41)$$

V.1.1. Оценка на възможността за приложение на някои геодезични задачи при наблюдения за устойчивостта на инженерно съоръжение

Едно интересно изследване [76], включва предварителна оценка на точността на определянето на координатите X и Y на наблюдавани точки. Използват се различни геодезически методи при предварително избрано разположение на изходните точки.

Плановото положение на наблюдаваните точки, спрямо изходните точки, може да се оцени чрез [14]:

1. Средните грешки по осите – M_X и M_Y

$$M_X = \sqrt{K_{XX}} = \mu\sqrt{Q_{XX}} \quad (\text{V.42})$$

$$M_Y = \sqrt{K_{YY}} = \mu\sqrt{Q_{YY}}, \quad (\text{V.43})$$

където: μ – средна квадратна грешка на измерване с тежест единица;

Q_{ii} – тежестни коефициенти на оценяваната точка, получени в резултат на изравнение;

K_{ij} – елементи на корелационната матрица.

2. Средната обобщена грешка – M_K

$$M_K = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2} \quad (\text{V.44})$$

3. Средната елипса на грешките

$$\tan 2\theta = \frac{2K_{XY}}{K_{XX} - K_{YY}} \quad (\text{V.45})$$

$$q = \sqrt{(K_{XX} - K_{YY})^2 + 4K_{XY}^2} \quad (\text{V.46})$$

$$A = \sqrt{\frac{K_{XX} + K_{YY} + q}{2}} \quad (\text{V.47})$$

$$B = \sqrt{\frac{K_{XX} + K_{YY} - q}{2}}, \quad (\text{V.48})$$

където: θ – посочен ъгъл на голямата полуос на елипсата на грешките;

A, B – голяма и малка полуос на елипсата на грешките.

4. Корелационната матрица

$$K_K = \begin{vmatrix} K_{XX} & K_{XY} \\ K_{XY} & K_{YY} \end{vmatrix} + \mu^2 \begin{vmatrix} Q_{XX} & Q_{XY} \\ Q_{XY} & Q_{YY} \end{vmatrix} \quad (\text{V.49})$$

5. Средната грешка по зададено направление - M_α

$$M_\alpha = \sqrt{A^2 \cos^2 \varphi + B^2 \sin^2 \varphi} \quad (\text{V.50})$$

$$M_\alpha = \sqrt{K_{XX} \cos^2 \alpha + K_{YY} \sin^2 \alpha + K_{XY} \sin 2\alpha}, \quad (\text{V.51})$$

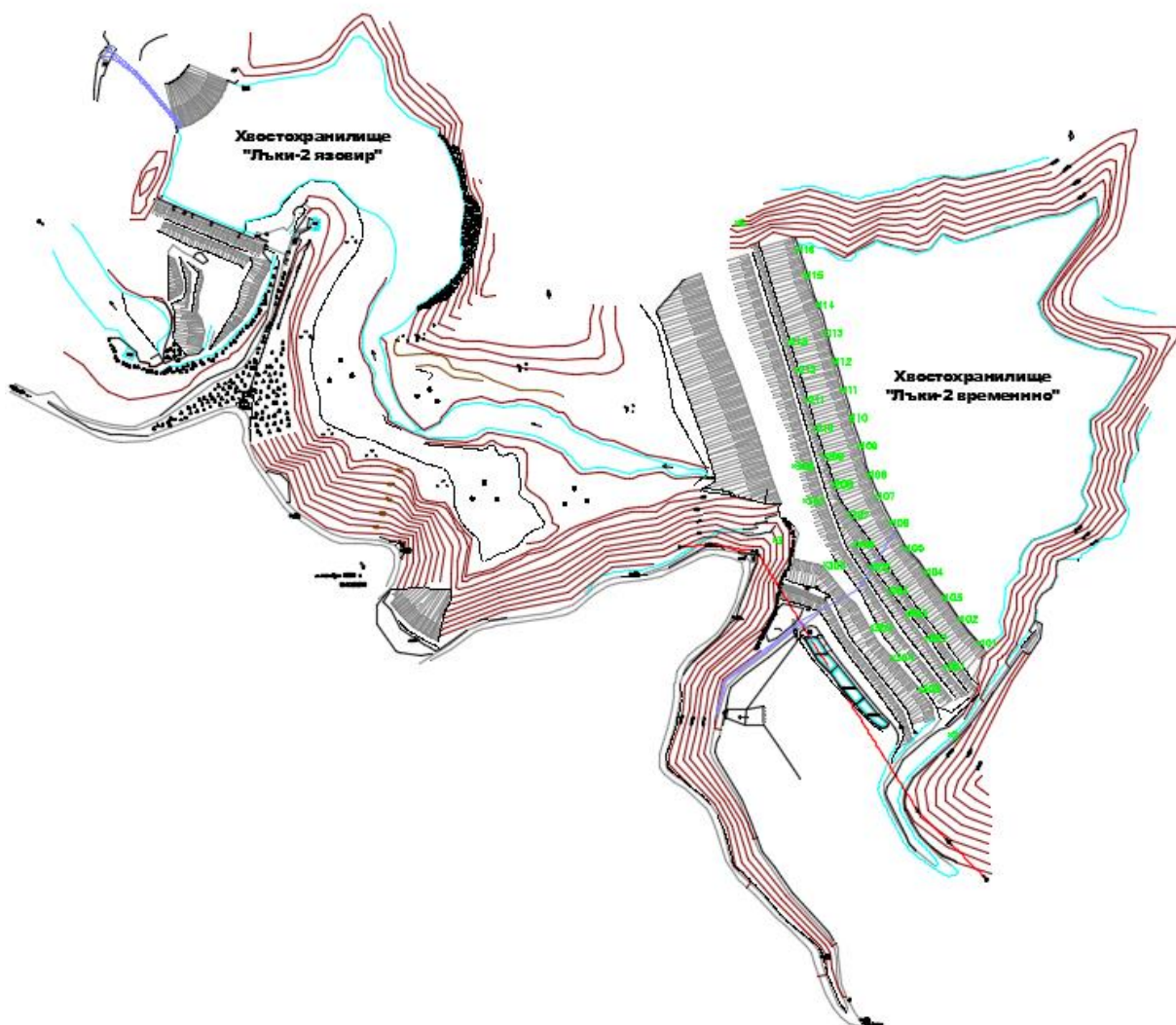
където: φ – ъгъл между голямата полуос на елипсата на грешките и избраното направление;

α – посочен ъгъл на избраното направление.

Оценката на плановото положение на точки чрез средните грешки по осите (M_X и M_Y) и чрез средната обобщена грешка (M_K), е тясно свързана с използваната координатна система.

За да се извърши оценка на положението на точка, независимо от координатната система, както и в произволно избрано направление, е удачно използването на средната елипса на грешките и на средната грешка по зададеното направление.

Разглежданото изследване е свързано със стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД, която е наблюдавана геодезически с цел следене на нейната устойчивост. Наблюденията, свързани с осигуряване устойчивостта на инженерните съоръжения, са неразделна част от тяхната експлоатация. С цел осигуряване на безопасност и възможност за прогнозиране на евентуално възникнали деформационни процеси се извършват периодични наблюдения на предварително стабилизирани контролни точки, по отношение запазването на тяхното неизменно положение в пространството, спрямо определено изходно положение.



Фиг. V.2. Ситуационен план на хвостохранилище „Лъки-2 временно“ и наблюдателната станция [76]

За следене устойчивостта на стената на хвостохранилището е проектирана наблюдателна станция (фиг. V.2, V.3 и V.4).

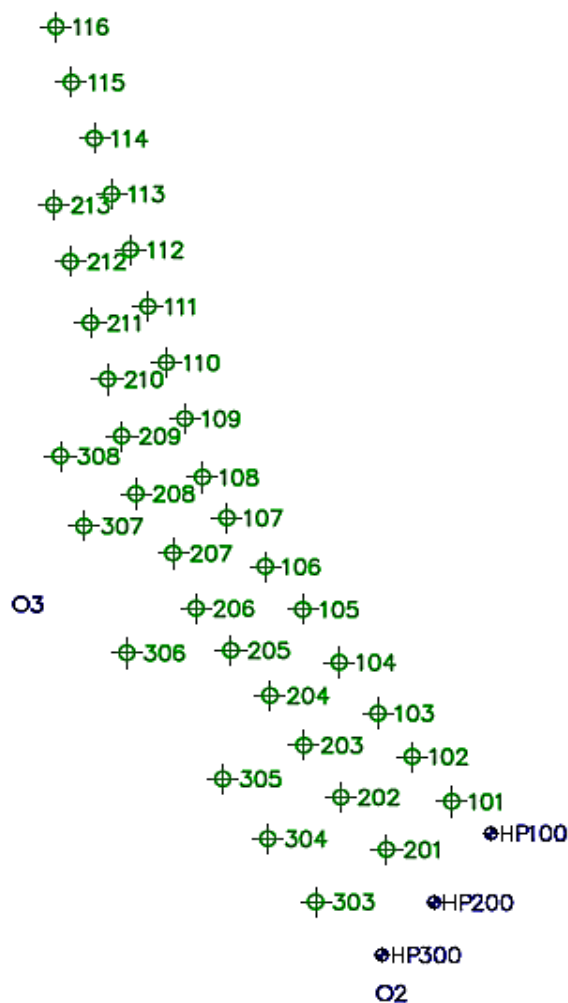
Дължината на стената е 450 m. Извън прогнозната зона на деформациите са разположени 3 бр. точки с номера 2, 3 и 6. Проектирани са и 3 наблюдателни линии с общо 35 бр. точки, надлъжно по стената. Първият ред е по короната (16 броя), вторият и третият ред (съответно 13 и 6 броя) – по въздушната страна.



Фиг. V.3. Разположение на трите линии на наблюдателната станция

Анализирана е точността на различни геодезически задачи [76], използвани за координиране на наблюдаваните точки – засечка напред; засечка назад; линейна засечка; полярен метод, при измервания с инструмент със следните технически характеристики: ъглова точност – 1", дължинна точност – $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$, увеличение на зрителната тръба $V = 30\times$; измервания в 2 гируса, принудително центриране на инструмента и сигналите. Използвани са данни от „теоретични“ измервания.

Оценена е точността на плановото положение на точките от наблюдателната станция чрез стойностите на: средните грешки по осите X и Y ; средната обобщена грешка; средната елипса на грешките. Определени са и оценките в направление перпендикулярно на стената на хвостохранилището.

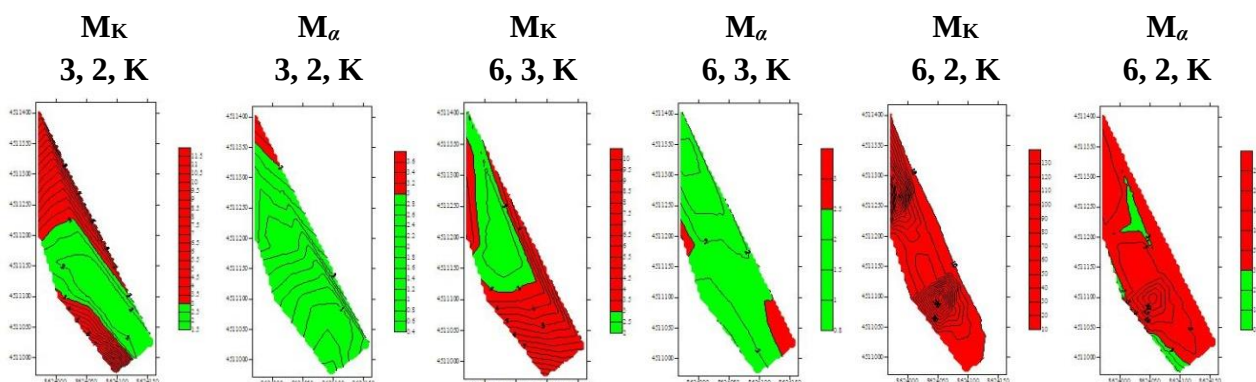


Фиг. V.4. Разположение на точките от наблюдателната станция

Резултатите от изследването показват, че разглежданите геодезически методи осигуряват различна точност на координатите на наблюдаваните точки [76]. Това се обуславя от конкретното разположение на точките от опорната мрежа, от формата на получените фигури и от стойностите и вида на елементите за тяхното изчисляване.

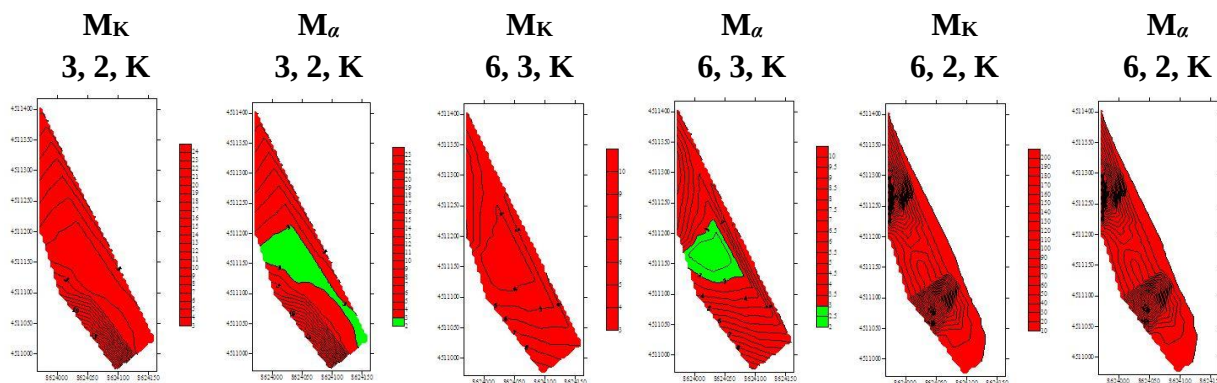
При условно зададена допустима стойност (например 3 mm) за M_K (в хоризонталната равнина) и M_α (в перпендикулярна на стената посока), са определени зони върху стената с различни стойности на предварително изчислените оценки на координатите на наблюдаваните точки. В червен цвят са зоните със стойности на грешките над 3mm, а в зелен – под тази стойност.

Засечка напред



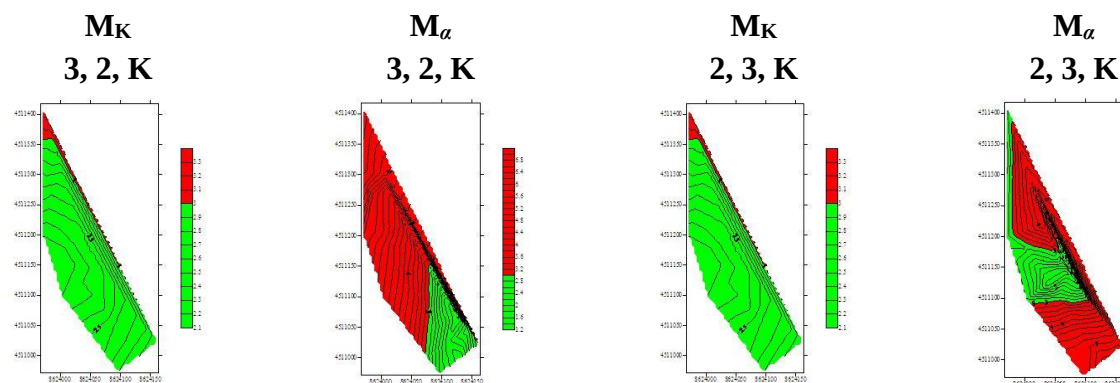
Фиг. V.5. [76]

Линейна засечка



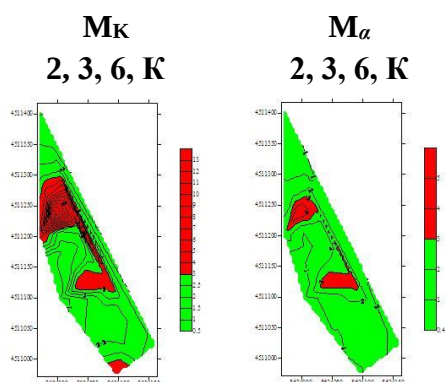
Фиг. V.6. [76]

Полярен метод



Фиг. V.7. [76]

Засечка назад



Фиг. V.8. [76]

Въз основа на направените изследвания може да се направят следните изводи:

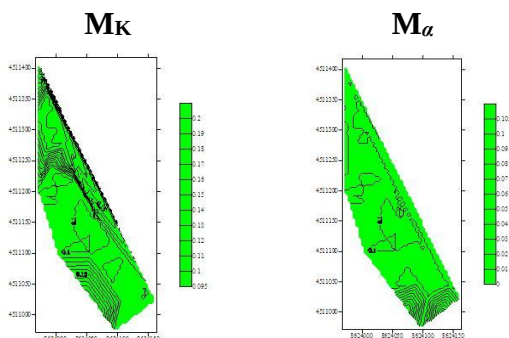
➤ Линейната засечка не показва добри резултати за координиране на точките от стената при това разположение на изходните точки (фиг. V.6).

➤ Подходящо е използването на варианти на засечка напред (фиг. V.5), засечка назад (фиг. V.8) и на полярния метод (фиг. V.7), но само в определени зони от стената на хвостохранилището.

➤ Тъй като точките от опорната мрежа са трудно достъпни поради силно пресечения терен, в определени зони от стената на хвостохранилището е възможно използването на засечка назад за координиране на наблюдаваните точки.

Определени са аналогичните оценки на координатите на наблюдаваните точки от стената на хвостохранилището, получени чрез анализ на данни и за ъглово-линейна мрежа (фиг. V.9).

Ъглово-линейна мрежа 3 опорни и 35 наблюдавани точки



Фиг. V.9. [76]

Координатите са определени последователно от трите точки от опорната мрежа, с последващо изравнение. Този метод дава най-добри резултати и в конкретната ситуация е препоръчително използването му за координиране на наблюдаваните точки от стената на хвостохранилището.

Ако резултатите от подобно предварително изследване не са удовлетворителни, е възможно да се изберат нови места на опорните точки,

както и да се промени броят им. В такъв случай трябва да се използват като критерии за сравнение на различните варианти размерите на осите на елипсата на грешките и средната грешка по зададеното (перпендикулярно на стената) направление - M_α .

V.2. Вероятностна оценка на резултатите

V.2.1. Метод „Монте Карло“

Оценките, получени чрез прилагането на Закона за предаване на грешките, (формула (V.1)) не отразяват влиянието на всички фактори, предопределящи точността на измерванията [39]. Често, за получаване на подходяща за изчисление формула и за опростяване на изчисленията, се правят различни допускания и се пренебрегват някои компоненти от формула (V.1), което прави предварителното изчисление приблизително [39, 41]. Също така, поради постоянството на входните данни, методът е детерминистичен и не отговаря на вероятностния характер на задачите. Затова е перспективно вместо закона за предаване на грешките, за предварителна оценка на точността, особено при съчетаното действие на множество фактори, да се използва методът на стохастичното моделиране, известен като „Монте Карло“.

Той представлява ефективно решение на голям брой задачи от всички области на научното познание [39, 41, 42, 43].

Понастоящем, предварителната оценка (прогнозирането) на очакваната грешка на маркшайдерските и геодезическите измервания представлява

академичен интерес, а не често срещана практика. Това се дължи на причини, като [41, 43]:

- прилагането на високоточни и надеждни инструменти и добре усвоени технологии на измерване;
- придобитият професионален опит и увереност на специалистите;
- увеличаване точността на измерванията.

Широкото прилагане на електронните средства за измерване на ъгли и дължини и компютърните технологии повиши увереността на специалистите и все повече „отдалечи“ прогнозирането на точността в ежедневната практика.

Но има задачи в минната практика, при които предварителната оценка на точността представлява определен интерес. Такива са:

- прокарване на дълги изработки с насрещни забои или за достигане на зададена точка;
- определяне на векторите на преместване на контролните репери на отговорни съоръжения;
- решаване на спорове за изветия обем минна маса и др.

Прегледът на известните прогнозни модели, основаващи се на закона за предаване на грешките, показва някои слаби страни, свързани с тяхната методологична основа [41, 43]:

- Използва се относително сложен формулен апарат, поради което се прилагат изведени при различни допускания работни формули.
- Предполага се нормално разпределение на грешките, което не се наблюдава винаги, особено при прилагане на електронни инструменти.
- Макар, че моделите по принцип са вероятностни, при зададени еднакви средни квадратни грешки, винаги се получава една и съща очаквана точност, което противоречи на практиката.

Поради изброените обстоятелства, се предлага да се приеме друга методика за прогнозирането, която се основава на стохастичното моделиране – метод „Монте Карло“.

Методът на стохастичното моделиране е създаден в началото на 40-те години на XX в. за военни приложения (проектът „Манхатън“ - за създаване на първите ядрени оръжия) [41, 42, 43]. За негови създатели се считат американските математици Стан Улам и Джон фон Нойман. Идеята на метода е многократното изпълнение на моделираната функция при различни съчетания от допустими, но независими стойности на входните данни.

Поради действието на закона за големите числа, може да се очаква, че резултатите ще се групират около някаква стойност, която има най-голяма

вероятност за получаване. Това наподобява традиционния подход. Съществената разлика е, че със стохастичното моделиране се получават множество от резултати и оценка на тяхната вероятност. Изискването за независимост на данните и разпределението им в целия възможен спектър се реализира като се използват т.нар. „случайни числа“. Случайните числа са поредица от числа, които са независими от предишните и вероятността на тяхното появяване отговаря на определено разпределение, най-често равномерно в интервала $[0;1)$, от където не е трудно да се премине към някое теоретично или към емпирично разпределение.

Създаването на съвременните изчислителни средства позволява широкото приложение на метода „Монте Карло“ във всички сфери на човешката дейност [42, 43]. Разработени са програми – генератори на случайни числа, които за технически приложения дават достатъчно точни решения, но ефективното прилагане на този метод изисква:

- Спазване на условието за независимост на изпълненията.
- Достатъчен брой изчисления на резултата.
- Създаване на подходящ за изчисленията математически модел на изследвания обект, процес или явление.

Отличават се следните особености:

- По този метод се получава прогнозно разпределение на стойностите на изследваните величини, т.е. има възможност за оценка на риска от приемане на едно или друго решение.
- Методът включва в прогнозирането и т.нар. „рядко срещани“ събития, които често се пренебрегват при традиционните подходи.
- Съчетаването на стохастичното моделиране с подходящи компютърни програми позволява по-пълно да се реализират възможностите на метода.

У нас, положителните страни на стохастичното моделиране чрез метода „Монте Карло“ за предварителна оценка на точността на маркшайдерските и геодезическите измервания, се потвърждават в редица изследвания от екип на проф. М. Маждраков [43 и др.].

Методът може с успех да се използва при решаване на множество задачи от открития и подземния добив на полезни изкопаеми [63]. С негова помощ се получават решения на актуални приложни задачи. Голямата му сила и широка приложимост се изяснява, когато се изследват процеси, зависещи от фактори с вероятностен характер, каквито са природните условия, технологичните фактори и др.

За илюстриране на гореизложеното е решен свободен полигонов ход с произволна форма и е оценена точността на координатите на последната му точка по два метода:

- чрез детерминистичен метод – по закона за предаване на грешките;
- чрез метода на стохастичното моделиране – метод „Монте Карло“.

В решението на примера са взети предвид грешките при измерване на хоризонталните ъгли и на дължините на страните. Съгласно теорията и геодезическата практика тези грешки имат нормално разпределение. И при двата метода на решение на полигоновия ход не са взети предвид оценки на координатите на изходната точка (т.1) и на началния посочен ъгъл, тъй като тези стойности се получават от други, извън полигона, измервания.

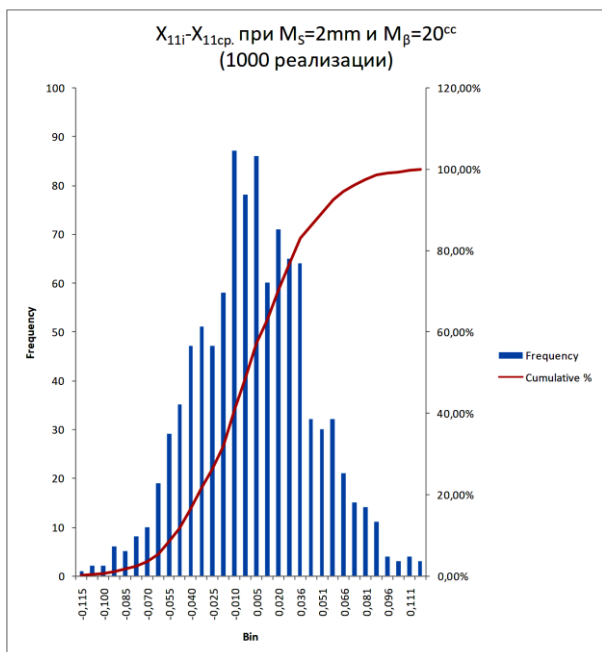
Данни за примерния полигонов ход: състои се от 11 точки, с 10 измерени ъгъла и 11 измерени дължини на страните. Приета е средна грешка на измерените ъгли $M_{\beta}=20''$ и $M_{\beta}=10''$ и средна грешка на измерените дължини $M_S=2$ mm. Общата дължина на полигоновия ход е 1505 m.

Оценките по детерминистичния метод на координатите на последната точка от полигоновия ход (т.11) – $M_{X_{11}}$ и $M_{Y_{11}}$, са определени по посочените в т.V.1 формули. Стойностите им са показани в таблици V.2 и V.3. Примерът е решен при две различни точности на измерените ъгли – $M_{\beta}=20''$ и $M_{\beta}=10''$.

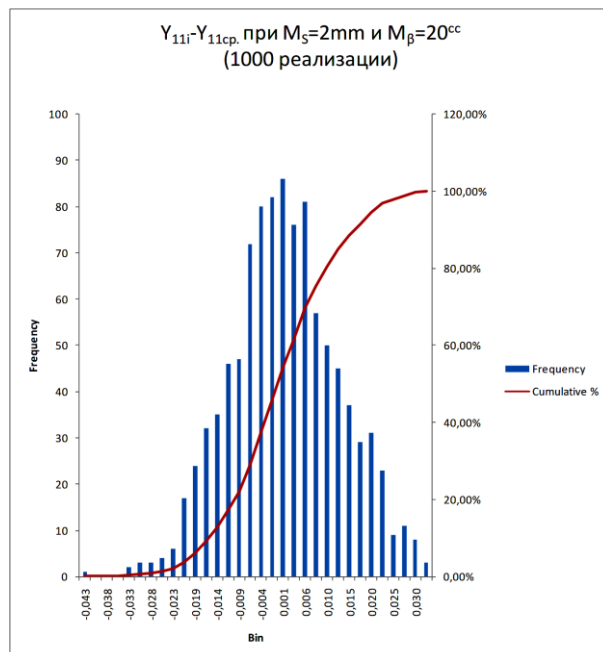
За предварителната оценка на координатите на последната точка от свободния полигонов ход (т.11) чрез метода „Монте Карло“ са проиграни 1000 реализации. Симулацията е направена със софтуерния продукт Microsoft Excel. Решението е извършено също при две различни точности на измерените ъгли – $M_{\beta}=20''$ и $M_{\beta}=10''$. При всяка от генерираните реализации са изчислявани координатите на полигоновите точки, като са използвани прогнозни стойности на измерените ъгли и дължини в границите на указаните по-горе точности. Тези стойности са получени на база генерирани случайни числа и приет нормален закон на разпределение на разликите от истинските стойности на ъглите и дължините. Изчислени са посочните ъгли и координатните разлики ΔX_{ij} и ΔY_{ij} в полигоновия ход, средноаритметичните стойности на координатите на т.11 – $X_{11cp.}$ и $Y_{11cp.}$, както и разликите между тези стойности, и всяко X_{11i} и Y_{11i} , получени при всяка отделна реализация.

За двата варианта на точност на измерените ъгли по метода „Монте Карло“ са определени и статистически характеристики на прогнозираното разпределение на относителните честоти на разликите спрямо средноаритметичната стойност – минимална и максимална стойност,

асиметрия, ексцес, средна квадратна грешка. Данните за тях са показани на фигури V.10, V.11, V.12 и V.13, както и в таблици V.2 и V.3.



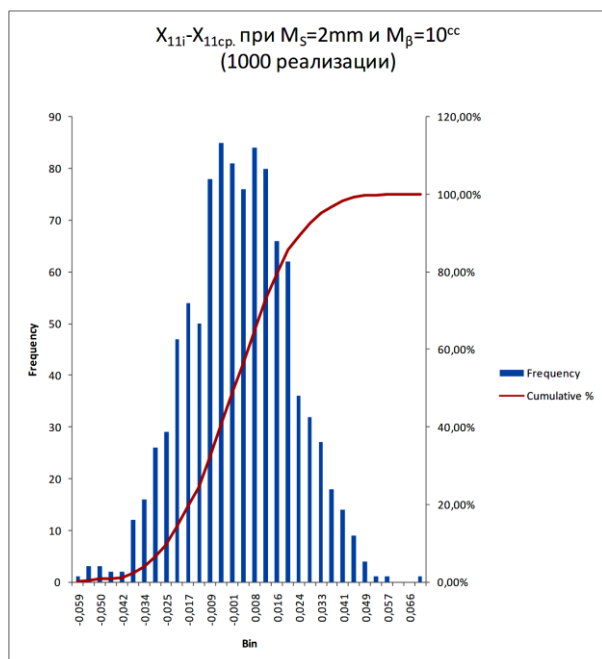
Фиг. V.10



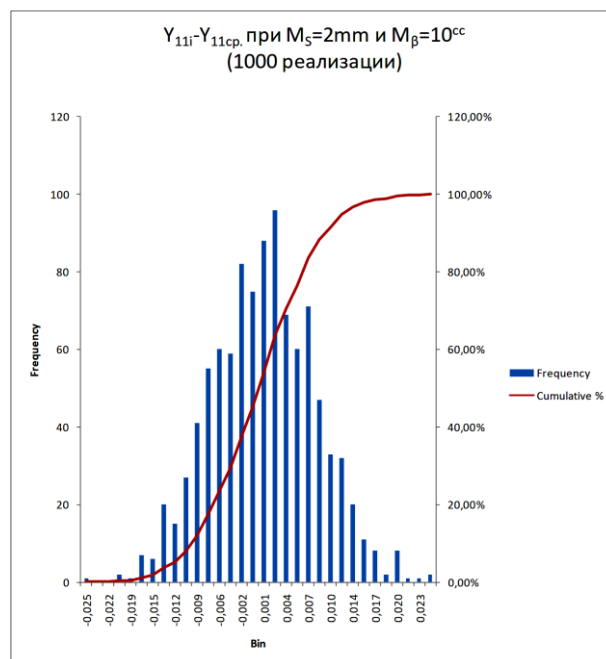
Фиг. V.11

Табл. V.2

Характеристики	Полигонов ход - детерминистичен метод при $M_S=2\text{mm}$; $M_\beta=20^{\text{cc}}$		Полигонов ход - стохастичен метод „Монте Карло“ - с 1000 реализации; при $M_S=2\text{mm}$; $M_\beta=20^{\text{cc}}$	
X_{11} , m	942.452		942.452 (ср.ар.ст-ст при решаване на п-на)	
Y_{11} , m	2683.112		2683.112 (ср.ар.ст-ст при решаване на п-на)	
			Разлики спрямо ср.ар.ст-ст от 1000 реализации	
			X_{11}	Y_{11}
Ср. аритм. стойност на разликите, m			0,000	0.000
Макс. стойност, m			0.118	0.032
Мин. стойност, m			-0.115	-0.043
Асиметрия			0.0681	0.0340
Ексцес			-0.0231	-0.0969
Ср.кв.грешка, m	$M_{X_{11}} =$ 0.061	$M_{Y_{11}} =$ 0.034	$M_{X_{11}} =$ 0.040	$M_{Y_{11}} =$ 0.012



Фиг. V.12



Фиг. V.13

Табл. V.3

Характеристики	Полигонов ход - детерминистичен метод при $M_S=2\text{mm}$; $M_B=10^{\text{cc}}$		Полигонов ход - стохастичен метод „Монте Карло“ - с 1000 реализации; при $M_S=2\text{mm}$; $M_B=10^{\text{cc}}$	
X_{11}, m	942.452		942.452 (ср.ар.ст-ст при решаване на п-на)	
Y_{11}, m	2683.112		2683.112 (ср.ар.ст-ст при решаване на п-на)	
			Разлики спрямо ср.ар.ст-ст от 1000 реализации	
			X_{11}	Y_{11}
Ср.аритм. стойност на разликите, m			0.000	0.000
Макс. стойност, m			0.070	0.025
Мин. стойност, m			-0.059	-0.025
Асиметрия			-0.0132	0.0580
Ексцес			-0.0355	-0.0055
Ср.кв.грешка, m	$M_{X_{11}} = 0.031$	$M_{Y_{11}} = 0.018$	$M_{X_{11}} = 0.019$	$M_{Y_{11}} = 0.008$

Въз основа на показаните тук и в други изследвания резултати може да се направят следните изводи:

1. При детерминистичния вариант, при едни и същи начални данни, очакваното отклонение от координатите на оценяваната точка, е едно и също, независимо колко пъти се извършва оценката.

2. Получените по метода „Монте Карло“ оценки на координатите на последната точка от полигоновия ход за конкретния пример са два до три пъти по-ниски от изчисленията по детерминистичния метод.

3. Съгласно методиката на стохастичното прогнозиране и оценяване, с увеличаване броя на реализациите се подобрява надеждността на оценката. Колкото броят е по-голям, толкова разпределението на изследваните показатели се приближава до възприетото теоретично разпределение.

4. Разбира се, при нивото на съвременната техника, това увеличаване на броя на изчисленияте симулации не е проблем, което дава основание да се препоръча използването на метода „Монте Карло“ при изследване на сложни и многофакторни процеси и явления, каквито например са те в минната практика.

Целта на изследването с метода „Монте Карло“ е получаване на реална предварителна оценка на резултатите от сложни процеси и явления в природата и човешкия живот. За постигането на тази цел се извършват многократни симулации. В много случаи стойността на търсения резултат, който да удовлетвори изискванията за достоверност в конкретен изследван процес, се получава и при по-малък брой опити. В статистиката съществува метод, чрез който може да се прекъсне многократното повторение на изпитванията, в момента, в който се достигне тази стойност. Това е методът на последователния анализ, разработен и предложен от Абрахам Валд.

V.2.2. Последователен анализ - Метод на Валд



Фиг. V.14. [102]

Абрахам Валд (фиг. V.14) е американски математик (1902-1950 г.) с приноси в областта на геометрията, иконометрията, теорията на решенията [102]. Основател е на статистическия последователен анализ.

Анализът се основава на последователна процедура за тестване на хипотези. Всички предишни правила за тестване на две хипотези са базирани на фиксиран брой тестове, т.е. първо се правят N измервания, определя се коефициентът на вероятност и след това се сравнява със зададен праг. От гледна точка на минималната стойност на средния брой тестове (за ускоряване на процеса на вземане на проби), Абрахам Валд предлага и обосновава последователен анализ на измерените стойности, т.е. обработката на данните се извършва след всяко ново измерване [36]. Т.е.

след всяко ново наблюдение се решава дали да се приеме избрана хипотеза, дали да се отхвърли или опитите да продължат. Последователният анализ позволява да се намали броят на необходимите наблюдения два-три пъти в сравнение с обичайните методи.

В изложението по-надолу (по материали от [36]) се показва приложението на метода за анализ на генерална средна стойност α на наблюдавана случайна величина (в маркшайдерските измервания това може да бъде например истинската стойност на измерваната величина).

За целта е необходимо да се направи избор между хипотезите $\alpha \leq \alpha_1$ и $\alpha \geq \alpha_2$. Вероятността да се приеме хипотезата $\alpha \geq \alpha_2$, когато в действителност $\alpha \leq \alpha_1$, се означава с α . Вероятността за противоположна грешка, т.е. да се приеме хипотезата $\alpha \leq \alpha_1$, когато в действителност $\alpha \geq \alpha_2$, се означава с β . Стойностите на α и β са малки величини и се задават предварително.

Основната идея на последователния анализ се изразява в следното [36]. При всяка съвкупност от наблюдения $x_1, x_2, \dots, x_n$ може да се намери вероятността p'_n за това, че тези наблюдения са получени от съвкупност с генерална средна стойност α_1 , и вероятността p''_n за това, че те са получени от съвкупност с генерална средна стойност α_2 . Съгласно принципа за максимално правдоподобие на практика се осъществяват събития с максимална вероятност. Това означава, че при $p'_n > p''_n$ трябва да се счита за по-правдоподобно значението $\alpha = \alpha_1$, (а с това и хипотезата $\alpha \leq \alpha_1$). Ако $p''_n > p'_n$, то предпочитание трябва да се даде на втората хипотеза $\alpha \geq \alpha_2$. Всичко се решава от отношението на правдоподобие:

$$p''_n = p'_n \quad (\text{V.52})$$

Важно е дали това отношение е по-голямо или по-малко от единица. В случай, когато отношението на правдоподобие се различава незначително от единица, изборът на съответна хипотеза е съмнителен и е по-добре да се продължи с изпитванията (измерванията). Колко трябва да се отличава от единица отношението на правдоподобие, така, че да се избере някоя от двете хипотези, се определя от зададените вероятности α и β .

Абрахам Валд показва, че:

хипотезата $\alpha \leq \alpha_1$ може да се приеме, ако

$$\frac{p''_n}{p'_n} \leq \frac{\beta}{1-\alpha}, \quad (\text{V.53})$$

а хипотезата $\alpha \geq \alpha_2$ може да се приеме, ако

$$\frac{p_n''}{p_n'} \geq \frac{1-\beta}{\alpha}, \quad (\text{V.54})$$

Когато

$$\frac{\beta}{1-\alpha} < \frac{p_n''}{p_n'} < \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (\text{V.55})$$

изпитванията (измерванията) трябва да продължат.

При всяко ново наблюдение границите на отношението на правдоподобие не се променят, променя се само отношението. Това облекчава приложението на последователния анализ и позволява той да бъде свързан с прости алгоритми.

Ако наблюдаваната случайна величина има нормално разпределение с предварително известна дисперсия σ^2 , то условието за продължаване на изпитванията може да се преобразува до вида [36]:

$$A_1 + bn < \sum x_i < A_2 + bn, \quad (\text{V.56})$$

където

$$A_1 = 2.3 \frac{\sigma^2}{\alpha_2 - \alpha_1} \lg \frac{\beta}{1-\alpha} \quad (\text{V.57})$$

$$A_2 = 2.3 \frac{\sigma^2}{\alpha_2 - \alpha_1} \lg \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (\text{V.58})$$

$$b = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad (\text{V.59})$$

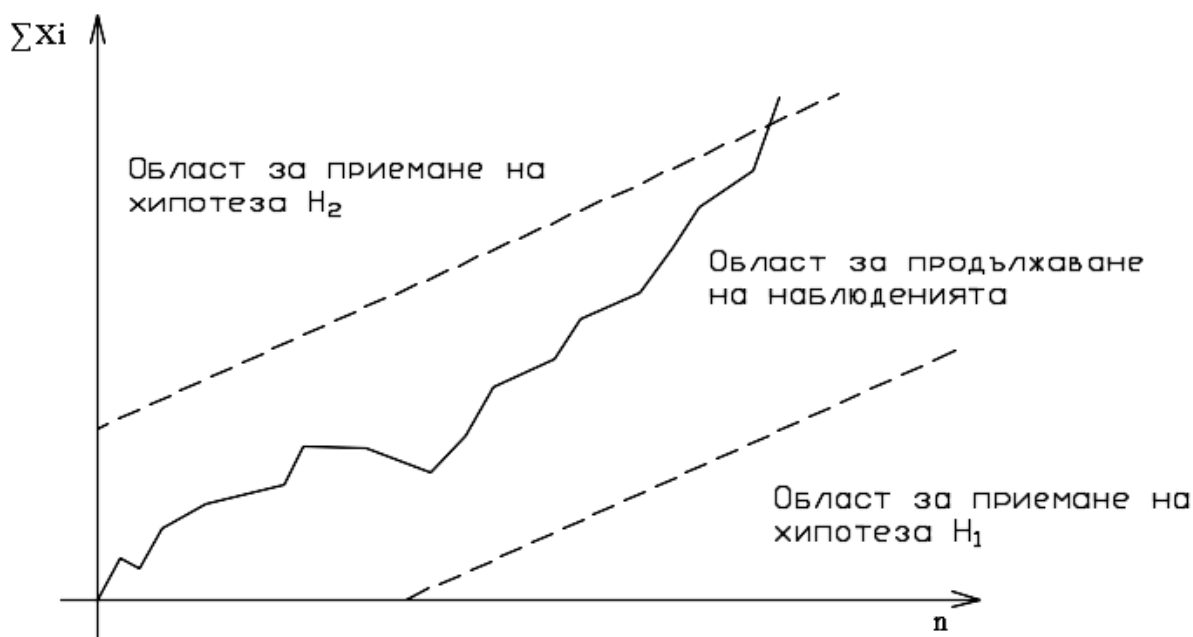
Числата A_1 , A_2 и b се изчисляват директно от изходните данни, вследствие на което по-нататъшната проверка се прави само върху сумата от стойностите на направените наблюдения и техния брой.

За нормално разпределена случайна величина е удобно последователният анализ да се извършва геометрически [36]. За целта, след всяко наблюдение върху координатна равнина се нанася точка, като по абсцисната ос се нанася броят на извършените наблюдения n , а по ординатната – тяхната сума $\sum x_i$. Изпитванията (измерванията) продължават, докато нанесените точки в посочената координатна система, остават в зоната между двете прави (фиг. V.15):

$$y = A_1 + bn \text{ и } y = A_2 + bn \quad (\text{V.60})$$

Ако дори и една точка се окаже под тази зона, е необходимо да се прекрати анализа и да се приеме хипотезата $\alpha \leq \alpha_1$. Когато една точка се

окаже над посочената зона, се приема хипотезата $\alpha \geq \alpha_2$ и се прекратява анализа [36].



Фиг. V.15. [36]

При използване на математическия апарат на последователния анализ на Валд се получава представителна извадка и коректен резултат при по-малко на брой изпитвания.

Преимущества на планиране на експеримента и на последователния анализ имат не само теоретическо, но и практическо значение. Подробно представяне на метода и неговото приложение е показано в [15].

V.3. Анализ на резултати от маркшайдерски измервания чрез времеви редове

V.3.1. Общи сведения от теорията на времевите редове

Експлоатацията на находищата на подземни богатства, по открит или по подземен начин, предопределя възникването на различни геомеханични процеси, които се развиват във времето. Разнообразни фактори (геоложки условия, физико-механични свойства на скалния масив, технологични условия и др.) влияят върху характера и посоката на тези процеси в различните моменти. За оценка и прогнозиране на тяхното изменение може да се използва теорията на динамичните статистически редове (времеви редове).

Времевите редове се състоят от четири компонента [45, 68]:

- тренд (тенденция на развитие) (T) – характеризира насоченото, закономерно и нециклично развитие на изследвания процес, което е резултат от действието на закономерни фактори през изследвания период.
- циклични колебания (C) – регулярно повтарящи се отклонения в развитието на изследвания процес с определена периодичност и амплитуда за периоди, по-големи от една година.
- сезонни колебания (S) – регулярно повтарящи се отклонения с определена периодичност и амплитуда за периоди, по-малки от една година.
- случайни колебания (I) – отклонения, характеризиращи изменението на изследвания процес в резултат на случайни и разнопосочно действащи фактори.

Цикличните и сезонните колебания са предизвикани от закономерно действащи фактори. По тази причина те понякога се наричат цикличен (несезонен и сезонен) тренд.

Всеки динамичен ред е комбинация от случайния компонент и останалите (или някои от тях) компоненти. Най-често времевите редове се представят в мултипликативна форма, като произведение от съставлящите ги компоненти:

$$Y = TCSI \quad (V.61)$$

В други случаи се прилага адитивния модел на динамичните редове, при който отделните компоненти са свързани чрез сумиране:

$$Y = T + C + S + I \quad (V.62)$$

В зависимост от липсата или наличието на развитие в процеса, времевите редове се разделят на две групи:

- Стационарни – когато изследвания процес няма развитие. Елементите на този ред се формират от една постоянна (средна стойност) и една променлива величина (отчитаща влиянието на случайни фактори върху процеса).
- Нестационарни – характеризират процеси, в които има развитие (закономерен компонент, тренд). Елементите им се формират като функция на времето и отклонения, които се приемат за случайни.

V.3.1.1. Автокорелационна и частна автокорелационна функция

Състоянието на изследвания геомеханичен процес в определена точка във времето зависи от неговото състояние в предходни моменти [45]. Това означава, че елементите на динамичния статистически ред, които отразяват изменението на процеса, са зависими помежду си. Автокорелацията

представлява вътрешна взаимозависимост между елементите на реда. За измерването ѝ се формират т.нар. лагови променливи величини. Те се получават чрез „изместване” на динамичния ред с определен брой елементи. Като се имат предвид лаговите променливи величини при различен лаг, за измерване на автокорелацията се използват коефициентите на автокорелация:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}, k = 1, \dots, n - 1, \quad (\text{V.63})$$

където $\bar{Y}$ е средната хронологична величина, а k е лагът, който определя порядъка на автокорелационния коефициент. Коефициентите на автокорелация приемат стойности в интервала от +1 до -1. За конкретен динамичен ред, при различни значения на лага, се получават различни коефициенти на автокорелация, които формират автокорелационна функция. При нестационарните редове тази функция е затихваща, т.е. с увеличаването на лага, автокорелационните коефициенти се стремят към 0. Това свойство на автокорелационната функция се определя от обстоятелството, че състоянието на емпиричните процеси в дадена точка във времето зависи в по-голяма степен от по-близкото минало и в по-малка степен от по-далечното минало.

Освен коефициентите на автокорелация, в динамичния статистически анализ намират приложение и частните коефициенти на автокорелация (rp_{kk}) [45]. Те измерват вътрешната взаимозависимост между елементите в динамичния ред, като се елиминира влиянието на междинните елементи. Частният коефициент на автокорелация от първи порядък съвпада с обикновения коефициент на автокорелация от първи порядък. Коефициентът от втори порядък измерва връзката между Y_t и Y_{t-2} , като се елиминира влиянието на Y_{t-1} . В общия случай частният коефициент на корелация от k -ти порядък се получава по формулата:

$$rp_{kk} = \frac{(r_k - \sum_{j=1}^{k-1} rp_{k-1,j} r_{k-j})}{(1 - \sum_{j=1}^{k-1} rp_{k-1,j} r_j)}, k = 3 \quad (\text{V.64})$$

V.3.1.2. Анализ на тренда

При изучаване на геомеханични процеси, се различават два етапа [42, 45, 68, 84]:

- математическо описание (моделиране, идентификация) на процеса;
- прогнозиране на бъдещи стойности на изследваните величини за различни моменти от времето.

За получаване на резултати за двата етапа на изследване на процеса чрез динамичния статистически анализ е необходимо да се анализират компонентите на времевите редове. За целта данните от реда се разделят на отделни компоненти - тренд, цикличност, сезонност и неравномерен (случаен) компонент.

При анализ на тренда основната цел е получаването на информация за закономерните фактори, които определят изменението на изследвания процес, за силата и начина по който действат и тяхната устойчивост във времето.

Трендовите модели са функции на времето. Те могат да бъдат линейни или нелинейни.

Линейният трендов модел се описва с формулата:

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 t \quad (\text{V.65})$$

Свободният член на трендовия модел b_0 представлява ординатата на точката, в която правата пресича ординатната ос. Коефициентът b_1 измерва средния прираст на изследвания процес (средното абсолютно изменение за единица време). Този коефициент определя наклона на правата спрямо абсцисната ос. При силно проявление на тренда в динамичния ред, наклонът на правата е относително голям и коефициентът b_1 има висока стойност. При липса на тренд правата е успоредна на абсцисната ос и коефициентът b_1 има нулева стойност. При намаляващ тренд коефициентът b_1 има отрицателна стойност.

Когато трендът в изследвания динамичен ред има нелинейна форма, линейният трендов модел не е подходящ за неговото моделиране [42, 45, 68]. Всички нелинейни модели могат да бъдат използвани за моделиране на тренда в динамичните редове след като бъдат представени като функции на времето:

- квадратичен модел:

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 \quad (\text{V.66})$$

- кубичен модел:

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 \quad (\text{V.67})$$

- логаритмичен модел:

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 \ln t \quad (\text{V.68})$$

- модел на нарастването:

$$\hat{Y}_t = \exp(b_0 + b_1 t) \quad (\text{V.69})$$

- експоненциален модел:

$$\hat{Y}_t = b_0 e^{b_1 t} \quad (\text{V.70})$$

- S-крива:

$$\hat{Y}_t = \exp\left(b_0 + \frac{b_1}{t}\right) = e^{(b_0 + b_1/t)} \quad (V.71)$$

- степенен модел:

$$\hat{Y}_t = b_0 b_1^t \quad (V.72)$$

- инверсен модел:

$$\hat{Y}_t = b_0 + \frac{b_1}{t} \quad (V.73)$$

- логистичен модел:

$$\hat{Y}_t = \frac{1}{\frac{1}{u} + b_0 b_1^t}, \quad (V.74)$$

където u определя горната асимптота

Различните софтуерни продукти предлагат възможност за избор на изглаждащата линия, като за всяка избрана се извеждат и различни оценки [65]. Въз основа на тях изследователят може да избере всяка от апроксимиращите линии за описване на зависимостта. Ако изглаждащата линия е полином, за определяне на степента му се използват частните коефициенти на автокорелация. Най-високата степен на полинома, описващ тренда, е равна на най-големия лаг, при който има значими частни коефициенти на автокорелация.

Особености при статистическата обработка на времевите редове са *изискванията*:

- *за пълнота на измерванията* т.е. да няма пропуснати измервания в последователността от данни (в някои от софтуерните продукти са предвидени различни функции, с помощта на които може да се извърши интерполация на динамичните редове по предварително зададени условия [45]);
- *за равни интервали между отделните измервания* (много голяма част от разработките в динамичния анализ използват само равни интервали);
- *за броя на данните, подлежащи на анализ* (например за да се извърши сезонната декомпозиция, изследваният динамичен ред трябва да бъде с достатъчна дължина. В статистическата теория това условие е конкретизирано с изискването за най-малко 4 дължини на сезонния цикъл – при месечни данни – 48 бр., при тримесечни данни – 16 бр.);

При изследване на геомеханични процеси продължителността на измерванията, точността им и интервалите между тях, се определят за всеки конкретен случай [74]. По тази причина не винаги може да се изпълнят изискванията, необходими за статистическата обработка на временни редове. Това се отнася най-вече за равноинтервалното отчитане и за минималния брой на измерванията. Ето защо не за всеки времеви ред е възможно определянето на

всички компоненти. Има и статистически продукти при които тези изисквания (ограничения) не са съвсем строги (напр. Zaitun Time Series).

Създадени са софтуерни пакети, предлагащи статистическа обработка на времеви редове (SPSS, Statgraphics и др.). Също така, тенденцията на развитие на изследван динамичен ред и прогнозирането на бъдещи стойности с апроксимиращата крива може да бъде извършено и с електронните таблици Microsoft Excel.

V.3.2. Приложение на теорията на времевите редове при определяне изменението на пространственото положение на наблюдавани точки от бортове на открит рудник

Условията и факторите, влияещи върху устойчивостта на откосите на откритите рудници, са природни и технологични [74].

Природните фактори се разделят на три подгрупи: инженерно-геоложки (физикомеханични свойства на скалите, напуканост и тектонски нарушения на масива, процеси на изветряване и набъбване), хидрогеоложки (подземни води; хидродинамичен натиск, увеличаване на обемното тегло на скалите вследствие овлажняване и т.н.) и климатични (количество валежи, температура на въздуха, релеф, вятър, залесеност и др.).

Технологичните фактори включват: система на разработване, направление и ред на минните работи, интензивност на разработване на рудничното поле, размери и форма на рудника в план, профил на бортовете, начин на водене на пробивно-взривните работи, височина на стъпалата, дълбочина на рудника и т.н.

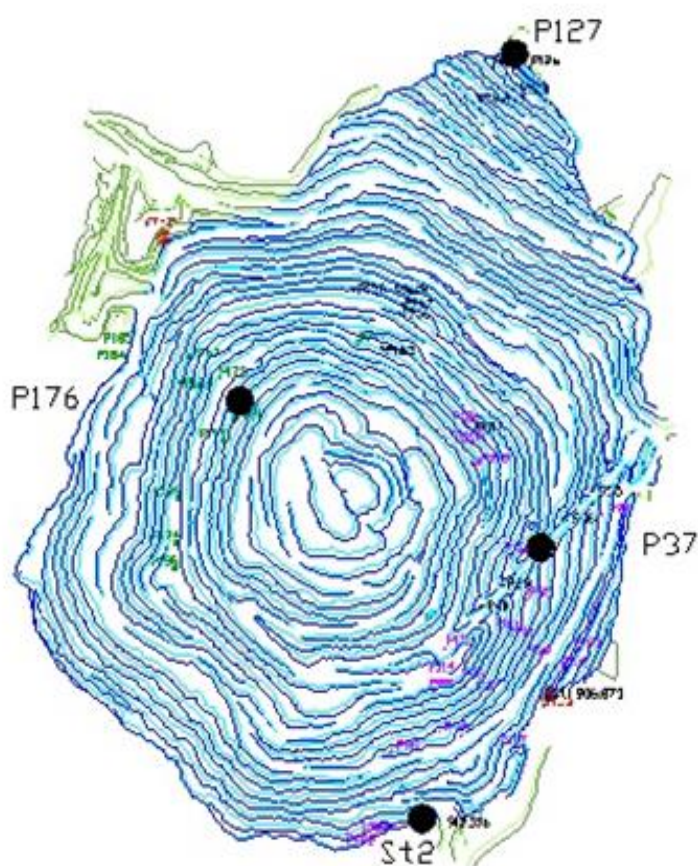
За безопасната експлоатация се изисква да се извършват непрекъснати наблюдения относно устойчивостта на бортовете. Целта на тези наблюдения е да се следи поведението на земните маси и чрез анализ да се прогнозира мястото, размерите и времето на появяване на премествания и деформации, за да може да се вземат навременни мерки за предотвратяването им.

Съгласно техническите инструкции, се извършват измервания по конкретен проект, съдържащ сведения за необходимата точност и метод на измерване, интервалите между отделните измервания, инструментите, вида и начина на стабилизиране на наблюдаваните точки и т.н. Определя се също начина на обработване и представяне на резултатите, както и тяхната интерпретация [34].

Независимо от вида на измерванията, получените от тях резултати се отнасят към определен момент от време. Стойностите на пространственото

положение на наблюдаваните точки, получени в различни моменти, формират т.нар. динамични статистически редове. Статистическата обработка на резултатите от тях се нарича динамичен анализ или анализ на времеви редове.

Разглежданият пример е свързан с условията на рудник „Асарел“. За осигуряване на безопасна и ефективна работа, в рудника е създадена мониторингова система, състояща се от роботизирани геодезически станции и геотехнически радары [74].



Фиг. V.16. [74]

Наблюдават се множество репери, разположени по бортовете по подходящо избрана схема. Анализират се резултатите от маркшайдерски наблюдения на три от реперите – P176 (на западния борт), P127 (на северния) и P37 (на източния борт), показани на фиг. V.16.

Наблюденията се извършват регулярно денонощно през един час. От измерванията се определят високоточно координатите X, Y и H на всички репери.

Избраните репери са разположени в различни части на рудника и на различни надморски височини.

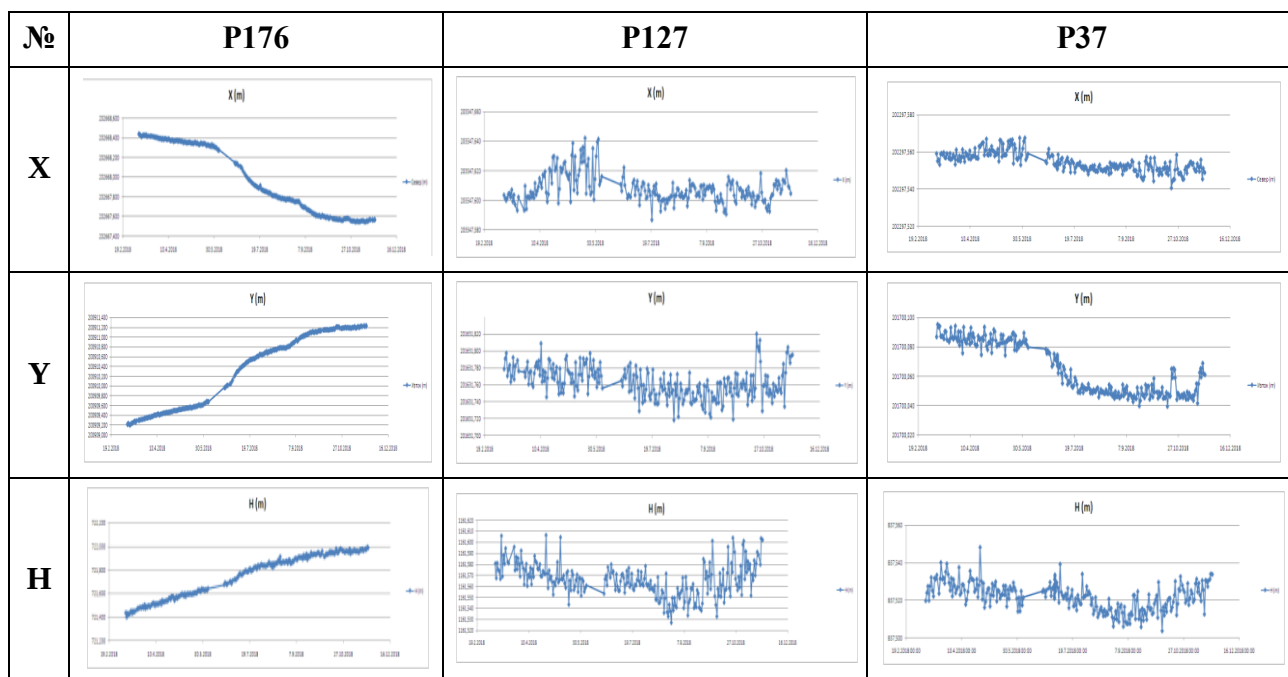
Изследванията обхващат периода март-ноември 2018 г. Изчислени са средните денонощни стойности на координатите им.

В таблица V.4 са показани графики на измененията в положението на изследваните репери за посочения период от време по трите направления – X, Y и H.

За анализа на резултатите от измерванията е използван софтуерния пакет „Zaitun time series“, поради неговата непретенциозност по отношение на равноинтервалността на обработваните данни [84]. Въвеждането на стойностите става ръчно или чрез предварително попълнени с друг софтуер

таблицы. Определят се променливите, които ще бъдат изследвани и в зависимост от наличните данни и поставените цели се извършва избран анализ.

Табл. V.4

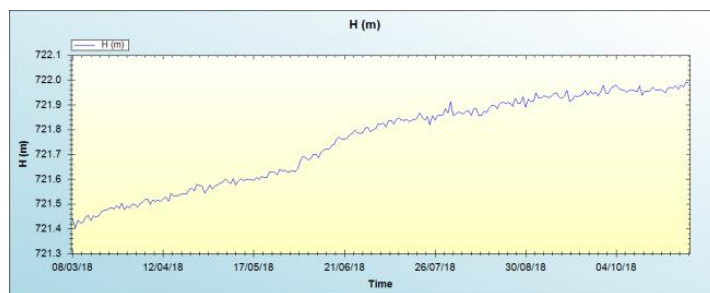


Изследва се автокорелационната (ACF) и частната автокорелационна функция (PACF). Анализът им показва взаимозависимостта между елементите в реда. Ако коефициентите на автокорелация пресичат границата на доверителния интервал до сравнително големи значения на лага, това означава че те са статистически значими и редът е с ясно изразен тренд. Ако границата на доверителния интервал не пресича коефициентите на автокорелация, това показва, че в данните липсва тренд.

Анализира се тренда в експерименталните данни. Всеки вид от тенденцията на развитие се оценява с коефициента на корелация (R), коефициента на детерминация (R^2), стандартната грешка (MSE). Най-добрият тренд е при най-малка стандартна грешка и най-голяма стойност на R^2 [65].

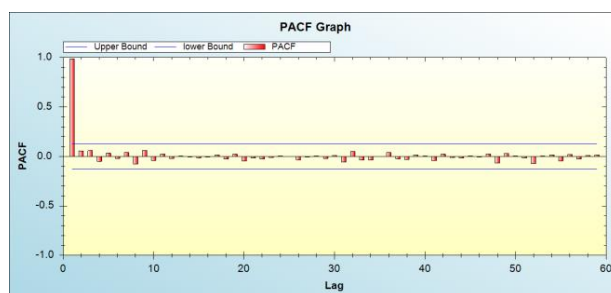
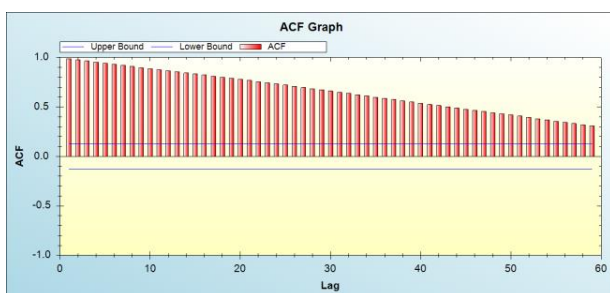
Следва сезонна декомпозиция на изследвания времеви ред. Ако е необходимо, следващата стъпка е прогнозиране на бъдещи стойности в избрани моменти от развитието на изучавания процес.

Представени са резултатите от изследването на маркшайдерските наблюдения на изменението на надморската височина (H) за репер P176 (фиг. V.17).



Фиг. V.17. [74]

Определени са автокорелационната и частната автокорелационна функция на изменението на височината на репера в продължение на посочения по-горе период (фиг. V.18).

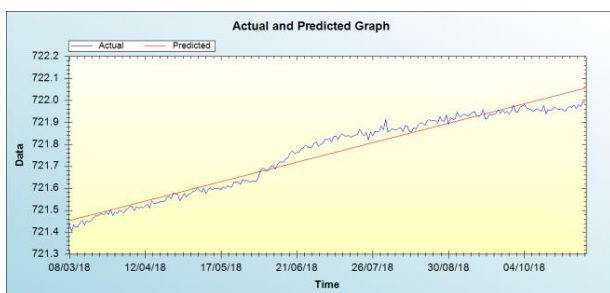


Фиг. V.18. [74]

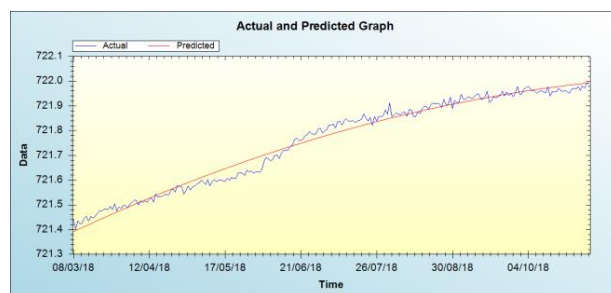
Установява се, че ACF е затихваща, т.е. с увеличаването на лага, автокорелационните коефициенти се стремят към 0. Те пресичат границата на доверителния интервал по цялата дължина, което доказва, че наблюдаваният ред от стойности е нестационарен и в изменението му има тенденция (тренд).

Проверени и оценени са четири трендови модела – линеен, квадратичен, кубичен и експоненциален (фиг. V.19, фиг. V.20 и табл. V.5):

Линеен тренд

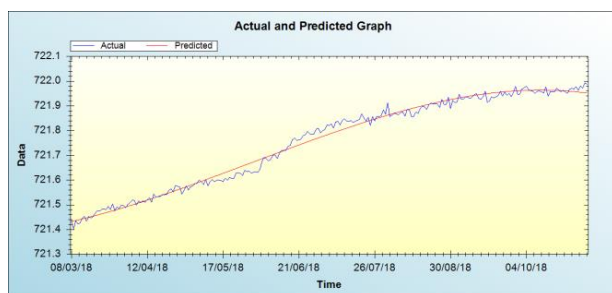


Квадратичен тренд

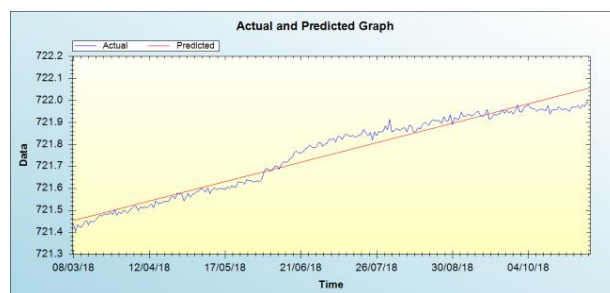


Фиг. V.19. [74]

Кубичен тренд



Експоненциален тренд



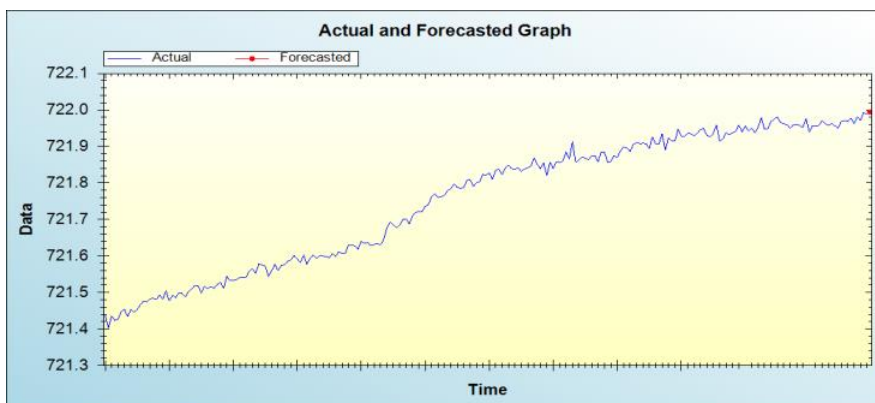
Фиг. V.20. [74]

Табл. V.5

	Линеен тренд	Квадратичен тренд	Кубичен тренд	Експоненциален тренд
Variable	H	H	H	H
Observation	239	239	239	239
Trend Equation	$Y_t = 721.45 + 0.0025277 * t$	$Y_t = 721.39 + 0.0041141 * t - 6.6098E-06 * t^2$	$Y_t = 721.43 + 0.0019681 * t + 1.5698E-05 * t^2 - 6.1965E-08 * t^3$	$Y_t = 721.45 * (1^t)$
R	0.977428	0.990071	0.994117	0.977418
R-Squared	0.955366	0.980241	0.988268	0.955346
R-Square Adjusted	0.923407	0.949039	0.960731	-126.313024
SumSq. Error - SSE	0.339587	0.150329	0.089262	0.000000
MeanSq. Error MSE	0.001433	0.000637	0.000380	0.000000

За по-нататъшните изследвания е избран квадратичният модел, тъй като най-добре апроксимира стойностите в крайната част на периода. Въз основа на тези резултати може да се извърши прогнозиране на бъдещи стойности в близки моменти от време.

На фиг. V.21 е показана прогнозна стойност за следващия интервал от време, определена въз основа на избрания модел.



Фиг. V.21. [74]

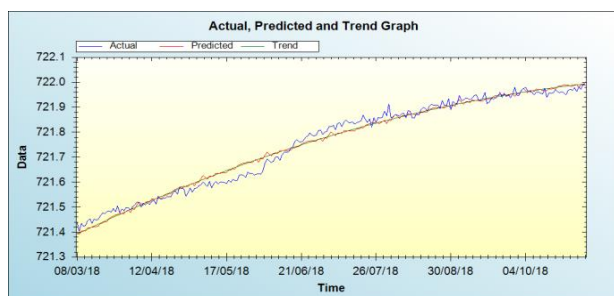
Прогнозна дата	Прогнозна стойност
02/11/18	721.9942

Целта на следващите изследвания е определяне на съставните компоненти на тенденцията на развитие: тренд; циклични; сезонни и случайни колебания. С помощта на софтуерния пакет те се дефинират чрез декомпозиция на реда и са показани в таблица V.6.

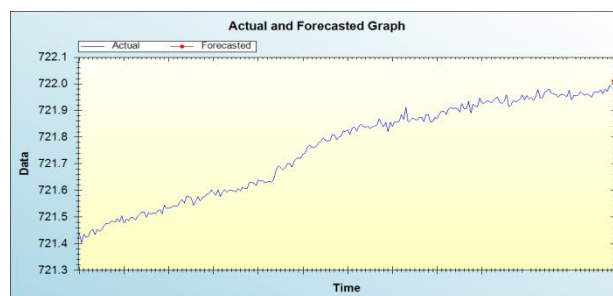
Табл. V.6

Дата	Actual	Trend	Detrended	Seasonal	Deseasonalized	Predicted	Residual
08/03/18	721.4388	721.3920	0.0468	0.0052	721.4336	721.3972	0.0416
09/03/18	721.4028	721.3961	0.0067	-0.0052	721.4080	721.3909	0.0119
10/03/18	721.4354	721.4001	0.0353	0.0030	721.4323	721.4032	0.0322
11/03/18	721.4232	721.4042	0.0190	0.0014	721.4218	721.4056	0.0176
.....							

На следващите фигури (фиг. V.22, V.23 и V.24) са показани графики на времевия ред след декомпозирането му:



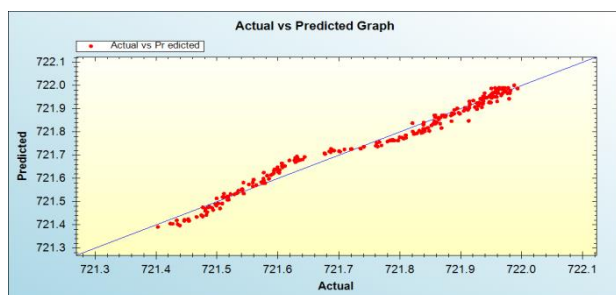
Реализирани, изгладени стойности и тренд



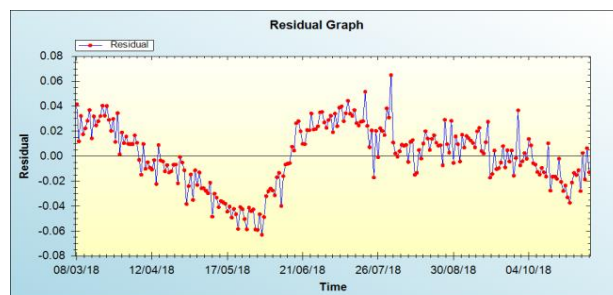
Реализирани и прогнозна стойности

Фиг. V.22. [74]

На фиг. V.22 е показана прогнозна стойност за следващия интервал от време, определена чрез декомпозирания динамичен ред. За 02/11/18 тя е 722.0106 m.

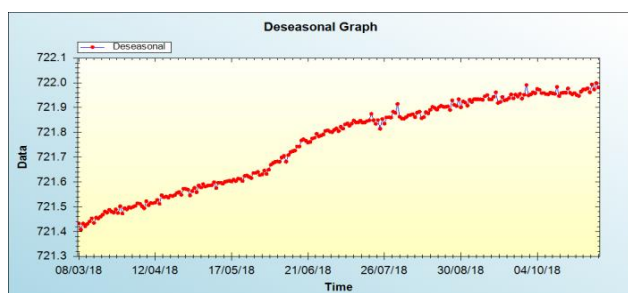


Реализирани и прогнозни стойности след декомпозицията

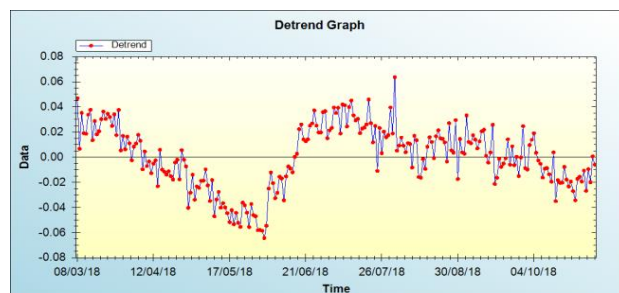


Случайни колебания след декомпозицията

Фиг. V.23. [74]



Времевият ред след сезонните корекции



Времевият ред, освободен от тренда

Фиг. V.24. [74]

От направените изследвания се вижда, че преместванията във вертикалната равнина на изследвания репер имат закономерен характер и тенденцията на развитието на процеса се описва добре с квадратичен модел.

Прогнозираните стойности на вертикалните премествания, и преди, и след декомпозицията, се явяват като естествено продължение на реда от реализирани стойности.

Случайните колебания, след отстраняване на тренда, варират в границите на няколко сантиметра.

Анализирайки графиките от таблица V.4 се правят следните заключения:

✓ репер 176, разположен на западния борт, в план се премества чувствително в югоизточна посока, а във вертикално отношение се повдига постоянно до високи стойности. Това налага проверка на зоната около него и установяване на причината за значителните стойности на преместванията по трите направления;

✓ репер 127, стабилизирани на северния борт, търпи незначителни промени, предизвикани най-вероятно от сезонни колебания;

✓ репер 37, намиращ се на източния борт, показва незначителни премествания в западна посока. Във височинно отношение има известни колебания, свързани вероятно със сезонните изменения.

В различни зони и при различни скални разновидности на бортовете на рудника се установяват различаващи се колебания, което потвърждава необходимостта от определяне характера на деформационните процеси и правилен избор на модела, по който се прогнозира стойности на преместванията на наблюдаваните точки.

V.3.3. Изследвания върху коефициента на рефракция при маркшайдерски наблюдения

V.3.3.1. Общи сведения

При следене на устойчивостта на бортове на открит рудник, твърде рядко е възможно височините на наблюдаваните точки да се определят чрез геометрична нивелация [73]. Стръмните откоси и големите разстояния предопределят приложението на тригонометрична нивелация (методът и формулите за изчисление са познати от курса по геодезия).

Височините на наблюдаваните точки се определят чрез измерени наклонени разстояния и зенитни ъгли, или чрез изчислени (от координатите на точките, ако са известни предварително) хоризонтални разстояния и измерени зенитни ъгли [39].

Когато новоопределяемите точки са на големи отстояния от изходната, светлинният лъч пресича въздушни слоеве с различна плътност [61]. При преминаването си през тях, той се пречупва и се отклонява към средата с по-голяма оптична плътност. Явлението се нарича вертикална рефракция [81].

С оглед получаването на реални и достоверни резултати, при разнообразни природни и сезонни условия, е необходимо да се въведат корекции за кривината на Земята и за вертикалната рефракция. И двете поправки влияят върху определените височини на новите точки.

От литературата са известни формулите, по които се изчисляват поправките на превишението за влиянието на рефракцията и за влиянието на кривината на Земята.

V.3.3.2. Определяне на коефициента на рефракция при маркшайдерски наблюдения

Познати са няколко начина за определяне на стойността на коефициента на рефракция:

1. За да се елиминира влиянието на рефракцията се предлага извършването на двустранно и едновременно измерване на зенитните ъгли

между двете точки [81]. От двустранните визури може да се определи стойността на коефициента на рефракция [39] по формулата:

$$k = 1 - \frac{R}{S_{AB}^2} [S_{AB}(ctgZ_{AB} + ctgZ_{BA}) + I_A - T_A + I_B - T_B] \quad (V.75)$$

2. Втора възможност за определяне коефициента на рефракция за конкретно място е съпоставянето на превишения между две точки, определени чрез тригонометрична и чрез прецизна геометрична нивелация.

3. Трета възможност е експерименталното му определяне със специални и многократни наблюдения. По този начин проф. М. Венедиков определя средна стойност за България $k = 0.106$ [17], която е приета и в нормативната уредба [35].

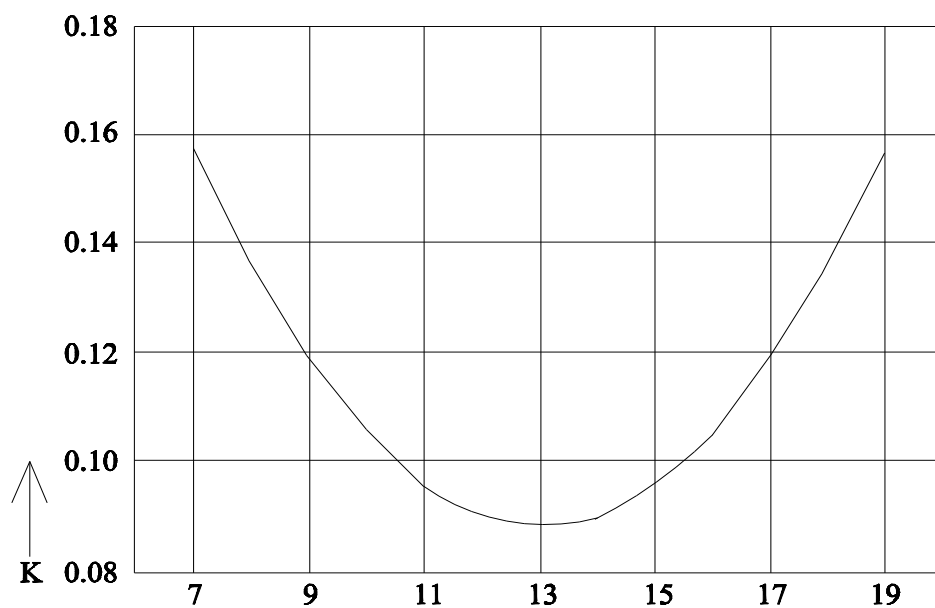
Влиянието на вертикалната рефракция зависи от атмосферното налягане, от температурата и от влажността на въздуха, от характера на постилащата повърхност под визурите (гора, вода, разнообразен релеф), от височината им над нея [1]. Общеизвестно е също така, че стойността ѝ за едно и също място варира през различните сезони, както и в различните части на денонощието. Стабилизира се в определени часове – два часа след изгрева и два часа преди залеза на слънцето.

В своя труд [17] проф. М. Венедиков представя обобщени данни за многогодишните си изследвания, съвместно с колектив от учени, относно определянето на стойности за коефициента на рефракция по експериментален начин. Резултатите са получени след измервания и изчисления на няколко хиляди тригонометрично определени превишения в 55 района, покриващи изцяло територията на България. Използвани са инструменти Wild T3 (с директна точност на отчитане на оптичeskия микрометър 0,1"). Зенитните ъгли са измервани по три пъти в двете положения на тръбата през обедните часове от 10 до 16 часа.

Въз основа на всички наблюдения за определяне на дневния ход на коефициента на рефракция по МНМК е получено уравнение, от което може да се изчисли средната стойност на коефициента в България за различните часове през деня:

$$k = 0.412 - 0.0497t + 0.0019t^2, \quad (V.76)$$

където t е часът през деня за интервала от 7 до 19 часа. Функцията е показана графично на фиг. V.25.



Фиг. V.25. [17]

Резултатите от измерванията са групирани за различните райони на България в зони с различна надморска височина и са показани в таблица V.7.

Тъй като отделните наблюдения са провеждани в различни часове на деня, стойностите на коефициента в таблица V.7 са приведени към 10 часа сутринта чрез средната крива на фиг. V.25.

По-късно е направено ново групиране на данните по райони и надморска височина – таблица V.8.

Стойности на K за различни райони към 10 часа сутринта

Табл. V.7

Район-Зона	0-250 [m]	250-500 [m]	500-750 [m]	750-1000 [m]	1000-1250 [m]	1250-1500 [m]	1500-2000 [m]	над 2000 [m]
Сев. Б-я	0.079	0.084	0.121	0.112	-	-	-	-
ЮИ Б-я	0.061	0.062	0.109	-	-	-	-	-
Ю и ЮЗ Б-я	0.133	0.124	0.128	0.120	0.111	0.114	0.086	0.060
Стара планина	-	-	-	-	0.108	0.107	0.116	0.062

Стойности на К за обобщени райони към средния час на измерване (10-16 часа)

Табл. V.8

Район	Зона	К
Северна и Югоизточна България	до 500 m	0.076
	500-1000 m	0.117
Южна и Югозападна България и Стара планина	до 1000 m	0.125
	1000-1500 m	0.111
	1500-2000 m	0.091
	над 2000 m	0.060
За цяла България	-	0.106

При използване на средните коефициенти от таблица V.8 за конкретен район и зона полученият за определен час коефициент от формула (V.76) трябва да се коригира с разликата между средния общ коефициент за България и съответния среден коефициент за избрания район и зона [17]. Така ще се сведе до минимум грешката в тригонометричната нивелация вследствие влиянието на рефракцията.

V.3.3.3. Използване на променлив коефициент на рефракция при маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на бортовете открит рудник

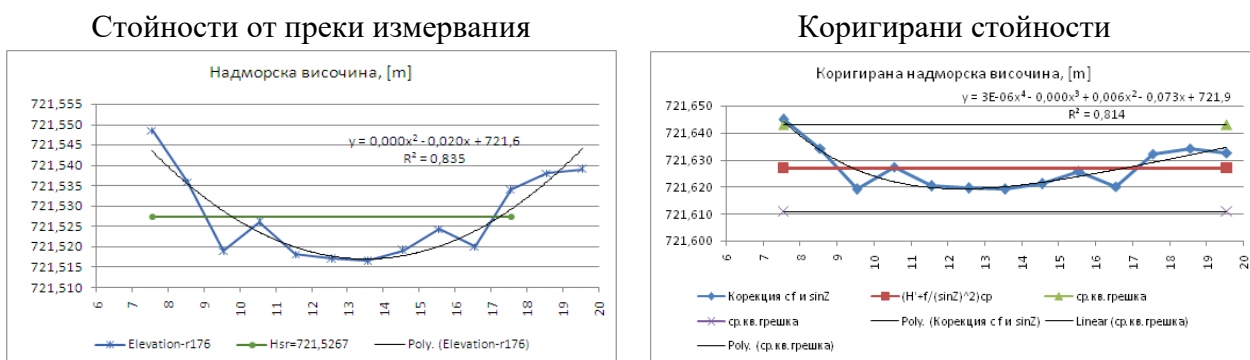
Изследвана е възможността за използване на променлив коефициент на рефракция при маркшайдерските измервания. Използвани са резултати от проведени наблюдения в рудник „Асарел“ [73] извършени с тотална станция Trimble S9. Наблюденията са извършвани денонощно, през интервал от един час (поправките за температура и атмосферно налягане се въвеждат автоматично).

За оценка на възможността за въвеждане на променлив коефициент на рефракция за различни часове на наблюдение, са избрани данните за три репера от три участъка на рудника – западен (P176, на разстояние 1160 m от наблюдателната точка), северен (P127, на разстояние 1950 m) и източен борт (P37, на разстояние 753 m). Анализирани са резултатите от измерванията за диапазона от 7 до 19 часа.

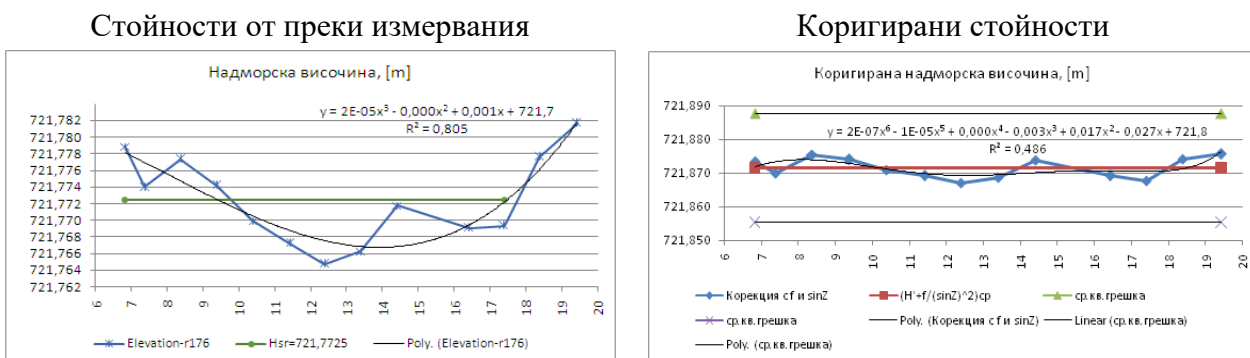
На следващите фигури са показани стойностите на надморските височини на наблюдаваните репери – P176, P127 и P37 за различни дати от пролетта, лятото и есента на 2018 г.

За всеки от реперите са представени графики от преки измервания и графики, получени след корекция с променлива стойност на коефициента на рефракция.

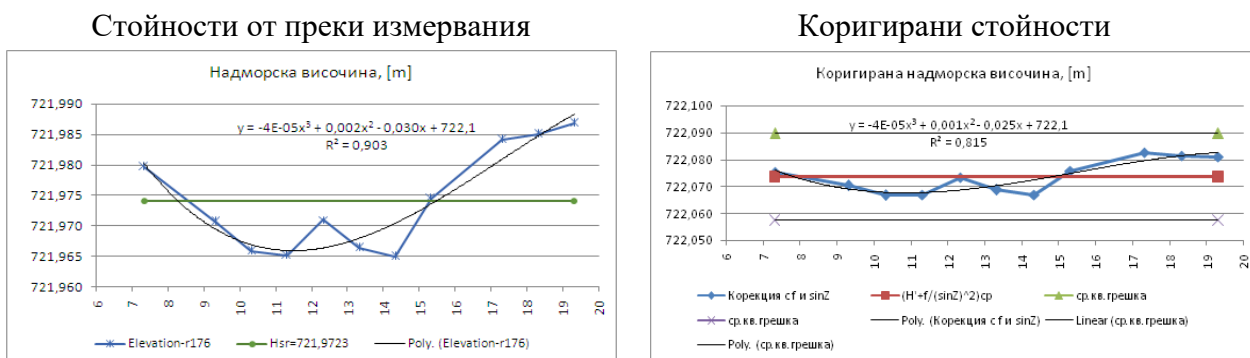
Показана е числено и графично избраната чрез коефициента на детерминация R^2 изглаждаща функция за дадения период, за всяка от графиките.



Фиг. V.26. Репер 176 – 11.04.2018 г. [73]



Фиг. V.27. Репер 176 – 11.07.2018 г. [73]

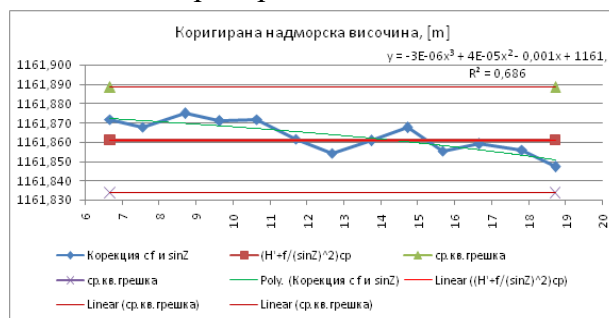


Фиг. V.28. Репер 176 – 11.11.2018 г. [73]

Стойности от преки измервания



Коригирани стойности

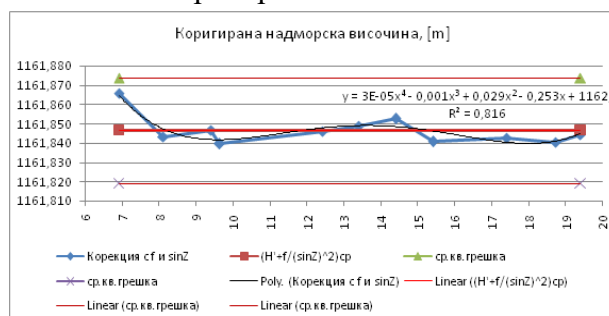


Фиг. V.29. Репер 127 – 12.03.2018 г. [73]

Стойности от преки измервания

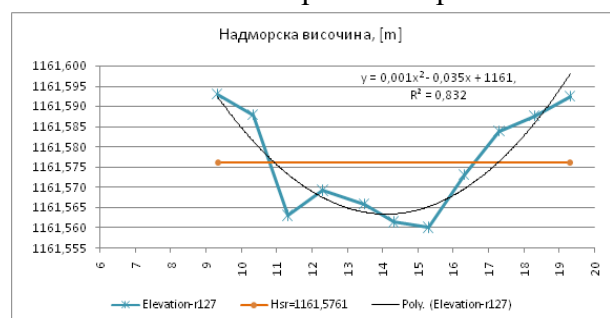


Коригирани стойности

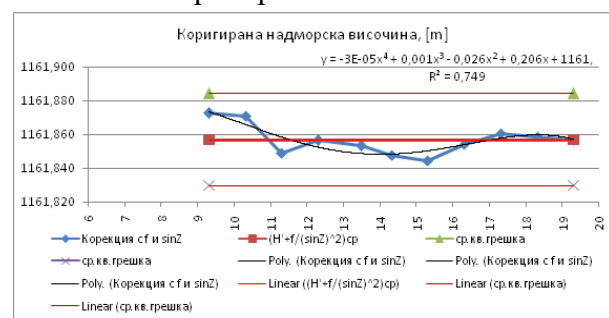


Фиг. V.30. Репер 127 – 12.07.2018 г. [73]

Стойности от преки измервания



Коригирани стойности

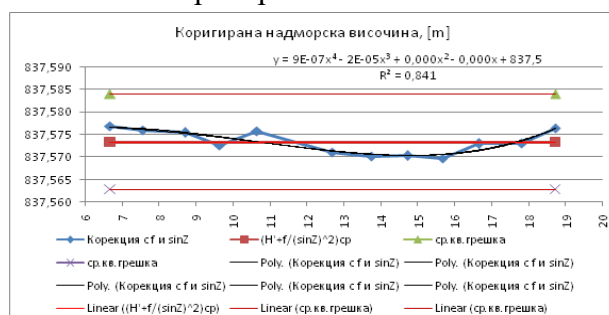


Фиг. V.31. Репер 127 – 12.11.2018 г. [73]

Стойности от преки измервания

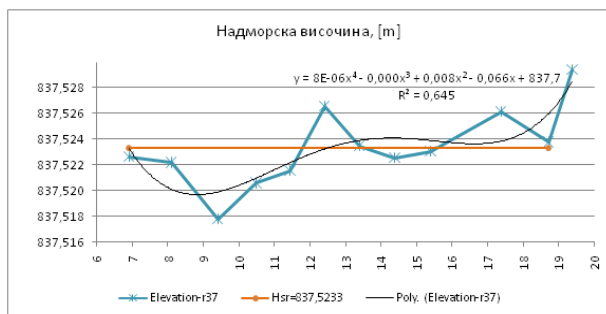


Коригирани стойности

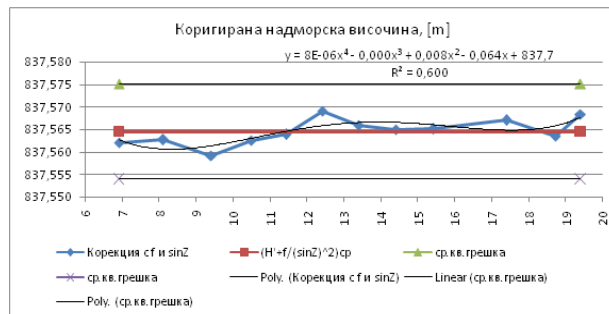


Фиг. V.32. Репер 37 – 12.03.2018 г. [73]

Стойности от преки измервания

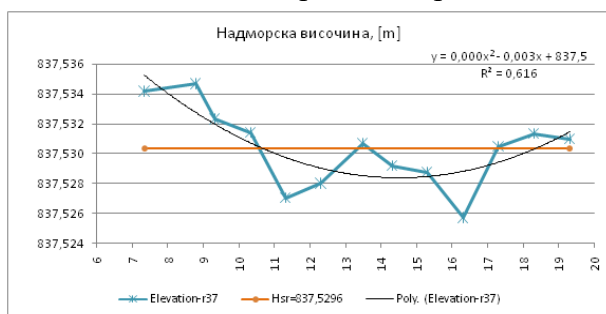


Коригирани стойности

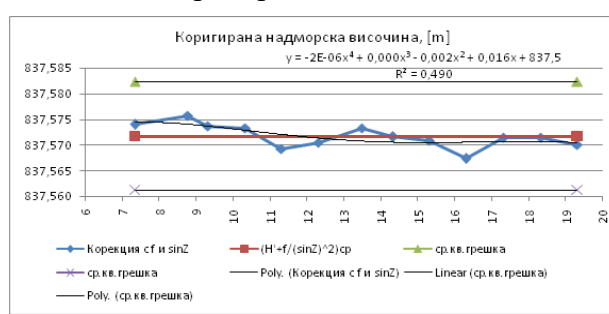


Фиг. V.33. Репер 37 – 12.07.2018 г. [73]

Стойности от преки измервания



Коригирани стойности



Фиг. V.34. Репер 37 – 12.11.2018 г. [73]

Коригираните стойности са получени чрез формула (V.77) [39].

$$f = \frac{1-k}{2R\sin^2 Z} S^2, \quad (V.77)$$

където: Z е измерен зенитен ъгъл.

k е коефициент на рефракция.

Стойността на коефициента на рефракция е различна за различните часове от деня. Тя се изчислява по таблица V.8, формула (V.76) и методиката на проф. М. Венедиков, като за всеки час се въвежда различна корекция.

В таблица V.9 са представени изчислените средни квадратни грешки на превишенията $M_{\Delta H}$, а на графиките са изчертани зоните на грешките, получени при коефициент $t = 3$ и избрана доверителната вероятност $p = 0.9973$.

Табл. V.9

Средна квадратна грешка на тригонометрично превишение станция-репер	P176	$M_{\Delta H} = 0.0054$	[m]
	P127	$M_{\Delta H} = 0.0091$	[m]
	P37	$M_{\Delta H} = 0.0035$	[m]

Получените резултати показват:

✓ При въвеждане на корекции по формула (V.77) и променлива стойност на коефициента на рефракция за различните части на деня, средната стойност се доближава до изглаждащата функция, особено в интервала от 9 до 16 часа.

✓ На графиките с коригираните стойности, зоната на доверителна вероятност около средната стойност обхваща всички резултати от измерванията, което е доказателство, че при въведените корекции разликите в стойностите на височините на изследваните репери за различните часове на деня варират в границите на грешката.

✓ Сравнявайки графиките се вижда, че средната стойност на определените височини на реперите, преди и след корекцията, за различните часове, са различни, което определя необходимостта от правилно коригиране на получените резултати.

VI. Изучаване на деформационното състояние на скалния масив чрез маркшайдерски наблюдения

VI.1. Общи положения

Измененията в напрегнато-деформационното състояние на масива се определят по известни методи [72]. Сред тях намират място и маркшайдерските. Чрез високоточно определяне на пространственото положение на наблюдавани точки от масива, в многократни измервания, се осигуряват надеждни данни относно деформационното му състояние и неговото изменение в пространството и времето.

Обикновено скалният масив се идеализира като непрекъсната или като дискретна среда [19]. В случай, че се приеме като непрекъсната среда, той се разглежда като изотропен, хомогенен, без пукнатини и геоложки нарушения, без празни пространства. При движението в такава среда не се формират нови контактни повърхнини и не се разрушават съществуващите.

Когато масивът се разглежда като дискретна среда, то тогава той е анизотропен, нехомогенен с напукана и пластова структура.

Масивът може да се разглежда и като непрекъсната среда, нееднородна във вертикално направление и изотропна в хоризонтално направление.

За решаване на задачи свързани със състоянието на масива се използва формулен апарат от различни дялове на механиката – теория на еластичността, теория на пластичността, на реологията и т.н [67].

В природата скалният масив е сложна механична система, съставена от скали, различаващи се по физико-механични свойства, по минералогичен и литоложки състав [38].

Изменението на напрегнато-деформационното състояние на масива зависи от дейността на човека (прокарване на минни изработки, пробивно-взривни работи и др.) и редица природни фактори. Възникват различни по величина и направление напрежения, еластични и нееластични деформации, обрушаване и преместване на разрушени скали.

Методите за изследване в механиката на скалите се групират в три групи – аналитични методи, методи на физическото моделиране и методи за наблюдения и измервания в естествени условия.

Всички тези методи са разгледани подробно в специализираната литература.

Широко приложение при геомеханичните изследвания намира теорията на еластичността. Тя се основава на теорията на непрекъснатите среди при

въведени опростяващи предпоставки. Разглеждат се идеализирани свойства на теоретичен модел за твърдо деформируемо тяло. Приемат се следните допускания [20]:

- Твърдите деформируеми тела са идеално еластични.
- Зависимостта между напреженията и деформациите е линейна или нелинейна.
- Твърдите деформируеми тела са еднородни и изотропни.
- Идеално еластичните тела са достатъчно корави.
- Твърдите еластични тела имат непрекъснатата структура.
- Твърдите деформируеми тела се намират в естествено напрегнато състояние.
- Принципът на Сен-Венан е в сила.
- Законите на статиката и динамиката за идеално твърдото тяло са в сила за всеки елементарен обем на изследваното деформируемо тяло.

Според геометричната теория на деформациите, едно тяло се премества в пространството като идеално твърдо, без да се деформира тогава, когато няма изменение на взаимните разстояния между точките му. Когато тези разстояния се изменят, то тогава преместването е съпроводено с промяна на формата (деформация) [20].

Връзката между напрежения и деформации е линейна и се представя от закона на Хук в линейната теория на еластичността (деформацията на еластичното тяло е пропорционална на действащото върху него усилие).

В теорията на еластичността, обобщеният закон на Хук за идеално еластично, еднородно и изотропно тяло, дава връзката между деформациите и напреженията [49] и се изразява по следния начин:

$$\varepsilon_X = \frac{1}{E} [\sigma_X - \nu(\sigma_Y + \sigma_Z)]; \gamma_{XY} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{XY} \quad (\text{VI.1})$$

$$\varepsilon_Y = \frac{1}{E} [\sigma_Y - \nu(\sigma_Z + \sigma_X)]; \gamma_{YZ} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{YZ} \quad (\text{VI.2})$$

$$\varepsilon_Z = \frac{1}{E} [\sigma_Z - \nu(\sigma_X + \sigma_Y)]; \gamma_{ZX} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{ZX}, \quad (\text{VI.3})$$

където:

E – модул на линейните деформации (модул на Юнг);

ν – коефициент на Поасон.

Чрез така изчислените деформации се определят напреженията в твърдото деформируемо тяло и минния масив.

В Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи [34], се изисква спазване на следната последователност при изучаване на деформации:

1. Организиране и извършване на измерванията;
2. Обработка на данните от измерванията;
3. Анализ на резултатите;
4. Интерпретация на крайните резултати.

Чрез резултатите от наблюденията се решават две задачи:

1. Математическо описание на деформационния процес;
2. Прогнозиране на бъдещи стойности на изследваните величини.

В зависимост от наблюдавания обект, изследваните елементи на деформационния процес и изискваната точност, се избират различни методи и инструменти, осигуряващи надеждни стойности на крайните резултати [72].

Освен регистрирането на хоризонтални и вертикални премествания, и в следствие изчисление на хоризонтални и вертикални деформации, е възможно да се установят стойностите на главните деформации и направленията на главните им оси, както и други деформационни елементи.

VI.2. Изчисляване елементите на деформации

При определяне на характеристиките на деформациите като елементарен елемент се приема отделния триъгълник (с върхове върху разглеждания обект) като се следва хипотезата за локално еднородното му деформиране. Има разработени методи за определяне на деформации от повторни измервания само на дължините на страните на отделния триъгълник.

В [67] се разглежда метод за изчисляване на елементите на деформациите в даден участък, представен с дефиниран с трите си страни триъгълник, като се използват повторните им измервания. Дължините на страните на триъгълника може да се измерват директно или да се изчисляват чрез пространствените координати на върховете му. Деформациите се представят в координатна система, свързана с разглеждания триъгълник в неговата равнина, но задачата може да се реши и в произволна, обща за мрежата от триъгълници, координатна система [31].

Определяните елементи на деформации са:

- относително изменение на площта – дилатация θ ;
- формоизменение – максимално преместване γ_m ;
- главни стойности на деформациите E_1 и E_2 и посоките им T_1 и T_2 .

Величините им се получават чрез измерените елементи в триъгълника в две епохи.

Посоката за екстремната стойност E_1 се задава спрямо страна на триъгълника, като ъгълът се отчита обратно на посоката на движение на часовниковата стрелка [31]. Получените стойности на елементите на деформации се отнасят за центъра на тежестта на триъгълника.

За изследването на деформации се използват подходящо разположени елементарни триъгълници, покриващи определената територия (обект), обикновено непрекъснато [72]. Ето защо е необходимо представяне на върховете на тези триъгълници в единна координатна система. Резултатите от изчисленията не се влияят от координатната система, т.е. те зависят само от изменението на взаимното разположение на наблюдаваните точки в пространството.

Подробно решение за определяне на относителното изменение на площта, формоизменението и главните стойности на деформациите в посоките на главните оси, е дадено в [67].

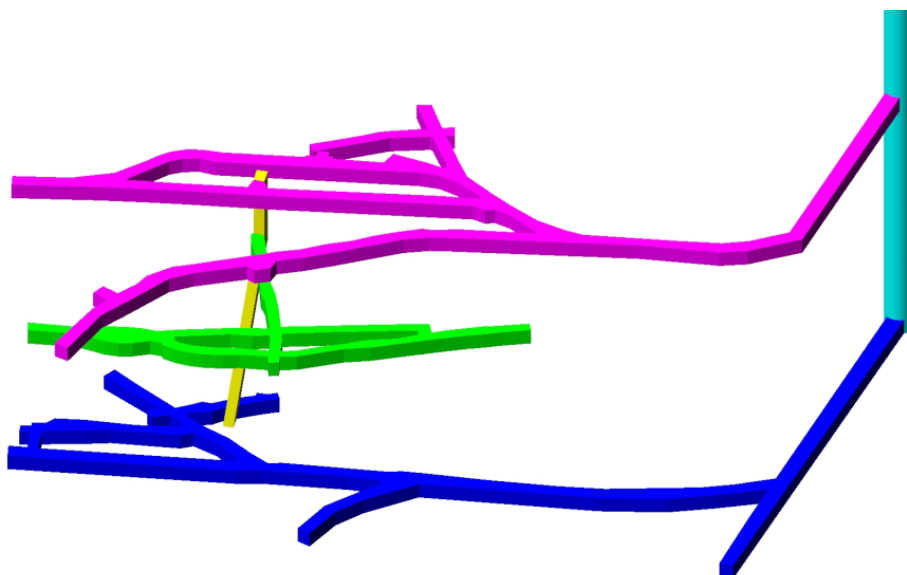
VI.3. Изчисляване на елементите на деформациите по данни от маркшайдерски наблюдения за различни минни обекти - примери

VI.3.1. Изчисляване на деформации в скалния масив около подготвителни и нарезни изработки

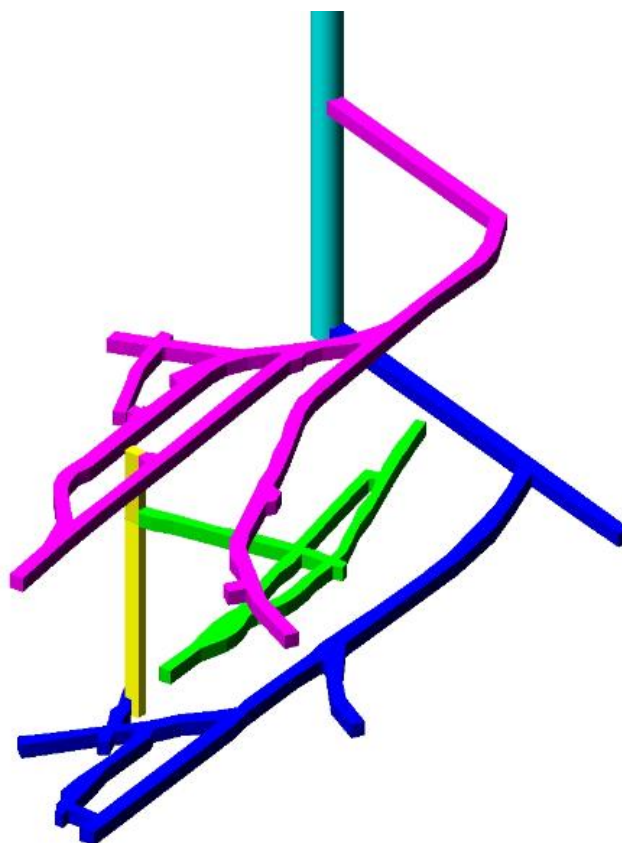
Използвани са измервания за следене устойчивостта на масива при добив на оловно-цинкова руда за условията на р-к „Крушев дол“, „ГОРУБСО – Мадан“ АД [72, 70].

В находище „Крушев дол“ са установени два типа рудни тела – жилни и метасоматични [21]. Вместващите скали са здрави с ясно изразени контакти с рудната жила и метасоматичните пластове. В геомеханично отношение масивът е стабилен и устойчив. На повърхността не се наблюдават проявления от вредното влияние на подземните минни работи. Подготвителните и нарезните изработки се прокарват чрез пробивно – взривни работи.

Изземването на запасите става посредством етажи през 50 или 100 m и разделяне на полето на блокове. Основната система на експлоатация в жилната част е подетажно обрушаване, а за метазалежа – камерно-стълбова с открито добивно пространство.



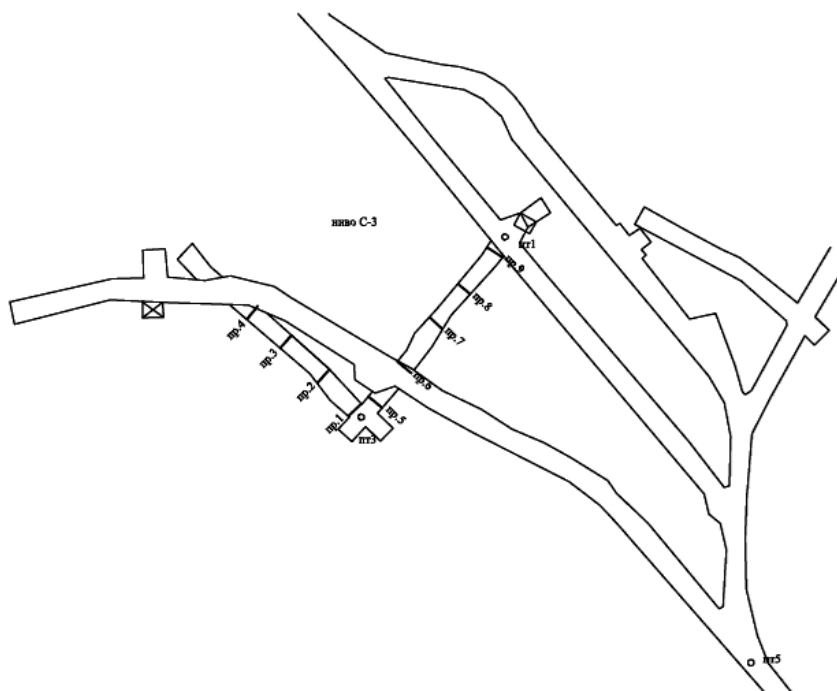
Фиг. VI.1. 3D изображение – вертикална шахта - светло синьо, хоризонт 700 - маджента, участък Север-3 - зелено, хоризонт 650 - тъмно синьо, комин - жълто



Фиг. VI.2. 3D изображение – вертикална шахта - светло синьо, хоризонт 700 - маджента, участък Север-3 - зелено, хоризонт 650 - тъмно синьо, комин - жълто

На хоризонт 700, участък Север-3 (фиг. VI.1 и VI.2), е изградена специална наблюдателна станция. Тя има за цел да осигури надеждно и точно

определяне на пространственото положение на стабилизирани в две галерии (орт и подетажна изработка) реперни точки (фиг. VI.3).



Фиг. VI.3. Ситуация – хоризонт 700, участък Север-3 [72, 70]

Реперите са разположени в профили по три по контура на галериите – два в стените и един в тавана. Разстоянията между профилите е от пет до седем метра. Извършени са шест наблюдения, като е използвана тотална станция Trimble S6. За онагледяване на изчисляването на елементите на деформации са използвани резултатите от 1-во, 2-ро и 3-то наблюдение (проведени в рамките на три месеца, декември 2016 г. - март 2017 г.). От януари 2017 започва прокарване на изработка и впоследствие добив по съседна жила, успоредна на първата, на около 5-6 метра от нея. На северозапад двете жили се събират (фиг. VI.5).

Чрез наблюдаваните точки е формирана мрежа от триъгълници. От проведените наблюдения са определени пространствените координати на всички репери и са изчислени дължините на страните на триъгълниците:

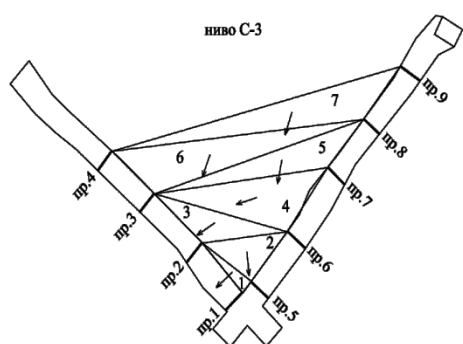
- в напречните сечения на изработките (профили 1 - 9);
- в зоната между двете изработки (триъгълници 1 - 7).

За всеки триъгълник са изчислени [67]:

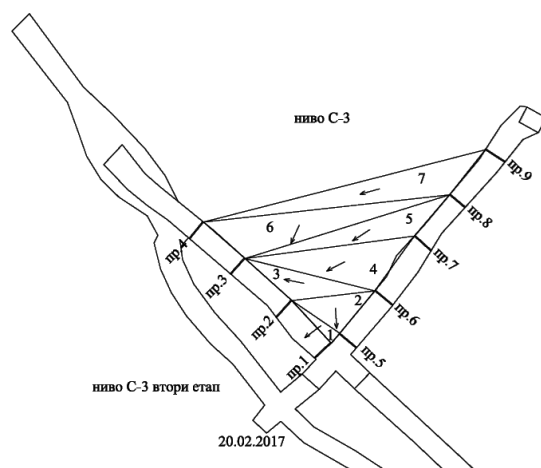
- посоката и стойността на главните деформации – E_1 и E_2 ;
- стойността на относителното изменение на площта – θ ;
- стойността на интензивността на формоизменение – γ_m ;

- центъра на тежестта на триъгълника.

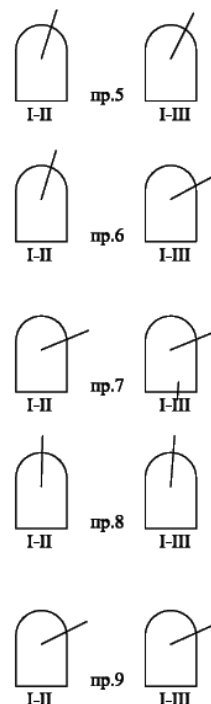
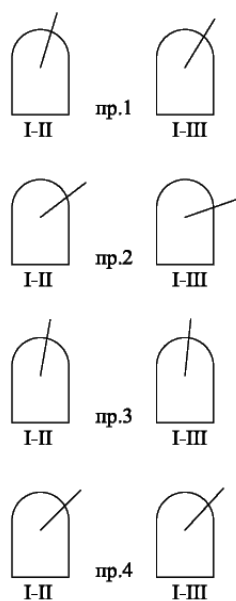
Елементите на деформациите са определени за интервалите от време между първо и второ и между първо и трето наблюдение. На фигури VI.4 и VI.5 е онагледена мрежата от триъгълници между двете изработки и посоките на главната деформация E_1 , нанесени в центъра на тежестта на всяка фигура, за изследваните два интервала от време. На фигури VI.6 са показани посоките на E_1 за всяко от напречните сечения на изработките (профили 1 - 9).



Фиг. VI.4. Мрежа от триъгълници между двете изработки и посоки на главната деформация E_1 между I-во и II-ро наблюдение [72, 70]

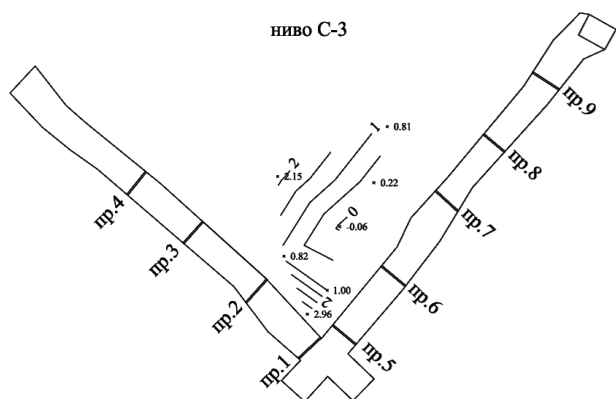


Фиг. VI.5. Мрежа от триъгълници между двете изработки и посоки на главната деформация E_1 между I-во и III-то наблюдение [72, 70]

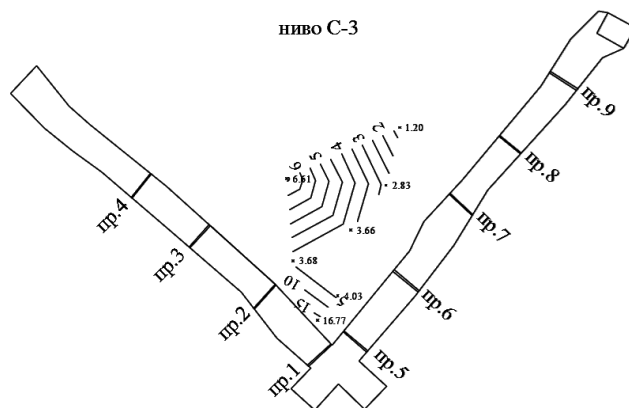


Фиг. VI.6. Посоки на E_1 за всяко от напречните сечения на изработките [72, 70]

По резултатите от наблюденията са създадени графични модели за деформационното състояние на скалния масив в зоната между двете изработки (фиг. VI.7 и VI.8).



Фиг. VI.7. Изолинии за $E_1 10^{-3}$ между I-во и II-ро наблюдение [72, 70]



Фиг. VI.8. Изолинии за $E_1 10^{-3}$ между I-во и III-то наблюдение [72]

Въз основа на получените резултати от наблюденията и изчисленията се характеризира състоянието на масива и съгласно методиката разглеждана в точка V.3.1.2, може да се прогнозира бъдещото му деформационно състояние в избрана зона.

По получените данни за деформационните характеристики на масива в разглеждания период от време може да се направят следните изводи:

1. За изследваните изработки:

- И в двата наблюдавани периода между измерванията (I-во – II-ро и I-во – III-то наблюдение) ясно се различават зони с натискови деформации в сечението на изработките в зоната на кръста между двете галерии (профили 1 и 5) и до профил 9 (в близост до подетажния комин);
- В зоните на останалите профили се наблюдават опънни деформации;
- Стойностите на главните деформации за посочените два интервала от време рязко се различават един от друг. Това се обяснява с провеждането на добивни работи по първата жила, както и с началото на работа по втората;
- Посоките на главната деформация E_1 в напречните сечения на изработките са ориентирани към празните и работните пространства.

2. За скалния масив между двете изработки:

- Деформациите са само опънни, първоначално (между I-во и II-ро наблюдение) ориентирани към изработката (фиг. VI.4), а в последствие (до III-то наблюдение), към добивните пространства по двете жили (фиг. VI.5);

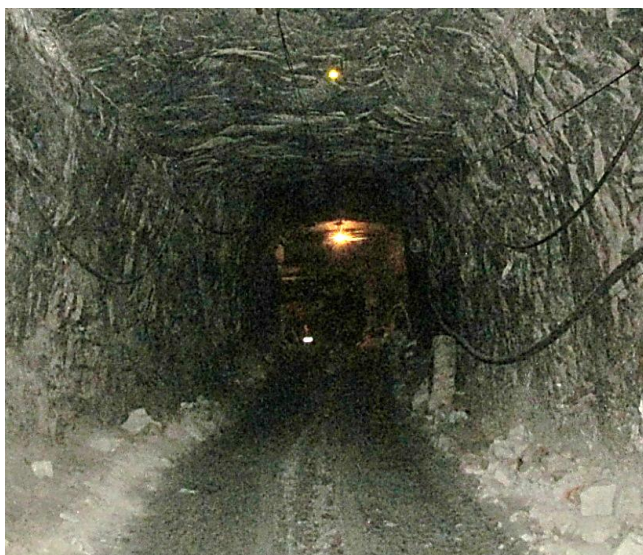
- За втория интервал от време стойностите на главните деформации са 3 до 4 пъти по-високи в сравнение с тези от първия наблюдаван интервал;
- От графиките на фигури VI.7 и VI.8 се вижда чувствително повишаване на стойностите на главните деформации в зоната на кръста между изследваните две изработки, като това повишаване започва след началото на работа по втората жила и е най-силно изразено на разстояние до около 5-6 метра от кръста.

VI.3.2. Определяне на елементите на деформации на скалния масив около наклонена разкриваща изработка и две подетажни галерии

Обект на изследване е скалният масив около наклонена галерия и две от прилежащите ѝ подетажни галерии по зона 1, под хоризонт 472 в рудник „Джурково“, „Лъки Инвест – Джурково“ ЕООД. Примерът е част от успешно защитена от инж. Радослав Сираков дипломна работа през 2021 г. в МГУ „Св. Иван Рилски“, катедра „Маркшайдерство и геодезия“, с научен ръководител доц. д-р Александър Цонков [58].

Наклонената галерия (фиг. VI.9) е част от главната наклонена разкриваща изработка от хоризонт 788 до хоризонт 322. Дължината на участъка под хоризонт 472 е около 300 m. Надлъжният наклон на изработката е -10° (-16%), проектното напречното сечение е 10.8 m^2 , а направлението ѝ е успоредно на рудното тяло. Средната дълбочина под земната повърхност на изследвания участък е около 560 m. Началото на изработката е на абсолютна кота 483 m, а котата на забоя е 450 m.

Заедно с наклонената галерия се прокарват и подетажни изработки (добивни изработки) (фиг. VI.10) по рудното тяло, което е с жилна форма. Този тип рудни тела в рудник „Джурково“ се разработват чрез прилагането на „Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки“.



Фиг. VI.9. Наклонена галерия [58]



Фиг. VI.10. Подетажна изработка [58]

Към момента на извършване на изследването съществуват три подетажни изработки с напречно сечение 10.8 m^2 , денивелацията между които е 11 m:

- Първи подетаж (кота 472 m) – с дължина 500 m.
- Втори подетаж (кота 461 m) – с дължина 400 m.
- Трети подетаж (кота 450 m) – В процес на прокаране по време на извършване на измерванията.

Наклонената галерия е разположена западно от рудоносната жила „Зона 1“ с променливо направление, като отстоянията са: 8 m (в района на подетаж I); 16 m (в района на подетаж II) и 20 m (подетаж III).

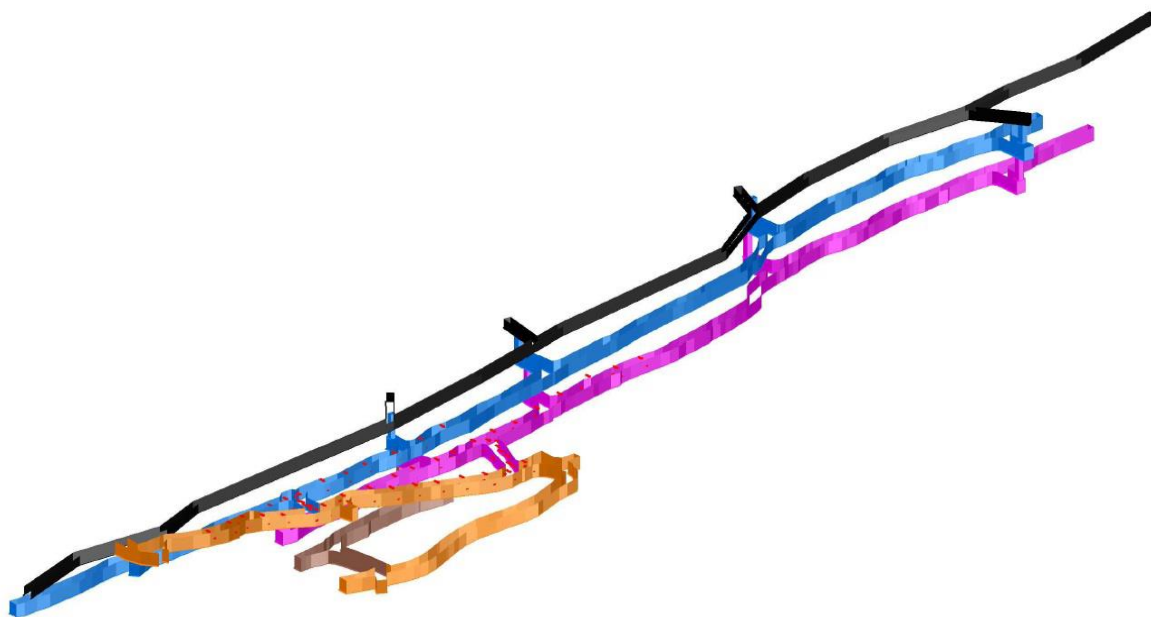
Геоложкият строеж на скалния масив около наклонената галерия и подетажните изработки е представен от гнайси с множество пегматитови инжекции.

Минните изработки преминават през серия от разломи със северно падение с ъгъл $65-70^\circ$, като участъкът от наклонената галерия между подетаж I и подетаж II пресича главен структурен разлом с ъгъл 65° на север, азимут 110° и дебелина 0.8-1.0 m. Този разлом е засечен и в участъка между подетаж II и подетаж III, както и във всяка подетажна изработка.

В тази част от разкриващата изработка няма монтирани крепежни конструкции, с изключение на задължителното анкериране на тавана в района на кръстовищата. Това се дължи до голяма степен на якостта на вместиците скали (якост на едноосов натиск $\sigma_c = 120-140 \text{ MPa}$) и спазването на сводообразната форма на напречното сечение на изработките.

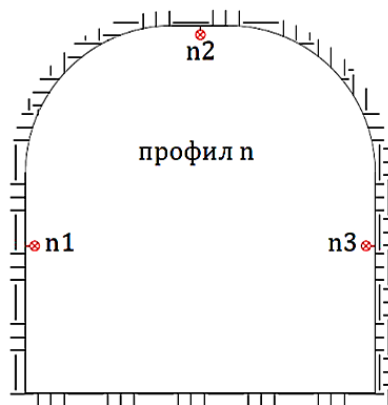
Наклонената изработка разкрива рудоносната жила „Зона 1“ под нивото на хоризонт 472, до което оловно-цинковите запаси са иззети до голяма степен.

В изследвания участък в подетажните изработки жилата е със средна дебелина 1 m, азимут по простиране север-северозапад $360-0^\circ$ и източно падение с ъгъл $85-90^\circ$.



Фиг. VI.11. Аксонометричен изглед на 3D модела на изследвания обект [58]

На фигура VI.11 е представен изглед на триизмерния модел на подетажните изработки по „Зона 1“ и наклонената разкриваща изработка, създаден чрез софтуерния продукт AutoCAD Civil 3D. Показани са: в оранжев цвят – наклонена разкриваща изработка под хоризонт 472; в черен цвят – хоризонт 472, зона 1 галерия юг; в син цвят – подетаж I; в цвят маджента – подетаж II; в кафяв цвят – подетаж III.



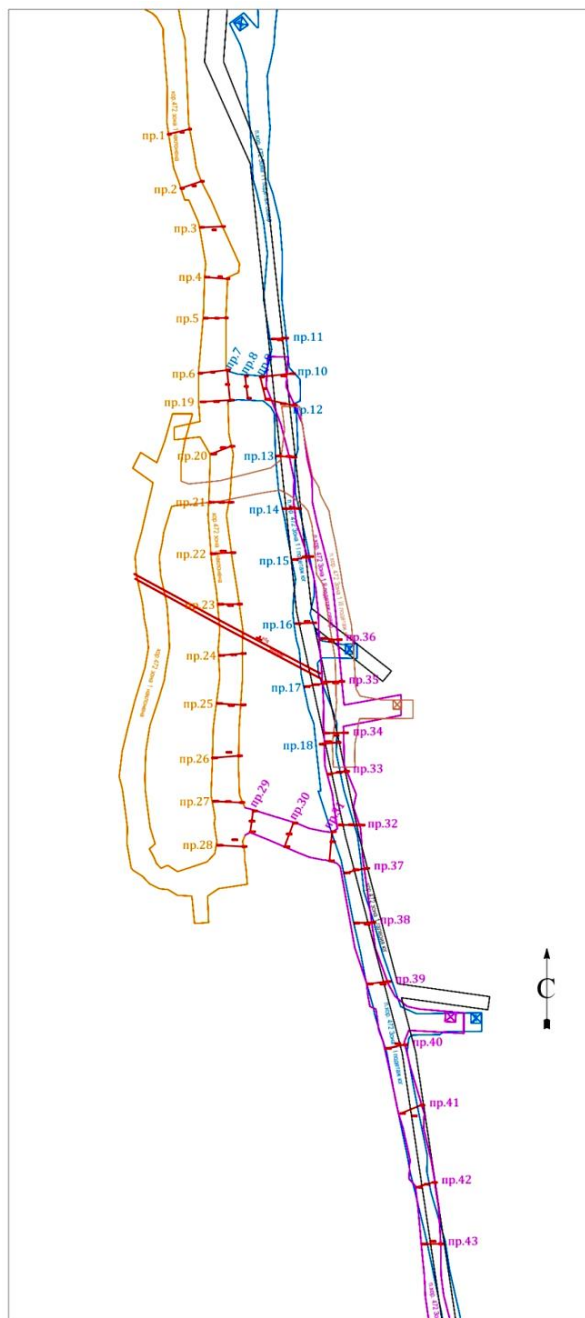
Фиг. VI.12. Типова схема на напречното сечение на изработките [58]

За изследване на деформационното състояние на скалния масив около наклонената изработка и двете подетажни галерии чрез маркшайдерски измервания, през месец януари 2021 година е изградена специална наблюдателна станция.

Стабилизиран са 3 изходни опорни точки, 2 нивелачни репера (извън зоната, в която се очакват деформации) и 125 контролни точки (репери), разположени в напречни профили по три - две в стените и една в тавана (фиг. VI.12, VI.14 и VI.15).

Профилите са разпределени на приблизително равни интервали по избрани участъци от наклонената и двете подетажни галерии (през 10 m в наклонената и през 10-12 m в подетажите), както е показано на фигура VI.13. Профилите от наблюдавани точки обхващат около 140 m от разкриващата изработка, 90 m от подетаж I и близо 140 m от дължината на подетаж II.

Наблюдателната станция има за цел да осигури надеждно и точно определяне на пространственото положение на стабилизираните в стените и тавана наблюдавани точки в периода на наблюденията, което да е предпоставка за получаване на реални стойности на елементите на деформации.



Фиг. VI.13. Ситуация в план на наклонената разкриваща изработка и подетажните галерии с нанесени местоположенията на напречните профили с контролни точки [58]

Извършени са 4 периодични хоризонтални и вертикални маркшайдерски измервания (от януари до юли 2021 г.). От предварително координираните опорни точки, с тотална станция по полярен метод са определени пространствените координати на наблюдаваните точки за всяка епоха на измерване. Във вертикално отношение наблюдаваните точки са определени чрез тригонометрична (за стенните репери) и геометрична нивелация (за реперите на тавана на изработките). За хоризонталните измерванията е използвана тотална станция Sokkia CX-62. Използваният инструмент за геометричната нивелация е дигитален нивелир Stonex ZDL700 и кодова лата.



Фиг. VI.14. Стабилизирани контролни точки в наклонената и подетажните галерии [58]



Фиг. VI.15. Момент от маркшайдерските измервания [58]

Въз основа на координатните изменения на наблюдаваните (контролни) точки в различните моменти на наблюдение, са определяни инвариантните

характеристики на деформационното състояние на скалния масив около минните изработки. Методът за тяхното изчисляване е представен в [67].

За изчисляване на елементите на деформации и онагледяването им са използвани резултатите от началното и четвъртото измерване.

Създадени са мрежи от триъгълници за три възлови участъка от масива между наклонената разкриваща изработка и подетажни галерии I и II.

Първият участък от скалния масив се намира между наклонената изработка и подетаж I, северно от орта.

Вторият участък е най-голям, обхваща масива между наклонената и подетажни галерии I и II в зоната между техните ортове.

Третият участък е част от масива между наклонената и подетаж II, южно от орта. Изследваните чрез този подход участъци са показани на фигура VI.16.



Фиг. VI.16. Ситуация в план с изобразени изследваните участъци от масива около минните изработки (защриховани в зелен цвят) и главния структурен разлом, пресичащ участък 2 (в червен цвят) [58]

От проведените наблюдения са определени дължините на страните на триъгълниците в трите участъка от скалния масив в избраните две епохи.

За всеки триъгълник са изчислени [67]:

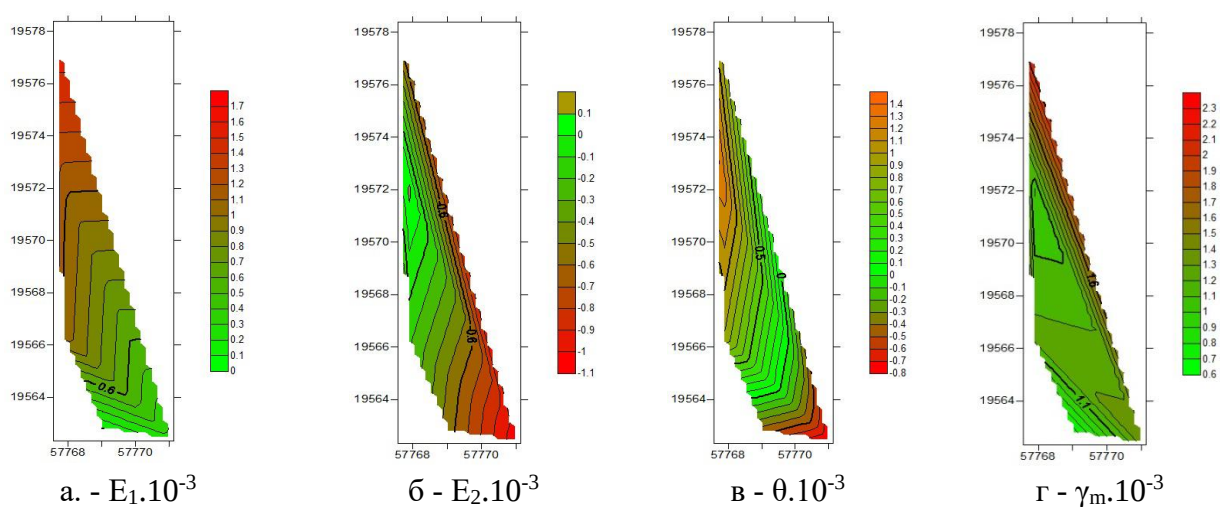
- посоката и стойността на главната деформация – E_1 ;
- стойността на главната деформация – E_2 ;
- стойността на относителното изменение на площта – θ ;
- стойността на интензивността на формоизменение – γ_m ;
- координатите на центъра на тежестта на триъгълника.

тежестта, деформациите са натискови (със знак минус). При опънни деформации посоката е от центъра на тежестта навън.

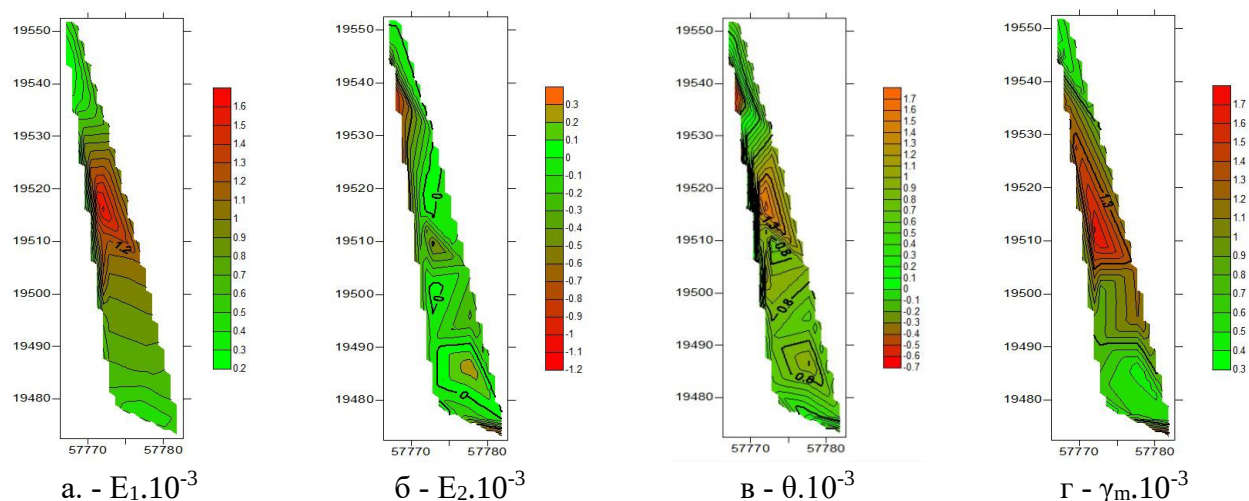
Важно е да се отбележи, че посоките на главните деформации не се отнасят пряко към центъра на тежестта на триъгълниците, т.е. не се развиват от тази точка или към нея. Векторите на E_1 и E_2 са изобразени в центъра на тежестта за добра нагледност, защото при използване на метода на инвариантните характеристики на деформациите се приема хипотезата за локално еднородно деформиране на равнинния триъгълник (на масива, попадащ в равнината на триъгълника). Изобразените посоки са „обща“ за цялата равнина на съответния триъгълник.

Чрез стойностите на изчислените за всеки триъгълник елементи на деформациите са създадени графични модели на деформационното състояние на скалния масив около минните изработки за периода между двете указани по-горе маркшайдерски наблюдения.

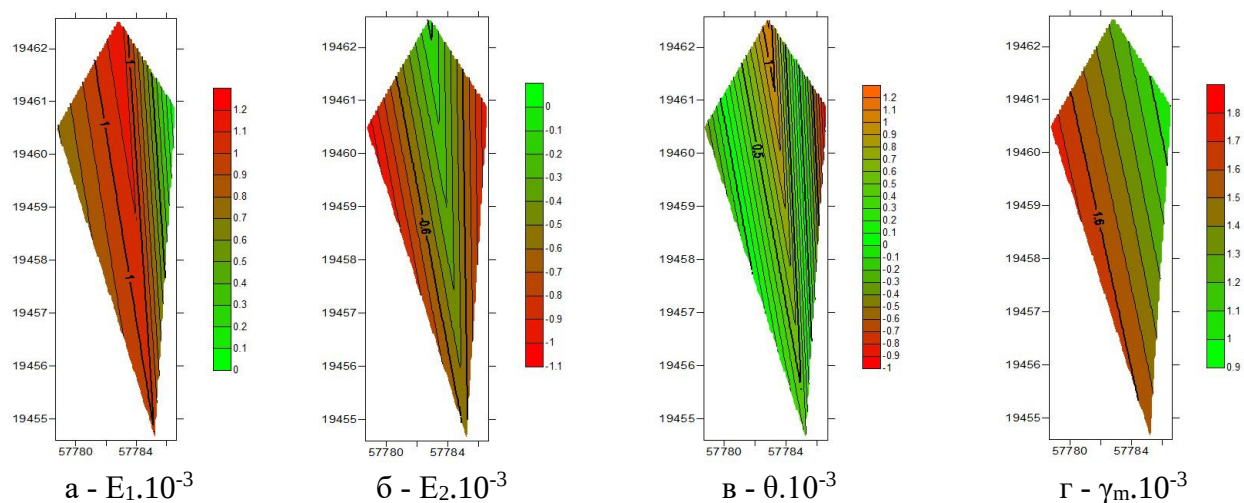
На фигури VI.18, VI.19 и VI.20 са показани контурни карти на отделните деформационни характеристики, създадени чрез програмния продукт Surfer 8.0. Изобразени са цветни контури, които онагледяват изменението на стойностите им в отделните участъци от масива.



Фиг. VI.18. Контурни карти с изолинии на главните деформации E_1 и E_2 , на дилатацията θ и на формоизменението γ_m в участък 1 [58]



Фиг. VI.19. Контурни карти с изолинии на главните деформации E_1 и E_2 , на дилатацията θ и на формоизменението γ_m в участък 2 [58]



Фиг. VI.20. Контурни карти с изолинии на главните деформации E_1 и E_2 , на дилатацията θ и на формоизменението γ_m в участък 3 [58]

В периода между измерванията на контролните точки в минните изработки, в двете подетажни галерии са извършвани непрекъснати добивни дейности посредством пробивно-взривни работи. В резултат на това са образувани празни пространства с големи размери (иззетите участъци от рудоносната жила и част от вместващите скали около нея).

Въз основа на получените резултати от изследването, за характеристиките на деформациите на скалния масив, могат да бъдат направени следните изводи:

➤ И в трите участъка (северно от орта на подетаж I, между двата орта и южно от орта на подетаж II), като обща тенденция, посоката на главната деформация E_1 е към иззетото пространство на двата подетажа (на изток), докато за главната деформация E_2 е с променлив характер (фиг. VI.21).

➤ В наклонената галерия и в подетаж II е установен главен структурен разлом, което обяснява посоката на главната деформация E_2 (фиг. VI.17 - участък 2) и завишените стойности на двете деформации в този участък (фиг. VI.19 а). В участъка се наблюдават завишени стойности и на другите деформационни характеристики – относителното изменение на площта θ и формоизменението γ_m (фиг. VI.19 в и VI.19 г).

➤ Около двата орта на подетажите, посоките на главните деформации са с разнообразен характер и не се наблюдават закономерности в стойностите, което се обяснява с конфигурацията на околните изработки.

VI.3.3. Определяне деформационното състояние на опорни целици при подземен добив при камерно-стълбова система на разработване

За изчисляване на елементите на деформации по данни от маркшайдерски наблюдения са използвани измервания за следене на устойчивостта на целици при добив на оловно-цинкова руда в метазалеж 44 в рудник „Джурково“, „Лъки Инвест – Джурково“ ЕООД [67, 69, 71].

Находището съдържа значителни запаси от оловно-цинкови руди. Разработването е по подземен начин, чрез прилагане на две основни системи:

- Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки;

- Камерно-стълбова система.

Литоложката структура на находището е представена от гнайси, слюдени шисти, мрамори и пегматити. Рудните тела в рудник „Джурково“ се отнасят към два морфогенетични типа – жилни и метасоматични. Средната мощност на жилните тела варира от 0.5 m до 2.5 m, а на метасоматичните – от 0.5 до 5-6 m.

От началото на 2017 година в зоната на метазалеж 44 е изградена специална наблюдателна станция. Тя има за цел да осигури надеждно и точно определяне на пространственото положение на стабилизирани в два целика реперни точки (фиг. VI.22).



Фиг. VI.22. Снимки на целик 2 в метазалеж 44 [71]

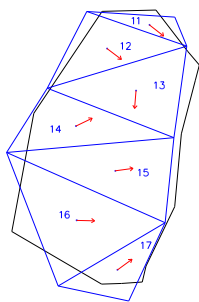
Реперите са разположени по контура на целиците в линии в горната, средната и долната им част. За онагледяване на изчисляването на елементите на деформации са използвани резултатите от 2-то и 3-то наблюдение (проведени през месец февруари и месец март 2017 г.).

От проведените наблюдения са определени дължините на страните на триъгълниците в трите нива на целик № 2 в двете епохи. Мрежите от триъгълници са показани на фигури VI.23, VI.24 и VI.25.

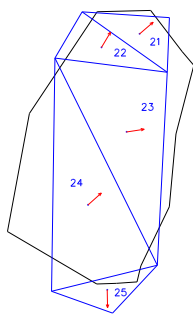
За всеки триъгълник са изчислени [67]:

- посоката и стойността на главната деформация – E_1 ;
- посоката и стойността на главната деформация – E_2 ;
- стойността на относителното изменение на площта – θ ;
- стойността на интензивността на формоизменение – γ_m ;
- центъра на тежестта на триъгълника.

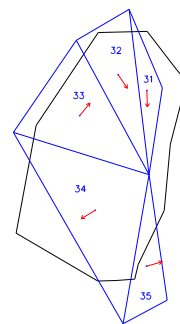
На фигури VI.23, VI.24 и VI.25 се вижда още и посоката на главната деформация – E_1 , нанесена в центъра на тежестта на всяка от елементарните фигури.



Фиг. VI.23. Триъгълници в долната част на целика [67]

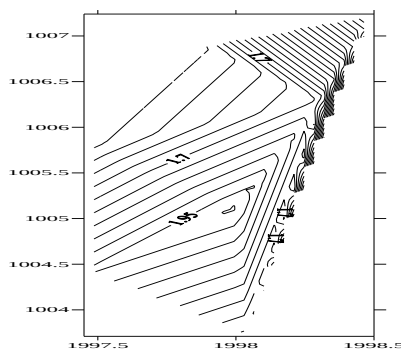


Фиг. VI.24. Триъгълници в средната част на целика [67]

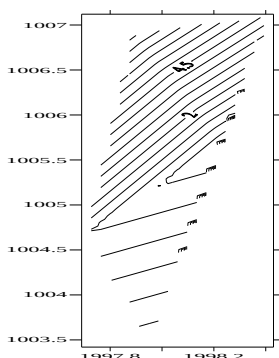


Фиг. VI.25. Триъгълници в горната част на целика [67]

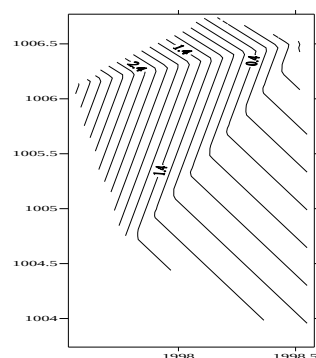
На базата на получените резултати са създадени графични модели за деформационното състояние на целик 2 за посочения период на наблюдение. На фигури VI.26, VI.27 и VI.28 са показани контурни карти на изменението на стойностите на главната деформация E_1 в различните нива на целика.



Фиг. VI.26. Изолинии на $E_1 10^{-3}$ в долната част на целика [67]



Фиг. VI.27. Изолинии на $E_1 10^{-3}$ в средната част на целика [67]



Фиг. VI.28. Изолинии на $E_1 10^{-3}$ в горната част на целика [67]

По аналогичен начин може да се онагледят и измененията на стойностите на останалите характеристики на деформациите.

Графиките на фигурите за конкретния обект на изследване са получени чрез програмния продукт Surfer 8.0. Въз основа на обработените данни след всяко измерване може да се получи картина на изменението на деформационното състояние на обекта и при подходяща интерпретация да се прогнозира бъдещи стойности на изследваните параметри, както и да се предприемат конкретни превантивни мерки относно безопасността на наблюдавания обект.

По получените данни от изследванията в разглеждания период от време може да се направят следните заключения и изводи [67]:

1. Вертикалният натиск върху целика предизвиква неговото странично разширяване в напречно на натоварването направление.



Фиг. VI.29. [67]

2. В зоните на контакт с горнището и долнището напречните деформации са ограничени от силите на сцепление и триене с вместиращите скали. Централната част по височина на целика се намира на максимално разстояние от тези контактни зони. Ето защо напречните деформации се реализират в пълна степен именно в средата на неговата височина [44]. Разрушаващият се целик придобива формата на пясъчен часовник (фиг. VI. 29).

3. Стойностите на главните деформации E_1 и E_2 са най-големи в северната и южната част на целика и чувствително по-малки в средната му част;

4. Относителното изменение на площите θ (дилатация) също е с най-големи стойности в крайните зони на целика, но при следните особености:

- в контактните зони с горнището и долнището в крайните участъци на целика се реализира свиване, а в средата – разтягане;

- докато в средната по височина част на целика е обратното – в краищата е разтягане, а в средата – свиване.

5. Интензивността на формоизменението γ_m също е с най-големи стойности в крайните зони на целика;

6. Чрез извършените маркшайдерски измервания се доказва начина на деформиране на наблюдавания целик, потвърждаващ общоизвестната теория, както и възможността да се изследва състоянието му във времето и пространството.

С навлизането на нови инструменти и технологии става възможно извършването на наблюдения и в участъци, в които достъпът на маркшайдер е невъзможен или престоят му там е забранен от съществуващите правила за безопасност. Съвременната далекомерна техника позволява определянето на дължини да става както с отражателна призма, така и безрефлекторно, но при извършването на измервания до недостъпни точки, е необходимо да бъдат гарантирани точност и коректност на измерванията. В тази връзка са извършени експериментални изследвания, отразени в различни научни издания и сборници за оценка на някои особености при измервания с лазерен далекомер [5, 6, 7, 8, 9, 12]. Анализирани са резултатите от проведени линейни измервания до обекти (минерали, различни видове скали и строителни материали) с различни оптични свойства и отражателни характеристики. Направени са съответни изводи и заключения относно влиянието на разстоянието, ъгъла между оста на излъчване и повърхността до която се извършва измерването, осветеността, вида и грапавостта на отразяващата повърхност, албедото, запрашеността, влагата и мъглата. При извършването на подобен вид наблюдения трябва правилно да бъдат преценени възможните особености в отражението, пречупването и поглъщането на светлината от различните материали, разположени по различен начин в пространството.

VI.3.4. Определяне деформационното състояние на стената на хвостохранилище по време на неговата експлоатация

Според Закона за подземните богатства, минните отпадъци се депонират и съхраняват на определени за целта площадки или в съоръжения за минни отпадъци, чието местоположение, конструкция и управление предотвратяват или максимално намаляват отрицателното им въздействие върху компонентите на околната среда и/или човешкото здраве.

Според Наредбата за управление на минните отпадъци, операторите на съоръжения за минни отпадъци, по време на тяхната експлоатация, изготвят подходящи планове, предприемат договорености и създават организация за редовен мониторинг и инспектиране на съоръженията от компетентни лица и за предприемане на действия в случаи на признаци, показващи физическа

нестабилност на съоръженията, и/или замърсяването на почвата, въздуха, подземните и повърхностните води. Мониторингът се извършва в съответствие с предвиденото в плана за управление на минните отпадъци. Резултатите се обобщават в протоколи и се съхраняват заедно с документацията по издаденото разрешително или план за управление на минни отпадъци. След закриването на съоръжението операторът е отговорен за неговата поддръжка, изпълнението на корективни мерки, мониторинг и контрол, както и за прилагането на мерки в случай на авария, за срок, определен от министъра на енергетиката.

Съществен елемент, при експлоатацията на всяко едно хидротехническо съоръжение, е изследването на хоризонтални и вертикални деформации на стената. Нейната устойчивост осигурява безопасна експлоатация и безаварийна работа на хвостохранилищата.

Наблюденията се извършват чрез геодезически методи, въз основа на техническо задание. Измерва се мрежа от наблюдавани и контролни точки, привързани към предварително определена по положение и ниво работна геодезическа основа. Честотата на измерванията и допустимите отклонения се определят на базата на одобрения проект за мониторинг.

В техническото задание трябва да бъде посочена минималната стойност на преместванията (ΔQ_{min}) за определен период от време (Δt), максималната стойност на съответните премествания (ΔQ_{max}) и средната стойност на преместването ($\Delta Q_{cp.}$), което ще настъпи за определен среден интервал от време ($\Delta t_{cp.}$) [34]. Посочва се моментът, в който трябва да започнат измерванията и условията, при които измерванията могат да бъдат прекратени.

В разглеждания пример се изследва възможността за използване на резултати от маркшайдерски измервания за определяне на елементите на деформации за стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“, „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД, след изграждане на нова наблюдателна станция [75]. Изчисляват се главните стойности на деформациите и техните посоки, относителното изменение на площта и интензивността на формоизменението в разглеждания период от време. Определя се точността на получените резултати.

Хвостохранилище „Лъки-2 временно“ е съоръжение от II-ри клас за временно съхранение на флотационния отпадък (хвост). Чашата му е заключена между два ската с две каменно-насипни диги. Настоящата височина на хвостохранилището, фундирано на кота 610, е 40 m с перспектива да се изгради до височина 50 m. Основата на стената е каменно-насипна, изградена върху скалиста повърхност, от кота 610 до кота 630. За увеличаване обема на

депониране, стената е надградена няколко пъти със земно-насипен материал, достигайки кота 650. Дължината ѝ е 450 m (фиг. V.2).

Намиването на хвоста се реализира в два формиращи участъка (клетки), разделени с технологична дига с ширина 15 m. Докато в едната клетка се намира (фиг. VI.30), в другата, след осушаване, хвостът се изземва механизирано (фиг. VI.31) и чрез автотранспорт се извозва, и складира по подходящ начин и на определено място (фиг. VI.32).



Фиг. VI.30. [75, 76]



Фиг. VI.31. [75, 76]

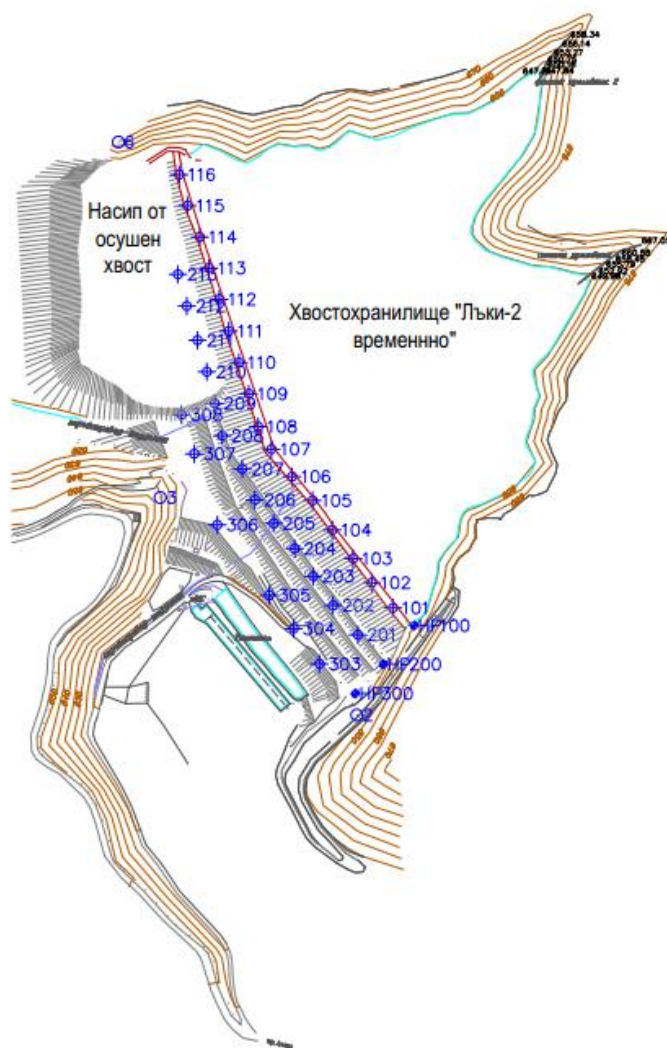


Фиг. VI.32. [75, 76]

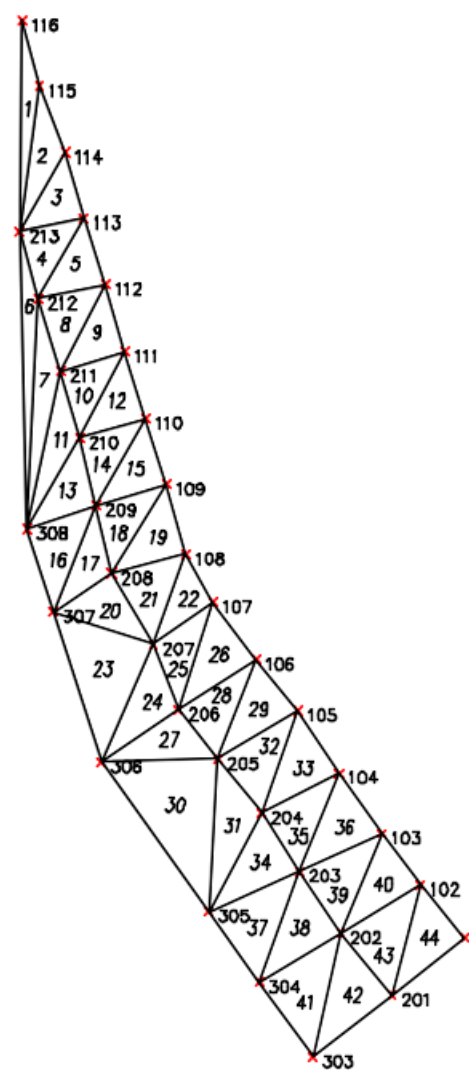
Хвостопроводът е разделен на два клона с по 10 тръбни изтичала на всеки клон, които наливат последователно в съответната клетка. Чрез регулиране на нивото на преливане се поддържа ниска депресионна повърхност. В резултат на което, след осушаване на съответната клетка, намитият хвост под повърхността е обезводнен в максимална степен. Това дава възможност за изгребване на осушения хвост от съответната клетка на дълбочина до 5 m. Всяка от клетките е с площ около 50000 m².

Наблюдателната станция се състои от три линии с общо 35 наблюдавани точки. Проведени са 9 наблюдения в периода декември 2019 – юни 2020 г. Измерванията са извършвани през интервал по-малък от един месец при подходящи климатични условия и при спазване изискванията на действащата нормативна уредба [34]. Чрез тях са определени плановите и височинни координати на точките от станцията, и са изчислени измененията им във времето. Получени са стойности за премествания в хоризонтална и вертикална равнина, както и в посоки успоредна, и перпендикулярна на оста на стената.

Разположението и номерата на точките от наблюдателната станция е показано на фигура VI.33. Формирана е мрежа от триъгълници върху стената на хвостохранилището (фиг. VI.34), за които се определят стойностите на елементите на деформациите.



Фиг. VI.33. Разположение на точките от наблюдателната станция



Фиг. VI.34. Създадената мрежа от триъгълници [75]

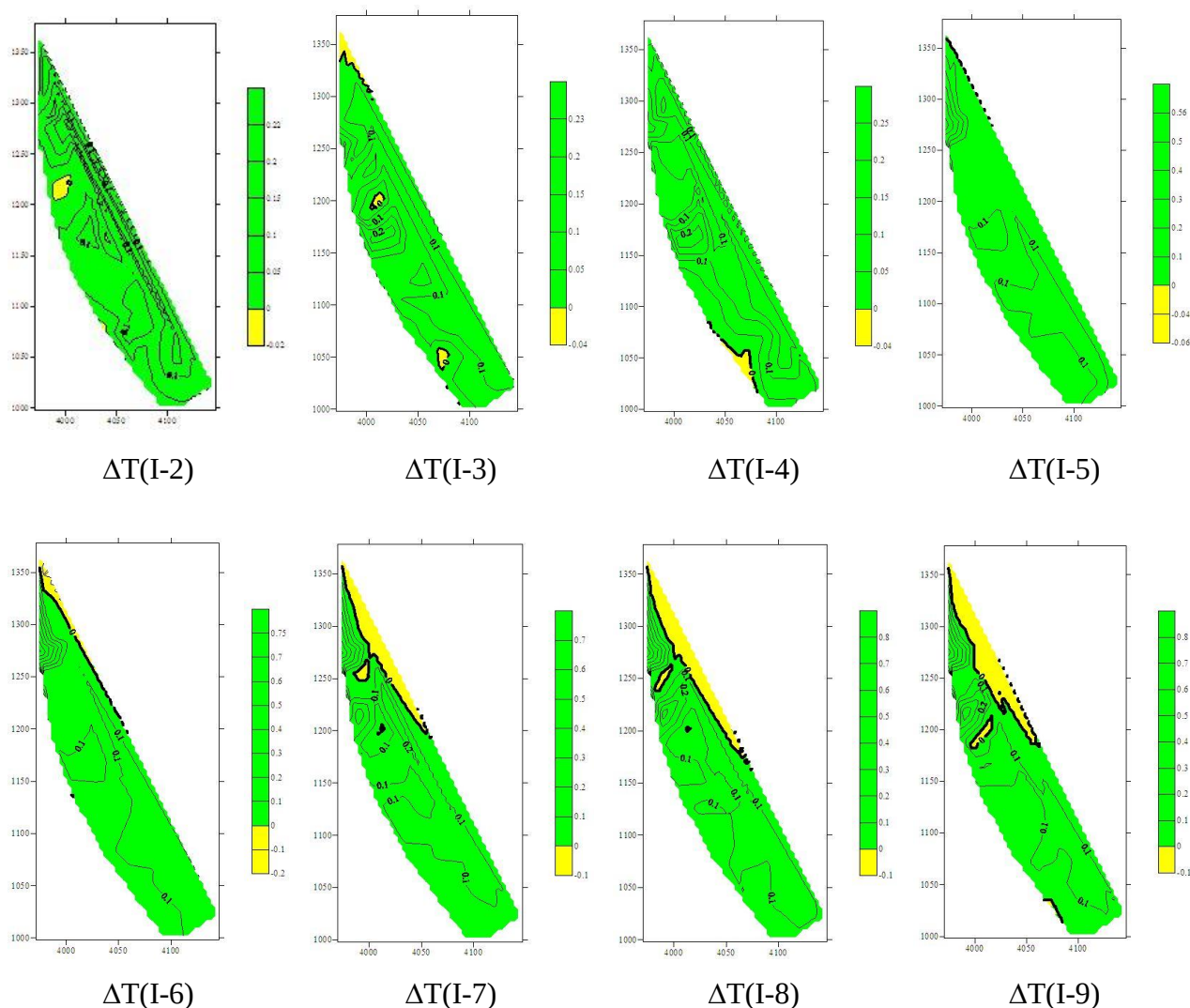
Чрез създадена програма в среда на Microsoft Excel са изчислени всички елементи на деформациите с техните оценки за точност. За всеки триъгълник са определени [67]:

- посоката и стойността на главната стойност на деформациите – E_1 ;
- посоката и стойността на главната стойност на деформациите – E_2 ;
- стойността на относителното изменение на площта – θ ;
- стойността на интензивността на формоизменение – γ_m ;
- центъра на тежестта на триъгълника.

Разгледани и анализирани са получените стойности за главната деформация E_1 , за интервали от време между всяко регулярно и първото (началното) измерване.

От началото на месец март 2020 г., съгласно технологията на експлоатация на хвостохранилището, изсушеният хвост се изгребва и се складира извън контура му, в западния край на стената, до нейната основа. По време на началните наблюдения количеството му е незначително. Впоследствие то постоянно нараства и до момента на последното наблюдение достига до около 500000 m^3 (около $800\,000 \text{ t}$). Площта му се разширява покрай стената на изток и затрупва част от наблюдаваните репери (№ 209, 210, 211, 212, 213 и 308). Вследствие на това се наблюдават значителни премествания на реперите в северозападната част на стената, както във вертикална, така и в хоризонтална посока.

Въз основа на данните, за посочените интервали от време, на фигура VI.35 са представени графики с различни зони на деформирано състояние на стената на хвостохранилището (в зелен цвят – зони на опън и в жълт цвят – зони на натиск).



Фиг. VI.35. Зони на опън и натиск [75]

Още след началните измервания върху стената на хвостохранилището се формират преобладаващо зони с опън и по-малко с натиск. След увеличаване на натрупания осушен хвост до стената, зоната с натискови деформации увеличава площта си, предимно в северозападната част на короната (фиг. VI.35). Това се потвърждава от хоризонталните и вертикални премествания, регистрирани с маркшайдерски измервания. Тези изменения най-вероятно се дължат на по-бързо свличане на масива в горната част на стената под влияние теглото на натрупания хвост. В останалата част от стената преобладават опъновите деформации.

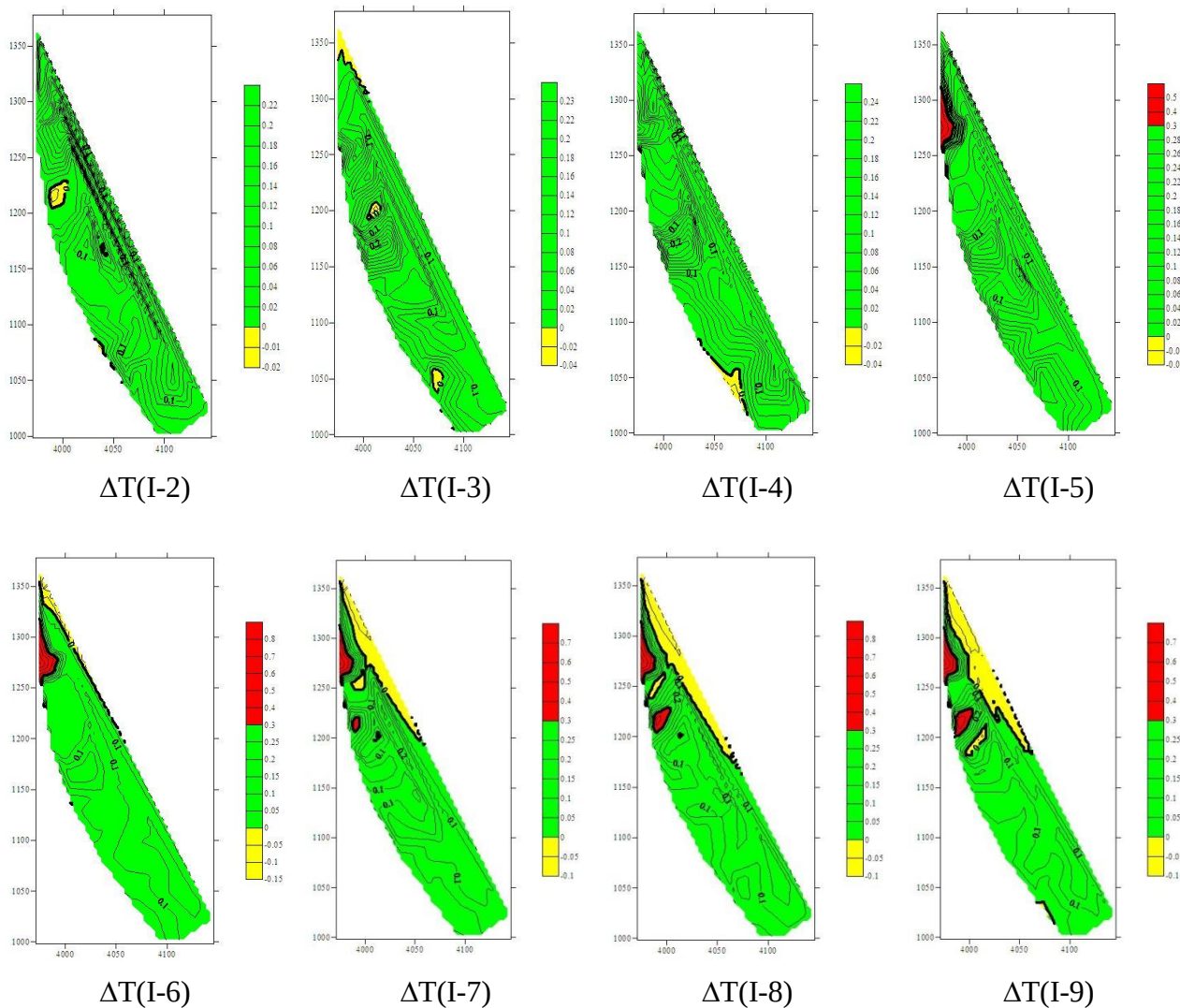
За всяко съоръжение, при неговото строителство и експлоатация, се посочват стойности на допустими или критични деформации, превишаването на които може да доведе до нарушаване целостта или разрушаването му.

На фигура VI.36 е показан план на наблюдавания обект, върху който с изолинии са изобразени зони с различни стойности на главните деформации E_1 . Тези стойности са сравнени с условно приета допустима хоризонтална деформация $0,3 \cdot 10^{-3}$.

Възприетите означения са следните:

- в червен цвят – зони на опън със стойности на хоризонталните деформации над допустимата приета ($0,3 \cdot 10^{-3}$);
- в зелен цвят – зони на опън със стойности на хоризонталните деформации под допустимата приета ($0,3 \cdot 10^{-3}$);
- в жълт цвят – зони на натиск със стойности на хоризонталните деформации под допустимата приета ($0,3 \cdot 10^{-3}$).

Зоната с опънови деформации, превишаващи условно приетата допустима хоризонтална деформация ($0,3 \cdot 10^{-3}$), увеличава непрекъснато своята площ в периода на наблюденията (фиг. VI.36). Деформационните ѝ показатели значително надвишават приетата стойност. Максималните стойности на главната деформация E_1 са съсредоточени основно в близост до натрупания хвост.



Фиг. VI.36. Стойности на гл.деформация $E_1.10^{-3}$, сравнени с условно приетата допустима ($0.3.10^{-3}$) [75]

На фигура VI.37 са показани векторите на преместване в хоризонталната равнина към момента на последното измерване, спрямо началното.

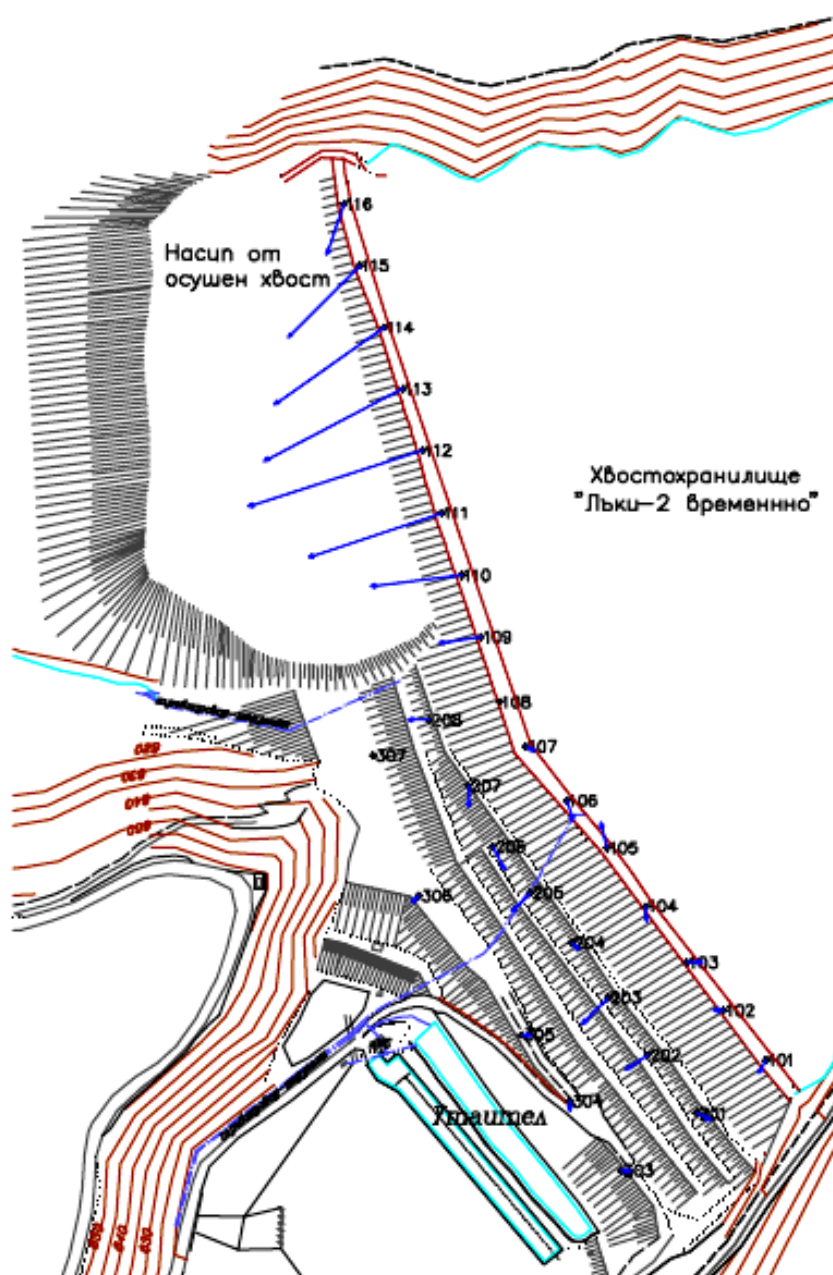
Хоризонталните премествания в посока успоредна на стената на това съоръжение не са от съществена значимост. Получените стойности за повечето от наблюдаваните репери са в границите на точността на измерванията. Малко по-завишени са те за точките, които са разположени в западната част на стената.

По отношение на хоризонталните премествания, перпендикулярно на стената, резултатите са съвсем различни. От момента на постепенно увеличение на натрупания до стената хвост тези премествания, за реперите по короната (от № 108 до № 116), постоянно увеличават стойностите си. Към датата на

последното измерване те достигат 27 mm в посока въздушната страна на стената.

За другите две наблюдателни линии максималните стойности са около 6-7 mm, постоянни по цялата дължина на стената.

На фигура VI.37 ясно се виждат векторите на преместване в хоризонталната равнина на запазените репери по стената. В зоната на репери 109-116 ориентацията и относителните размери на преместванията определено посочват причината за възникналите промени в състоянието на стената, а именно непрекъснато увеличаващият се обем на натрупвания хвост.



Фиг. VI.37. Вектори на преместване в хоризонталната равнина [75]

От така извършеното изследване и получените данни от измерванията може да се направят следните изводи и препоръки:

1. Извършването на регулярни наблюдения за следене устойчивостта на стената на хвостохранилището и последващ анализ на получените резултати трябва да осигури неговата безопасна и екологично издържана експлоатация.

2. Стойностите на главните деформации E_1 са почти изцяло положителни (опън) върху цялата площ на стената, с посока към въздушната ѝ страна. В някои участъци значително надвишават условно приетата допустима хоризонтална деформация.

3. Зоната с отрицателни стойности на E_1 (натиск) непрекъснато увеличава своята площ и обхваща участъка на короната в северозападната част на съоръжението.

4. Установените премествания и деформации във вертикалната и хоризонталната равнина показват, че съществува деформационен процес. Определяща роля за неговото развитие има натрупването на хвост в близост и върху северозападната част на стената на съоръжението.

5. В тази връзка е необходимо провеждането на консултации със специалисти конструктори и при необходимост коригиране на проекта за развитие и поддържане на хвостохранилището.

6. От маркшайдерска гледна точка е необходимо да се разшири обхвата на наблюдателната станция и измерванията да продължат. По този начин ще може да се определи зоната на влияние на деформационния процес както и скоростта на неговото изменение. Ще се прогнозират опасните зони и моменти на поява на стойности, надвишаващи критичните за съоръжението. Въз основа на тези прогнози ще се предприемат мерки за осигуряване на безопасното състояние на съоръжението и неговата дълговременна и безопасна експлоатация.

Получените резултати в показаните примери показват, че за изследване на деформационното състояние на скалния масив и на изработките в него, може да се използват маркшайдерските методи за измерване и анализ. Чрез тях се доказва начина на деформиране на масива, подложен на влиянието на минни работи.

Заклучение

Маркшайдерското осигуряване на минното производство е от основно значение за правилното и безопасно провеждане на минно-добивните дейности. В нашата страна, в последните години, бяха въведени високопроизводителни минни технологии. Производството се провежда с ускорени темпове, което налага и съответни изисквания към маркшайдерското обслужване, и определя неговата актуалност и значимост.

В монографичния труд са разгледани видовете обекти на минно-добивна дейност. Представени са маркшайдерските дейности при проучване, проектиране, строителство и експлоатация на минно-добивните предприятия.

Разгледани са „класическите“ и съвременни методи, технологии и средства в маркшайдерското осигуряване при разработването на находища на подземни богатства.

Представени са теоретичните основи на маркшайдерските работи, някои възможности за обработка и интерпретация на резултатите от измерванията, както и различни методи при изучаване на деформационното състояние на скалния масив.

Приведени са примери от изпълнени практически задачи, свързани с различни маркшайдерски дейности.

Минно-добивните работи нерядко се водят при сложни геоложки и минно-технически условия. Много често маркшайдерските измервания са затруднени вследствие на различни технологични процеси. Практическото изпълнение на поставените задачи изисква определени навици, умения, опит и съобразителност. Съвременните технологии и измервателна апаратура осигуряват висока точност, бързина при работа, нагледност, обективност и надеждност на получените резултати, позволяват вземането на правилните и ефективни решения. Но маркшайдерството не се изчерпва с измерване, изчисляване на обеми и изчертаване. След получаване на данните от измерванията (графични или числени) следва отговорен етап на анализ и проектиране, в който маркшайдерът е водещ специалист.

Новите технологии за заснемане на обектите, обработка, съхранение и представяне на информацията увеличават възможностите за изграждане на гъвкава, цялостна и достъпна информационна система на минно-добивните предприятия. Маркшайдерските знания заемат определящо място в изграждането и поддържането на тази система и обезпечаването на всеки един етап от минната дейност.

Литература

1. Александров, Б., Г. Кючуков. Експериментално определяне на стойността на коефициента на вертикална рефракция за района на УОБ „Веринско”. Сп. Геомедия, бр. 5, 2013.
2. Атанасов, С. Теория на математическата обработка на геодезическите измервания, Техника, София, 1988.
3. Бакалов П., Р. Янева, Д. Тонков, С. Бакъшева, Е. Кръстанов. Ръководство за упражнения по геодезия. София, 2002.
4. Бегновска, М. Методи и средства за маркшайдерско заснемане на недостъпни повърхнини. Дисерт. труд. МГУ „Св. Иван Рилски“, София, 2018.
5. 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.
6. Бегновска, М., П. Савов. Експериментални резултати при безпризмено измерване с лазерен далекомер. Сп. Геология и минерални ресурси, София, 2014, № 9, с. 18-22. ISSN 1310-2265.
7. Бегновска, М., П. Савов. Експериментално измерване на разстояния с лазерен далекомер при наличие на аерозол по трасето. Сп. Геология и минерални ресурси (София), 2015, № 6, с. 31-33. ISSN 1310-2265.
8. Бегновска, М., П. Савов. Анализ на резултати от измерване на разстояния с лазерен далекомер до група образци с различни отражателни характеристики. XIII Национална конференция с международно участие по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 01 – 05 септември 2015, Варна, България, с. 198-204. ISSN 1314-8877.
9. 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.
10. 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.

11. Бегновска, М., Ал. Цонков, В. Христов. Експериментални изследвания за определяне обема на отработени пространства в подземни минни изработки чрез маркшайдерски измервания. Шеста национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, с. 195-201. ISSN 1314-7056.
12. 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.
13. Бегновска, М. Възможности за приложението на изкуствен интелект в маркшайдерското дело – методи за заснемане на подземни минни изработки. Седма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 05 – 08 октомври 2020, Девин, България, с. 85-90. ISSN 1314-7056.
14. Белоликов, А. Н., Б. Н. Земисев, Г. А. Кротов, Г. И. Кузнецов, В. И. Лавров, В. Б. Лебедев, С. П. Павлов, И. И. Стенин, В. С. Симонович, А. Б. Хлебников. Маркшейдерское дело (часть 2). Под ред. И. Н. Ушакова. М., „Недра“, 1989.
15. Вальд, А. Последовательный анализ, перевод с англ., под редакцией Б. А. Севастьянова, Гос. Изд. Физико-мат. литературы, Москва, 1960.
16. Велев, К. Общо маркшайдерство с анализ на маркшайдерските работи. Техника. София. 1965.
17. Венедиков, М., С. Рибаров, Й. Желязков, Г. Димитров. Коефициент на земната рефракция в България и неговия дневен ход, ВЛТИ, Научни трудове – том VI, 1958.
18. Воронков, Н., Н. Ашимов. Гироскопическое ориентирование, Изд. Недра, Москва, 1973.
19. Вълков, М. Геомеханични модели в минното дело. ИК „Св. Ив. Рилски“, София, 2011.
20. Върбанов, Хр., А. Тепавичаров, Т. Ганев. Приложна теория на еластичността и пластичността, Техника, София, 1992.
21. Геоложки доклад за находище „Крушев дол“, 2018.
22. Господинова, В., Л. Делийска. Реализиране на основни фотограметрични процеси при използване на безпилотни летателни апарати. Сп. Геология и минерални ресурси. София, 2015, 10, с. 31-35.

23. Господинова, В., П. Георгиев, П. Иванов. Създаване на числен фотограметричен 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, с. 155-161. ISSN 1314-7056.
24. Господинова, В. Класификация на приложните направления на числените фотограметрични модели в подземния добив. Сп. Минно дело и геология, София, 2019, № 1-2, с. 18-25. ISSN 0861-5713.
25. Господинова, В., П. Георгиев, П. Иванов. Създаване на числен фотограметричен модел в подземен рудник. Сп. Геодезия, картография, земеустройство, кн. 1-2, 2019, с. 13-16. ISSN 0324-1610.
26. Господинова, В., М. Бегновска, Р. Петков. Изследване възможностите на безпилотното въздушно снимане при решаване на геодезически задачи. Сп. Геодезия, картография, земеустройство, София, 1-2, 2017, с. 23-26. ISSN 0324-1610.
27. Господинова, В., М. Бегновска, Ал. Цонков, Р. Сираков. Възможности за приложение на различни методи за изследване на деформационното състояние на скалния масив по данни от маркшайдерски наблюдения, Сборник доклади от XVI Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 06 – 10 септември 2021, Варна, България, с. 153-159. ISSN 2535-0854.
28. Господинова, В., М. Бегновска. Изучаване поведението на скалния масив при камерно-стълбова система на разработване в рудни находища чрез маркшайдерски наблюдения. XXXI Международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области“, 04 – 05 ноември 2021, София, с. 178-187. ISSN 2367-6051.
29. Дерменджиев, Кр. Лекционен курс „Въведение в минното дело“. МГУ „Св. Иван Рилски“, София.
30. Димитров, Д. Необходима точност на измерванията при определяне на деформации на инженерни съоръжения чрез геодезически методи. Сп. Геодезия, картография, земеустройство, бр. 6, 1979.
31. Есиков, Н. П. Методы кинематического анализа современных движений земной поверхности. Труды института геологии и геофизики, СО АН СССР, Выпуск 543, „Геофизические методы в региональной геологии“, Новосибирск, Наука, 1982, с. 136-141.

32. Закон за подземните богатства. Обн. ДВ. бр. 23 от 12 март 1999 г., изм. и доп. ДВ. бр. 17 от 26 Февруари 2021 г.
33. Иванова, И. Методи за снимка на големи подземни празни пространства. Дисерт. труд. МГУ „Св. Иван Рилски“, София, 1992.
34. Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи, София, 1980.
35. Инструкция за създаване и поддържане на геодезически мрежи с местно предназначение, Главно управление по геодезия, картография и кадастър, 1986.
36. Каркищенко, Н. Н. Альтернативы биомедицины, Том 1. Основы биомедицины и фармакомоделирования, Межакадемическое издательство „Вооружение. Политика. Конверсия“, Москва, 2007.
37. Кротов, Г. А. Маркшейдерская съемка очистных и нарезных горных выработок. М., Углетехиздат, 1956.
38. Кузнецов, Г. Н., К. А. Ардашев, Н. А. Филатов и др. Методы и средства решения задач горной геомеханики, Москва, „Недра“, 1987.
39. Маждраков, М., Ил. Иванова. Геодезия. Изд. на ШУ „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2014.
40. Маждраков, М. Маркшейдерство. Методика на маркшейдерските работи в откритите рудници. Унив. изд. „СВ. Климент Охридски“, София, 2007.
41. Маждраков, М., Д. Бенов, Н. Вълканов. Методът Монте Карло. Инженерни приложения, АСМО Academic Press, София, 2018. ISBN 978-619-90684-1-0.
42. Маждраков М., Д. Бенов, Г. Трапов. CADMin Автоматизирано планиране на развитието на минните работи в откритите рудници. ИК „Св. Иван Рилски“, София, 2013.
43. Маждраков, М., Д. Бенов, И. Иванов. Прогнозиране на грешката на маркшейдерските измервания с метода „Монте Карло“. Трета национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 08 – 11 октомври 2012, Девин, България.
44. Макаров, А. Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. „Горная книга“, Москва, 2006, 387 стр.
45. Манов, А. Статистика със SPSS, Тракия-М, София, 2001.
46. Маринов И. Снимка на недостъпни празни пространства с използване на лазерен лъч в рудник „Плакалница“, сп. Рудодобив, кн. 8, 1977.
47. Миланова, В. Приложение на жирокопическото ориентиране в маркшейдерското осигуряване на подземното разработване на находищата и подземното строителство. Дисерт. труд. МГУ „Св. Иван Рилски“, София, 2018.

48. Миланова, В., М. Минчев. Жироскопичен контрол на ориентирането на подземни изработки. Пета национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 04 – 07 октомври 2016, Девин, България, с. 96-100. ISSN 1314-7056.
49. Минчев, И. Т. Механика на непрекъснатите среди, София, Техника, 1980.
50. Минчев, М., И. Здравчев, И. Георгиев. Основи на приложението на GPS в геодезията, София, УАСГ, 2005.
51. Михалев, С., Р. Димитров, Хр. Добрев. Приложение на безпилотни летателни апарати при подземен добив на полезни изкопаеми. Седма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 05 – 08 октомври 2020, Девин, България, с. 100-106. ISSN 1314-7056.
52. Наредба за управление на минните отпадъци, в сила от 19.01.2016 г. Приета с ПМС № 1 от 07.01.2016 г. Обн. ДВ. бр. 5 от 19 Януари 2016 г., изм. и доп. ДВ. бр. 58 от 23 Юли 2019 г.
53. Парашкевов, Р., Б. Арnaudов, Д. Стоянов. Основи на минното дело. ДИ „Техника“, София, 1989.
54. Патронеv, Ил. Строителство на минни изработки. Изд. на МГУ, София, 1998.
55. Петров Д., П. Михайлов. Съвременни технически средства и технологии за събиране на геопространствени данни за местността. Унив. изд. „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2014.
56. Петров, Д. Безпилотните летателни комплекси за фотограметрични цели детска играчка или поредното достижение на иновативните технологии. Сп. Геомедия, София, 2015, 1, с. 32-39.
57. Прокопов, Я. Методология за анализ на деформации по бордовете и насипищата на открити рудници (на примера на рудник „Асарел-Медет“). Дисерт. труд. МГУ „Св. Иван Рилски“, София, 2021.
58. Сираков, Р. Изследване на деформационното състояние на скалния масив около минни изработки чрез маркшайдерски измервания за условията на р-к „Джурково“, „ЛЪКИ ИНВЕСТ – ДЖУРКОВО“ ЕООД, Дипломна работа, София, 2021.
59. Стоилова, С. Учебно пособие по аналитична геометрия, София, 2013.
60. Тадеев, А. А. О картографическом смысле инвариантных характеристик деформации земной поверхности, Геодезия, картография и аэрофотосъемки, № 43, с. 117-121.

61. Тарди, П., Ж. Лаклавер. Геодезия, том 1, Триангулация, перевод с фр. Издательство геодезической литературы, Москва, 1960.
62. Техническа инструкция за извършване на измервателните маркшайдерски работи при проучването, строителството и разработването на находищата на полезните изкопаеми, София, Техника, 1969.
63. Трапов, Г. Приложение на статистическото моделиране за решаване на задачи при добива на полезни изкопаеми. Дисерт. труд. МГУ „Св. Иван Рилски“, София, 2012.
64. Ушаков И. Н., Д. А., Казаков, Г. А., Кротов, В. И. Лавров, М. П. Пятлин, Н. И. Стенин, К. С. Ворковастов, В. А. Голованов. Маркшейдерское дело (часть 1). Под ред. И. Н. Ушакова. М., „Недра“, 1989.
65. Харалампиев, К. SPSS за напреднали, Унив. изд. „Св. Кл. Охридски“, С., 2007.
66. Цонков, Ал. Маркшайдерство при подземно разработване на находища (кратък курс). ИК „Св. Иван Рилски“, София, 2019, 179 стр. ISBN 978-954-353-384-8.
67. Цонков, Ал. Геомеханични изследвания чрез маркшайдерски измервания. ИК „Св. Иван Рилски“, София, 2019, 140 стр. ISBN 978-954-353-384-1.
68. Цонков, Ал. Изследване на геомеханични процеси чрез маркшайдерски измервания. Четвърта национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 23 – 26 септември 2014, Девин, България, с. 147-155. ISSN 1314-7056.
69. Цонков, Ал., М. Бегновска. Технология на маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на целици при добив на оловно-цинкова руда за условията на р-к „Джурково“, „ЛЪКИ ИНВЕСТ – ДЖУРКОВО“ ЕООД. XIV Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 03 – 07 юли 2017, Варна, България, с. 292-298. ISSN 2535-0854.
70. Цонков, Ал., М. Бегновска. Следене устойчивостта на скалния масив чрез маркшайдерски измервания при добив на оловно-цинкова руда за условията на р-к „Крушев дол“, „ГОРУБСО – МАДАН“ АД. VIII Международна конференция по геомеханика, 02 – 06 юли 2018, Варна, България, с. 313-319. ISSN 1314-6467.
71. Цонков, Ал., М. Бегновска. Определяне чрез маркшайдерски измервания на деформационното състояние на целици при добив на оловно-цинкова руда за условията на р-к „Джурково“, „ЛЪКИ ИНВЕСТ – ДЖУРКОВО“ ЕООД. Шеста национална научно-техническа конференция с международно участие

- „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, с. 147-154. ISSN 1314-7056.
72. Цонков, Ал., М. Бегновска. Изучаване на деформационното състояние на скалния масив чрез маркшайдерски наблюдения при добив на оловно-цинкова руда. Сп. Геология и минерални ресурси, София, 6-7, 2018, с. 30-34. ISSN 1310-2265.
73. Цонков, Ал., М. Бегновска. Изследвания върху коефициента на рефракция при целогодишни маркшайдерски наблюдения за условията на открит рудник. XV международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 03 – 07 юни 2019, Варна, България, с. 228-236. ISSN 2535-0854.
74. Цонков, Ал., М. Бегновска. Анализ на маркшайдерски наблюдения за определяне изменението на пространственото положение на наблюдавани точки от бортове на открит рудник за продължителен период от време. XV международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 03 – 07 юни 2019, Варна, България, с. 252-260. ISSN 2535-0854.
75. Цонков, Ал., М. Бегновска, Ст. Пайталов. Резултати и анализ на експериментални изследвания чрез маркшайдерски измервания за следене устойчивостта на стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД. IX Международна конференция по геомеханика, 07 – 11 септември 2020, Варна, България, с. 225-233. ISSN 1314-6467.
76. Цонков, Ал., М. Бегновска, Ст. Пайталов. Оценка на възможността за приложение на някои геодезични задачи при наблюдения за устойчивостта на стената на хвостохранилище „Лъки – 2 временно“ към „ЛЪКИ ИНВЕСТ“ АД. Седма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 05 – 08 октомври 2020, Девин, България, с. 91-99. ISSN 1314-7056.
77. Brent, A Slaker, Erik Westman, John Ellenberger, Michael Murphy. Time–Lapse Photogrammetric Monitoring of An Underground Stone Mine, 34th International Conference on Ground Control in Mining, July 28 - 30, 2015, pp. 1-5.
78. Brent Allan Slaker. Monitoring Underground Mine Displacement Using Photogrammetry and Laser Scanning, PhD, Blacksburg, VA, 2015.
79. Brent A. Slaker, Khaled M. Mohamed. A practical application of photogrammetry to performing ribcharacterization measurements in an underground coal mine using a DSLR camera, International Journal of Mining Science and Technology 27, 2017, pp. 83–90.
80. Gospodinova, V. Research on creating a digital photogrammetric model by using different number of control and checkpoints, International scientific conference of

- UMG „St. Ivan Rilski“, 18 October 2019, Sofia. Journal of mining and geological sciences, vol. 62, Number 2, 2019, pp. 29-33. ISSN 2682-9525.
81. Hirt, C., S. Guillaume, A. Wisbar, B. Bürki, H. Sternberg. Monitoring of the refraction coefficient in the lower atmosphere using a controlled setup of simultaneous reciprocal vertical angle measurements, Journal of Geophysical Research, vol. 115, 2010.
82. Pflipsen Bettina. Volume computation - a comparison of total station versus laser scanner and different software, Master's Thesis in Geomatics, University of Gävle, Department of Technology and Built Environment, November, 2006.
83. R. Höglund, P. Large. Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer, Trimble Integrated Surveying Group, Westminster, Colorado, USA, 2003.
84. Zaitun Time Series – User Manual, 2007.
85. uacg.bg/filebank/att_5655.pdf
86. <https://www.matematika.bg/>
87. <https://www.solitech.bg/bg/products/3d-lazerni-skeneri/trimble-3d-scanner-tx8>
88. <https://www.solitech.bg/bg/products/avtomatizirani-robotizirani-totalni-stancii/robotic-total-station-s9-s9hp>
89. <https://www.directindustry.com/prod/trimble/product-14795-1721182.html>
90. https://www.kolida.it/contents/en-us/d16_Prism__Systems_Prism.html
91. <http://sirovision.com/underground-stereo-camera-unit/>
92. <https://pages.dataminesoftware.com/mk3-stereo-camera>
93. http://m.miningweekly.com/article/underground-mapping-drone-can-enhance-safety-surveyor-2018-04-27/rep_id:3861
94. <https://www.emesent.io/industries/mining/>
95. <https://www.exyn.com/mining>
96. <https://geomapix.wordpress.com/>
97. <http://www.mine-engineer.com>
98. <https://www.teledyneoptech.com/en/products/static-3d-survey/cms/>
99. <https://www.nctechimaging.com/capture/istar-fusion/>
100. <https://bg.online-almanac.com/4745199-foucault-jean-bernard-lon>
101. <https://www.geo-instrument.ru/products/teodolit-carl-zeiss-theo-010b/>
102. https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%85%D0%B0%D0%BC_%D0%92%D0%B0%D0%BB%D0%B4
103. <https://bg.online-almanac.com/4745199-foucault-jean-bernard-lon>

доц. д-р инж. Милена Дончева Бегновска

СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА В
МАРКШАЙДЕРСКОТО ОСИГУРЯВАНЕ НА МИННИ ОБЕКТИ

Катедра „Маркшайдерство и геодезия“
Минно-Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“

Българска
Първо издание

Рецензент:
проф. д-р Георги Стоянчев

Научен редактор:
доц. д-р Александър Цонков

Формат 60/90/16
Печатни коли 9,5

Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“
София, 2024

ISBN (print): 978-954-353-445-6
ISBN (online): 978-954-353-485-2



МИННО-ГЕОЛОЖКИ
УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. ИВАН РИЛСКИ“

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“
на МГУ „Св. Иван Рилски“, София

mgu.bg