ზ. ლაგვილავა

მაკაშვილიძეები

ნაწილი I

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სტუდენტებისათვის

გამომცემლობა „განათლება"
თბილისი — 1978

ნ პ 1
622.1
ლ 138

წინამდებარე სახელმძღვ ნელო მარკშეიდერიის კურსის პირველი ნაწილია. მასში პროგრამის შესაბამისად გაშუქებულია მარკშეიდერული სამსახურისა და მარკშეიდერიის დისციპლინის ამოცანები; მარკშეიდერული სამუშაოები მარგი წიაღისეულის საბადოების მიწისქვეშა მეთოდებით დამუშავების დროს: სამუშაოები გვირაბების გაყვანისას; ჰორიზონტული და ვერტიკალური დამაკავშირებელი აგმგმები; მიწისქვეშა პოლიგონომეტრია და ნიველობა; დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების აგეგმვა; მარკშეიდერული აზომვები და მოპოვებული მარგი წიაღისეულის აღრიცხვასთან დაკავშირებული საკითხები.

წიგნი ქართულ ენაზე პირველად გამოდის. იგი განკუთვნილია სახელმძღვანელოდ სპი-ს სამთო ფაკულტეტის მარკშეიდერიის სპეციალობის სტუდენტებისათვის.

Л 30702—073 / М—602 (03) 78 153—78 © გამომცემლობა „განათლება“, 1978

თავი I

შესავალი

1. 1. მარკშეიდერიის საგანი, ამოცანები და კავშირი მოსაზღვრე დისციპლინებთან

სამარკშეიდერო საქმე, ანუ მარკშეიდერია, სამთო მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საინჟინრო დარგია.

მარკშეიდერული სამუშაოები სრულდება მარგი წიაღისეულის საბადოების ათვისებ-ს ყველა ეტაპზე: 1)ძიების; 2) სამთო საწარმოს დაპროექტებისა და სამთო სამუშაოების დაგეგმვის; 3) სამთო საწარმოს მშენებლობის; 4) საბადოს ექსპლოატაციისა და 5) შახტის ლიკვიდაციის დროს.

მარგი წიაღისეულის საბადოების ძიების დროს მარკშეიდერს ევალება დაპროექტებული საძიებო გვირაბების (ჭაბურღილები, შურფები, თხრილები, შტოლნები და შახტები) დაკვალვა ადგილზე; ყველა გაყვანილი სამთო გვირაბის აგეგმვა და მათი გეგმის შედგენა; საბადოს წოლის ფორმისა და თვისობრივი მაჩვენებლების სივრცობრივი განაწილების მახასიათებელი გრაფიკების (გეგმები, ჭრილები) შედგენა; მარგი წიაღისეულის მარაგის გამოთვლა და სხვ.

სამთო საწარმოს დაპროექტებასა და სამთო სამუშაოების დაგეგმვაში მარკშეიდერი უშუალო მონაწილეობას ღებულობს და აკონტროლებს საბადოს ცალკეული უბნების თანამიმდევრობით დამუშავებას, რაც სამთო სამუშაოების უსაფრთხოდ და მცირე დანაკარგებით წარმართვის საწინდარია.

სამთო საწარმოს მშენებლობის დროს მარკშეიდერს ადგილზე გადააქვს პროექტის გეომეტრიული ელემენტები (ზედაპირულ ნაგებობათა ღერძები, ჭაურის ცენტრი და ღერძები); ახდენს ჭაურის კედლების პროფილირებას; აკონტროლებს ჭაურში გამაგრების, განმბრჯენებისა და სხვა ელემენტების დაყენების სისწორეს; განსაზღვრავს ჭაურის მიმდებარე გვირაბების შეჭრის ადგილს, აძლევს მათ მიმართულებას და სისტემატურ ზედამხედველობას უწევს პროექტის მონაცემთა დასაშვები სიზუსტით აგებას მშენებლობის პროცესში; მიმართულებას აძლევს შემხვედრი სანგრევებით გასაყვან გვირაბებს; აგეგმავს აშენებულ ნაგებობებსა და მიწისქვეშა გვირაბებს; ამზადებს სამთო საწარმოს საექსპლოატაციოდ გადასაცემ საჭირო მარკშეიდერულ დოკუმენტაციას.

მარგი წიაღისეულის საბადოების ექსპლოატაციის პერიოდში მარკშეიდერულ სამსახურს ეკისრება მთელი რიგი მოვალეობა-

ნი, რომელთა ჯეროვნად შესრულებაზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული როგორც სამთო სამუშაოების სწორი, რაციონალური და უსაფრთხო მართვა, ისე წიაღისეულის ამოღების ჯეგმის შეუფერხებელი შესრულება. ამათგან უმთავრესია:

1) ზედაპირული ნაგებობებისა და მიწისქვეშა გვირაბების დაკვალვისა და აგეგმვისათვის საჭირო საყრდენი პუნქტების სისტემის შექმნა ზედაპირზე და მიწისქვეშა გვირაბებში;

2) ჰორიზონტული და ვერტიკალური დამაკავშირებელი სამუშაოების წარმოება ზედაპირულ და მიწისქვეშა აგეგმვებს შორის გეომეტრიული კავშირის დასამყარებლად;

3) აგეგმვების წარმოება როგორც ზედაპირზე, ისე მიწისქვეშა გვირაბებში სათანადო გეგმების შედგენისა და არსებული გეგმების კორექტირება-შევსებისათვის;

4) განაზომთა სათანადო მათემატიკური ხერხებით დამუშავება და გამოსახვა ნათვალთა გრაფიკულად გამოსახვა;

5) ნაგებობათა მშენებლობის, სამთო-საექსპლოატაციო და საძიებო გვირაბების გაყვანისა და ამწევი კომპლექსის გეომეტრიული სქემის შემოწმებასთან დაკავშირებული დაკვალვითი და აგეგმვითი სამუშაოების წარმოება;

6) დაპროექტებული სამთო გვირაბების შეჭრის ადგილის განსაზღვრა და გაყვანის პროცესში მათი საპროექტო მიმართულების, ქანობის, გაბარიტების, გამაგრების პასპორტის დაცვის ზედამხედველობა;

7) საბადოს შესახებ არსებული გეოლოგიურ-მარკშეიდერული მასალების შეგროვება, დამუშავება-განზოგადება და მათ საფუძველზე ბუდობის სტრუქტურისა და თვისობრივი მაჩვენებლების მახასიათებელი სამთო-გეომეტრიული გრაფიკების შედგენა;

8) მარგი წიაღისეულის მარაგის ოპერატიული გამოთვლა და დამუშავების პროცესში მათი მოძრაობის ცვალებადობის აღრიცხვა სამთო საწარმოს მარაგით უზრუნველყოფასთან დაკავშირებით; დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვა და მათ შესამცირებლად ღონისძიებათა გატარება;

9) მარგი წიაღისეულის ამოღების ოპერატიული აღრიცხვის კონტროლი;

10) მიწისქვეშა სამთო სამუშაოების გავლენით გამოწვეული ქანთა ძვრის პრობლემის კვლევა და ძვრის მავნე გავლენისაგან ზედაპირული და მიწისქვეშა ობიექტების დაცვასთან დაკავშირებული საკითხების გადაწყვეტა;

11) აქტიური მონაწილეობის მიღება სამთო სამუშაოების კვარტალური, წლიური და პერსპექტიული გეგმების შედგენასა და რეალიზაციაში;

12) სამთო მინაკუთვნების გამოყოფის გაფორმებისა და მათი საზღვრების გეგმებზე, ჭრილებსა და ადგილზე გადატანასთან დაკავშირებული სამუშაოების შესრულება და სხვ.

შახტის (ან მაღაროს) ლიკვიდაციის დროს მარკშეიდერი ვალდებულია მოახდინოს სამთო გვირაბების საბოლოო აგეგმვა; შეავსოს მარკშეიდერული გეგმები; წესრიგში მოიყვანოს ყველა ჟურნალი და სალიკვიდაციო საწარმოს დოკუმენტები გადასცეს არქივს მუდმივ შესანახად, რადგან ჩატარებული სამთო სამუშაოების მარკშეიდერული გეგმები შეიცავს მთელ რიგ ისეთ ცნობებს, რომელთა ცოდნა აუცილებელია ლიკვიდირებული შახტის მეზობლად ახალი სამთო საწარმოს დაპროექტებისათვის. თუ ძველ მარკშეიდერულ გეგმაზე არ არის ნაჩვენები ან არასწორად არის გამოსახული ძველი სამთო გვირაბები, ეს ფაქტი მისი შედგენიდან მრავალი წლის შემდეგ შეიძლება გახდეს სერიოზული ავარიისა და მსხვერპლის მიზეზი. ამასთან დაკავშირებით პროფ. ი. ბახურინი სამართლიანად მიუთითებდა: „გეგმის შემდგენელს უნდა ახსოვდეს, რომ იგი პასუხისმგებელია არა მარტო აწმყოს, არამედ მომავალი თაობის წინაშეც“.

სამუშაოთა ჩამოთვლილი სახეობებით არ ამოიწურება მარკშეიდერის ყველა ამოცანა. მისი მოვალეობა უფრო მრავალფეროვანი, საინტერესო და ფართოა. საბადოს უსაფრთხო და რენტაბელური დამუშავება წარმოუდგენელია, თუ სამარკშეიდერო საქმე არ არის დაყენებული ჯეროვან სიმაღლეზე. მარკშეიდერი სამთო საწარმოს საუკეთესო მცოდნე და გზის მაჩვენებელი უნდა იყოს.

აღსანიშნავია, რომ ტერმინი „მარკშეიდერია“, ანუ „სამარკშეიდერო საქმე“ წარმოშობილია გერმანული სიტყვისაგან „**Markscheidekunst**“, რაც სიტყვასიტყვით საზღვრების დადგენის ხელოვნებას ნიშნავს[1]. ასეთი სახელწოდება მიუთითებს მხოლოდ მის წარმოშობის ხასიათზე და, როგორც ზემოთ ვნახეთ, არ შეესაბამება მარკშეიდერიის თანამედროვე შინაარსს. უფრო სწორი იქნებოდა „მარკშეიდეოული სამუშაოები“ შეცვლილიყო მეცნიერულად ზუსტი ტერმინით—„სამთო გეომეტრიული სამუშაოებით“, როგორც ამას სამთო საქმის განვითარების სხვადასხვა პერიოდში ხმარობდნენ გამოჩენილი რუსი მეცნიერები მ. ლომონოსოვი, პ. ლეონტოვსკი, პ. სობოლევსკი და სხვ. მაშინ შესაბამის სპეციალისტებს ვუწოდებდით „სამთო გეომეტრს“ „მარკშეიდერის“ ნაცვლად, მაგრამ ისტორიულად მტკიცედ დამკვიდრებული ტერმინების—„მარკშეიდერია“, „სამარკშეიდერო საქმე“ — შეცვლა ჯერჯერობით ვერ განხორციელდა.

სამთო საწარმოს მარკშეიდერული სამსახურის ზემოხსენებული ამოცანების შესაბამისად სამარკშეიდერო საქმის თანამედროვე განსაზღვრება შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ: მარკშეიდერია არის მეცნიერების დარგი, რომელიც შეისწავლის სამთო-საექსპლოატაციო სივრცეებისა და საზღვრების, ნაგებობათა, დანადგართა და სამთო გამონამუშევართა აგეგმვებისა და მიღებული მასალის გრაფიკულად გამოხატვის, საბადოთა კვლევა-ძიების, სამთო საწარმოთა დაპროექტების, მშენებლობის, ექსპლოატაციისა და ლიკვიდაციის დროს წამოჭრილი გეომეტრიული ამოცანების გადაწყვეტისა და შესრულების მეთოდებს.

სამთო საწარმოს მარკშეიდერული სამსახურის ზემოჩამოთვლილი ამოცანები ადრე მარკშეიდერიის კურსში განიხილებოდა. თანამედროვე ეტაპზე მარკშეიდერია გადაიქცა ფართო მნიშვნელობის კომპლექსურ მეცნიერებად, სადაც სრულიად მკაფიოდ განისაზღვრა კვლევის სამი მიმართულება: საკუთრივ „მარკშეიდერია“, „წიაღის (სამთო) გეომეტრია“ და „ქანთა ძვრა სამთო სამუშაოების გავლენით“.

წიაღის გეომეტრიაში შეისწავლება მე-7, მე-8 და მე-9 მუხლში მოყვანილი საკითხები, სახელდობრ: მინერალური ნედლეულის ფორმა, ზომები, სივ-

---

[1] **Mark** — საზღვარი, მიჯნა; scheiden — დადგენა; **Kunst** — ხელოვნება.

რცობრივი განლაგება, წოლის პირობები; მარგი წიაღისეულის სტრუქტურული და თვისობრივი მაჩვენებლების გრაფიკული გამოსახვის მეთოდიკა; მარაგის კლასიფიკაცია და მათი გამოთვლის ხერხები; საბადოს ექსპლოატაციისას მოპოვებული მარგი წიაღისეულის, დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვასთან დაკავშირებული საკითხები; გეოლოგიურ-საძიებო და სამთო საქმის სხვადასხვა ამოცანების გადაწყვეტის გეომეტრიული მეთოდები.

მეცნიერება სამთო ქანების ძვრის შესახებ შეისწავლის მე-10 მუხლში მოყვანილ საკითხებს, კერძოდ: იკვლევს მოცემულ სამთო-გეოლოგიურ პირობებში მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით ქანთა ძვრის პროცესის კანონზომიერებებს; ადგენს ძვრის მავნე გავლენისაგან ზედაპირული ნაგებობებისა და ბუნებრივი ობიექტების დაცვის ღონისძიებებს და მასთან დაკაყშირებით დასატოვებელი დამცავი მთელანების ოპტიმალურ ზომებს; სწავლობს სამთო წნევის პრობლემებს.

მარკშეიდერიას მჭიდრო კავშირი აქვს მთელ რიგ მეცნიერულ დისციპლინებთან, პირველ რიგში კი გეოდეზიასთან. მარკშეიდერული აგეგმვის საფუძვლის შექმნა და თვით აგეგმვის მეთოდები ძლიერ ახლოა გეოდეზიური საფუძვლის შექმნისა და ტოპოგრაფიული აგეგმვის მეთოდებთან. ამავე დროს მარკშეიდერული ამოცანების უმრავლესობა წყდება სამთო-საექსპლოატაციო და გეოლოგიური პირობების გათვალისწინებით. ამიტომ მარკშეიდერიის დარგის მუშაკი ღრმად განსწავლული უნდა იყოს როგორც გეოდეზიის, ისე სამთო საქმესა და გეოლოგიის ციკლში შემავალ დისციპლინებში.

სამარკშეიდერო საქმის საკითხების გადაწყვეტისას ფართოდ გამოიყენება მათემატიკა. ანალიზური და მხაზველობითი გეომეტრიის, დიფერენციალური გეომეტრიის, მათემატიკური სტატისტიკის, ალბათობათა თეორიისა და მათემატიკის სხვა ნაწილის ცოდნის გარეშე არ შეიძლება მარკშეიდერიის კურსის ათვისება.

შესრულებული გაზომვების სიზუსტის შეფასებისათვის გეოდეზიის მსგავსად მარკშეიდერიაში იყენებენ განაზომთა შეცდომების თეორიისა და უმცირეს კვადრატთა მეთოდის დებულებებს. მეცნიერების ეს დარგი როგორც გეოდეზიური, ისე მარკშეიდერული ცოდნის აუცილებელი ნაწილია.

ფიზიკის ძითითადი პრინციპების ბაზაზე შექმნილია მთელი რიგი მარკშეიდერული ხელსაწყოები და ინსტრუმენტები: მარკშეიდერული გიროკომპასები (გიროთეოდოლიტები), მიმართულების მაგეგმილებელი, მაგნიტური საორიენტირო ბუსოლი, ნიველირები, თეოდოლიტები და სხვ.

სამთო საწარმოს მარკშეიდერს უხდება მარკშეიდერული კვლევის ობიექტების გრაფიკულად გამოხაზვა და სათანადო გეგმებისა და ჭრილების შედგენა-გაფორმება. ამიტომ სამარკშეიდერო საქმეში სრულყოფილად შეისწავლება ტოპოგრაფიული და მარკშეიდერული ხაზვა კალიგრაფიითურთ.

დასასრულს შევნიშნავთ, რომ სამთო ინჟინერ-მარკშეიდერს სამთო საწარმოს გარდა წარჩინებით შეუძლია მოემსახუროს ზედაპირულ გეოდეზიურ აგეგმვებს, მეტროპოლიტენების, ჰიდროტექნიკური და სხვა სახის ნებისმიერი რთული ნაგებობის ნშენებლობას, გეოლოგიურ ძიებას, საპროექტო და სხვა ორგანიზაციებს. ამდენად მარკშეიდერია ფართო პროფილის სპეციალობაა.

1.2. მარკშეიდერიის განვითარების მოკლე ისტორია

მიწისქვეშა სამთო სამუშაოების აგეგმვის საწყისები მომდინარეობს შორეული წარსულიდან.

არსებობს მრავალი ფაქტი იმისა, რომ სამარკშეიდერო ხელოვნება წარმოშობილია ბევრად უფრო ადრე ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. ტურინში (იტალია) დაცულია პერგამენტი, რომელზედაც გამოსახულია ოქროს მაღაროს გვირაბები (1500 წ. ჩვენს წელთაღრიცხვამდე).

აგეგმვის ზოგიერთი პრიმიტიული მეთოდის აღწერა მოცემული აქვს სააგრძნეთის სწავლულს ჰერონ დიდს (II საუკუნე ჩვენს წელთაღრიცხვამდე).

ძველ რომში, ჯერ კიდევ 52 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, გაყვანილ იქნა დაახლოებით 6 კმ სიგრძის შტოლნა ტუცინის ტბიდან მდინარე ლირისისაკენ ჭარბი წყლების გადასაყვანად. სამუშაოები მიმდინარეობდა შემხვედრი გათხრებით შტოლნის ღერძზე გაყვანილი 40 შვეული და 70 დახრილი ჭაუ რიდან, რომელთა სიღრმე 80—120 მეტრს აღწევდა. როგორც ვხედავთ, ძველ რომაელებს ჰქონდათ ცოდნის საკმარისი ძარაგი მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირებისა და ჰორიზონტული და ვერტიკალური აგეგმვების შესახებ, მაგრამ საერთოდ ცნობილი არ არის თუ როგორ ვითარდებოდა გაზომვების ხელოვნება უძველეს პერიოდში. ამ საკითხის შესახებ უფრო ნათელი წარმოდგენა იქმნება XI—XII საუკუნეებიდან, ანუ სამთო საქმის შედარებით გეგმაზომიერი განვითარების დროიდან. ბუნებრივია, სამარკშეიდერო საქმე ვითარდებოდა სამთო საქმისა და გეოდეზიის განვითარებასთან ერთად.

მარკშეიდერიის განვითარებას ხელი შეუწყო კომპასის (ყიბლანი) გამოყენებამ, რომელიც გამოგონებული იყო ჩინეთში ჯერ კიდევ III საუკუნეში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. იგი ევროპაში გავრცელდა XI—XII საუკუნეებში. ამ პერიოდიდან მარკშეიდერული აგეგმვები უმთავრესად სრულდებოდა კომპასის საშუალებით. შემდგომში გავრცელდა ამ ხელსაწყოს გაუმჯობესებული კონსტრუქციები.

1556 წელს გამოქვეყნდა გერმანელი მეცნიერის გიორგი ბაუერის (გ. აგრიკოლა) შრომა: „სამთო საქმისა და მეტალურგიის შესახებ“. მასში განზოგადებულია სამთო საქმისა და მეტალურგიის დარგში გერმანიაში დაგროვილი გამოცდილება[1]. ამ შრომის მეხუთე თავში განხილულია მიწისქვეშა გვირაბების აგეგმვა კომპასით და მთელი რიგი სამთო-გეომეტრიული ხასიათის ამოცანები, რომლებიც გვხვდებიან მარგი წიაღისეულის საბადოების დამუშავების დროს.

1663 წელს გერმანიაში კონსტრუირებულ იქნა საკიდი (კიდული) ბუსოლი, რომელიც საკიდ ნახევარწრედთან ერთად დიდი ხნის განმავლობაში მარკშეიდერული აგეგმვების წარმოების ერთ-ერთ ძირითად ინსტრუმენტს წარმოადგენდა.

გამოჩენილი მეცნიერი მ. ლომონოსოვი (1711—1765) ითვლება რუსეთში სამთო საქმის ფუძემდებლად. 1763 წელს გამოცემულ მის შრომაში — „მეტალურგიის, ანუ სამთომადნო საქმის პირველი საფუძვლები“ — მოკლედ და მკაფიოდ გადმოცემულია ცნობები სამთო საქმისა და მეტალურგიის სა-

---

[1] უფრო ადრე, 1550 წელს, გ. ბაუერმა გამოაქვეყნა წიგნი „სამთო საქმის შესახებ“, სადაც, გარდა სამთო საქმისა, განზოგადებული იყო გამოცდილებანი სამარკშეიდერო საქმეში.

კითხებზე. ამ შრომის მესამე ნაწილის მეხუთე თავში — „მაღაროების გაზომვის შესახებ“ — მ. ლომონოსოვს განხილული აქვს მარკშეიდერული (სამთო გეომეტრიული) სამუშაოების თითქმის ყველა საკითხი, იძლევა მიწისქვეშა სამუშაოების აგეგმვისათვის საჭირო ხელსაწყოებისა (საკიდი ბუსოლი, საკიდი კვადრანტი, ზონარი, კვერთხი) და სახაზავი მოწყობილობის (მასშტაბი, სახაზავი, ფარგალი და სხვ.) აღწერას, აგრეთვე საკიდი ბუსოლისა და ნახევარწრედის ორიგინალურ კონსტრუქციას.

1805 წელს პეტერბურგის სამთო სასწავლებლის მასწავლებელმა ა. მაქსიმოვიჩმა გამოაქვეყნა სახელმძღვანელო „მიწისქვეშა გეომეტრია“, რომელშიც სრულად და სისტემატურად გააშუქა სამარკშეიდერო საქმის საკითხები.

პრიმიტიული ხელსაწყოების ნაცვლად მარკშეიდერულ პრაქტიკაში შემოდის თეოდოლიტი. 1847 წელს პროფ. პ. ოლიშევმა (1817—1895) გამოაქვეყნა მარკშეიდერიის კურსი, სადაც პირველად მსოფლიო ლიტერატურაში წინადადებას იძლევა მიწისქვეშა აგეგმვისათვის გამოყენებულ იქნეს თეოდოლიტი. აღწერილი აქვს თეოდოლიტით გაზომვები მიწისქვეშ და მისი კამერული დამუშავება, სხვადასხვა სახის სამთო-გეომეტრიული ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდები და სხვ.

პ. ოლიშევის მიერ შექმნილი მარკშეიდერიის ახალი მიმართულების ღირსეული გამგრძელებელი იყო პეტერბურგის სამთო ინსტიტუტის პროფესორი ვ. ტიმე (1831—1910). მას ეკუთვნის პირველი გამოკვლევები კოორდინატთა ერთიანი სისტემის საჭიროების; ასტრონომიული მერიდიანის მიხედვით აგეგმვის ორიენტირების; დამაკავშირებელი და პოლიგონური აგეგმვის სიზუსტის შესახებ და სხვ.

ამავე პერიოდში გერმანიაში აგეგმვების გეოდეზიური მეთოდებისა და საშუალებების სამარკშეიდერო საქმეში დანერგვის ინიციატორად გვევლინება გეოდეზისტ-მარკშეიდერი, პროფესორი იულიუს ვეისბახი, რომელმაც 1851 წელს გამოაქვეყნა[1] ფუნდამენტური ნაშრომი „ახალი სამარკშეიდერო ხელოვნება“. მასში გაშუქებულია მარკშეიდერული სამუშაოების თითქმის ყველა საკითხი, აღწერილი და გამოკვლეულია ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვის (ორიენტირების) ახალი სრულყოფილი მეთოდი დამაკავშირებელი სამკუთხედების[2] საშუალებით და სხვ. აღსანიშნავია აგრეთვე იმ დროის გერმანელი მეცნიერების ბორხერსის, შმიდტისა და სხვათა ღვაწლი მარკშეიდერულ პრაქტიკაში ახალი ხელსაწყოებისა და აგეგმვის ახალი მეთოდების შემოღების საქმეში (ბორხერსის კოლიმატორი მაგნიტური ორიენტირებისათვის, მისივე სანიველო ლარტყა, შმიდტის საცენტრავი თეფში).

სამთო მრეწველობა სწრაფად ვითარდებოდა და ახალ-ახალ მოთხოვნილებებს აყენებდა მარკშეიდერული სამსახურის წინაშე. ეს ამოცანები ბრწყინვალედ იქნა გადაწყვეტილი რუსეთის მარკშეიდერული სკოლის გამოჩენილი პროფესორების ვ. ბაუმანის (1867—1923), პ. ლეონტოვსკისა (1871—1921) და პ. სობოლევსკის (1868—1949) მიერ.

პეტერბურგის სამთო ინსტიტუტის პროფესორ ვ. ბაუმანის სახელთან არის დაკავშირებული დიდი მნიშვნელობის სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები და ორგანიზაციულ-ტექნიკური ღონისძიებანი. თავის გამოკვლევებში იგი დიდ

[1] ამ შრომის მეორე ნაწილი გამოქვეყნდა 1859 წელს.

[2] დამაკავშირებელ სამკუთხედებს ზოგჯერ „ვეისბახის სამკუთხედებს“ უწოდებენ.

ადგილს უთმობს მარკშეიდერული აგეგმვების მეთოდიკის; განაზომთა სიზუსტის შეფასებისა და გაწონასწორების; მარკშეიდერული სამსახურის ორგანიზაციის; სამთო გეომეტრიისა და მაგნიტომეტრიის საკითხებს. სამეცნიერო-მეთოდური მოღვაწეობის მხრივ განსაკუთრებით აღსანიშნავია მისი „სამარკშეიდერო ხელოვნების“ სამტომეული, რომელიც 1905—1908 წლებში დაისტამბა და დღესაც არ დაუკარგავს მეცნიერული ღირებულება.

ვ. ბაუმანს დიდი მუშაობა აქვს გაწეული დონეცკის აუზის კოორდინატთა ერთიანი სისტემის შესაქმნელად. მისი ხელმძღვანელობით ორგანიზებული იყო მარკშეიდერების სამი ყრილობა: სამხრეთ რუსეთისა — ხარკოვში (1909 წ) და ორჯერ სრულიად რუსეთის — პეტროგრადში (1913 და 1921 წლებში).

ეკატერინოსლავის უმაღლესი სამთო სასწავლებლის (ამჟამად დნეპროპეტროვსკის სამთო საქმის ინსტიტუტი) პროფესორმა პეტრე ლეონტოვსკიმ გამოაქვეყნა 40-მდე მეცნიერული შრომა სამარკშეიდერო საქმისა და წიაღის გეომეტრიის სხვადასხვა საკითხებზე. მათ შორის პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს მისი მონოგრაფია მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით ქანთა ძვრის შესახებ, სადაც განზოგადებულია იმ დროისათვის ამ საკითხის ირგვლივ მსოფლიოში არსებული გამოკვლევანი და შედგენილია საამისო ბიბლიოგრაფია. მან შექმნა ნიველირ-ავტომატი, რითაც მსოფლიოში პირველმა განახორციელა აგეგმვის ავტომატიზაციის პრინციპი.

სამარკშეიდერო საქმის განვითარების საქმეში მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა პროფ. პ. სობოლევსკის შრომებმა. 1904 წელს პ. სობოლევსკიმ ტომსკის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში ჩამოაყალიბა რუსეთში პირველი სამარკშეიდერო სპეციალობა. ამ პერიოდში მან პირველმა გამოიყენა რკინის მადნების მაგნიტური ძიების მეთოდი; დაამუშავა მარგი წიაღისეულის მარაგის გამოთვლის ახალი მეთოდი, რომელიც ფართოდ გავრცელდა პრაქტიკაში და ცნობილია იზოხაზების მეთოდის სახელწოდებით; შექმნა დიზუნქტიური აშლილობათა ორიგინალური გეომეტრიული კლასიფიკაცია და მათი გამოსახვის მეთოდიკა; დაამუშავა მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირებისა და წიაღის გვირაბებში ნიშნულის გადაცემის ახალი მეთოდები; მოგვცა ჭაურის უხელსაყრელესი ადგილის განსაზღვრის ახალი გადაწყვეტა; დაწერა ინსტრუმენტმცოდნეობის, სფერული ტრიგონომეტრიის, განაზომთა შეცდომების თეორიისა და უმცირეს კვადრატთა მეთოდის კურსი და სხვ.

1920—1933 წლებში პროფ. პ. სობოლევსკიმ სვერდლოვსკის სამთო ინსტიტუტში შექმნა სამთო გეომეტრების (მარკშეიდერების) ურალის სკოლა, უხელმძღვანელა სხვადასხვა მარგი წიაღისეულის საბადოების გეომეტრიზაციასთან დაკავშირებულ სამუშაოებს, დაამუშავა ახალი სამეცნიერო დისციპლინის — „წიაღის გეომეტრიის“ თეორიული საფუძვლები.

რევოლუციამდელ რუსეთში გამოჩენილი მეცნიერების: ბაუმანის, ლეონტოვსკის, სობოლევსკის და სხვათა პროგრესული იდეების განხორციელების გზაზე გადაულახავ დაბრკოლებებს ჰქმნიდა მეურნეობის კაპიტალისტური სისტემა. ასე, მაგალითად, სამხრეთ რუსეთისა (1909) და სრულიად რუსეთის (1913) მარკშეიდერების ყრილობებზე მიღებულმა მნიშვნელოვანმა გადაწყვეტილებებმა: დონბასში კოორდინატთა ერთიანი სისტემის შექმნის; მარკშეიდერული სამსახურის გაუმჯობესების; მარკშეიდერების კადრების მომზადების; ქანთა ძვრაზე დაკვირვებების ორგანიზაციის; საბადოების გეომეტრიზაციის; ძველი ინს-

ტრუქციების გადამუშავების და სხვ. შესახებ მთავრობის ორგანოებისა და მრეწველთა მხარდაჭერა ვერ პოვა და ოქტომბრის რევოლუციამდე არ განხორციელებულა.

სამარკშეიდერო საქმის გეგმაზომიერი განვითარება იწყება საბჭოთა ხელისუფლების დამყარებისა და განმტკიცების შემდეგ. ახალგაზრდა საბჭოთა სახელმწიფოს მარკშეიდერების მცირერიცხოვანი კოლექტივის დიდი მუშაობის შედეგად აღდგენილ იქნა სამთო საწარმოთა მარკშეიდერული სამსახური.

ვ. ბაუმანისა და პ. ლეონტოვსკის ინიციატივით 1921 წელს პეტროგრადში მოწვეულ იქნა სრულიად რუსეთის მარკშეიდერების მეორე ყრილობა. ყრილობამ მოისმინა და განიხილა მთელი რიგი მეცნიერული მოხსენებანი, მათ შორის ვ. ბაუმანისა — მარკშეიდერული სამსახურის რეფორმის საჭიროების თაობაზე და პ. სობოლევსკისა — საბადოების გეომეტრიზაციის შესახებ. ყრილობის გადაწყვეტილებების საფუძველზე განხორციელდა სამარკშეიდერო სამსახურის ძირფესვიანი რეფორმა. გამოიცა სოციალისტური სამთო საწარმოს მარკშეიდერული სამსახურის მუშაკთა უფლება-მოვალეობის განმსაზღვრელი დებულებანი და ინსტრუქციები.

1925 — 1927 წლებში პროფესორების პ. სობოლევსკის, ი. ბახურინისა და ნ. კელის თაოსნობითა და მონაწილეობით გაიმართა მარკშეიდერების რაიონული ყრილობები: სამხრეთ რუსეთისა — ხარკოვში (1925), ბაშკირეთისა და ურალისა — სვერდლოვსკში (1925), შორეული აღმოსავლეთისა და ციმბირისა — ტომსკში (1927). პირველ ყრილობაზე დიდი ყურადღება დაეთმო სრულიად რუსეთის მეორე ყრილობის გადაწყვეტილებების შესრულების შედეგების შეჯამებას, მეორეზე — საბადოების გეომეტრიზაციის საკითხს, ხოლო მესამეზე მოსმენილ იქნა პროფ. ნ. კელის მოხსენება გაუსის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატთა ერთიანი სისტემის შემოღების შესახებ.

1929 წელს გაიმართა მარკშეიდერების სრულიად საკავშირო კონფერენცია. მის ერთ-ერთ დამსახურებად უნდა ჩაითვალოს სამთო მრეწველობის სამეცნიერო-ტექნიკურ საბჭოსთან მუდმივი მარკშეიდერული კომისიის ჩამოყალიბება, რომლის თაოსნობით ქვანახშირის შახტებზე ორგანიზებულ იქნა პირველი დაკვირვებანი მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით გამოწვეულ ქანთა ძვრაზე. ამ კომისიის სათავეში იდგა პროფ. ი. ბახურინი, თანაშემწედ — ა. დისმანი.

სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი, ლენინგრადის სამთო ინსტიტუტის პროფესორი ივანე ბახურინი (1880 — 1940) იყო ბაუმანის მეცნიერული მემკვიდრეობის ბრწყინვალე განმგრძობი. იგი აგრძელებს მარკშეიდერული აგეგმვების გაწონასწორების საკითხების დამუშავებას; მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით ქანთა ძვრის პროცესის შესწავლას; აქვეყნებს „მაგნიტური ძიების კურსს“, „სამარკშეიდერო საქმის სპეციალურ კურსს“, აგრეთვე მთელ რიგ სტატიებს სამარკშეიდერო საქმის სხვადასხვა საკითხზე. მის მონოგრაფიაში — „ქანთა ძვრა მიწისქვეშა სამთო სამუშაოების გავლენით“ — გაშუქებულია სამთო საქმის, ამ უაღრესად რთული საკითხის ყველა მხარე.

სოციალისტური სამთო მრეწველობის სწრაფმა განვითარებამ საბჭოთა მარკშეიდერების წინაშე მთელი რიგი ახალი ამოცანები დააყენა. საჭირო შეიქმნა ახალი სამთო საწარმოთა დაპროექტებისა და მშენებლობის საჭიროებისათვის დიდი ფართობების აგეგმვა; ახალი შახტების მშენებლობა და ძველის

რეკონსტრუქცია, რამაც, თავის მხრივ, წარმოშვა არსებული ჭაურების გაღრმავებისა და შემხვედრ სანგრევებზე ნაირგვარი სირთულის ამოცანების გადაწყვეტის საჭიროება და სხვ.

სამთო მრეწველობის რეკონსტრუქციის პერიოდში საბჭოთა მარკშეიდერების წინაშე მდგარი აქტუალური ამოცანების განხილვას მიეძღვნა მარკშეიდერების სრულიად საკავშირო პირველი ყრილობა, რომელიც შედგა 1932 წლის იანვარს ლენინგრადში. ყრილობამ განსაზღვრა სოციალისტური სამთო საწარმოს მარკშეიდერული სამსახურის მნიშვნელობა და ხასიათი, განიხილა და მოიწონა პ. რიჟოვის, დ. ოგლობლინისა და გ. ვილესოვის მოხსენებები ურალის რიგი საბადოების გეომეტრიზაციის შესახებ და მიიღო გადაწყვეტილება სამეცნიერო-კვლევითი მარკშეიდერული ინსტიტუტისა და მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხნის შექმნის აუცილებლობის თაობაზე.

ყრილობის გადაწყვეტილების საფუძველზე 1932 წელს ი. ბახურინის ხელმძღვანელობით ლენინგრადში შეიქმნა მსოფლიოში პირველი ცენტრალური სამეცნიერო-კვლევითი მარკშეიდერული ბიურო (ЦНИМБ), რომელიც 1945 წელს გადაკეთდა სრულიად საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით მარკშეიდერულ ინსტიტუტად[1] (ВНИМИ). ამჟამად ინსტიტუტს აქვს მთელი რიგი ლაბორატორიები და ასრულებს სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს სამარკშეიდერო საქმისა და სამთო წნევის ყველა დარგში.

ქ. ხარკოვში შეიქმნა მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხანა, რომლის მიერ ათვისებულია და გამოშვებული სამთო თეოდოლიტების, ნიველირების, კუთხსაზომებისა და სხვა სახის ხელსაწყოების მთელი რიგი ახალი ნიმუშები. ამ ქარხანამ დიდი როლი შეასრულა ჩვენი სამთო მრეწველობის სამამულო მარკშეიდერული ინსტრუმენტებითა და მოწყობილობებით უზრუნველყოფის საქმეში. ასევე დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა კაპიტალური მარკშეიდერული სამუშაოების წარმოებისათვის სპეციალიზებული ორგანიზაციის — საკავშირო მარკშეიდერული ტრესტის („Союзмаркштрест“) ჩამოყალიბებას, რომელმაც მნიშვნელოვანი სამუშაოები შეასრულა და ამჟამადაც ასრულებს ქვანახშირის აუზებში გეოდეზიური საყრდენი ქსელების განვითარების, მარკშეიდერულ აგეგმვათა ერთიან კოორდინატთა სისტემაში გადაყვანისა და სხვა ხაზით.

ამ პერიოდში განსაკუთრებული ყურადღება მიექცა აგრეთვე კვალიფიციური მარკშეიდერული კადრების მომზადების საქმეს. თუ რევოლუციამდელ რუსეთში მხოლოდ ტომსკის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში არსებობდა სამარკშეიდერო სპეციალობა, რევოლუციის შემდეგ იგი ჩამოყალიბდა პეტროგრადის (1921), დნეპროპეტროვსკისა (1925) და სვერდლოვსკის (1929) სამთო ინსტიტუტებში; შემდეგ ნოვოჩერკასკის (1933), საქართველოს (1937) და დონეცკის ინდუსტრიულ ინსტიტუტებში. სამარკშეიდერო სპეციალობა გაიხსნა აგრეთვე მთელ რიგ ტექნიკუმებში. ამჟამად სამთო ინჟინერ-მარკშეიდერებსა და ტექნიკოს-მარკშეიდერებს ამზადებს ჩვენი ქვეყნის მთელი რიგი უმაღლესი სასწავლებელი და ტექნიკუმი.

დიდმა სამამულო ომმა დროებით შეაფერხა საბჭოთა ხალხის მშვიდობიანი შემოქმედებითი მოღვაწეობა. ომის წლებში მარკშეიდერებმა თავიანთი წვლილი შეიტანეს ციმბირში, შუა აზიაში, ურალზე და სხვაგან მარგი წია-

[1] ამჟამად სამთო გეომექანიკისა და სამარკშეიდერო საქმის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი.

ღისეულის მოპოვების განვითარების საქმეში. ომის ძლევამოსილად დამთავრების შემდეგ სამთოელთა მრავალათასიანმა კოლექტივმა მოკლე დროში აღადგინა სამთო მრეწველობა დროებით ოკუპაციაში ნამყოფ რაიონებში. მარკშეიდერულმა სამსახურმა უზრუნველყო შახტებისა და მაღაროების აღდგენა-რეკონსტრუქციის, საყრდენი გეოდეზიური საფუძველის განვითარებისა და მარკშეიდერული აგეგმვების კოორდინატთა ერთიან სისტემაში გადაყვანასთან დაკავშირებული სამუშაოების დროული შესრულება.

ომის შემდგომ წლებში სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მასშტაბი მკვეთრად გაიზარდა, განსაკუთრებით სრულიად-საკავშირო კვლევითი მარკშეიდერული ინსტიტუტის ჩამოყალიბების შემდეგ. ამ ინსტიტუტში სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები ძირითადად წარმოებს სამთო სამუშაოების გავლენით ქანთა ძვრის, სამთო წნევის, სამარკშეიდერო საქმის ტექნიკისა და მეთოდიკის სრულყოფისა და ახალი მარკშეიდერული ინსტრუმენტებისა და მოწყობილობების კონსტრუირების ხაზით.

განსაკუთრებით დიდი წარმატებებია მიღწეული მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით ქანთა ძვრის პროცესის შესწავლის საქმეში. ამ მიმართულებით დიდი მასშტაბის სამუშაოები ჩატარდა დონბასში, კუზბასში, ყარაგანდასა და სხვა სამთო-სამრეწველო რაიონებში. დაკვირვებების შედეგად მიღებული დიდძალი მასალა განაზოგადა პროფ. ს. ავერშინმა (1901 — 1972) და 1947 წელს გამოაქვეყნა მონოგრაფია — ,,ქანთა ძვრა მიწისქვეშა სამუშაოების დროს'', რისთვისაც მას სახელმწიფო პრემია მიენიჭა. შემდგომში ამავე საკითხს მიეძღვნა მრავალი საყურადღებო ნაშრომი, მათ შორის პროფ. დ. კაზაკოვსკის მონოგრაფია: ,,ზედაპირის ძვრა მიწისქვეშა სამთო სამუშაოების გავლენით" (1953).

მარკშეიდერული ხელსაწყოთმშენებლობის დარგში სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები წარმოებდა და წარმოებს სრულიად საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, აგრეთვე ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხანასა და ლენინგრადის სამთო ინსტიტუტში. ამ დაწესებულებათა შემოქმედებითი კოლექტივების ნაყოფიერი მუშაობის შედეგად შექმნილია მთელი რიგი ახალი ხელსაწყოები და მოწყობილობანი (პროფილოგრაფი, მიმართულების მაგეგმილებელი, მანძილზომები, შუქმიმმართველი, ავტომატური სიგრძის საზომი ДА—2, მარკშეიდერული გეროკომპასების ახალი ნიმუშები МТ—1, МВШ—3, МВТ—2, МВТ—4 და სხვ.)

ჩატარებული კვლევითი სამუშაოებისა და საწარმოო გამოცდილების განზოგადების საფუძველზე საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით მარკშეიდერულ ინსტიტუტში დამუშავებულია მთელი რიგი ინსტრუქციები, მათ შორის ,,მარკშეიდერული სამუშაოების წარმოების ტექნიკური ინსტრუქცია" (1939, 1959 1970 წ. წ.), ,,სახელმძღვანელო დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების აგეგმვისათვის'' და სხვ.

დიდი სამუშაოებია ჩატარებული მარგი წიაღისეულის საბადოების გეომეტრიზაციისა და მეცნიერული დისციპლინის ,,წიაღის გეომეტრიის'' განვითარების საქმეში. ამასთან დაკავშირებით აღსანიშნავია პროფ. პ. სობოლევსკის დაბადებიდან 100 წლისთავისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო-ტექნიკური სემინარი, რომელიც მიმდინარეობდა 1969 წლის 29—31 იანვარს მოსკოვის სამთო ინსტიტუტში დევიზით: „მინერალური ნედლეულის საბადოების გეომეტრიზაციის შედეგები და პერსპექტივები''. სემინარმა შეაჯამა საბადოების გეომეტრიზაციის ხაზით ჩატარებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების შედეგები და დასახა ღონისძიებანი სამთომომპოვებელ მრეწველობასა და გეოლოგიურ ძიებაში ამ მეთოდის შემდგომი განვითარებისა და დანერგვის შესახებ.

სამარკშეიდერო საქმის განვითარებას მნიშვნელოვნად შეუწყო ხელი სამეცნიერო-მეთოდური ხასიათის სასწავლო ლიტერატურის შექმნამ, რაშიც დიდი ღვაწლი მიუძღვით საბჭოთა ეპოქის მეცნიერებს პ. სობოლევსკის, ი. ბახურინს, ა. ბენაშვილს, ა. ბერლოვიჩს, ნ. კელს, ფ. პავლოვს, პ. რიჟოვს, დ. კაზაკოვსკის, დ. ოგლობლინს, ი. უშაკოვს, ს. ავერშინს, ვ. ზდანოვიჩს, ა. მაზმიშვილს, ნ. თევზაძეს, კ. ტაბატაძეს, გ. ვილესოვს, ა. ბუკრინსკის, ა. ტროფიმოვს, ი. ლისიცას, მ. გუსევს, გ. კროტოვს, ვ. ლავროვს, ს. ტრავნიკს, გ. რუდაკოვს, ა. იგოშინს და სხვ., რომელთა სურათები ამშვენებს მოსკოვის სამთო ინსტიტუტის წარჩინებულ მეცნიერთა დაფას.

ომის შემდგომ წლებში სამარკშეიდერო საქმე ინტენსიურად ვითარდება საზღვარგარეთის ქვეყნებშიც. გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკის, უნგრეთის, ჩეხოსლოვაკიისა და სხვა დემოკრატიული ქვეყნების ქარხნები უშვებენ ახალი ტიპის ოპტიკურ თეოდოლიტებსა და სხვადასხვა სახის ნიველირებს მიწისქვეშა აგეგმვებისათვის.

გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში „ფენელის" ფირმის მიერ ათვისებულია გიროთეოდოლიტებისა და გირონაცმების ახალი ნიმუშები. მარკშეიდერულ გიროსკოპებს ამზადებენ აგრეთვე ინგლისში, ამერიკის შეერთებულ შტატებში და სხვაგან. ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში მიმდინარეობს კვლევითი სამუშაოები კოდური თეოდოლიტების შესაქმნელად.

მარკშეიდერულ ხელსაწყოთმშენებლობის პარალელურად მიმდინარეობს კვლევითი სამუშაოები მარკშეიდერული აგეგმვათა სიზუსტის შეფასებისა და გაწონასწორების, მარკშეიდერული სამუშაოების მეთოდიკის სრულყოფისა და სხვა ხაზით.

საქართველოში სამარკშეიდერო საქმის განვითარების მოკლე მიმოხილვა

როგორც დავინახეთ, სამარკშეიდერო საქმის წარმოშობა დაკავშირებულია მიწისქვეშა სამთო სამუშაოების წარმოებასთან. ამ მხრივ, საქართველო ერთ-ერთ მოწინავეთა რიგებში დგას. ამაზე მიუთითებს დღემდე საუკეთესოდ შემონახული მრავალი მიწისქვეშა ნაგებობა, როგორიც არის, მაგალითად, გამოქვაბულების ქალაქი უფლისციხე, რომელიც პირდაპირი მიწისქვეშა გასასვლელით არის დაკავშირებული მდ. მტკვართან. მეტად საყურადღებოა აგრეთვე ძველი საქართველოს სამშენებლო ხელოვნების მეორე ძეგლი — ციხე-ქალაქი ვარძია (XI საუკუნე), სადაც კლდის ციცაბო ფერდობზე გამოკვეთილია ნახევარ კმ-ზე გადაჭიმული ცამეტსართულიანი ანსამბლი. სხვადასხვა დანიშნულების მიწისქვეშა ნაგებობებს შორის აღსანიშნავია ვარძიის წყლით მომარაგების მიზნით გაყვანილი 2 და 6 კმ სიგრძის ორი გვირაბი. როგორც ჩანს, ეს გვირაბები გაჰყავდათ შემხვედრი გათხრებით, რაც დასტურდება ქანებში დარჩენილი წერაქვებისა და ძალაყინების ნაკვალევის მიმართულებით.

უფლისციხე, ვარძია და სხვა მრავალი ასეთი ძეგლი მეტყველებს ძველ საქართველოში მიწისქვეშა სამუშაოების წარმოების მაღალ კულტურაზე. ცხადია, ასეთი უნიკალური მიწისქვეშა ნაგებობათა ასაგებად საჭირო იქნებოდა გეოდეზიურ-მარკშეიდერული ცოდნის სათანადო დონეც, რაც ჯერჯერობით არ არის შესწავლილი და სპეციალური კვლევის საგანს წარმოადგენს.

შედარებით ახალი, ისტორიული მნიშვნელობის მიწისქვეშა ნაგებობებიდან ინტერესს იწვევს საბჭოთა კავშირში ერთ-ერთი ყველაზე გრძელი, დაახლოებით 4 კმ სიგრძის სურამის რკინიგზის გვირაბის გაყვანის ისტორია. მისი მშენებლობა დაიწყო 1886 წლის 31 დეკემბერს ლიხისა და წიფის მხრიდან შემხვედრი გათხრებით. სამუშაოებს ხელმძღვანელობდა დიდი გამოცდილების მქონე ინჟინერი ფერდინანდ რიძევსკი.

გვირაბის გეოლოგიური პირობები საკმაოდ მძიმე იყო, რაც ზოგიერთ ადგილებში უკიდურესად ართულებდა მშენებლობის ამოცანას. განსაკუთრებით მძიმე აღმოჩნდა გვირაბის დაახლოებით 400 მ სიგრძის უბნის გაყვანა, სადაც აღინიშნა ყველაზე დიდი სამთო წნევა, რის გამოც მუდმივი სამაგრის რგოლების მთელმა რიგმა განიცადა დეფორმაცია და მოითხოვა ხელახალი გადაწყობა. მიუხედავად ამისა გვირაბის გაყვანის დღეღამური წინსვლა ერთ სანგრევში მაინც შეადგენდა 10,67 მ-ს, მაშინ როდესაც ევროპასა და ამერიკაში არ აღემატებოდა 8,53 მ-ს [14].

გვირაბის გაყვანა წარმატებით დასრულდა. 1888 წლის 12 ოქტომბერს მოხდა სანგრევების შეხვედრა, ხოლო მთელი ნაგებობა საექსპლოატაციოდ გადაეცა 1890 წლის 16 სექტემბერს.

ყველა აუცილებელი გეოდეზიურ-მარკშეიდერული სამუშაოები შესრულებული იყო ბრწყინვალედ. გვირაბის ღერძის მიმართულების სისწორის ზედამხედველობა ხორციელდებოდა თვეში ერთხელ, დიდი წნევისა და ჩამონგრევის ზონებში—უფრო ხშირად. სანგრევების შეხვედრისას აღმოჩნდა, რომ შემხვედრი გვირაბების ღერძები აცდნენ ერთიმეორეს ჰორიზონტულ სიბრტყეში 128 მმ-ით, ვერტიკალურში—43-მმ-ით, რაც დიდ მიღწევად უნდა ჩაითვალოს. მიუხედავად ამისა გვირაბის გაყვანის შემდეგ გავრცელდა ლეგენდა ფ. რიძევსკის თვითმკვლელობაზე, რაც სინამდვილეს არ შეესაბამება [64].

მარგი წიაღისეულის მოპოვების მიზნით მიწისქვეშა სამუშაოები საქართველოში ოდითგანვე წარმოებდა, მაგრამ კუსტარულად. სამთო საქმის შედარებით სწრაფი განვითარება და დამუშავების უფრო სრულყოფილი მეთოდების გამოყენება იწყება XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან. ტყიბულის ქვანახშირისა (1846) და ჭიათურის მანგანუმის საბადოს (1878—79 წწ.) დამუშავების დაწყების შემდეგ საქართველოს ბუნებრივი რესურსებით უმთავრესად დაინტერესებული იყვნენ უცხოელი კაპიტალისტები. მაგრამ სამთო საწარმოს მარკშეიდერული სამსახურის ჯეროვან ორგანიზაციაზე არავინ ფიქრობდა. საბადოთა დამუშავება ხდებოდა მტაცებლურად. მარკშეიდერული გეგმები დგებოდა მხოლოდ შახტის (ან მაღაროს) ცალკეული უბნისათვის და მათ ურთიერთშორის არავითარი კავშირი არ ჰქონდათ. გვირაბების აგეგმვა უმთავრესად სრულდებოდა მარტივად—საკიდი ბუსოლის საშუალებით. საქართველოს არ ყავდა სამთო და სამარკშეიდერო საქმის მცოდნე სპეციალისტები.

სახალხო მეურნეობის, მათ შორის სამთო მრეწველობის გეგმაზომიერი განვითარება საქართველოში დაიწყო მხოლოდ საბჭოთა ხელისუფლების დამ-

ყარების შემდეგ. ამას მოჰყვა სამთო დარგში ტექნიკური კადრების მომზადების მკვეთრი გაუმჯობესებაც.

1922 წელს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ჩამოყალიბდა პოლიტექნიკური ფაკულტეტი სამშენებლო, მექანიკური და სამთო განხრებით, რითაც საფუძველი ჩაეყარა ჩვენში უმაღლეს ტექნიკურ განათლებას. 1928 წელს მოხდა ქართველ ინჟინერთა პირველი გამოშვება. ს. მ. კიროვის სახ. საქართველოს ინდუსტრიულ ინსტიტუტში 1937 წელს გაიხსნა სამარკშეიდერო სპეციალობა.

ქართველ სამთო ინჟინერ-მარკშეიდერების პირველი გამოშვება მოხდა 1942 წლის ივნისში. გეოდეზიისა და სამარკშეიდერო საქმის კათედრის ხელმძღვანელობით აღიზარდა სამარკშეიდერო საქმის მრავალი სპეციალისტი.

კადრების მომზადების პარალელურად კათედრა მნიშვნელოვან სამეცნიერო კვლევით სამუშაოებს ეწევა. შესრულებულ სამუშაოთა შორის აღსანიშნავია: ჭიათურის მანგანუმის საბადოს ტერიტორიაზე მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით ქანთა ძვრის კვლევა; ჭიათურის მანგანუმის მადნის საექსპლოატაციო დანაკარგების დროებითი ნორმატივების, აგრეთვე ექსპლოატაციისას დანაკარგებისა და გაღარიბების განსაზღვრისა და აღრიცხვის დროებითი ინსტრუქციის შედგენა; ჭაბურღილების კოორდინატების გადაყვანა ადგილობრივი სისტემიდან 1942 წლის კოორდინატთა სისტემაში; თბილისის მეტროპოლიტენის მშენებლობისათვის საყრდენი გეოდეზიური საფუძვლის შექმნა; ქვედა სამგორის სარწყავი სისტემის მშენებლობისათვის საყრდენი გეოდეზიური საფუძვლის შექმნა; საქართველოს მარგი წიაღისეულის საბადოების გეომეტრიზაციის საკითხის კვლევა; ახალი ტექნიკის, კერძოდ, გიროსკოპული ხელსაწყოებისა და ელექტროოპტიკური მანძილმზომების დანერგვა საქართველოს სამთო საწარმოებსა და ჰიდროტექნიკურ მშენებლობებზე („ენგურჰესი“) და სხვ.

კათედრასთან მჭიდრო ურთიერთობაშია სამთო გეომექანიკისა და სამარკშეიდერო საქმის სამეცნიერო-კვლევითი საკავშირო ინსტიტუტის საქართველოს საყრდენი პუნქტი, რომელიც შეიქმნა თბილისში 1951 წელს. ამ ორგანიზაციის მიერ (ხელმძღვანელი ტექნ. მეცნ. კანდიდატი გ. გელაშვილი) შესრულებულია მთელი რიგი მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები, რომელთა შორის აღსანიშნავია: ტყვარჩელის ნახშირის საბადოსათვის ნაგებობათა დაცვის, მდინარეთა და ციცაბო ფერდობების გამოქვეშების, ახალციხის ნახშირისა და სხვა საბადოებისათვის მიწისქვეშა სამუშაოების მავნე გავლენისაგან ნაგებობათა და ბუნებრივ ობიექტთა დაცვის ინსტრუქციების შედგენა; ტყიბულის საბადოზე სამთო დარტყმის პრობლემის კვლევა და სხვ.

განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია გეოდეზიისა და სამარკშეიდერო საქმის კათედრის ღვაწლი მშობლიურ ენაზე გეოდეზიურ-მარკშეიდერული ტექნიკური ლიტერატურის შექმნის საქმეში. ამ საქმის პირველი ინიციატორი იყო პროფესორი ანდრია ბენაშვილი, რომელმაც ჯერ კიდევ 1933 წელს ქართულ ენაზე გამოაქვეყნა „ტოპოგრაფია“ (I ნაწილი), „სფერული ტრიგონომეტრია“, „სფერული ასტრონომია“ და სხვ.

პროფ. ა. ბენაშვილის მიერ დაწყებულ ამ საშვილიშვილო საქმეს დიდი თავდადებით განაგრძობს მისი მოწაფე პროფ. ნ. თევზაძე, რომელმაც მრავალი წლების მანძილზე წაკითხული ლექციების საფუძველზე გამოაქვეყნა საინჟინრო გეოდეზიის მრავალტომეული. ამავე მიმართულებით დიდი ღვაწლი მიუძღვის პროფ. კ. ტაბატაძეს (1896—1967) და კათედრის სხვა წევრებს.

1. 3. ზოგადი ცნობები მარკშეიდერული საყრდენი ქსელებისა და კოორდინატთა სისტემის შესახებ

მარგი წიაღისეულის საექსპლოატაციო სივრცეების შესაბამის ტერიტორიაზე მარკშეიდერული სამუშაოების წარმოების გამოსავალ საფუძვლად გამოიყენება ე. წ. მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის პუნქტები. მათზე დაყრდნობით მარკშეიდერები ასრულებენ ზედაპირის ტოპოგრაფიულ აგეგმვასა და სხვადასხვა სახის დაკვალვით სამუშაოებს; საზღვრავენ შახტზე მისასვლელ პუნქტებს, გვირაბის შეჭრის ადგილს; წყვეტენ მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირებისა და ცენტრირების ამოცანებს; აწარმოებენ დაკვირვებებს მიწისქვეშა სამუშაოების გავლენით გამოწვეულ სამთო ქანებისა და ზედაპირის ძვრაზე და სხვ.

მარკშეიდერული საყრდენი ქსელები შედგება სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელისა (მთავარი გეოდეზიური საფუძვლის) და ადგილობრივი მნიშვნელობის გეოდეზიური ქსელის პუნქტებისაგან.

სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელი იყოფა ოთხ კლასად:

I, II, III და IV კლასის ტრიანგულაციის, პოლიგონომეტრიისა და ტრილატერაციის ქსელები;

I, II, III და IV კლასის სანიველო ქსელები.

ადგილობრივი მნიშვნელობის გეოდეზიური ქსელი ვითარდება სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელის პუნქტების საფუძველზე და განკუთვნილია ზედაპირის 1 : 5 000—1 : 500 მასშტაბში აგეგმვისა და სხვა სახის საინჟინრო-ტექნიკური ამოცანების გადასაწყვეტად. მასში შედის:

1) პირველი და მე-2 თანრიგის ანალიზური ქსელები (ვითარდება ტრიანგულაციის მეთოდით);

2) პირველი და მე-2 თანრიგის პოლიგონომეტრიული ქსელები (ვითარდება პოლიგონომეტრიული მეთოდით);

3) ტექნიკური ნიველობის ქსელი (ვითარდება გეომეტრიული ნიველობის მეთოდით);

გეოდეზიური ქსელების განვითარება ხდება თანამიმდევრობით, დაწყებული I (უმაღლესი) კლასიდან, ე. ი. „ზოგადიდან კერძოზე გადასვლის“ პრინციპით.

სახელმწიფო და ადგილობრივი მნიშვნელობის გეოდეზიური საფუძვლის ქსელების განვითარების სქემები დეტალურად განიხილება გეოდეზიის კურსში, აქ მოგვყავს მხოლოდ მათი აგებისა და სიზუსტის ძირითადი მახასიათებლები (ცხრ. 1. 3.1, 1. 3. 2).

გარდა სახელმწიფო და ადგილობრივი მნიშვნელობის გეოდეზიური ქსელებისა, არჩევენ აგრეთვე სააგეგმვო ქსელს, რომელიც განკუთვნილია მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიული აგეგმვისა და სხვა სახის სამუშაოების წარმოების უშუალო საფუძვლად.

სააგეგმვო ქსელი შედგება ძირითადი და სააგეგმვო წერტილებისაგან. ძირითადი წერტილების განსაზღვრა ხდება ტრიანგულაციის, ტრილატერაციის, პოლიგონომეტრიისა და სხვა მეთოდებით, სააგეგმვო წერტილებისა კი თეოდოლიტური ან ტაქეომეტრიული სვლით, გრაფიკული ხერხით მენზულით აგეგმვისას და სხვ.

სააგეგმვო ქსელის ძირითადი პუნქტების სიმაღლეები განისაზღვრება ტექნიკური ან გეოდეზიური ნიველობით.

სააგეგმვო სამუშაოები იწყება ჯერ კიდევ საბადოს გეოლოგიური ძიების

ცხრილი 1. 3. 1

მახასიათებლები	სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელი								ადგილობრივი საფუძველი			
	ტრიანგულაცია				ჰორიზონტალური სვლილი				ვერტიკალური საფუძველი ნიველობა			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	>20	7—20	5—8	2—5	20—25							
2	∓ 0″,7	∓ 1″,0	±1″,5	±2″,0	± 0″,4	±1″,0	±1″,5	±2″,0				
3	3″	4″	6″	8″								
4	1:400000	1:300000	1:200000									
5	1:1000000	1:1000000	—	—								
6	± 0″,5	±0″,5	—	—								
7	—	—	—	—	1:30000(ა)	1:250000	1:200000	1:150000				
8	—	—	—	—				1:25000				
9	—	—	—	—	—	—	—	—	500 – 600	60,150 – —200	25	
10	—	—	—	—	—	—	—	—	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	

1 გვერდის სიგრძე, კმ
2 კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა (სამკუთხედში შეუკვრელობათა მიხედვით)
3 სამკუთხედებში დასაშვები შეუკვრელობა
4 საბაზისო გვერდის გაზომვის საზუსტე
5 ბაზისის გაზომვის სიზუსტე
6 ასტრონომიული აზიმუტის განსაზღვრის საშუალო კვადრ. შეცდომა
7 პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდის გაზომვის სიზუსტე
8 სვლის დასაშვები სიზუსტე
9 პოლიგონის წერტილის პერიმეტრი (სვლის სიგრძე), კმ
10 პოლიგონის (სვლის) დასაშვები შეუსაბამობა, სმ (L — კმ რაოდენობა პოლიგონში)

ცხრილი 1. 3. 2

მახასიათებლები	ადგილობრივი მნიშვნელობის გეოდეზიური ქსელები				
	ჰორიზონტული საფუძველი				ვერტიკალური საფუძველი
	ანალიზური ქსელები		პოლიგონომეტრიული ქსელები		ტექნიკური ნიველირება
	1-ლი თანრიგის	მე-2 თანრიგის	1-ლი თანრიგის	მე-2 თანრიგის	
1. გვერდის სიგრძე (ანალიზ. ქსელებში), კმ	2—5	0.5—3	—	—	—
2. სვლის ზღვრული სიგრძე (პოლიგონომეტრიაში), კმ:					
ა) მყარ წერტილებს შორის	—	—	5/8*	4/6	—
ბ) საკვანძო წერტილებს შორის	—	—	3/5	2,5/4	—
3. გვერდის სიგრძე, მ:					
ა) საშუალო	—	—	200	150	—
ბ) მინიმალური	—	—	120	80	—
4. კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრ. შეცდომა (სამკუთხედში ან ჩაკეტილ ფიგურებში შეუკვრელობათა მიხედვით)	±5″	±10″	±5″	±10″	—
5. სამკუთხედებში დასაშვები შეუკვრელობა	± 20″	±40″	—	—	—
6. საბაზისო (გამოსავალი) გვერდის გაზომვის სიზუსტე	1:100000	1:50000	—	—	—
7. გვერდების გაზომვის სიზუსტე	—	—	1:20000	1:10000	—
8. სვლის დასაშვები სიზუსტე	—	—	1:10000	1:5000	—
9. ტექნიკური ნიველირების სვლებში ან პოლიგონებში (მაღალი კლასის სანიველო რეპერებს შორის) დასაშვები შეუკვრელობა, მმ	—	—	—	—	$50\sqrt{L}$

* მრიცხველში ნაჩვენებია სვლის ზღვრული სიგრძე დედამიწის ზედაპირის 1:2000 მასშტაბში აგეგმვის საფუძვლის შექმნისათვის, მნიშვნელში—1:5000 მასშტაბში აგეგმვისათვის.

დროს. მას ასრულებენ სპეციალიზებული ტოპოგეოდეზიური საწარმოები. შახტის მშენებლობის დაწყების მომენტისათვის სამთო საწარმოს გადაეცემა ზედაპირის ტოპოგრაფიული გეგმა, გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტების (ტრიანგულაციის, პოლიგონომეტრიის, ნიველობის) სქემა, კოორდინატებისა და ნიშნულების კატალოგები, არსებული გეოლოგიურ-საძიებო გვირაბების პირის კოორდინატები და ნიშნულები და სხვა მასალა. შახტის მშენებლობისა და საბადოს ექსპლოატაციის პროცესში ხშირად წამოიჭრება სხვადასხვა სახის საწარმოო ტექნიკური ამოცანები, რომელთა გადაწყვეტა მოითხოვს უფრო მსხვილი მასშტაბის ტოპოგრაფიულ გეგმას, ვიდრე გეოლოგიური ძიების დროს იყო შედგენილი. ასეთ შემთხვევაში მარკშეიდერს უხდება ზედაპირის ხელახალი აგეგმვა. პერიოდულად ხდება აგრეთვე არსებული ტოპოგრაფიული გეგმების შევსება-კორექტირება.

მსხვილი მასშტაბის ტოპოგრაფიული გეგმების შედგენისა და არსებული

გეგმების შევსება-კორექტირებისათვის გამოიყენება გეოდეზიიდან ცნობილი აგეგმვის მეთოდები: თეოდოლიტურ-კუთხზომითი, ტაქეომეტრიული, მენზულით. ტაქეომეტრიულ მეთოდს იყენებენ აგრეთვე საწყობებში მარგი წიაღისეულის ნაყარის აგეგმვის დროს.

შახტის ზედაპირზე მარკშეიდერული აგეგმვების წარმოებისას მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს სანიველო სამუშაოებს. ასე, მაგალითად, გეომეტრიული ნიველობით ხდება რკინიგზების, წყალსადენების, გზატკეცილებისა და სხვა სახის საინჟინრო ნაგებობათა ტრასის პროფილის შედგენა; საყრდენი პუნქტების, სხვადასხვა სამთო ტექნიკური ნაგებობებისა და სტაციონალური მექანიკური დანადგარების საძირკვლების ნიშნულის განსაზღვრა; მოედნის ნიველობა; მიწისქვეშა სამთო სამუშაოების გავლენით ზედაპირის ძვრაზე დაკვირვება და სხვ.

შახტის (ან მაღაროს) ტერიტორიაზე შესრულებული ყველა სახის ტოპოგეოდეზიური სამუშაოების შედეგად ადგენენ ზედაპირის ტოპოგრაფიულ გეგმებს, გრძივი ნიველობის პროფილს და სხვა სახის გრაფიკულ დოკუმენტებს.

მსხვილი მასშტაბის ტოპოგრაფიული და მარკშეიდერული გეგმების შედგენა ხდება გაუსის ბრტყელ მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში (იხ. ნ. თევზაძე, საინჟინრო გეოდეზია, II).

1. 4. მიწისქვეშა საყრდენი ქსელების კლასიფიკაცია

მიწისქვეშა გვირაბების აგეგმვა დედამიწის ხილული ზედაპირის აგეგმვის ანალოგიურად გულისხმობს გვირაბებში საყრდენი ქსელის (აგეგმვის გეომეტრიული საფუძვლის) შექმნას, წვლილადების წერტილთა შეფარდებითი მდებარეობის განსაზღვრას, განაზომთა კამერალურ დამუშავებასა და გამონათვალთა გრაფიკულად გამოსახვას.

მიწისქვეშა გვირაბები, მათში აგეგმვის გეომეტრიული საფუძვლის პუნქტების მოწყობა—შენარჩუნების თვალსაზრისით, იყოფა სამ ძირითად ჯგუფად:

ა) ძირითადი სამთო გვირაბები—კაპიტალური კვერშლაგები; საველე, ჯგუფური და ძირითადი შტრეკები; ქანობები და ბრემსბერგები. ეს გვირაბები შახტის (ან მაღაროს) ველის ძირითადი მაგისტრალებია, მეტნაკლებად თანაბრადაა განლაგებული დასამუშავებელი საბადოს მოცულობითს კონტურში, აქვთ დიდი სიგრძე და არსებობის ხანგრძლივი ვადა, რის გამოც წარმოადგენს ხელსაყრელ ობიექტებს მიწისქვეშა აგეგმვის მთავარი გეომეტრიული საფუძვლის პუნქტების დასამაგრებლად;

ბ) საპანელო, შუალედი, სავენტილაციო შტრეკები და სხვა სამთო გვირაბები, რომლებიც გაყვანილია ამოსაღებ უბნებში, აქვთ მნიშვნელოვანი სიგრძე და არსებობის მეტნაკლებად ხანგრძლივი ვადა. მათში დამაგრებული პუნქტები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მათი აგეგმვის მიზნით, აგრეთვე საყრდენადაც წმენდითი სანგრევების პერიოდული აგეგმვისათვის;

გ) დამჭრელი გვირაბები, გაყვანილი ამოსაღები უბნის ან წმენდითი ბლოკის ფარგლებში, და წმენდითი გამონამუშევრები. მათ აქვთ მცირე სიგრძე და არსებობის ხანმოკლე ვადა, ხოლო წმენდითი გვირაბები, მაგ, ლავები—განუწყვეტლივ გადაადგილდება, ამიტომ მათში დამაგრებულ პუნქტებს იყენებენ მხოლოდ ერთხელ—მათი აგეგმვის დროს.

აგეგმვის საერთოდ მიღებული პრინციპისა და სამთო გვირაბების ზემო-

ა) ნებისმიერი ხასიათის გადაადგილებით მიწისქვეშა მარკშეიდერულ ქსელებს მიზანშეწონილობისა და სიზუსტის მიხედვით ყოველ 5 ან 10 წელიწადში ერთხელ მაინც უნდა ჩაუტარდეს განმეორებითი გაზომვები.

ბ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელები (ფიქსები, მიწისქვეშა მარკშეიდერული ნიშნები) ისე უნდა განლაგდეს, რომ ისინი ადვილად ხელმისაწვდომი იყოს ჰორიზონტალური სვლვებისაგან და გამკვეთი ვერტიკალური გამონამუშევრებიდან. საჭიროების შემთხვევაში ფიქსების ადგილმდებარეობა უნდა დაზუსტდეს ჰორიზონტალური სვლვებით.

გ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და ამავე დროს უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

დ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა ისე უნდა შეირჩეს, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ე) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ვ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ზ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

თ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ი) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

კ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ლ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

მ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ნ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ო) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

პ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ჟ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

რ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ს) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ტ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

უ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ფ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ქ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ღ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ყ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

შ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ჩ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ც) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ძ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

წ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ჭ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ხ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ჯ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ჰ) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის (ფიქსების) ადგილმდებარეობა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ის ხელს არ უშლიდეს ძირითად სამუშაოებს და უზრუნველყოფდეს მარკშეიდერული სვლვების ხანგრძლივ შენახვას.

ცხრილი 1.4.1

№№ რიგებში	პოლიგონომეტრიული სვლები	კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრ. შეცდომა, m''_β	კუთხის გაზომვის ზღვრული შეცდომა, $2m''_\beta$	დასაშვები კუთხური შეუკვრელობა[1], W_β		ხაზის გაზომვის სიზუსტე	სვლის ზღვრული სიგრძე, კმ	ფარდობითი ხაზოვანი შეუკვრელობა შეკრულ სვლებში	ფარდობითი ხაზოვანი შეუკვრელობა ორჯერადი სვლებში
				შეკრულ პოლიგონში	ორჯერად სვლებში				
1	მიწისქვეშა მარკშეიდერულ საყრდენ ქსელებში	$\pm 20''$	$\pm 40''$	$\pm 40''\sqrt{n}$	$\pm 40''\sqrt{n_1+n_2}$	1:3000	—	1:3000	1:2000
2	პირველი თანრიგის საგეგმო ქსელებში	$\pm 45''$	$\pm 90''$	$\pm 90''\sqrt{n}$	$\pm 90''\sqrt{n_1+n_2}$	1:1000	2,0	1:1500	1:1000
3	მეორე თანრიგის საგეგმო ქსელებში	$\pm 3'$	$\pm 6'$	$\pm 6'\sqrt{n}$	$\pm 6'\sqrt{n_1+n_2}$	1:200	0.5	1:500	1:300

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: n არის კუთხეების რიცხვი შეკრულ პოლიგონში

n_1+n_2 — კუთხეების რიცხვი პირდაპირ და შებრუნებულ სვლებში.

---

[1] არათავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლებში. რომლებიც საწყისსა და ბოლოში ისეტ გვერდებს ეყრდნობიან და რომელთა დირექციული კუთხე განსაზღვრულია გიროსკოპული ან სხვა მეთოდით:

$$W = \pm 2\sqrt{2m^2_\alpha + nm^2_\beta},$$

სადაც m_α არის დირექციული კუთხის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა

ღაროს ველის პოლიგონომეტრიული ქსელის ყველაზე შორეული წერტილის მდებარეობის განსაზღვრის შეცდომამ მიწისპირული საყრდენი ან მიწისქვეშა ქსელის გამოსავალი პუნქტის მიმართ გეგმაზე არ უნდა გადააჭარბოს 0,8 მმ-ს.

მიწისქვეშა ვერტიკალური საფუძვლის ქსელის ასაგები საყრდენია III და IV კლასის სახელმწიფო ნიველობის რეპერები ზედაპირზე, საიდანაც ვერტიკალური დამაკავშირებელი აგეგმვით განისაზღვრება მიწისქვეშა საყრდენი ქსელის ერთ-ერთი პუნქტის სიმაღლე (z კოორდინატი, ნიშნული) დონებრივი ზედაპირიდან (იხ. თავი IV). საყრდენი და სააგეგმვო ქსელის დანარჩენი პუნქტების სიმაღლეებს საზღვრავენ გეომეტრიული ან ტრიგონომეტრიული ნიველობით (იხ. თავი VII).

1. 5. ზოგადი ცნობები მიწისქვეშა მარკშეიდერულ აგეგმვათა შესახებ

მარკშეიდერული აგეგმვა ეწოდება წიაღში გაყვანილი სამთო გვირაბების, მარგი წიაღისეულის წოლის ფორმისა და მისი თვისებების სივრცული განაწილების გრაფიკულად გამოხაზვისა და საბადოს ექსპლოატაციის პერიოდში წამოჭრილი სხვადასხვა საინჟინრო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით შესრულებული სივრცობრივ-გეომეტრიული გაზომვებისა და გამოთვლების ერთობლიობას.

მიწისქვეშა მარკშეიდერული აგეგმვის ობიექტებია: 1) წიაღში გაყვანილი გვირაბები; 2) მარგი წიაღისეულის განლაგების ზედაპირები, გეოლოგიური აშლილობანი და 3) საბადოსა და მიწისქვეშა გვირაბების ცალკეული მახასიათებელი წერტილები.

მოქმედ შახტებსა და მაღაროებზე აგეგმვის პირველი ობიექტი განუწყვეტლივ იცვლება დროსა და სივრცეში. ზოგ უბნებზე ხდება გვირაბების გაყვანა, ზოგან—ჩამოქცევა, სხვაგან — ახალი გვირაბის შეჭრა. აგეგმვის ობიექტის ასეთი თავისებურება მოითხოვს, რომ მათი აგეგმვები წარმოებდეს სისტემატურად, სამთო საწარმოს არსებობის მთელი პერიოდის განმავლობაში; წინააღმდეგ შემთხვევაში მარკშეიდერული გეგმა ვერ ასახავს სამთო სამუშაოების ფაქტობრივ მდგომარეობას და დაკარგავს პრაქტიკულ ღირებულებას.

აგეგმვის მეორე ობიექტია მარგი წიაღისეულის წოლის ფორმა. სამთო გვირაბები ბევრგან კვეთს ან აშიშვლებს მარგი წიაღისეულის ბუდობების სახურავი და საგები გვერდების ზედაპირებს. მარკშეიდერმა უნდა აგეგმოს და სამთო გვირაბების გეგმაზე დაიტანოს აღნიშნული ზედაპირების მახასიათებელი წერტილები, აგრეთვე გეოლოგიური აშლილობანი (ნასხლეტი, ნაწევი, შეცოცება). ასეთი აგეგმვითა და შესაბამისი გეომეტრიული გამოხაზვით განისაზღვრება მარგი წიაღისეულის წოლის ფორმა, რაც აუცილებელია მარაგის გაანგარიშებისათვის, დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვისათვის, სამთო სამუშაოების სწორად და უსაფრთხოების წესების დაცვითი წარმართვისათვის, ფენის დაკარგული ნაწილის მოსაძებნად და ა. შ.

აგეგმვის მესამე ობიექტია საბადოსა და მიწისქვეშა გვირაბების ცალკეული მახასიათებელი წერტილები, როგორიცაა, მაგალითად, სინჯვების აღების ადგილები, მიწისქვეშა ხანძრის კერები, მეთანის უეცარი გამოტყორცნის ადგილები და სხვა.

მარკშეიდერული აგეგმვა სრულდება შემდეგი ძირითადი წესების დაცვით:

1) აგეგმვა წარმოებს „ზოგადიდან კერძოზე“ გადასვლის პრინციპით ისე, როგორც ეს ხდება ტოპოგეოდეზიური სამუშაოების წარმოებისას ზედაპირზე. ამ დროს ჯერ იქმნება ტრიანგულაცია, მის საფუძველზე პოლიგონომეტრია ან ანალიზური ქსელები, ბოლოს კი აწარმოებენ რელიეფისა და წვლილადების აგეგმვას. ეს ამცირებს გაზომვებში უცილობელი შეცდომების დაგროვების შესაძლებლობას და ზრდის გაზომვის სიზუსტეს. ამ პრინციპიდან გამომდინარე, როგორც აღინიშნა, სამთო გვირაბებში ჯერ იქმნება მაღალი სიზუსტის მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელები, რასაც შემდგომში უკავშირდება შედარებით ნაკლები სიზუსტის I და II თანრიგის სააგეგმვო ქსელის პუნქტები. ამ უკანასკნელზე დაყრდნობით აგეგმავენ მოსამზადებელ და წმენდით გვირაბებს.

2) ყველა გაზომვა უნდა შესრულდეს სამთო საქმეში აუცილებელი და საკმარისი სიზუსტის შესაბამისად. ზედმეტი სიზუსტე იწვევს ზედმეტ ხარჯებს, არასაკმარისი კი ხშირად ართულებს და აფერხებს მარგი წიაღისეულის ამოღების სწორ განვითარებას და შეიძლება უბედური შემთხვევის მიზეზიც გახდეს. ამიტომ აგეგმვის ცალკეული მოქმედებანი, გაზომვის მეთოდები და ხელსაწყოები უნდა აკმაყოფილებდეს მოთხოვნილ სიზუსტეს. საჭირო სიზუსტით უნდა შესრულდეს აგრეთვე განაზომთა კამერული დამუშავება და გრაფიკულად გამოხაზვა.

3) გეოდეზიური აგეგმვის მსგავსად მარკშეიდერული აგეგმვა უნდა შეიცავდეს აუცილებელ კონტროლს. მაგალითად, შეკრულ პოლიგონში კუთხეების გაზომვის სისწორე მოწმდება შიგა კუთხეების ჯამის შედარებით თეორიულ ჯამთან, მანძილების გაზომვისა კი—შეუკვრელობით კოორდინატთა ნაზრდებში.

აგეგმვის ცალკეული ელემენტების (კუთხეები, მანძილები, აღმატებები) გაზომვის სისწორე მუშაობის პროცესში უნდა შემოწმდეს ჭარბი (დამატებითი) გაზომვების საშუალებით.

მიწისქვეშა აგეგმვის სახეობები. ზემოაღნიშნულის შესაბამისად არჩევენ მიწისქვეშა მარკშეიდერულ აგეგმვის შემდეგ სახეებს:

1) საორიენტირო-დამაკავშირებელი (ჰორიზონტული და ვერტიკალური) აგეგმვა, რომლითაც მყარდება გეომეტრიული კავშირი ხმელეთის ზედაპირის გეოდეზიურ საფუძველსა და მიწისქვეშა საყრდენ ქსელს შორის;

2) ძირითადი გვირაბების ჰორიზონტულ-ვერტიკალური აგეგმვა (პოლიგონომეტრია, გეომეტრიული და ტრიგონომეტრიული ნიველობა);

3) დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების ჰორიზონტულ-ვერტიკალური აგეგმვა მარტივი კუთხსაზომებითა და საკიდი იარაღებით.

გარდა მიწისქვეშა გვირაბების ჰორიზონტულ-ვერტიკალური აგეგმვისა, სრულდება აგრეთვე მოსამზადებელი და წმენდითი გვირაბების აზომვა. ამ შემთხვევაში განისაზღვრება გვირაბის სიგრძე, განივი კვეთის ზომები, სანგრევის ხაზის სიგრძე, წინწაწევა და ა. შ., რითაც ხორციელდება შესრულებული სამთო სამუშაოების მოცულობის ოპერატიული აღრიცხვის მარკშეიდერული კონტროლი.

მიწისქვეშა ობიექტების ჰორიზონტულ-ვერტიკალური აგეგმვისა და მარკშეიდერული აზომვების მონაცემები გამოიყენება სამთო გვირაბების გეგმების, ჭრილების, ვერტიკალური პროექციებისა და პროფილების შესადგენად; დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების აგეგმვის საფუძვლის შესაქმნელად; გვირაბების მიმართულების ტრასირებისათვის; მარკშეიდერული აზომვების საკონტროლოდ; მარგი წიაღისეულის წოლის ფორმისა და ფიზიკურ-ქიმიური თვისე-

ბების ამსახველი სამთო-გეომეტრიული (სტრუქტურული და თვისობრივი) გრაფიკების შესადგენად; მარგი წიაღისეულის მოპოვებისა და წიაღში დანაკარგების აღსარიცხავად.

1. 6. მიწისქვეშა საქრდენი ქსელების პუნქტების ადგილის შერჩევა, დამაგრება და დანიშნულება

მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის პუნქტები მათი არსებობის ვადისა და დამაგრების ხერხის მიხედვით იყოფა მუდმივ და დროებით პუნქტებად. მუდმივი პუნქტები განკუთვნილია ხანგრძლივი სარგებლობისათვის, ამიტომ მათი დამაგრების ადგილს ირჩევენ შემდეგი ძირითადი მოთხოვნილებათა გათვალისწინებით:

1) მუდმივი პუნქტები მაგრდება ისეთ გვირაბებში, სადაც უზრუნველყოფილი იქნება მათი მდგრადობა. ასეთ გვირაბებს მიეკუთვნება ჭაურის მიმდებარე გვირაბები, მთავარი და საუბნე კვერშლაგები, სავენე და ძირითადი შტრეკები, ქანობები და ბრემსბერგები;

2) პუნქტების დამაგრების ადგილი შეირჩევა მათი გამოყენების მოხერხებულობის თვალსაზრისით: პუნქტზე (ან პუნქტის ქვეშ) ინსტრუმენტის დაყენებამ ხელი არ უნდა შეუშალოს ტრანსპორტისა და ხალხის მოძრაობას; უზრუნველყოფილი უნდა იყოს მოსაზღვრე პუნქტების კარგ პირობებში დამზერა;

3) შახტის ან მაღაროს ველის ფარგლებში მუდმივი პუნქტების განლაგება ისეთი უნდა იყოს, რომ სააგეგმვო სამუშაოების მოთხოვნილება კარგად დაკმაყოფილდეს. ამისათვის პუნქტები საჭიროა დამაგრდეს ასაგეგმი ობიექტის სიახლოვეს და კაპიტალური სამთო გვირაბების შეუღლების ადგილებში;

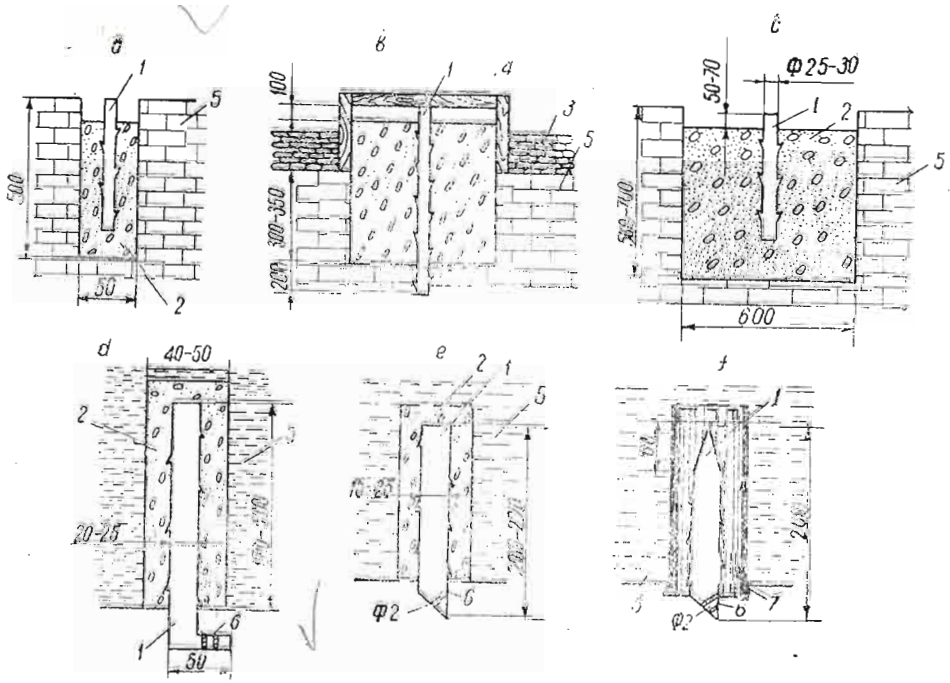
4) მუდმივი პუნქტები უნდა დამაგრდეს ჯგუფ-ჯგუფად, არანაკლებ რიგზე განლაგებული სამი პუნქტისა ჯგუფში. ცალკეული ჯგუფის პუნქტებს შორის მანძილი იცვლება 50—100 მ-ის ფარგლებში, ხოლო პუნქტების მეზობელ ჯგუფებს შორის — 300 მ-დან (მასშტაბი 1:500 — 1:1000) 500 მ-მდე (მასშტაბი 1:2000).

5) მუდმივი პუნქტები შეიძლება დამაგრდეს გვირაბის იატაკის, ჭერის ან კედლების ძირითად ქანებში, აგრეთვე გვირაბის ქვისა და ბეტონის სამაგრში ან სტაციონარული დანადგარების საძირკვლებში, რომლებშიც არ ხდება სამთო წნევის გამო დეფორმაცია. მუდმივი პუნქტის ცენტრი უნდა იყოს კონსტრუქციით მარტივი და კოროზიის მიმართ მედეგი.

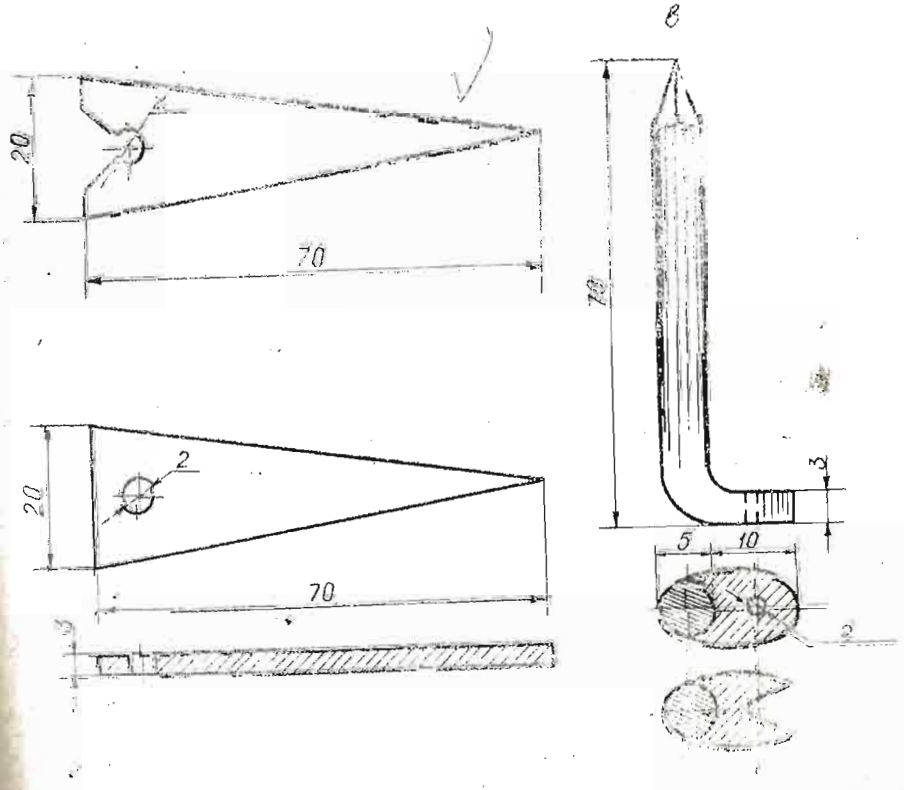
მუდმივი პუნქტი, რომელიც ბეტონდება გვირაბის იატაკზე ქანების ხასიათის შესაბამისად განსაზღვრულ სიღრმეზე (ნახ. 1ა, ბ, ე), წარმოადგენს 25—30 მმ დიამეტრისა და 200 — 700 მმ სიგრძის ლითონის მანჭვალს (ღეროს), რომლის ქვემო ნაწილი დაკბილულია ან კაუჭისებრ არის მოღუნული. ღეროს თავზე კეთდება მცირე ზომის ჩაღრმავება (კერნი) ან ჯვრისებრი ნაჭდევი, რითაც ფიქსირდება პუნქტის ცენტრი. ცენტრის უვნებლობის მიზნით რეკომენდებულია ღეროს თავზე 5 — 10 მმ დიამეტრის სპილენძის საცობის ჩაწნეხა, მასზე კი ცენტრის დატანა.

მუდმივი პუნქტის ცენტრი, რომელიც გვირაბის ჭერის ქანებში მაგრდება, წარმოადგენს განაჭერს ან ნასვრეტს 6, გაკეთებულს უშუალოდ ლითონის ღეროს ქვედა ბოლოზე ან მასში ჩაწნეხილი სპილენძის (ან ტყვიის) საცობზე; ასეთ ღეროს აბეტონებენ ან ჩაასობენ ხის საცობში ან სამაგრში (ნახ. 1ა, ე, ვ).

დროებითი პუნქტები მაგრდება გვირაბის ჭერში და გამოიყენება როგორც საყრდენი, ისე სააგეგმვო ქსელების წერტილების აღსანიშნავად. არჩევენ ასეთი პუნქტების რამდენიმე სახეს (ნახ. 2ა, ბ). ყოველ პუნქტს აქვს 2 მმ-მდე დიამეტრის ნასვრეტი შვეულის ზონარის დასამაგრებლად. დროებით პუნ-

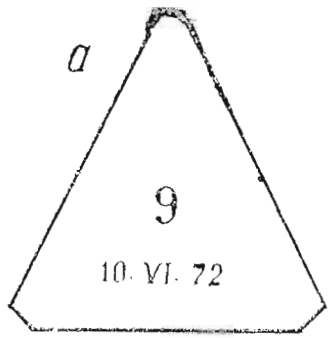


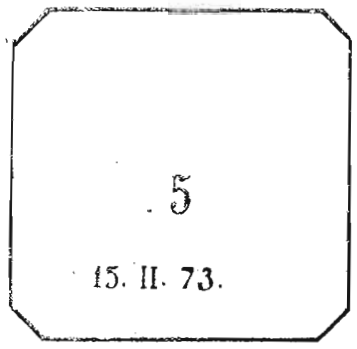
ნახ. 1. 6. 1. მუდმივი მარკშეიდერული პუნქტების ცენტრები: ა, ბ, გ — გვირაბის იატაკზე; დ, ე, ვ — ჭერში; 1 — ღითონის ღერო; 2—ბეტონი; 3—ქანის ნატეხები; 4—ხის თავსახური; 5—სამთო ქანი; 6—სპილენძის ან ტყვიის საცობი.



ნახ. 1. 6. 2.

ქტებს გვირაბის ჭერის ხის სამაგრში ჩახრახნიან ან აჭედებენ, ბეტონის სამაგრში კი გაყავთ მცირე დიამეტრის ბურღილი; მასში ჩაჭედავენ მშრალი ხის საცობს და ზედ ამაგრებენ დროებითი პუნქტის ნიშანს.

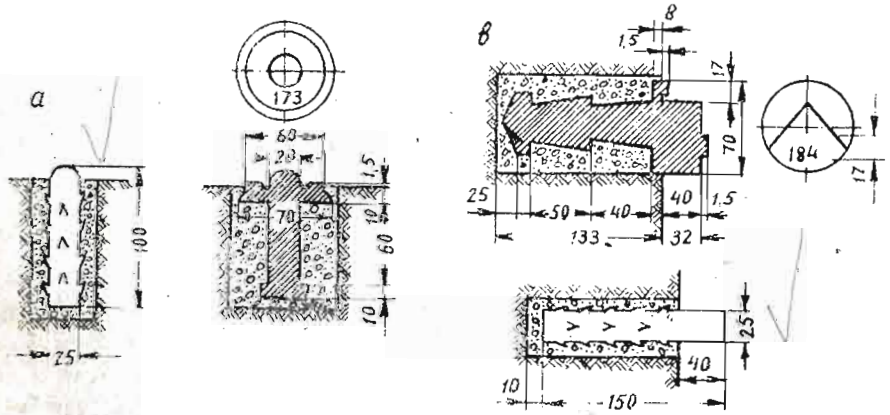




ნახ. 1. 6. 3. მარკშეიდერული პუნქტების ამოსაცნობი ნიშნები: *а* — მუდმივი პუნქტის; *ბ*—დროებითი პუნქტის.

მუდმივი და დროებითი პუნქტების მოძებნის გასაადვილებლად ხის სამაგრის დგარზე ამაგრებენ სპეციალურ ამოსაცნობ ნიშანს (ნახ. 3 ᵃ, ᵇ), რომელზედაც არაბული ციფრებით აღნიშნავენ პუნქტის ნომერსა და დამაგრების თარიღს. გაუმაგრებელ ან ლითონის, ქვის, ბეტონის სამაგრით ან რკინაბეტონის დგარებით გამაგრებულ გვირაბებში პუნქტების ამოსაცნობი ნიშანი დასაშვებია აღინიშნოს გვირაბის სამაგრზე ან კედელზე ზეთის საღებავით ან სხვა ხერხით.

სასიმაღლო საფუძვლის პუნქტებს განსაკუთრებული ნიშნებით—რეპერებით აღნიშნავენ. მათ ამაგრებენ მუდმივი დანადგარების საძირკვლებში, აგრეთვე გვირაბის იატაკის, ჭერის ან კედლების ძირითად ქანებში (ნახ. 4 ᵃ, ᵇ). რეპერად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰორიზონტული საფუძვლის მუდმივი პუნქტებიც. რეპერები მაგრდება ჯგუფებად, არანაკლებ ორი რეპერისა ჯგუფში. ცალკეული ჯგუფის რეპერებს შორის მანძილი აიღება 25 — 50 მ, ხოლო რეპერების ჯგუფებს შორის კი 300—500 მ-მდე; თითოეული რეპერის მახლობლად გვირაბის სამაგრის დგარზე აჭედებენ რეპერის ამოსაცნობ რკინის ნიშანს, რომელზედაც აღინიშნება ასო „*P*“, რეპერის ნომერი და დამაგრების თარიღი. ლითონის ან ბეტონის სამაგრის შემთხვევაში ანალოგიური ნიშანი კეთდება გვირაბის კედელზე ზეთის საღებავით.



1. 6. 4. რეპერებისა და მარკების ტიპები: *а*—საძირკვლებში და გვირაბის იატაკზე; *ბ*—გვირაბის კედლებში.

თავი II

მარკშეიდერული სამუშაოები გვირაბების გაყვანის დროს

2. 1. ზოგადი ცნობები

მარგი წიაღისეულის საბადოების მიწისქვეშა მეთოდებით დამუშავებისას გაყავთ სხვადასხვა სახისა და დანიშნულების ჰორიზონტული, დახრილი და ვერტიკალური (გამხსნელი, მოსამზადებელი, დამჭრელი) გვირაბები. მათი გაყვანის ადგილი, მიმართულება, გამაგრების ხერხი, განივი კვეთი, ქანობი, მოხვევათა ადგილმდებარეობა, მოხვევის რადიუსი და სხვა მახასიათებლები განისაზღვრება წინასწარ—საბადოს დამუშავების პროექტის შედგენის დროს. სამთო სამუშაოების პროექტის განხორციელებასთან დაკავშირებით მარკშეიდერულ სამსახურს ეკისრება მთელი რიგი სპეციალური ამოცანების გადაწყვეტა, როგორიც არის, მაგალითად, გვირაბების გაყვანის ადგილის მოძებნა და დანიშვნა; მიმართულების მიცემა გვირაბებისათვის და გაყვანის პროცესში მათი საპროექტო მიმართულების, განივი კვეთისა და გამაგრების პასპორტის კონტროლი და სხვ.

პროექტის გეომეტრიული სქემის ადგილზე გადატანასთან დაკავშირებული ზემოხსენებული მარკშეიდერული ამოცანები ძირითადად შედგება შემდეგი ოთხი ელემენტისაგან: 1) ჰორიზონტული კუთხის გადატანა პროექტიდან ადგილზე; 2) ჰორიზონტული მანძილის გადატანა პროექტიდან ადგილზე; 3) წერტილის ადგილზე მოძებნა და დანიშვნა მისი ცნობილი კოორდინატებით; 4) რეპერის დამაგრება საპროექტო ნიშნულზე.

ვიდრე შევუდგებოდეთ ჩამოთვლილი სამუშაოების თანამიმდევრობით გაშუქებას, საჭიროა გავიხსენოთ გეოდეზიიდან ცნობილი შემდეგი სამი ამოცანის ამოხსნა:

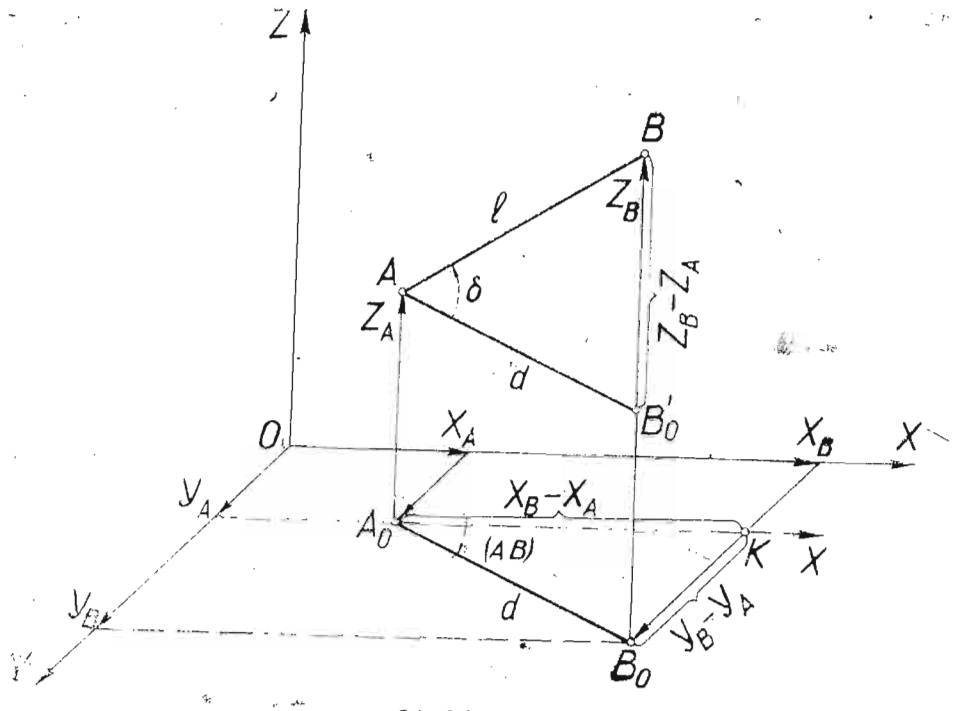
ამოცანა 1. მოცემულია $A(x_A, y_A, z_A)$ და B (x_B, y_B, z_B) წერტილები. უნდა განისაზღვროს AB ხაზის (AB) დირექციული კუთხე, მისი d ქვედებული, დახრის δ კუთხე და l სიგრძე (ნახ. 1).

განხილული ამოცანის გადაწყვეტა სრულდება გეოდეზიიდან ცნობილი შემდეგი ფორმულებით:

$$\operatorname{tg}(AB) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}, \qquad (2.1.1)$$

$$d = \frac{y_B - y_A}{\sin(AB)} = \frac{x_B - x_A}{\cos(AB)}, \qquad (2.1.2)$$

$$d = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}, \qquad (2.1.3)$$

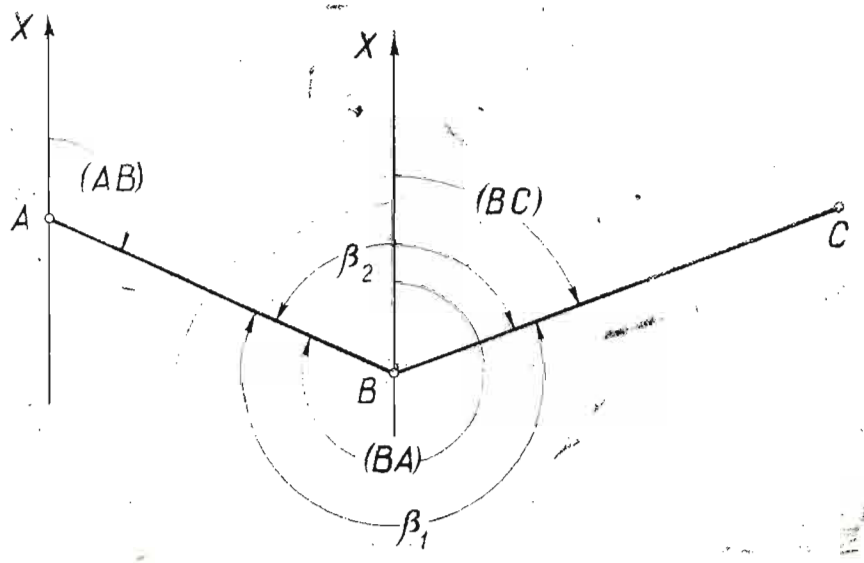


ნახ. 2.1.1.

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{z_B - z_A}{d}, \tag{2.1.4}$$

$$l = \frac{d}{\cos\delta}, \tag{2.1.5}$$

$$l = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2 + (z_B - z_A)^2}. \tag{2.1.6}$$



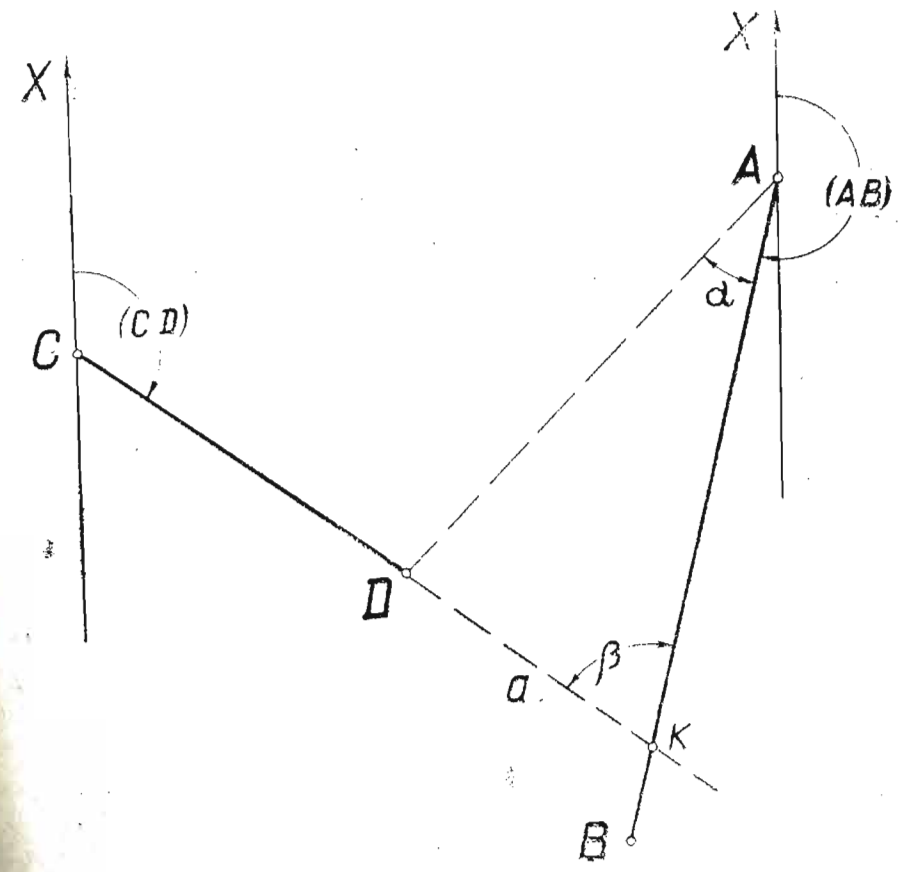
ნახ. 2.1.2.

ამოცანა 2. მოცემულია AB და BC მიმართულებების (AB) და (BC) დირექციული კუთხეები. საჭიროა განისაზღვროს მათ შორის ჰორიზონტული β_1 და β_2 (მარჯვენა და მარცხენა) კუთხეები (ნახ. 2).

(2) ნახაზის მიხედვით საძიებელი კუთხეები

$$\left.\begin{aligned} \beta_1 &= (BA) - (BC), \\ \beta_2 &= (BC) + 360^\circ - (BA). \end{aligned}\right\} \tag{2.1.7}$$

ამოცანა 3. განისაზღვროს AB და CD წრფეთა გადაკვეთის K წერტილის x_K, y_K კოორდინატები, თუ ცნობილია (AB), (CD) დირექციული კუთხეები და A და D წერტილების x_A, y_A, x_D, y_D კოორდინატები (ნახ. 3).



ნახ. 2.1.3.

ამოცანის ამოსახსნელად (1), (2) და (7) ფორმულების მიხედვით გამოვთვლით (AD) დირექციულ კუთხეს, DAK სამკუთხედის AD გვერდს და α, β კუთხეებს, შემდეგ—K წერტილის საძიებელ კოორდინატებს

$$\left.\begin{aligned} y_K &= y_D + a\sin(CD), \\ x_K &= x_D + a\cos(CD), \end{aligned}\right\} \tag{2.1.8}$$

სადაც

$$a = \frac{AD \sin\alpha}{\sin\beta}.$$

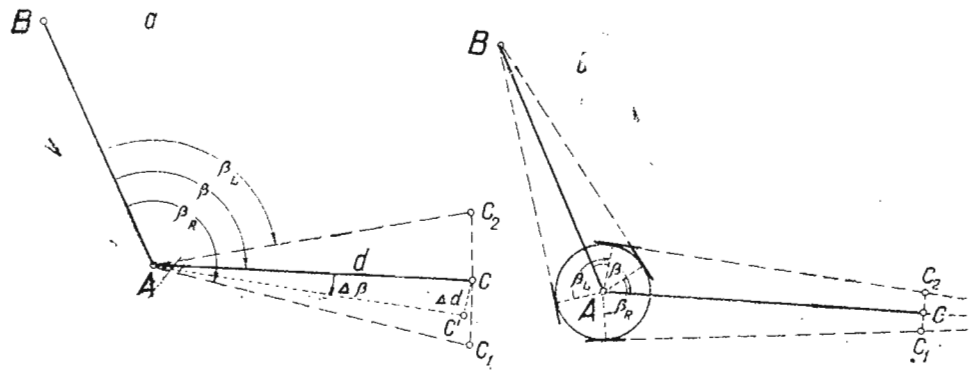
K წერტილის კოორდინატების განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე AB და CD გადამკვეთ წრფეთა განტოლებების ერთობლივი გადაწყვეტით

$$\left.\begin{aligned} y_K &= \frac{y_D \operatorname{ctg}(CD) - y_A \operatorname{ctg}(AB) - x_D + x_A}{\operatorname{ctg}(CD) - \operatorname{ctg}(AB)}, \\ x_K &= \frac{x_D \operatorname{tg}(CD) - x_A \operatorname{tg}(AB) - y_D + y_A}{\operatorname{tg}(CD) - \operatorname{tg}(AB)}. \end{aligned}\right\} \qquad (2.1.9)$$

2.2. პროექტის გეომეტრიული ელემენტების ადგილზე გადატანა

1. ჰორიზონტული კუთხის გადატანა პროექტიდან ადგილზე

მოცემულია AB მიმართება ადგილზე დამაგრებული A და B პუნქტებით. საჭიროა A წერტილში მის მიმართ აიგოს საპროექტო ჰორიზონტული β კუთხე (ნახ. 1). ამისათვის A წერტილზე ცენტრავენ თეოდოლიტს, დაახლოებით შეათავსებენ პირველი ვერნიერის ნულს თარაზული ლიმბის ნულთან (დავუშ-



ნახ. 2.2.1.

ვათ, ჰოგრი მარჯვნივაა—R), წრედის მოძრაობით დამზერენ B წერტილს და იღებენ a ანათვალს თარაზულ ლიმბზე. აუშვებენ ალიდადას, მისი პირველი ვერნიერის ნულოვან კვესურს (შტრიხს) დააყენებენ $\beta_R = \beta + a$ ანათვალზე. ამ მომენტში ჰოგრის სამიზნე ღერძის გასწვრივ ნიშნავენ C_1 წერტილს. გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე, იმეორებენ იმავე ოპერაციას ჰოგრის მარცხენა (L) მდებარეობაში და დანიშნავენ C_2 წერტილს. C_1C_2 მანძილს ყოფენ შუაზე და ღებულობენ β კუთხის შესაბამის C წერტილის ადგილზე. კონტროლის მიზნით აგებულ BAC კუთხეს მოთხოვნილ სიზუსტის მიხედვით ზომავენ ერთი ან ორი ცდეთით (განმეორებით). სხვაობა აგებულ BAC და საპროექტო β კუთხეებს შორის არ უნდა აღემატებოდეს ინსტრუმენტის ორმაგ სიზუსტეს. თუ $\Delta\beta = \sphericalangle BAC - \beta$ აღემატება დასაშვებ სიზუსტეს, მაშინ BAC კუთხეში შეაქვთ

შესწორება. ამისთვის 1:500 სიზუსტით ზომავენ $AC = d$ მანძილს და ანგარიშობენ კუთხის ხაზოვან Δd შესწორებას

$$\Delta d = \frac{\Delta\beta''}{\rho''} d, \qquad (2.2.1)$$

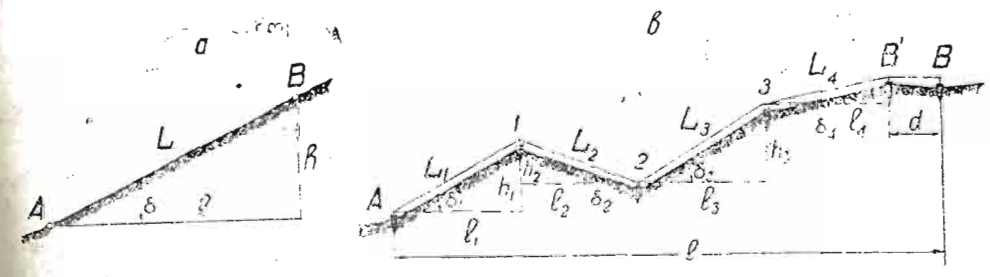
სადაც $\rho'' = 206265''$. ამის შემდეგ C წერტილს გადააადგილებენ Δd მანძილზე AC-ს მართობულად და ნიშნავენ C' წერტილს. კონტროლისათვის აგებულ BAC' კუთხეს ზომავენ განმეორებით.

ექსცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტით კუთხის ადგილზე აგება სრულდება ცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტის ანალოგიურად ჰოგრის ექსცენტრობის მხედველობაში მიუღებლად (ნახ. 1ბ). ამისათვის ჯერ ჰოგრის მარჯვენა მდებარეობაში ააგებენ β კუთხეს (β_R), შემდეგ—მარცხენა მდებარეობაში (β_L) და მიღებულ C_1C_2 მონაკვეთის შუაზე ნიშნავენ საძიებელ C წერტილს. ამ დროს C_1C_2 მანძილი გაცილებით მეტი გამოდის, ვიდრე ცენტრული ჰოგრის შემთხვევაში, ამიტომ სწორი შედეგის მისაღებად საჭიროა C_1C_2 იყოს ჰორიზონტული და AC-ს პერპენდიკულარული.

2. ჰორიზონტული მანძილის გადატანა პროექტიდან ადგილზე

საპროექტო ნახაზებზე, ჩვეულებრივ, ნაჩვენებია ხოლმე ჰორიზონტული მანძილები. მათი ადგილზე გადატანისას მოსალოდნელია ორი შემთხვევა:

1) საპროექტო l მანძილი დიდი არ იყოს (არა უმეტესი საზომის სიგრძისა), ხოლო ადგილი წარმოადგენდეს მშვიდ ზედაპირს (ნახ. 2ა). ასეთ შემთხვევებში საწყის A წერტილში ცენტრავენ თეოდოლიტს, მოცემული მიმართულებით აყენებენ სარს, რომელზედაც ინსტრუმენტის სიმაღლეა დანიშნუ-



ნახ. 2.2.2.

ლი. გეოდეზიიდან ცნობილი წესით ზომავენ რელიეფის დახრის δ კუთხეს, რის შემდეგ ანგარიშობენ l-ის შესაბამის გადასაზომ დახრილ L მანძილს ფორმულით

$$L = \frac{l_0}{\cos\delta}, \qquad (2.2.2)$$

სადაც $l_0 = l \pm \Delta l_K \pm \Delta l_t$,

Δl_K არის შესწორება საზომის კომპარირებაზე,

Δl_t — შესწორება ტემპერატურაზე.

2) გადასატანი საპროექტო l მანძილი იყოს მნიშვნელოვანი სიგრძისა, რელიეფი კი—არახელსაყრელი. ამ შემთხვევაში ასე იქცევიან:

ა) A წერტილზე ცენტრავენ თეოდოლიტს (ნახ. 2ბ), დასარავენ AB მი-

მართულებას, რომელზედაც უნდა გადაიზომოს მოცემული l მანძილი, დააჯლოებით გაზომავენ რელიეფის საშუალო დახრის δ კუთხეს, რის შემდეგ ანგარიშობენ l ჰორიზონტული პროექციის შესატყვისი დახრილი L მანძილის მიახლოებით მნიშვნელობას

$$L = \frac{l}{\cos\delta};$$

b) AB-ს გასწვრივ გადაზომავენ დახრილ L მანძილს (ნაწილ-ნაწილ) და ამაგრებენ B' წერტილს;

c) AB' მონაკვეთის მახასიათებელ (რელიეფის გარდატეხის) წერტილებში ასობენ 1, 2, 3,... პალოებს ლურსმნით ისე, რომ მოსაზღვრე პალოებს შორის მინძილი არ აღემატებოდეს საზომის (რულეტის) სიგრძეს;

d) ზომავენ პალოებზე დასმულ ლურსმნებს შორნს L_1, L_2, L_3,... მანძილებს. გაზომვისას რულეტს ჭიმავენ დინამომეტრის საშუალებით საჭირო ძალით და ახდენენ ტემპერატურის ფიქსირებას;

e) გეომეტრიული ნიველობით საზღვრავენ ცალკეულ პალოებს შორის h_1, h_2, h_3... სიმაღლეთა სხვაობებს ან L_1, L_2 L_3... მონაკვეთების დახრის δ_1, δ_2, δ_3... კუთხეებს;

f) გამოთვლიან l_1, l_2, l_3,... ჰორიზონტულ პროექციებს დახრის კუთხეების ან აღმატებების გამოყენებით

$$l_i = L_i \cos\delta_i, \tag{2.2.3}$$

$$l_i = L_i - \frac{h_i^2}{2L_i}. \tag{2.2.4}$$

l_1, l_2,... ჰორიზონტული მანძილების გამოთვლისას მხედველობაში იღებენ აგრეთვე შესწორებებს ტემპერატურაზე, საზომის კომპარირებასა და ჩაკიდულობაზე (იხ. თავი V);

g) გამოთვლიან ჰორიზონტული l_i პროექციების ჯამს და d ნაშთის ოდენობას

$$\Sigma l_i = l_1 + l_2 + l_3 + \dots$$

$$d = l - \Sigma l_i;$$

h) d ნაშთს გადაზომავენ ადგილზე უკანასკნელი B' პალოდან (წინ ან უკან, ნაშთის ნიშნის შესაბამისად) და ამაგრებენ საძიებელ B წერტილს.

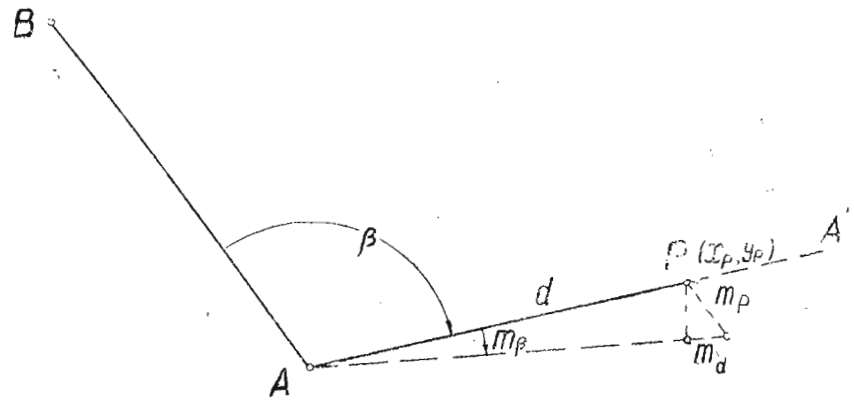
3. ცნობილი კოორდინატებით ადგილზე წერტილის მოძებნა და დანიშვნა

ვთქვათ, საჭიროა ადგილზე მოიძებნოს და დაინიშნოს P წერტილი, რომლის კოორდინატებია x_P, y_P. ამისათვის აუცილებელია საძიებელი წერტილის მახლობლობაში იყოს ორი A და B საყრდენი პუნქტი, რომელთა x_A, y_A, x_B, y_B კოორდინატები და (AB) დირექციული კუთხე ცნობილია. ამ პირობით P წერტილის პროექტიდან ადგილზე გადატანა შეიძლება პოლარული, პირდაპირი (კუთხური ან ხაზოვანი) გადაკვეთისა და პოლარ-გონომეტრიული ხერხებით.

1) პოლარული ხერხის გამოყენებისას განსაზღვრავენ (AP) დირექციულ კუთხესა და $AP = d$ ქვედებულს (2.1.1), (2.1.2) ფორმულების გამოყენებით, შემდეგ კი AP და AB-ს შორის β კუთხეს (2.1.7) ფორმულის შესაბამისად (ნახ. 3)

$$\beta = (AP) - (AB).$$

AB-ს მიმართ თეოდოლიტით A წერტილში ააგებენ β კუთხეს, მიღებულ AA' მიმართულებით მოზომავენ d მანძილს (ჰორიზონტულად) და დანიშნავენ საძიებელ P წერტილს. როდესაც A და P წერტილებს შორის უსწორმასწო-



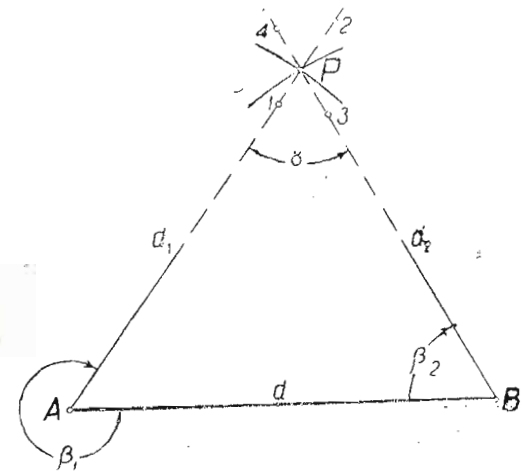
ნახ. 2.2.3.

რო რელიეფია და d მანძილის ჰორიზონტულად გადაზომვა ძნელია, მაშინ d უნდა გაიყოს რელიეფის დახრის კუთხის კოსინუსზე და გადაიზომოს მიღებული დახრილი მანძილი (იხ. ჰორიზონტული მანძილის გადატანა პროექტიდან ადგილზე).

P წერტილის მდებარეობის განსაზღვრის m_P საშუალო კვადრატული შეცდომა შეიძლება საკმარისი სიზუსტით (გამოსავალი მონაცემების შეცდომების უგულებელყოფით) განისაზღვროს ფორმულით

$$m_P = \pm\sqrt{m_\beta^2 \frac{d^2}{\rho^2} + m_d^2}, \tag{2.2.5}$$

სადაც m_β და m_d, შესაბამისად, β კუთხისა და d მანძილის ადგილზე გადატანის საშუალო კვადრატული შეცდომებია.



ნახ. 2.2.4.

2) კუთხური გადაკვეთის ხერხის გამოყენების დროს (ნახ 4), წინა შემთხვევის ანალოგიურად, საყრდენი A და B პუნქტების გამოყენებით, (2.1.1) ფორმულის მიხედვით, გამოითვლიან (AP) და (BP) დირექციულ კუთხეებს, მათი საშუალებით კი β_1 და β_2-ს

$$\beta_1 = (AP) - (AB),$$

$$\beta_2 = (BP) - (BA).$$

AB ხაზის მიმართ β_1 და β_2 კუთხეებს თეოდოლიტით ააგებენ ადგილზე და მიღებულ მიმართულებებს დანიშნავენ პალოებით 1, 2, 3 და 4. საძიებელი P წერტილი მდებარეობს 1—2 და 3—4 წერტილებს შორის გაჭიმული ზონრების გადაკვეთაზე.

P წერტილის ადგილზე მოძებნა შეიძლება აგრეთვე ორი თეოდოლიტით. ამ შემთხვევაში A და B წერტილებზე ცენტრავენ თეოდოლიტებს, ააგებენ β_1 და β_2 კუთხეებს და ორივე თეოდოლიტის ჰოგრების სამიზნე ღერძების გადაკვეთაზე ამაგრებენ P წერტილს (საჭიროა ორი დამკვირვებელი).

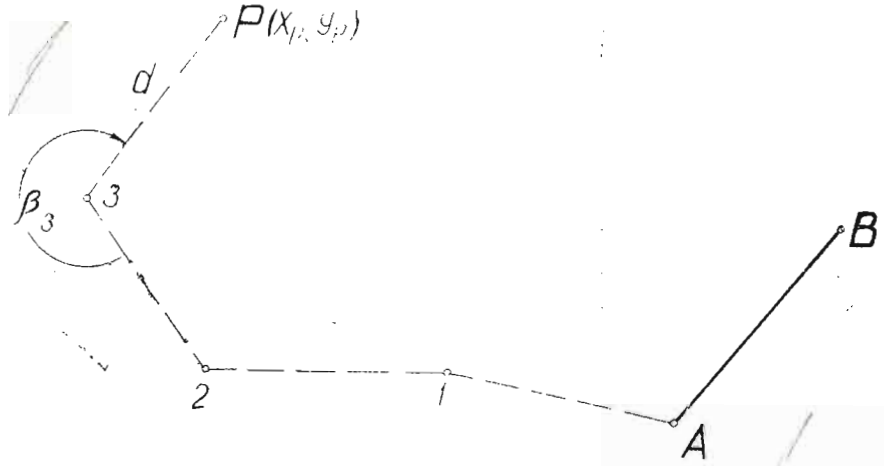
კუთხური გადაკვეთის ხერხით წერტილების გადატანას მიმართავენ იმ შემთხვევაში, როდესაც ძნელია მანძილების გადაზომვა. P წერტილის მდებარეობის m_P შეცდომა დამოკიდებულია β_1 და β_2 კუთხეების გადატანის m_β შეცდომასა და ABP სამკუთხედის ფორმაზე და გამოითვლება ფორმულით:

$$m_P = \pm L \frac{m''_\beta \sqrt{\sin^2\beta_1 + \sin^2\beta_2}}{\rho'' \sin^2\gamma}, \qquad (2.2.6)$$

სადაც L არის მანძილი საყრდენ A და B წერტილებს შორის;

γ — კუთხე P წერტილთან.

3) ხაზოვანი გადაკვეთის მეთოდით წერტილის ადგილზე გადატანის დროს საზღვრავენ საყრდენი A და B პუნქტებიდან საძიებელ P წერ-



ნახ. 2.2.5.

ტილამდე d_1 და d_2 ჰორიზონტულ მანძილებს შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის გადაწყვეტით (2.1.2) ფორმულის გამოყენებით (ნახ. 4). შემდეგ A და B წერტილებიდან ორი რულეტის საშუალებით შემოხაზავენ d_1 და d_2 რადიუსის რკალებს. ცხადია, საძიებელი წერტილი იმყოფება აღნიშნული რკალების ურთიერთგადაკვეთაზე. ამ ხერხით წერტილების გადატანა შეიძლება მხოლოდ მაშინ, თუ d_1, d_2 მანძილები არ აღემატება საზომის სიგრძეს და ადგილი წარმოადგენს ვაკე ზედაპირს.

4) პოლიგონომეტრიულ მეთოდს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც საყრდენი AB გვერდსა და დასანიშნავ P წერტილს შორის დიდი მანძილია ან მათ შორის პირდაპირი ხედვა არაა. ამ დროს საყრდენი AB გვერდ-

დან გასაყვანი გვირაბის მდებარეობის მიმართულებით ასრულებენ A—1-2-3 თეოდოლიტურ სვლას (ნახ. 5) და უკანასკნელი (3) წერტილისა და საძიებელი P წერტილის კოორდინატების საშუალებით, წინა ამოცანის ანალოგიურად, განსაზღვრავენ d მანძილსა და β კუთხეს. ამის შემდეგ P წერტილს ეძებენ პოლარული ხერხით.

4. რეპერის დამაგრება საპროექტო ნიშნულზე

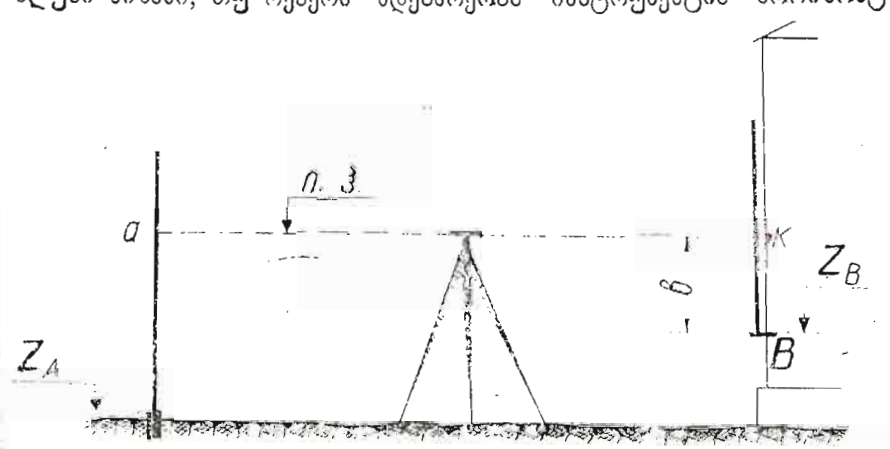
დავუშვათ, რომ ადგილზე არსებობს საყრდენი A რეპერი, რომლის z_A ნიშნული ცნობილია. საჭიროა შენობის კედელში, გრუნტში ან მიწისქვეშა გვირაბში მოცემულ z_B ნიშნულზე დამაგრდეს B რეპერი.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტისას შესაძლებელია სამი შემთხვევა:

1) საყრდენი (A) და დასამაგრებელი (B) რეპერების ნიშნულებს შორის სხვაობა ნაკლები იყოს ლარტყის სიგრძეზე. ამ შემთხვევაში A და B წერტილებს შორის შუაში აყენებენ ნიველირს (ნახ. 6), ხოლო საყრდენ A რეპერზე კ•—სანიველო ლარტყას. ანგარიშობენ ინსტრუმენტის ჰორიზონტს ფორმულით

$$\text{ი. ჰ.} = z_A \pm a, \qquad (2.2.7)$$

სადაც a არის ანათვალი საყრდენ A რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე. მას ეჭნება პლუსი ნიშანი, თუ რეპერი მდებარეობს ინსტრუმენტის ჰორიზონტზე



ნახ. 2.2.6.

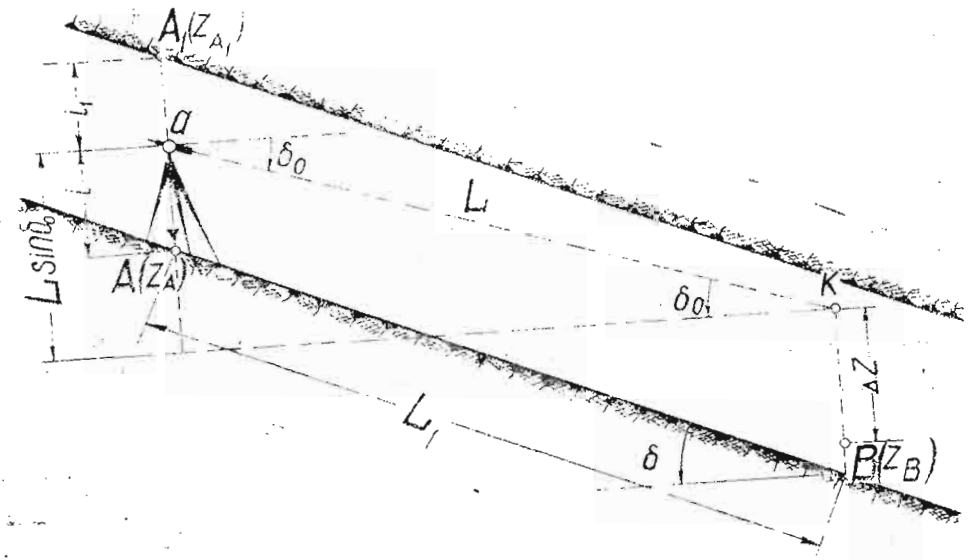
დაბლა, და მინუსი—თუ იგი ინსტრუმენტის ჰორიზონტზე მაღლაა. ორივე შემთხვევაში ლარტყის ნულოვანი შტრიხი მიდებული უნდა იყოს რეპერზე. ამის შემდეგ გამოითვლიან ინსტრუმენტის ჰორიზონტსა და საპროექტო B რეპერის ნიშნულს შორის b სხვაობას

$$b = \text{ი. ჰ.} - z_B \qquad (2.2.8)$$

და რეპერის დამაგრების ადგილზე აყენებენ ლარტყას, გადააადგილებენ მას ვერტიკალურ სიბრტყეში მანამ, სანამ მასზე ანათვალი b-ს არ გაუტოლდება. ამ მდგომარეობაში ლარტყის ძირზე (ნულოვან ანათვალთან) ამაგრებენ B რეპერს. რეპერის დამაგრების შემდეგ ასრულებენ მისი ნიშნულის საკონტროლო განსაზღვრას.

2) საყრდენი და საპროექტო რეპერების ნიშნულებს შორის სხვაობა თუ აღემატება ლარტყის სიგრძეს, მაშინ წინა მაგალითის ანალოგიურად განსაზღვრავენ ინსტრუმენტის ჰორიზონტს და აღნიშნავენ მის შესაბამის K წერტილს ადგილზე (B წერტილის ვერტიკალზე). შემდეგ ინსტრუმენტის ჰორიზონტსა და საპროექტო რეპერის z_B ნიშნულს შორის b სხვაობას რულეტით გადაზომავენ K წერტილიდან ვერტიკალურად ქვემოთ (როცა b დადებითია) ან ზემოთ (როცა b უარყოფითია) და ამაგრებენ საძიებელ B წერტილს.

3) დახრილ სამთო გვირაბებში (აგრეთვე ზედაპირზე ციცაბო ფერდო-



ნახ. 2.2.7.

ბების შემთხვევაში) რეპერის საპროექტო ნიშნულზე დამაგრება შეიძლება ტრიგონომეტრიული ნიველობის მეთოდით შემდეგნაირად (ნახ. 7):

a) გვირაბის კედელში საყრდენი A რეპერიდან L_1 მანძილზე ამაგრებენ დამხმარე K წერტილს. აღნიშნული დახრილი L_1 მანძილის მიახლოებითი მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$L_1 = \frac{z_A - z_B}{\sin\delta}, \qquad (2.2.9)$$

სადაც z_A, z_B არის, შესაბამისად, საყრდენი და საპროექტო (დასამაგრებელი) რეპერების ნიშნულები, ხოლო δ—გვირაბის დახრის კუთხე;

b) საყრდენ A რეპერზე (ან რეპერის ქვეშ, როდესაც იგი ჭერშია დამაგრებული) ცენტრავენ თეოდოლიტს და ზომავენ aK სხივის დახრის δ_0 კუთხესა და დახრილ L სიგრძეს, აგრეთვე ინსტრუმენტის i სიმაღლეს.

c) გამოითვლიან დამხმარე K წერტილის z_K ნიშნულს ფორმულით

$$z_K = z_A \pm i - L\sin\delta_0 \qquad (2.2.10)$$

(რომელსაც საყრდენი A რეპერი გვირაბის იატაკზეა, i-ს ექნება პლუსი ნიშანი, წინააღმდეგ შემთხვევაში—მინუსი).

ზემომოყვანილი ფორმულა მართებულია დაღმართის შემთხვევაში; აღმართის დროს ხელმძღვანელობენ ფორმულით

$$z_K = z_A \pm i + L\sin\delta. \qquad (2.2.11)$$

d) $\Delta z = z_K - z_B$ სხვაობას გადაზომავენ (ნიშნის შესაბამისად) K წერტილიდან ვერტიკალურად ქვემოთ (ან ზემოთ) და ამაგრებენ საძიებელ B რეპერს.

2.3. გვირაბის გაყვანის ადგილის მოძებნა და დანიშვნა. მიმართულების მიცემა გვირაბებისათვის და გაყვანის პროცესში მათი საპროექტო მიმართულების, განივი კვეთისა და გამაგრების პასპორტის კონტროლი

საბადოს დამუშავების პროექტის შესაბამისად გვირაბის გაყვანის (შეჭრის) ადგილის მოძებნა და დანიშვნა, როცა ცნობილია მისი საწყისი (სიმეტრიის ღერძზე მდებარე) P წერტილის x_P, y_P კოორდინატები, სრულდება წინა პარაგრაფში აღწერილი წესით—პოლარული, პირდაპირი გადაკვეთის ან პოლიგონომეტრიული მეთოდებით. ამის შემდეგ საჭიროა გასაყვანი გვირაბის ღერძის ადგილზე მოძებნა და დანიშვნა, რასაც გვირაბისათვის მიმართულების მიცემა ეწოდება.

გვირაბისათვის მიმართულების მიცემა შეიძლება, თუ ცნობილია მისი ღერძის დირექციული კუთხე და ქანობი (ან დახრის კუთხე). პირველი განსაზღვრავს გვირაბის მიმართულებას ჰორიზონტულ სიბრტყეში, მეორე—ვერტიკალურში. ზოგჯერ საკმარისია ხოლმე გვირაბისათვის მიმართულების მიცემა ჰორიზონტულ ან ვერტიკალურ სიბრტყეში. ასე, მაგალითად, აუშლელი განლაგების ფენაში ბრემსბერგის გაყვანისას მისთვის ვერტიკალურ სიბრტყეში მიმართულების მიცემა არ არის აუცილებელი, რადგან ამ სიბრტყეში „მეგზურის“ როლს შეასრულებს ფენის საგები ან სახურავი გვერდი, ხოლო მუდმივი მიმართების დახრილ ფენაში შტრეკის გაყვანის დროს კი საკმარისია მიმართულების მიცემა მხოლოდ ვერტიკალურ სიბრტყეში. კვერშლაგის, ორტის, დახრილი ჭაურისა და სხვა სახის საველე გვირაბების გაყვანისას კი საჭიროა მათთვის მიმართულების მიცემა როგორც ჰორიზონტულ, ისე ვერტიკალურ სიბრტყეში.

აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ საპროექტო გვირაბის ღერძის გეომეტრიული ელემენტების—დირექციული კუთხისა და ქანობის დადგენა ხდება საბადოს დამუშავების პროექტის შედგენის დროს, მარკშეიდერული აგეგმვის საფუძველზე ან მარგი წიაღისეულის საბადოს წოლის ელემენტების (მიმართების, დაქანების) მიხედვით. მაგალითად, ყველა კაპიტალური გვირაბის ღერძის დირექციული კუთხე და ქანობი, როგორც წესი, მოცემულია ხოლმე პროექტში; შემხვედრი სანგრევებით გასაყვანი გვირაბის ღერძის აღნიშნული ელემენტები განისაზღვრება მარკშეიდერული აგეგმვის საფუძველზე (იხ. წიგნ. II ნ), ხოლო ფესის დაქანების ხაზზე ან ამ უკანასკნელის მიმართ რაიმე კუთხით გასაყვანი გვირაბისა კი—მარგი წიაღისეულის ბუდობის წოლის ელემენტების მიხედვით.

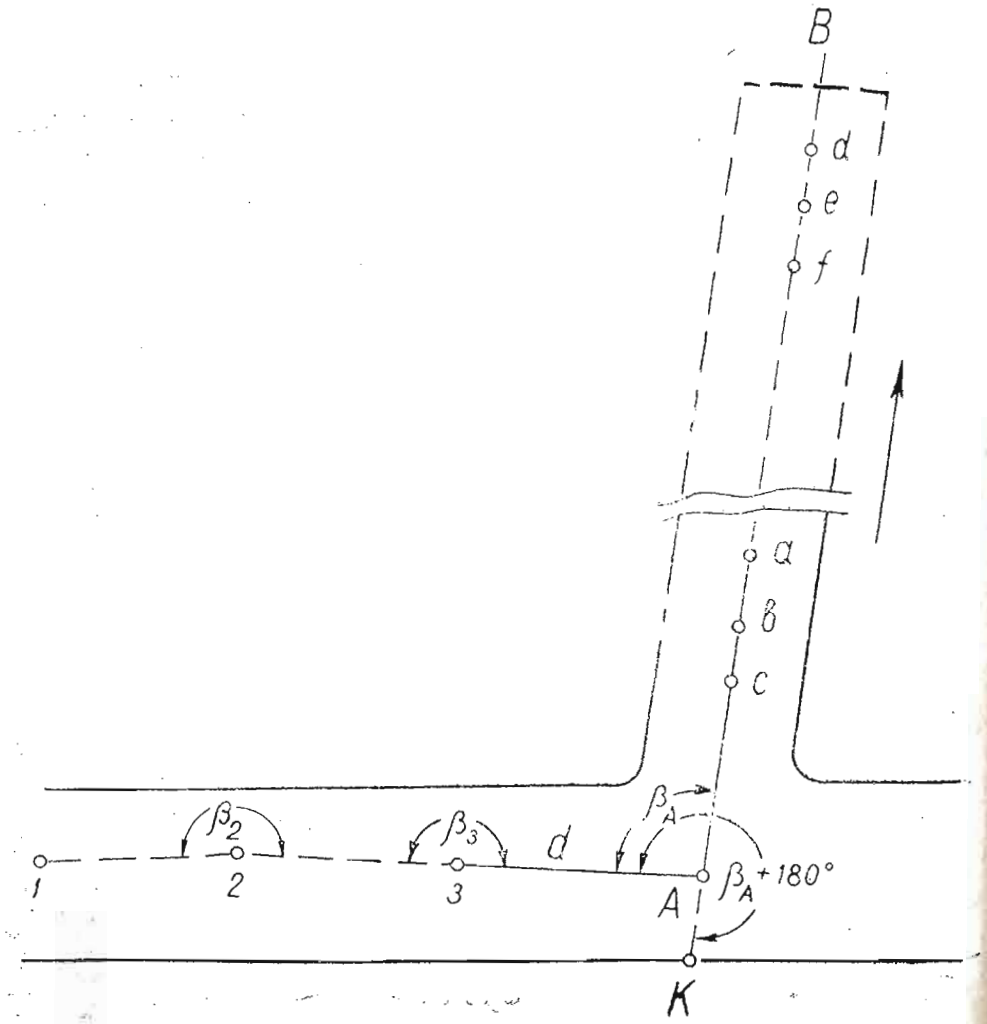
1. მიმართულების მიცემა სწორხაზოვანი ჰორიზონტული და დახრილი გვირაბებისათვის

ა) მიმართულების მიცემა ჰორიზონტულ სიბრტყეში

დავუშვათ, რომ ერთი სანგრევით ქვევიდან ზევით გასაყვანია ბრემსბერგი, რომლის ღერძის (AB) დირექციული კუთხე და საწყისი წერტილის x_A, y_A კოორდინატები ცნობილია (ნახ. 1). ამავე დროს ძირითად საზიდ შტრეკში, საიდანაც უნდა მოხდეს გვირაბის შეჯრა, არსებობს მარკშეიდერული აგეგმვის 1-ლი, 2 და მე-3 პუნქტები. საჭიროა ბრემსბერგის შეჯრის ადგილის განსაზღვრა და მისთვის ჰორიზონტული მიმართულების მიცემა.

ასეთი ამოცანის ამოხსნას შემდეგი თანამიმდევრობით ასრულებენ:

1) ამოწმებენ მარკშეიდერული აგეგმვის საყრდენი პუნქტების სანდოობას. ამისათვის მე-2 პუნქტზე ცენტრავენ თეოდოლიტს, ზომავენ β_2 კუთხეს



ნახ. 2.3.1.

და ადარებენ მას ადრე განსაზღვრულს. თუ ამ კუთხის ადრინდელ და საკონტროლო მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ აღემატება $\pm 1'$-ს, მაშინ შეიძლება აღნიშნული პუნქტების გამოყენება ბრემსბერგის შეჯრის ადგილის განსაზღვრისათვის (წინააღმდეგ შემთხვევაში უნდა მოიძებნოს სხვა პუნქტები, რომლებიც მოყვანილ მოთხოვნას დააკმაყოფილებენ);

2) მე-3 პუნქტზე დაყრდნობით, წინა პარაგრაფში აღწერილი წესით დანიშნავენ გვირაბის შეჯრის A წერტილს (β_3 კუთხითა და d მანძილით);

3) გამოითვლიან გასაყვანი გვირაბის ჰორიზონტული მიმართულების β_A კუთხეს ფორმულით

$$\beta_A = (AB) - (A3).$$

4) დააყენებენ თეოდოლიტს A წერტილზე, ააგებენ $A3$ გვერდის მიმართ β_A კუთხეს და მიღებულ მიმართულებას (ბრემსბერგის ღერძს) დანიშნავენ სამი წერტილით. თუ A წერტილიდან შტრეკის კედლამდე მანძილი აღმოჩნდება ჰოგრის დამზერის ზღვრულ ოდენობაზე ნაკლები, მაშინ β_A-ს ნაცვლად ააგებენ $(\beta_A+180°)$ კუთხეს და ჰოგრზე მოთავსებული სამიზნეს მეშვეობით შეუიარაღებელი თვალით ნიშნავენ K წერტილს. A და K წერტილებიდან ჩამოშვებული შვეულების გასწვრივ გაყავთ ბრემსბერგი 8—10 მეტრის მანძილზე. ამის შემდეგ გვირაბის მიმართულებას აზუსტებენ ინსტრუმენტით, რისთვისაც A წერტილზე $A3$-ის მიმართ ააგებენ β_A კუთხეს და ჰოგრის სამიზნე ღერძის გასწვრივ სამაგრის უღელზე დროებითი მარკშეიდერული ნიშნების საშუალებით კიდებენ a, b და c შვეულებს. გვირაბის 20—30 მეტრზე გაყვანის შემდეგ საჭიროა დადგენილი მიმართულება გადატანილ იქნეს სანგრევთან ახლოს. ამ მიზნით a წერტილის ქვეშ ცენტრავენ თეოდოლიტს, გააგრძელებენ Aa მიმართულებას და მასზე დანიშნავენ წერტილების მეორე (d, e, f) ჯგუფს.

ხშირად მიცემული მიმართულება არ ემთხვევა ხოლმე გვირაბის გეომეტრიულ ღერძს და გადაადგილებულია მის პარალელურად მარცხნივ ან მარჯვნივ. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია გასაყვანი გვირაბის ესკიზზე ნაჩვენები იყოს მიცემული მიმართულებიდან გვირაბის კედლამდე მანძილი.

მიმართულების განსაზღვრისა და გადატანის განხილული მეთოდები, რომლებიც სრულდება ცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტით, გამოსადეგია ჰორიზონტული და დამრეცი გვირაბების გაყვანის დროს. ციცაბო გვირაბების შემთხვევაში კი β_A კუთხეს ააგებენ ექსცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტით ისე, როგორც ეს წინა პარაგრაფში იყო აღწერილი. მაგრამ ჩვენ იქვე შევნიშნეთ, რომ სწორი პასუხის მისაღებად საჭიროა C_1C_2 იყოს ჰორიზონტული და AC-ს პერპენდიკულარული (იხ. ნახ. 2.2.1[ბ]). როდესაც აღნიშნული პირობის განხორციელება არ შეიძლება, მაშინ ჯერ ააგებებენ AB-ს პარალელურ CC' და DD' მიმართულებებს, რისთვისაც წინასწარ გამოითვლიან α და β კუთხეებს (ნახ. 2)

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \beta_A - \gamma, \\ \beta &= \beta_A + \gamma; \end{aligned}\right\} \qquad (2.3.1)$$

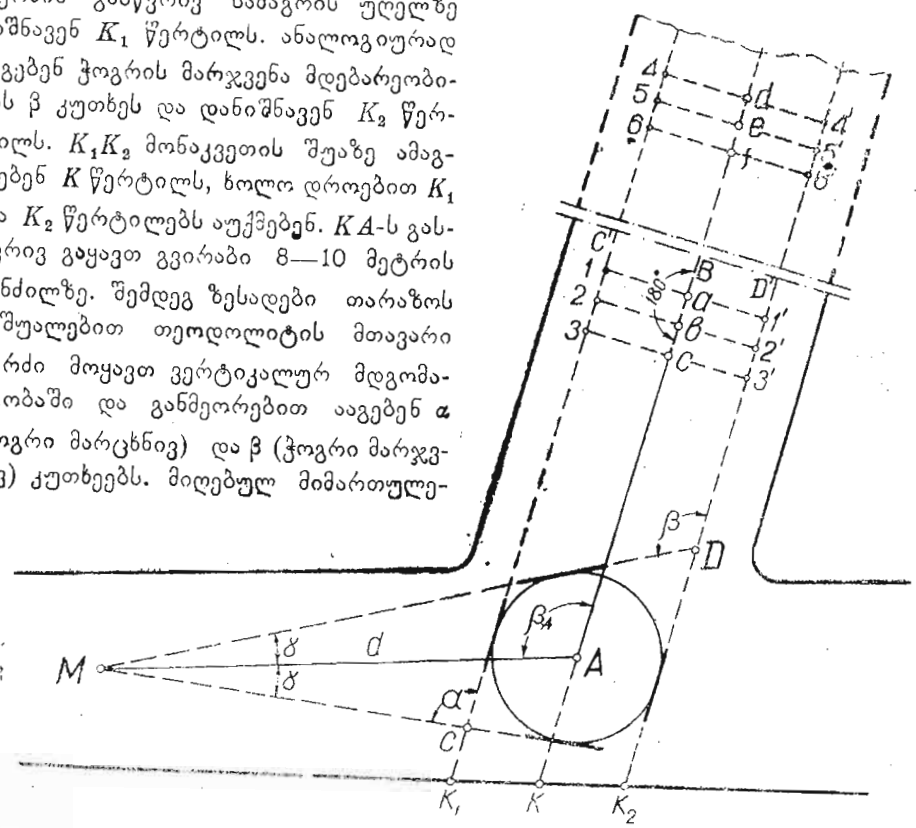
γ კუთხე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით

$$\gamma = \frac{r}{d_{(AM)}}\rho'', \qquad (2.3.2)$$

სადაც $d_{(AM)}$ არის საყრდენი AM გვერდის ჰორიზონტული პროექცია, მიღებული პროექტიდან;

r — ჰოგრის ექსცენტრობის სიდიდე, რომლის ოდენობას ინსტრუმენტზე უშუალოდ ვზომავთ ან მის ტექნიკურ აღწერილობაშია მოცემული.

შემდეგ ცენტრავენ თეოდოლიტს A წერტილის ქვეშ. ჰოგრის მარცხენა მდებარეობისას ააგებენ α კუთხეს, გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე და მის სამიზნე ღერძის გასწვრივ სამაგრის უღელზე ნიშნავენ K_1 წერტილს. ანალოგიურად ააგებენ ჰოგრის მარჯვენა მდებარეობისას β კუთხეს და დანიშნავენ K_2 წერტილს. K_1K_2 მონაკვეთის შუაზე ამაგრებენ K წერტილს, ხოლო დროებით K_1 და K_2 წერტილებს აუქმებენ. KA-ს გასწვრივ გაყავთ გვირაბი 8—10 მეტრის მანძილზე. შემდეგ ზესადები თარაზოს საშუალებით თეოდოლიტის მთავარი ღერძი მოყავთ ვერტიკალურ მდგომარეობაში და განმეორებით ააგებენ α (ჰოგრი მარცხნივ) და β (ჰოგრი მარჯვნივ) კუთხეებს. მიღებულ მიმართულებებს ნიშნავენ დროებით 1, 2, 3 და 1′, 2′, 3′ ნიშნებით. ამ დროს 1—1′, 2—2′, და 3—3′ მონაკვეთები (აგების სწორად შესრულების შემთხვევაში) $2r$-ს უნდა უდრიდეს. აღნიშნული მონაკვეთების შუაზე ამაგრებენ a, b და c წერტილებს, დროებით პუნქტებს კი აუქმებენ. ამგვარად აგებულ MAa კუთხეს ზომავენ და ადარებენ საპროექტო β_A-ს. მათ შორის სხვაობა დასაშვებია ინსტრუმენტის ორმაგ სიზუსტემდე.



ნახ 2.3.2

სანგრევის წინსვლის შესაბამისად Aa მიმართულების განგრძობისათვის საჭიროა a წერტილის ქვეშ დაიცენტროს თეოდოლიტი და aA-ს მიმართ აგებულ იქნეს $\beta_a = 180°$ კუთხე. ამისათვის წინასწარ გამოითვლიან α_1 და β_1 კუთხეებს (1) და (2) ფორმულების შესაბამისად

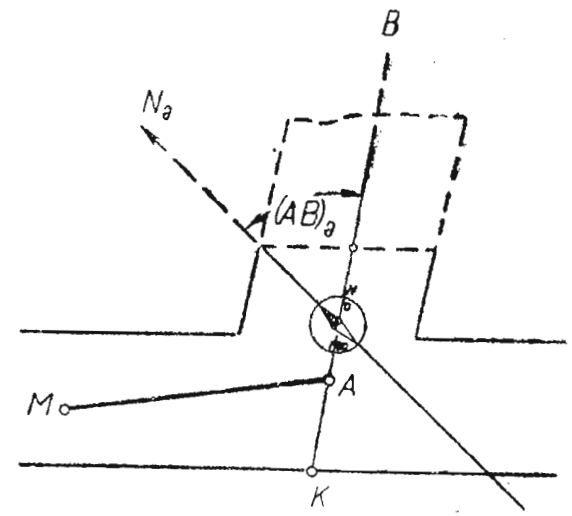
$$\left.\begin{aligned}\alpha_1 &= 180° - \gamma,\\ \beta_1 &= 180° + \gamma,\end{aligned}\right\} \qquad (2.3.3)$$

სადაც

$$\gamma = \frac{r}{d_{(Aa)}}\rho''. \qquad (2.3.4)$$

შემდეგ ჰოგრის ორ მდებარეობაში ააგებენ გამოთვლილ α_1 და β_1 კუთხეებს და ზემოაღწერილი წესით პოულობენ და ამაგრებენ გვირაბის ღერძზე (ან მის პარალელურად) მდებარე d, e და f წერტილებს.

მარგ წიაღისეულში გამავალი მეორეხარისხოვანი გვირაბისათვის (თუ რკინის მადნეული არაა) ჰორიზონტულ სიბრტყეში მიმართულების მიცემა შეიძლება აგრეთვე საკიდი ბუსოლის საშუალებით. ამისათვის სამთო სამუშაოების გეგმას, რომელზედაც დატანილია საპროექტო გვირაბის ღერძი, სამთო კომპასით აძლევენ ორიენტაციას და იმავე კომპასით საზღვრავენ AB ხაზის $(AB)_a$ მაგნიტურ აზიმუტს. შემდეგ გასაყვანი გვირაბის ღერძზე დანიშნულ A წერტილში (ნახ. 3) ამაგრებენ ზონრის ერთ ბოლოს, მეორე ბოლოს კი დაჭიმავენ დაახლოებით AB-ს გასწვრივ და ზედ კიდებენ ბუსოლს ისე, რომ მისი წრის ნულოვანი დანაყოფი მიმართული იყოს B-სკენ. ამავე დროს ზონრის თავისუფალ ბოლოს გადააადგილებენ მანამ, სანამ ისრის ჩრდილოეთ ბოლოთი ანათვალი არ გახდება $(AB)_a$ მაგნიტური აზიმუტის ტოლი. ამ მდგომარეობაში დაამაგრებენ ზონარს და მის გასწვრივ კიდებენ 2—3 შვეულს. შემდგომში გვირაბის წინსვლის შესაბამისად აზუსტებენ დადგენილ მიმართულებას.



ნახ. 2.3.3.

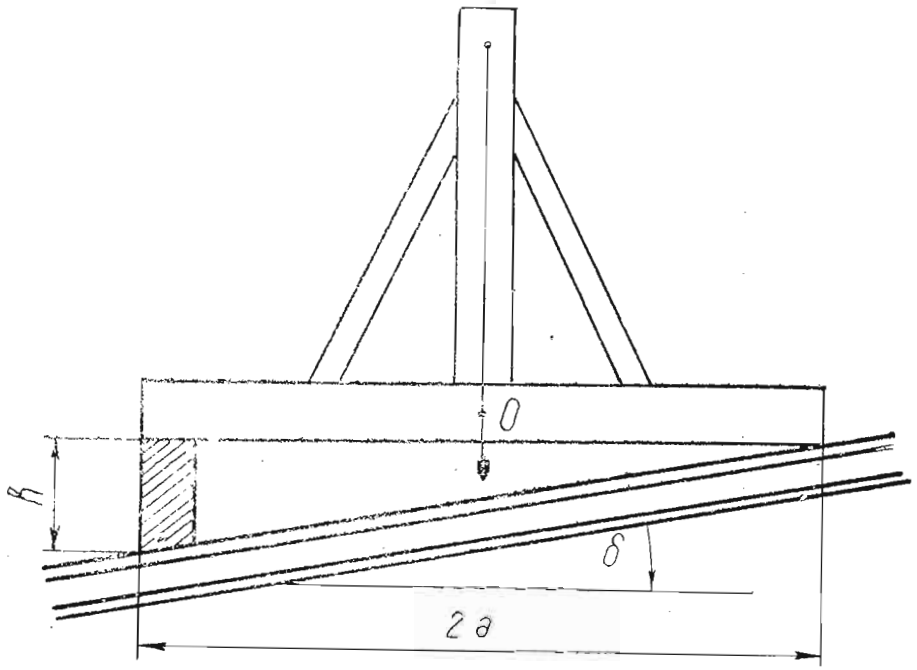
b) ცნობილი დახრის კუთხით გვირაბის ღერძის მიმართულების დაკვალვა ვერტიკალურ სიბრტყეში

გვირაბის ორიენტირებული ღერძისათვის საჭირო მიმართულების მიცემა ვერტიკალურ სიბრტყეში შეიძლება ნიველირით, თეოდოლიტით ან სხვადასხვა სახის თარგის (შაბლონის) საშუალებით. ამისათვის გვირაბის დახრილი ნაწილის საწყისში (პროფილის გარდატეხის წერტილში) ამაგრებენ საყრდენ ღერძულ ან კედლის რეპერებს.

საყრდენ ღერძულ რეპერად იყენებენ გვირაბის ღერძზე კიდული შვეულის ტვირთის ფუძეს, რომლიდანაც ვერტიკალური მანძილი საზიდი გზის

რელსის თავის საპროექტო დონემდე უდრის დეციმეტრების მთელ რიცხვს, მაგალითად, 1 მეტრს. საყრდენი კედლის რეპერებს კი წარმოადგენს გვირაბის ღერძის მართობულად მოპირდაპირე კედლებზე (განსაზღვრულ დონეზე) დამაგრებული ორი მარკშეიდერული ნიშანი.

ღერძული ან გვერდითი რეპერებიდან პირველი 5—10 მ მანძილზე გვირაბს შვეულ სიბრტყეში მიმართულებას აძლევენ სხვადასხვა სახის თარგის (შაბლონის) საშუალებით. პრაქტიკაში ყველაზე გავრცელებულია შვეულიანი ვატერპასი (ნახ. 4). იგი წარმოადგენს ორი მეტრის სიგრძის ძელს, რომელსაც

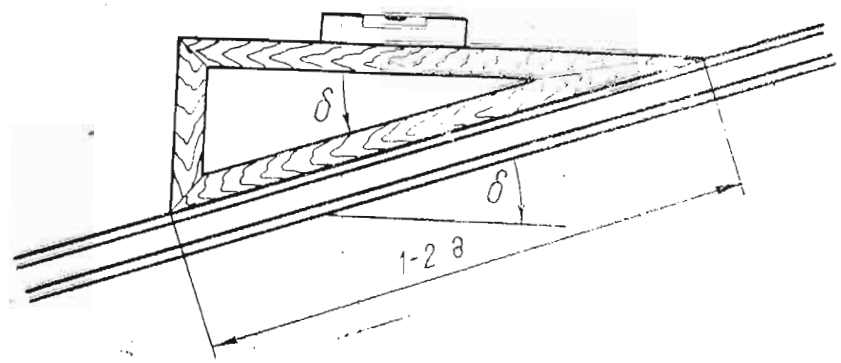


ნახ. 2.3.4.

საბრჯენების საშუალებით მიმაგრებული აქვს ვერტიკალური დგამი შვეულით. ძელის ერთ-ერთ ბოლოს ქვევიდან მიკრული აქვს ხის ან ლითონის ისეთი h სისქის „ბალიში“, რომ ფარდობა 2 მეტრთან $\left(\frac{h}{2}\right)$ გვირაბის საპროექტო i ქანობს უდრის. მოხმარების დროს ვატერპასს დებენ გვირაბის მოსუფთავებულ იატაკზე (ან რელსზე) იმგვარად, რომ მისი „ბალიშიანი“ ბოლო იყოს დაქანების მხარეზე. თუ გვირაბის პროფილი დაცულია, მაშინ ვერტიკალურ დგამზე მიმაგრებული შვეული ნულოვან შტრიხს შეუთავსდება.

დახრილი გვირაბისათვის შვეულ სიბრტყეში მიმართულების მიცემა შეიძლება აგრეთვე თარგ-სამკუთხედის საშუალებით (ნახ. 5). იგი წარმოადგენს მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის ჰიპოტენუზა 1 ან 2 მეტრია, მზადდება გვირაბის მოცემული დახრის კუთხის მიხედვით და აქვს თარაზო ან შვეული. მას ჰიპოტენუზით დებენ გვირაბის იატაკზე დაგებულ ფიცარზე (ან რელსზე) ისე, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. თუ გვირაბი სწორადაა გაყვანილი, დიდ კათეტზე დამაგრებული თარაზოს ბუშტულის ცენტრი ნულ პუნქტს შეუთავსდება.

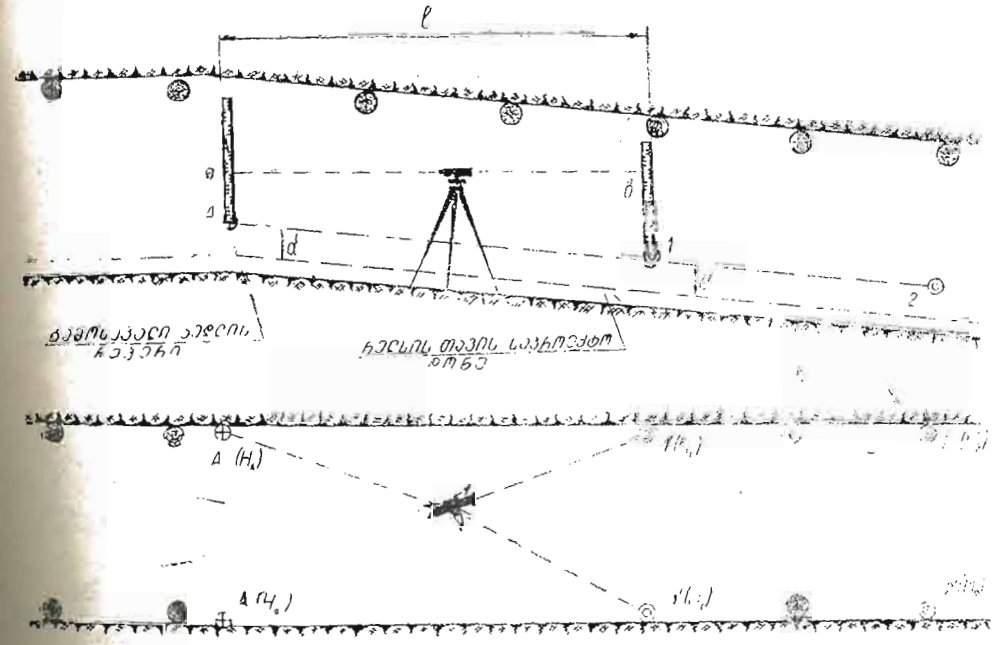
როდესაც გვირაბის დახრა 5—6°-სს არ აღემატება, მაშინ ზემოაღწერილი ხერხით 5—10 მეტრზე წინსვლის შემდეგ შვეულ სიბრტყეში მიმართუ-



ნახ. 2.3.5.

ლების მიცემა უნდა შესრულდეს ნიველირით, უფრო მეტი დახრის შემთხვევაში კი—თეოდოლიტით.

ნიველირით სარგებლობის დროს მიმართულებას შვეულ სიბრტყეში აღნიშნავენ ორი-სამი წყვილი კედლის რეპერის სისტემით, რომლებსაც ამაგრე-



ნახ. 2.3.6.

ბენ რელსის თავის საპროექტო მდებარეობიდან მუდმივ d სიმაღლეზე, ერთიმეორისაგან 2—5 მ დაშორებით.

ვთქვათ, საყრდენი კედლის A რეპერი დამაგრებულია რელსის თავის საპროექტო დონიდან განსაზღვრულ d სიმაღლეზე და მისი H_A ნიშნული ცნობილია (ნახ. 6ა,ბ), მისგან l მანძილზე უნდა დამაგრდეს კედლის რეპერე-

ბის ახალი წყვილი (1—1′). ამისათვის A რეპერიდან გადაზომავენ l მანძილს და გვირაბის ორივე კედელზე ცარცით გაავლებენ ვერტიკალურ ხაზებს (ან დაამაგრებენ დროებით ნიშნებს). ამის შემდეგ დააყენებენ ნიველირს საყრდენ და დასამაგრებელ რეპერებს შორის და განსაზღვრავენ იარაღის ჰორიზონტს

$$\text{ი. ჰ.} = H_A + a,$$

სადაც a არის საყრდენ A რეპერზე დადგმული ლარტყის ანათვალი.

გვირაბის საპროექტო i ქანობის გამოყენებით რეპერის 1 ნიშნული დაღმართის შემთხვევაში იქნება:

$$H_1 = H_A - il,$$

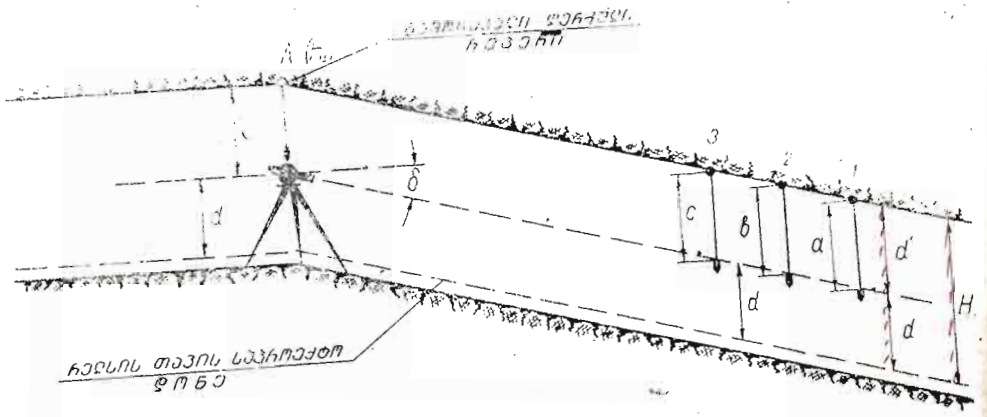
აღმართის შემთხვევაში კი

$$H_1 = H_A + il,$$

ხოლო მისი დონის შესაბამისი b ანათვალი ლარტყაზე უნდა იყოს

$$b = \text{ი. ჰ.} - H_1.$$

რეპერების 1 და 1′ დამაგრების ადგილის განსაზღვრისათვის შესაბამის კედელზე ცარცით დანიშნულ ხაზზე მიადებენ ლარტყას და გადააადგილებენ



ნახ. 2.3.7.

მას ვერტიკალური მიმართულებით მანამ, სანამ ანათვალი არ გაუტოლდება b-ს, რაც შესაბამისად ნიშნავენ რეპერების 1 და 1′ დამაგრების წერტილებს.

კედლის რეპერების შემდეგი წყვილის დამაგრებაც აღწერილი წესით ხდება. მათი გადატანა სრულდება ყოველი 30 მეტრის გავლის შემდეგ.

თეოდოლიტის გამოყენების შემთხვევაში თეოდოლიტს ცენტრავენ ღერძული A რეპერის ქვეშ; ჰოგრს მიმართავენ გვირაბის ღერძის მიმართულებით, რისთვისაც შვეული წრედის ვერნიერს აყენებენ („ნული ადგილის“ მხედველობაში მიღებით) გვირაბის დახრის δ კუთხის შესაბამის ანათვალზე (ნახ. 7). სანგრევთან ახლოს კიდებენ 1-ლ შვეულს და მის ზონარზე ნიშნავენ ჰოგრის სამიზნე ღერძის შესაბამის წერტილს. კონტროლისათვის ჰოგრი გადაყავთ ზენიტზე, შვეული წრედის ვერნიერს აყენებენ (360°—δ) კუთხის შესაბამის ანათვალზე და იმავე შვეულის ზონარზე ხელახლა დანიშნავენ ჰოგრის სამიზნე ღერძის შესაბამის მეორე წერტილს. ამის შემდეგ ჰოგრის სამიზნე სხივს მიმართავენ შვეულის ზონარზე დანიშნულ ორ ნიშანს შორის შუა წერტილისა-

კენ და შვეულს გადააადგილებენ ვერტიკალურად მანამ, სანამ მისი ტვირთის ფუძე არ შეუთავსდება თეოდოლიტის ჰოგრის ძაფთა ბადის ჯვარედინს. ჰოგრის უძრავად დატოვებით ამაგრებენ მე-2 და მე-3 შვეულებს, რომლებიც აღნიშნავენ გვირაბის მიმართულებას ვერტიკალურ სიბრტყეში. მათი გამოყენება შეიძლება აგრეთვე ჰორიზონტულ სიბრტყეში გვირაბის მიმართულების განსაზღვრისათვის. გვირაბის გაყვანის პროცესში შვეულებს ზოგჯერ მოხსნიან ხოლმე, ამიტომ მათ აღსადგენად უნდა გაიზომოს შვეულების a, b და c სიგრძეები.

გვირაბის ჭერისა და რელსის თავის საპროექტო მდებარეობის დაკვალვისათვის საჭირო d და d' მანძილების განსაზღვრის მიზნით ზომავენ ღერძული A რეპერის მიმართ ინსტრუმენტის i სიმაღლეს და გამოითვლიან ჰოგრის ბრუნვის ღერძის H_i ნიშნულს ფორმულით

$$H_i = H_A - i,$$

d და d' სიდიდეები გამოითვლება გამოსახულებებიდან

$$d = H_i - H_0,$$

$$d' = H - d,$$

სადაც H_0 არის რელსის თავის საპროექტო ნიშნული,

H — გვირაბის საპროექტო სიმაღლე (რელსის თავიდან ჭერამდე).

მაღალი სიზუსტით დაკვალვის მოთხოვნის შემთხვევაში (მაგალითად, დახრილ ჭაურში მუდმივი საზიდი გზის დაგების დროს) გვირაბში ამაგრებენ წყვილ კედლის რეპერს. ამისათვის ჯერ თეოდოლიტს აყენებენ გვირაბის მარცხენა კედელთან ახლოს და მასზე ნიშნავენ გვირაბის საპროექტო დახრის კუთხის შესაბამის სამიზნე სხივის კვალს. შემდეგ იარაღი გადააქვთ მარჯვენა კედელთან და ამ უკანასკნელზეც აღნიშნავენ იმავე დახრილ სიბრტყეში მდებარე ხაზს. ამის მისაღწევად მხედველობაში იღებენ თეოდოლიტით დგომის ორივე წერტილზე ჰოგრის ბრუნვის ღერძებს შორის სიმაღლეთა სხვაობას, რაც ნიველობით განისაზღვრება. გვირაბის კედლებზე ამგვარად აღნიშნულ დახრილ მიმართულებებზე აჰაგრებენ საჭირო რაოდენობის წყვილ კედლის რეპერს.

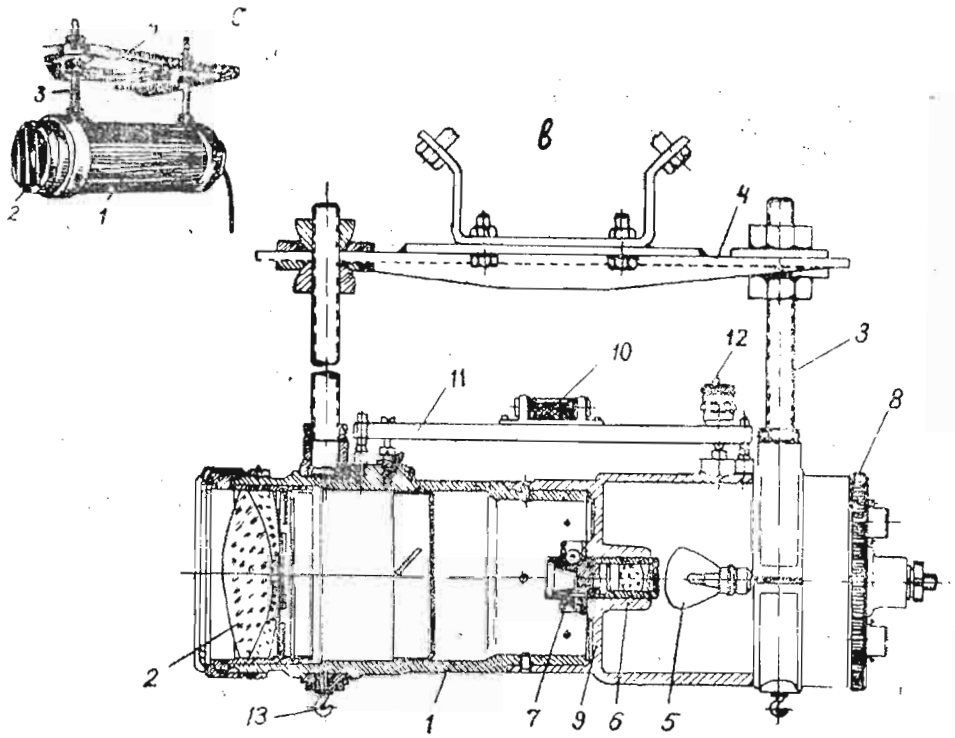
სწორხაზოვანი გვირაბისათვის როგორც ჰორიზონტული, ისე ვერტიკალური მიმართულების მიცემა შეიძლება აგრეთვე სპეციალური ინსტრუმენტის—„შუქმიმმართველის“ (УНС—2) საშუალებით, რომელიც საპროექტო ფარანს წარმოადგენს და შედგება ჰოგრისა და დასაყენებელი მოწყობილობისაგან (ნახ. 8а, ბ).

ჰოგრი 1 ცილინდრული ფორმისაა და ტიხრით 9 გაყოფილია ორ არათანაბარ ნაწილად; წინა ნაწილში საპროექციო სისტემის ობიექტივია 2 მოთავსებული, უკანაში—ელექტრონათურა 5 და კონდენსორი 6. კონდენსორის წინ დაყენებულია ჯვრისებრი ფორმის დიაფრაგმა 7. ნათურიდან სინათლის შუქი კონდენსორის გავლით ხვდება დიაფრაგმაზე და ეს უკანასკნელი ობიექტივით გეგმილდება ეკრანზე (სანგრევზე) მკაფიო თეთრი ჯვრის სახით. გამოსახულების ფოკუსირება ხდება კრემალერის 8 საშუალებით.

შუქმიმმართველი ჩაიხრახნება გვირაბის ხის სამაგრის უღელზე ან მაგრდება ლითონის სამაგრზე. ამისათვის მას აქვს დასაყენებელი მოწყობილობა 4, რომელსაც იგი უერთდება ორი შემკვრელის 3 და ორი წყვილი ჭანჩის საშუალებით. ჰორიზონტთან საჭირო დახრის კუთხით მისი დაყენება ხორციელდება

დასადგმელი თარაზოთი 10, რომელიც თავსდება თამასაზე 11. თამასის ერთ-ერთ ბოლოზე მოწყობილია მიკრომეტრული ხრახნი დანაყოფებიანი დოლით 12, რომლის ერთი დანაყოფის საფასური 0,001 ქანობის შესაბამისია. დოლის ბრუნვისას თამასის ერთი ბოლო აიწევს ან დაიწევს, რითაც შეიძლება საპროექციო სისტემის ღერძის დახრის კუთხის რეგულირება $i = \pm 0{,}020$ ქანობის ფარგლებში.

12 ვ ძაბვის ელექტრონათურა 5 იკვებება მაღაროს ძალური (380 ვ) ან



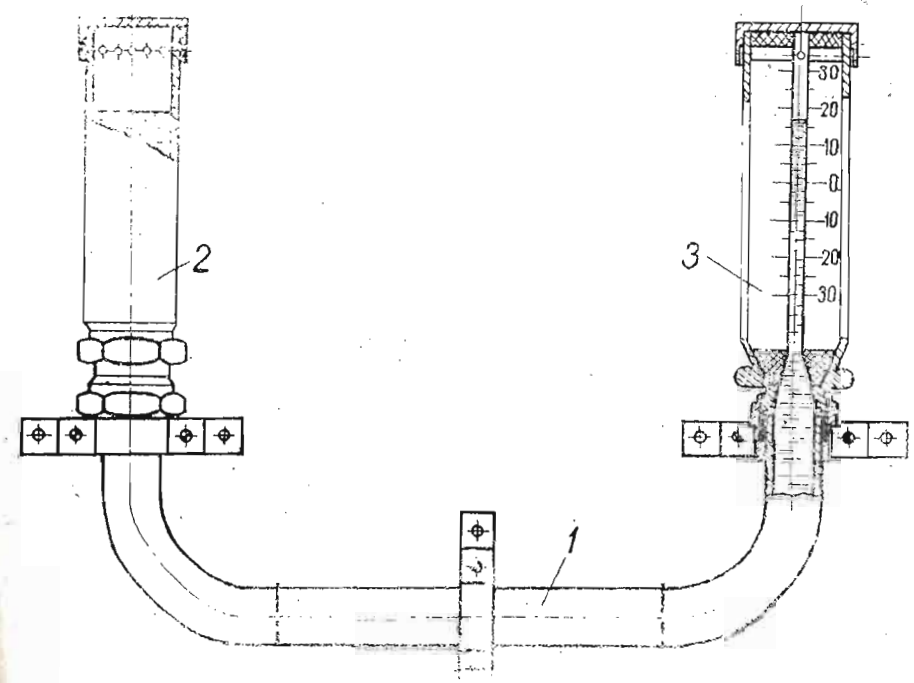
ნახ. 2.3.8.

გასანათებელი ქსელისაგან დამწევი ტრანსფორმატორის საშუალებით. გასანათებელი მოწყობილობა ფეთქებაუსაფრთხოა.

შუქმიმმართველს მუშა მდგომარეობაში აყენებენ გვირაბის მიმართულების გასწვრივ წინასწარ თეოდოლიტის საშუალებით დამაგრებული სამი წერტილის საშუალებით. სანგრევიდან დაახლოებით 15 მ-ით დაშორებული პირველი წერტილის ქვეშ ცენტრავენ და ამაგრებენ შუქმიმმართველს, ხოლო მეორე და მესამე წერტილებზე, რომლებიც სანგრევიდან დაახლოებით 5 და 10 მეტრით არიან მოცილებული, კიდებენ შვეულებს. საპროექციო ჰოგრს მიმართავენ მეორე (ან მესამე) შვეულისაკენ და ამაგრებენ ისეთ მდგომარეობაში, რომ დიაფრაგმის ვერტიკალური სინათლის ხაზი სიმეტრიულად გეგმილდებოდეს შვეულის მთელ სიგრძეზე და დასადგმელი თარაზოთი დოლზე დაცული იყოს მოცემული i ქანობი.

შუქმიმმართველის უფრო ზუსტი ორიენტირება შეიძლება თეოდოლიტის საშუალებით. ამისათვის თეოდოლიტს ცენტრავენ შუქმიმმართველის საცენტრავი კავის 13 ქვეშ, მის ჰოგრს აყენებენ გვირაბის საპროექტო მიმართულებაზე და ეკრანზე მიღებული სინათლის მარკის შუა წერტილს შეათავსებენ ჰოგრის ძაფთა ბადის ჯვარედინთან. ეკრანად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ქაღალდის ფურცელი, ხის დაფა ან სხვ.

შუქმიმმართველის თავდაპირველი დაყენება სრულდება მარკშეიდერის მიერ. გვირაბის გაყვანის პროცესში გვირაბგამყვანთ შეუძლიათ თვითონ პერიოდულად ჩართონ ინსტრუმენტი და სანგრევზე მიღებული სინათლის მარკით კონტროლი გაუწიონ გვირაბის პროექტის შესაბამისად გაყვანას. ინსტრუმენტის მოქმედების დიაპაზონი 8-დან 100 მეტრამდეა. მისი გამოყენება შეიძლება აგრეთვე გვირაბგასაყვანი კომბაინებით მუშაობის დროსაც.



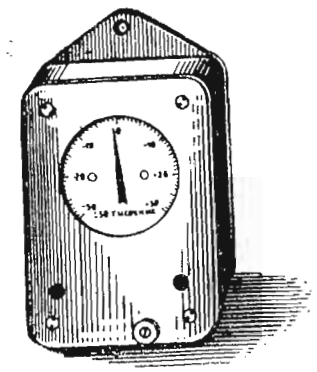
ნახ. 2.3.9.

გვირაბგასაყვანი მანქანების მოცემული ქანობით სატარებლად უკანასკნელ პერიოდში „ВНИМИ"-ს მიერ კონსტრუირებულია მთელი რიგი ხელსაწყოები რომლებიც არის: 1. ზიარჭურჭლებიანი ქანობსაზომი (УСС), 2. ციფერბლატიანი ქანობსაზომი (УЦ), 3. ქანობის ავტომატური სტაბილიზატორი (АСУ) და სხვ.

ზ ი ა რ ჭ უ რ ჭ ლ ე ბ ი ა ნ ი ქ ა ნ ო ბ ს ა ზ ო მ ი (ნახ. 9) განკუთვნილია გვირაბგასაყვანი ფარებისა და კომბაინების მოცემული ქანობით ტარებისათვის და წარმოადგენს ერთიმეორესთან ლითონის მილაკით 1 შეერთებულ ორ ჭურჭელს. ქანობსაზომის მილაკს ამაგრებენ ვერტიკალურ ტიხარზე, რომელიც გვირაბგასაყვანი მანქანის გრძივ ღერძზე მდებარეობს. ამავე დროს დიდ საწნეო ჭურჭელს 2 მოაქცევენ მანქანის წინა ნაწილში, ხოლო სკალებიან მცირე, ჭურჭელს 3—მართვის პულტთან. ქანობსაზომის დაყენება, დამაგრება და სითხით ავსება ხდება მარკშეიდერის უშუალო მონაწილეობით. სკალის უმცირე-

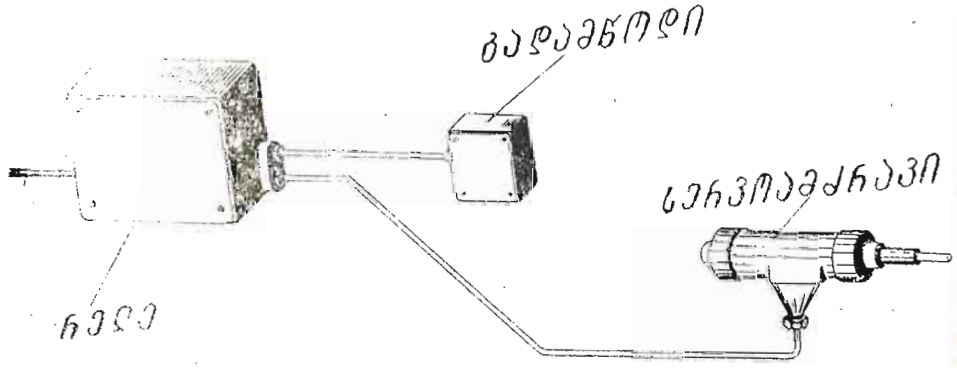
სი დანაყოფი $i = 0{,}005$ ქანობის შესაბამისია. სითხის დონე სკალიან მცირე ჰურჭელში დგინდება მოცემული ქანობის მიხედვით. გვირაბგასაყვანი მანქანის მემანქანე მუშაობის დროს თვალყურს ადევნებს, რომ ხელსაწყოს სკალაზე ანათვალი საპროექტო სიდიდეს უდრიდეს ან მისგან დასაშვები ოდენობით განსხვავდებოდეს.

ციფერბლატიანი ქანობსაზომი (ნახ. 10) განკუთვნილია გვირაბგასაყვანი ფარების მოცემული ქანობით ტარებისათვის. მისი მგრძნობიარე ელემენტია ქანქარა. მანქანაზე მიმაგრებული ქანობსაზომის კორპუსის დახრა ფიქსირდება ციფერბლატზე, რომლის ყოველ დანაყოფს შეესაბამება $i = 0{,}001$ ქანობი. ქანქარა, რომელსაც თავისუფლების ორი ხარისხი აქვს, დამაგრებულია წამყვან ლილვზე, ხოლო ისარი—ამყოლზე. ამ ლილვებს შორის არის ორსაფეხურიანი კბილანური გადაცემა, რომელსაც აქვს ლუფტის ზამბარიანი კომპენსატორი. ქანქარას გააჩნია ზეთიანი დემფერი და საჩერებელი მოწყობილობა.



ნახ. 2.3.10.

ქანობის ავტომატური სტაბილიზატორი (ნახ. 11) განკუთვნილია მემანქანის მონაწილეობის გარეშე კომბაინებისა და ფარების მოცემული მიმართულებით ავტომატური ტარებისათვის. მანქანის მოძრაობისას ხელსაწყო აკავებს (იჭერს) მუშა ორგანოს ბრუნვის ღერძს განსაზღვრული დახრის კუთხით ჰორიზონტთან, რითაც უზრუნველყოფს მნიშვნელოვან მანძილზე გვირაბის პროფილის დაცვას. იგი შედგება ელექტროლიტური გა-



ნახ. 2.3.11.

დამწოდის, იონური რელესა და ელექტრომაგნიტური სერვომაძრავისაგან.

ელექტროლიტური გადამწოდი არის ცილინდრული თარაზო, რომლის ლითონის კორპუსში დამაგრებულია ორი, ერთიმეორისაგან იზოლირებული კონტაქტი. თარაზოს შიგნით მოთავსებულია დენგამტარი სითხე და ჰაერის ბუშტულა. გადამწოდს ამაგრებენ მანქანის ამწევ ნაწილში. თუ მანქანის ეს ნაწილი ისეთ მდგომარეობაშია, რომ უზრუნველყოფს გვირაბის მოცემული ქანობით გაყვანას, მაშინ გადამწოდის თარაზოს ბუშტულა შუაში იმყოფება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ბუშტულა გადაიხრება, რაც გადამწოდის სითხური

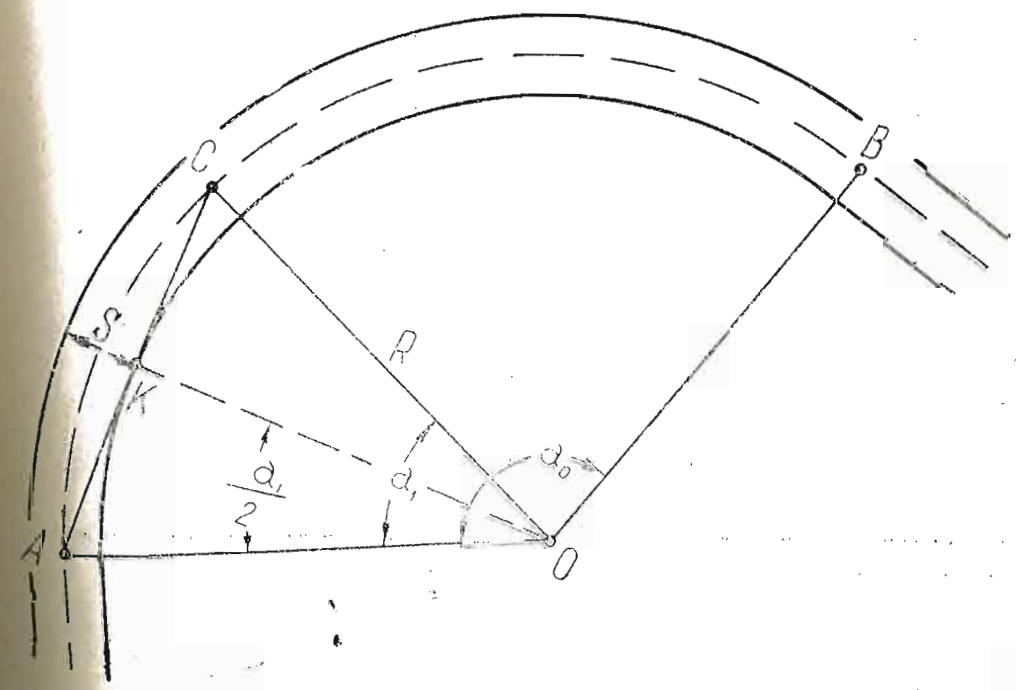
წინაღობის დიაგონალის ხიდში წარმოშობს დენს, რომელიც გადაეცემა იონურ რელეს, ეს უკანასკნელი ამუშავდება, ჩართავს ანოდურ ქსელს და სერვოამძრავს გადაყავს ამწევის დომკრატის მკვეთარა საჭირო მიმართულებაზე. მანამ, სანამ მანქანის ამწევი ნაწილი არ დაიჭერს თავდაპირველ მიმართულებას.

ამჟამად სწორხაზოვანი გვირაბისათვის მიმართულების მისაცემად იყენებენ ლაზერის სხივს. უკვე მიღებულია პირველი დადებითი შედეგები. მისი დანერგვა სამთო საქმეში საგრძნობლად შეამცირებს მარკშეიდერული სამუშაოების შრომატევადობას, განსაკუთრებით დიდი სიგრძის სწორხაზოვანი გვირაბების ჩქაროსნული მეთოდებით გაყვანის დროს.

2. მიმართულების მიცემა მრუდხაზოვანი გვირაბისათვის

მრუდხაზოვან გვირაბს ჰორიზონტულ მიმართულებას აძლევენ სხვადასხვა ხერხით, რომელთაგან პრაქტიკაში ყველაზე უფრო გავრცელებულია მართობების, რადიუსებისა და წაგრძელებული ქორდების ხერხები.

მართობების ხერხი. გვირაბის მრუდხაზოვან უბანს გამოხაზავენ მცირე მასშტაბში (1 : 20, 1 : 50) და წრიულ მრუდს ცვლიან მასში ჩახაზული ქორდებით. ქორდების რიცხვი, სიგრძე და მოხვევის კუთხე განისაზღვრება



ნახ. 2.3.12.

გრაფიკულად აღნიშნული გეგმიდან ან ანალიზური ხერხით. პირველი განსაკუთრებულ ახსნას არ საჭიროებს, ანალიზური ხერხის არსი კი შემდეგში მდგომარეობს:

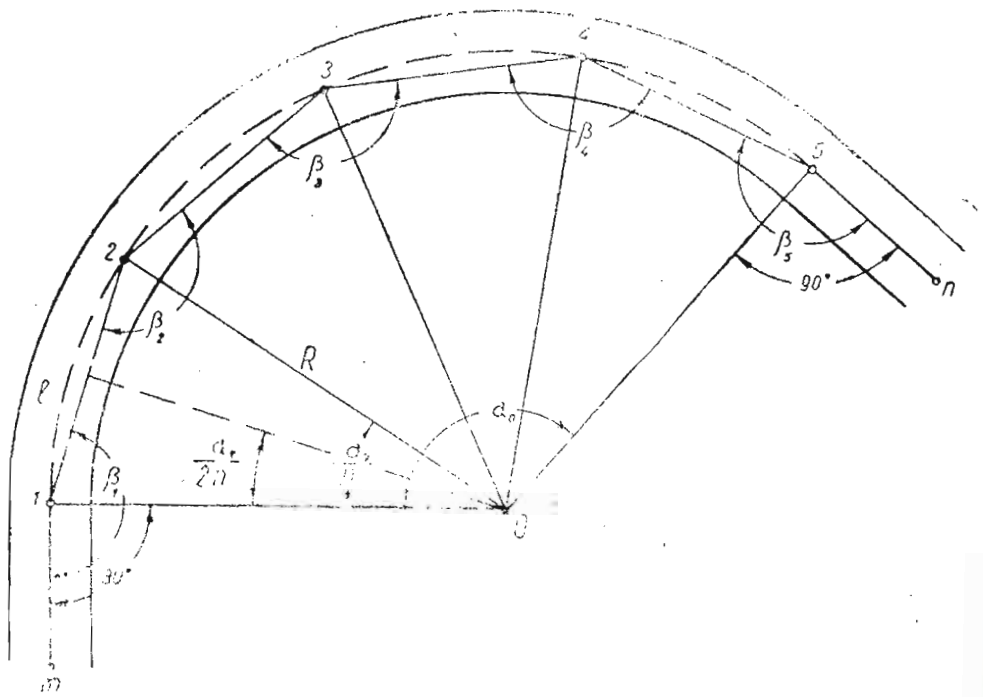
დავუშვათ, რომ გვირაბის AB მრუდხაზოვან უბანზე საჭიროა განისაზღვროს ქორდების მინიმალური რაოდენობა, თუ მრუდის საწყისი A და ბოლო B წერტილი, სიმრუდის R რადიუსი, ცენტრალური α_0 კუთხე და გვირაბის S სიგანე ცნობილია პროექტიდან (ნახ. 12). ამისათვის გვირაბის ღერძზე ირჩე-

ვენ ისეთ C წერტილს, რომ AC ქორდა გვირაბის შიგა კედელს ეხებოდეს (K წერტილი). თუ AC ქორდის შესაბამის ცენტრალურ კუთხეს აღვნიშნავთ α_1 ასოთი, ნახაზის მიხედვით დავწერთ

$$\frac{s}{2} = R - OK = R - R\cos\frac{\alpha_1}{2} = 2R\sin^2\frac{\alpha_1}{4},$$

საიდანაც

$$\sin\frac{\alpha_1}{4} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{s}{R}}. \qquad (2.3.5)$$



ნახ. 2.3.13.

α_1 კუთხეთა და მოცემული α_0-ის საშუალებით მაქსიმალური სიგრძის ქორდების რაოდენობა (n) განისაზღვრება ფორმულით

$$n = \frac{\alpha_0}{\alpha_1}, \qquad (2.3.6)$$

გამოთვლილი n უნდა დამრგვალდეს მეტობით მთელ რიცხვამდე, ხოლო თუ მთელი რიცხვი მივიღეთ—გადიდდეს ერთით.

რადგან ერთი ქორდის შესაბამისი ცენტრალური კუთხე $\frac{\alpha_0}{n}$-ის ტოლია (ნახ. 13), ამიტომ თითოეული ქორდის სიგრძე

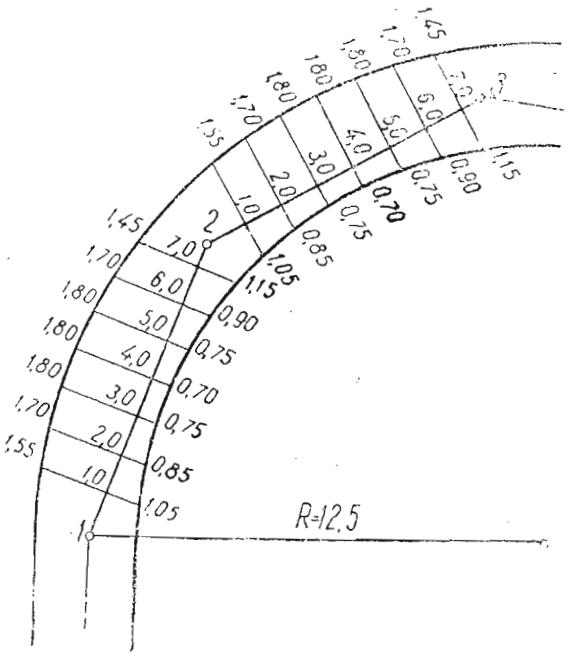
$$l = 2R\sin\frac{\alpha_0}{2n}. \qquad (2.3.7)$$

მოხვევის მარჯვენა კუთხეები გამოითვლება ფორმულით

$$\beta_1 = \beta_5 = 180° - \frac{\alpha_0}{2n}, \qquad (2.3.8)$$

$$\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 180° - \frac{\alpha_0}{n}. \qquad (2.3.9)$$

გვირაბის მრუდხაზოვანი უბნის მსხვილმასშტაბიან გეგმაზე კოორდინატების საშუალებით ან გრაფიკულად დააქვთ მრუდის 1-ლი, მე-2, მე-3,.. წერტილები (ნახ. 14). 1—2 მეტრის დაშორებით ატარებენ თითოეული ქორდისადმი პერპენდიკულარებს, გრაფიკულად საზღვრავენ გვირაბის კედლებამდე მათ სიგრძეს და წერენ ესკიზზე. ამის შემდეგ მრუდის საწყისი 1-ლი წერტილი გადააქვთ ადგილზე, დაკვალავენ 1—2 ქორდის მიმართულებას და გვირაბი გაყავთ სქემაზე მოცემული ზომების მიხედვით.



ნახ. 2.3.14.

რადიუსების ხერხი. გვირაბის მრუდხაზოვან უბანს გამოხაზავენ მსხვილ მასშტაბში (1 : 20, 1 : 50) და წინა მაგალითის ანალოგიურად წრიულ მრუდს ცვლიან მასში ჩახაზული ქორდებით. მანძილებს ქორდიდან გვირაბის კედლებამდე მოხვევის რადიუსის მიმართულებით საზღვრავენ გრაფიკულად გეგმიდან (ნახ. 15ა). გამოითვლიან გვირაბის გარე და შიგა მხარეზე ბიგების ღერძებს შორის l_1 და l_2 მანძილებს ფორმულებით (ნახ. 15ბ):

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= l + \Delta l, \\ l_2 &= l - \Delta l. \end{aligned}\right\} \qquad (2.3.10)$$

$$\Delta l = l \cdot \frac{s}{2R}, \qquad (2.3.11)$$

სადაც l არის სწორხაზოვან უბანზე მოსაზღვრე ბიგების ღერძებს შორის მანძილი (გამაგრების პასპორტის მიხედვით);

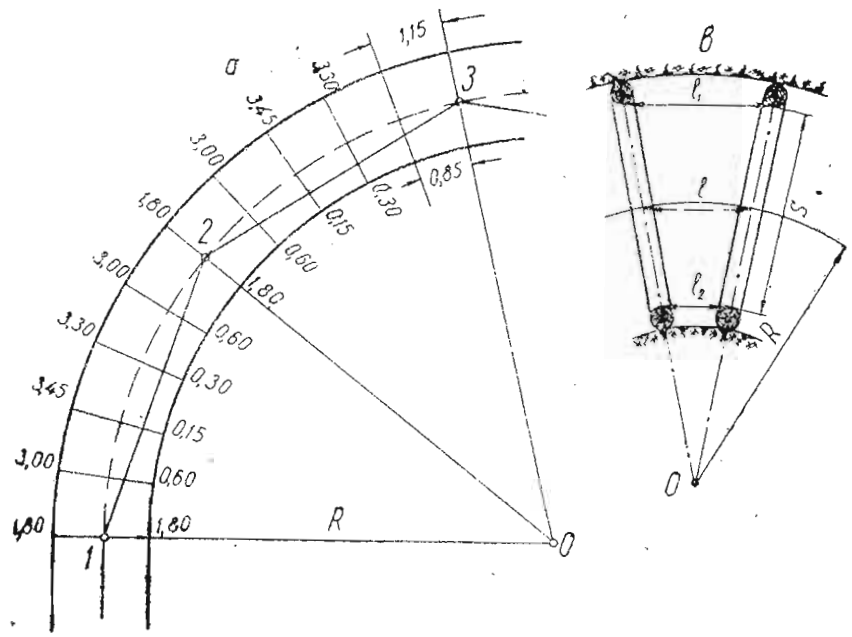
s — გვირაბის საშუალო სიგანე;

R — სიმრუდის რადიუსი.

ამ გზით განსაზღვრული ზომები, რაც აუცილებელია მრუდხაზოვანი გვირაბის გაყვანა-გამაგრებისათვის, დააქვთ მსხვილმასშტაბიან გეგმაზე.

წაგრძელებული ქორდების ხერხი. ამ ხერხის გამოყენების დროს გვირაბის მრუდხაზოვანი უბნის ღერძის დაკვალვას აწარმოებენ 2—3 მეტრის სიგრძის a სწორხაზოვანი მონაკვეთებით (ქორდებით) კუთხსაზომი იარაღების გამოყენების გარეშე, შემდეგნაირად:

დავუშვათ, რომ A მრუდის საწყისი წერტილია (ნახ. 16), AK კი სწორხაზოვანი გვირაბის ღერძი. A წერტილიდან უკან, გაყვანილი გვირაბის ღერძის მიმართულებით მოზომავენ $AK = 2a$ მანძილს და ნიშნავენ K წერტილს. A და K წერტილებიდან $AK' = 2a$ და $KK' = d$ რადიუსებით ხაზოვანი გადა-

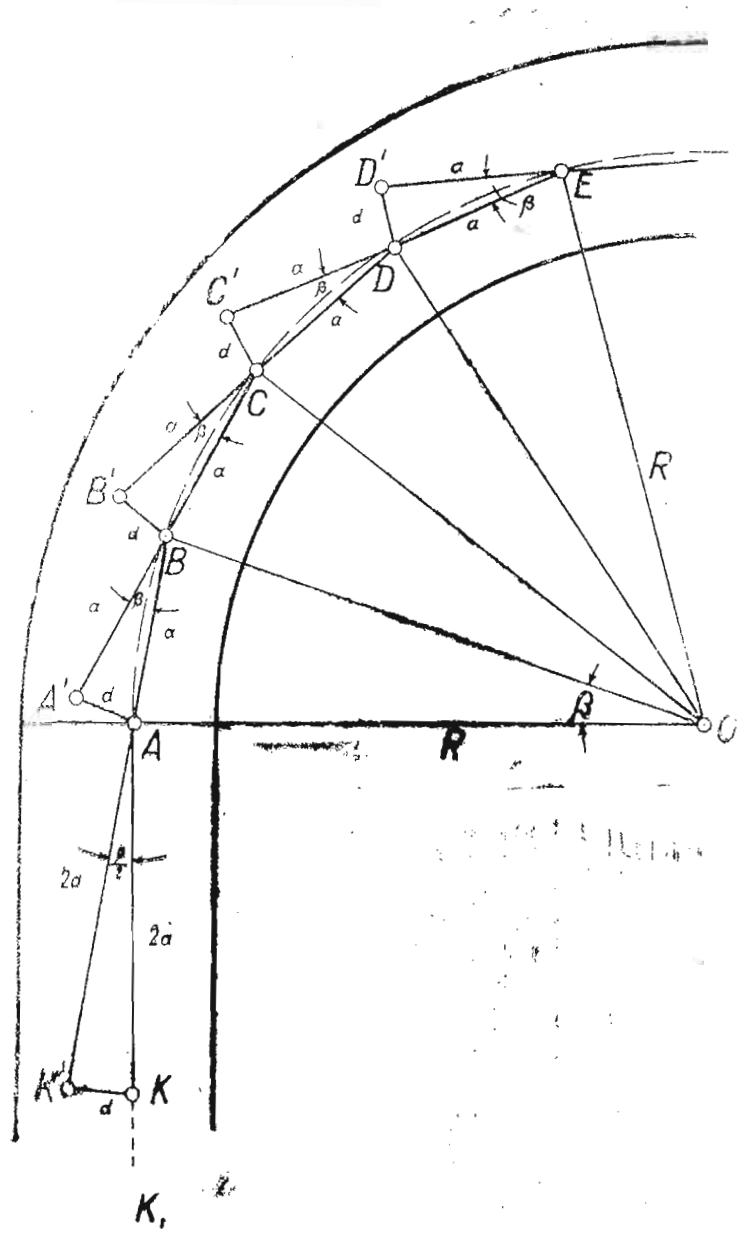


ნახ. 2.3.15.

კვეთით დანიშნავენ K' წერტილს. როგორც აღვნიშნეთ, a ქორდის სიგრძეა და აიღება 2—3 მეტრის ტოლი, ხოლო d მანძილი კი განისაზღვრება ABO და $AA'B$ ტოლფერდა სამკუთხედებიდან ფორმულით

$$d = \frac{a^2}{R}. \qquad (2.3.12)$$

$K'A$ მიმართულებით გაყავთ მრუდხაზოვანი გვირაბის პირველი სწორხაზოვანი მონაკვეთი. $K'A$-ს გასწვრივ a მანძილზე ნიშნავენ ღერძულ B წერტილს, რომელიც პირველი უბნის ბოლო წერტილია და მეორე უბნის საწყისი. A და B წერტილებიდან a და d რადიუსებით ხაზოვანი გადაკვეთით ნიშნავენ A' წერტილს. $A'B$ მიმართულებით გაყავთ გვირაბის მეორე უბნის BC სწორხაზოვანი მონაკვეთი და ა. შ.



ნახ. 2.3.16.

8. გვირაბის გაყვანის პროცესში მიმართულების, საპროექტო კვეთიხა და გამაგრების პასპორტის კონტროლი

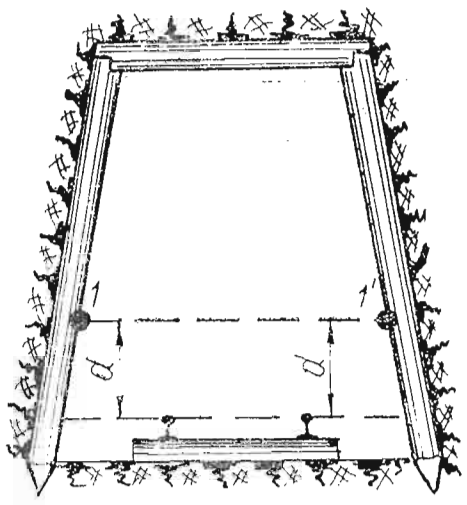
გვირაბის ჰორიზონტული მიმართულებით გაყვანის სისწორეს სისტემატურად აკონტროლებენ შემდეგი წესით: დგებიან გვირაბის საპროექტო მიმართულებაზე დამაგრებული ერთ-ერთი შვეულის უკან ნახევარი მეტრის მანძილზე, დანარჩენ ორ შვეულს აშუქებენ გვერდიდან და შეუიარაღებელი თვალით

მათ გასწვრივ დამზერენ. თუ მიმართულების მიცემის დროს დამაგრებული ღერძული შვეულები არ დაძრულა, მაშინ სანგრევის შუა წერტილი უნდა იმყოფებოდეს მათ გასწვრივ. წინააღმდეგ შემთხვევაში გვირაბის მიმართულებაში შეაქვთ საჭირო კორექტირება. როდესაც შვეულები გადაადგილებულია, საჭიროა მიმართულების ინსტრუმენტული აღდგენა.

ჰორიზონტულ სიბრტყეში გვირაბის გაყვანის სისწორე მოწმდება პერიოდულად, სანგრევის 30—40 მეტრზე წინსვლის შემდეგ თეოდოლიტის საშუალებით. საპროექტო მიმართულებიდან გადახრა დასაშვებია ±5 სმ-მდე.

გვირაბის გაყვანისა და საზიდი გზების დაგების დროს საპროექტო ქანობის დაცვის ოპერატიული კონტროლი შეიძლება შესრულდეს მარტივი ხელსაწყოებით, როგორიცაა ვატერპასი (თარაზო), თარგ-სამკუთხედი და ა. შ., ხოლო უფრო ზუსტი კონტროლი ხორციელდება გეომეტრიული (ან ტრიგონომეტრიული) ნიველობით.

გეომეტრიულ ნიველობას აწარმოებენ უშუალოდ იატაკზე ან რელსის თავებზე (პიკეტებს შორის მანძილი 10-20 მეტრი აიღება), რის საფუძველზეც ადგენენ გვირაბის გაყვანილი ნაწილის პროფილს (მასშტაბი: ჰორიზონტული—1 : 500—1 : 1000; ვერტიკალური—1 : 50—1 : 100), გამოხაზული პროფილის ზემო ნაწილში წითელი ტუშით დაიტანენ საპროექტო ქანობის ხაზს, ქვემოთ—პიკეტების ნომრებს, შავ, წითელ და მუშა ნიშნულებს. ეს უკანასკნელი შავი და წითელი ნიშნულების სხვაობას უდრის და აჩვენებს საპროექტო ქანობის დასაცავად სად და რა სიდიდითაა საჭირო იატაკის შესწორება (მოჭრა ან დაყრა). პროფილის შესწორებისა და საზიდი გზების დაგებისას ხელმძღვანელობენ კედლის რეპერების სისტემით. მათ ამაგრებენ შესასწორებელი გვირაბის კედლებზე ზემოაღწერილი მეთოდებით. გვირაბის ქანობის შემოწმებისას მოპირდაპირე რეპერებს შორის დაჭიმავენ ზონარს (ნახ. 17). მანძილი ზონარიდან რელსის თავამდე საპროექტო d-ს უნდა უდრიდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში გვირაბის პროფილს საჭირო ოდენობით შეასწორებენ.

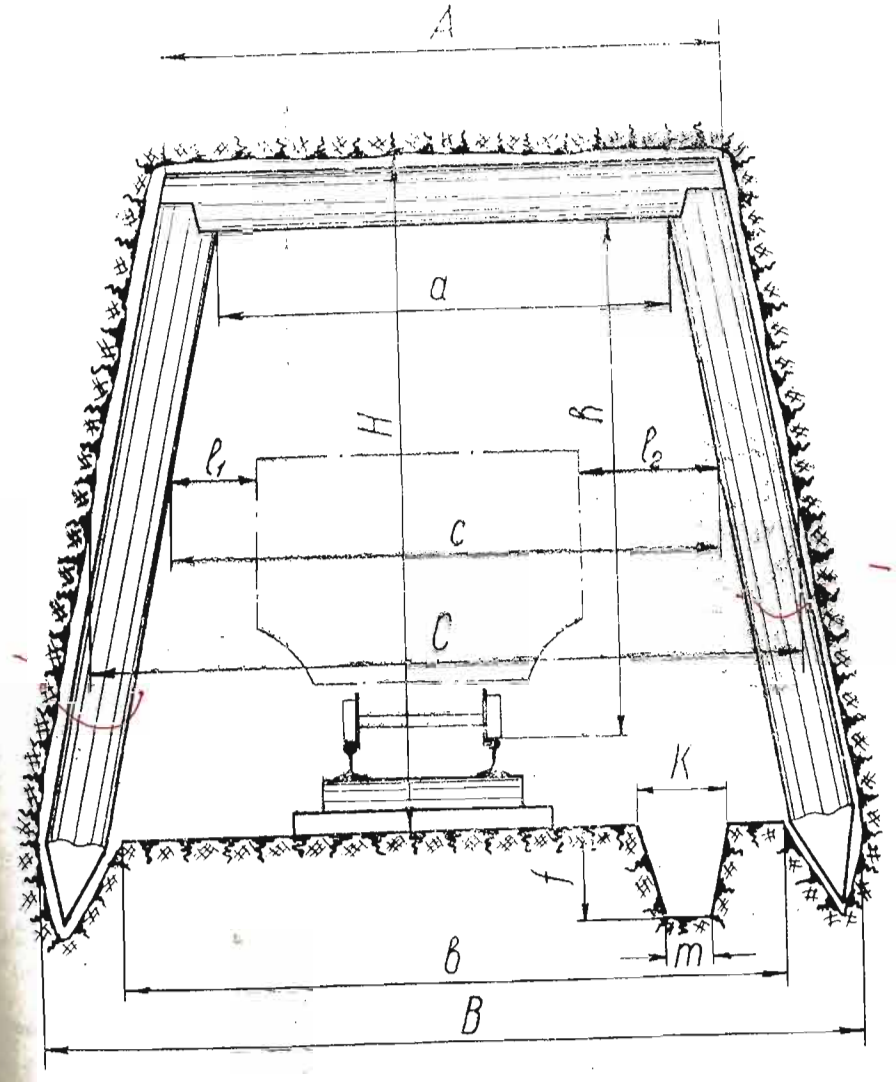


ნახ. 2.3.17.

ჰორიზონტულ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში გვირაბის მიმართულების შემოწმებისას წარმოებს აგრეთვე მისი განივკვეთისა და გამაგრების პასპორტის კონტროლიც. ასეთი შემოწმება ხდება გვირაბის პასპორტის მიხედვით, რომელშიც მოცემულია მისი კვეთის ზომები გამაგრების გარეშე—გაყვანაში და გამაგრებულ მდგომარეობაში—სინათლეში. გაზომვას აწარმოებენ რულეტით, ტოლი ინტერვალებით. უახლოეს განივებს შორის მანძილი დამოკიდებულია კედლების უსწორმასწოროების ხარისხზე (თუ გვირაბი გაუმაგრებელია) ან მუდმივი სამაგრის არასწორად დაყენებაზე და აიღება 1—5 მეტრამდე. გაზომვის წერტილებს აკავშირებენ უახლოეს პიკეტთან ან მარკშეიდერულ

პუნქტთან და ამასთან დაკავშირებული ჩანაწერები და ესკიზი შეაქვთ აზომვის წიგნაკში.

ტრაპეციული ფორმის გვირაბის განივკვეთის შემოწმებისას (ნახ. 18) ზომავენ გვირაბის სიმაღლეს ჭერიდან იატაკამდე (H) და უღლიდან რელსის თავამდე (h); სიგანეს (გაყვანაში და სინათლეში): უღელთან (A, a), ვაგონეტის ზედა ნაწიბურის დონეზე (C, c) და იატაკთან (B, b). ზომავენ



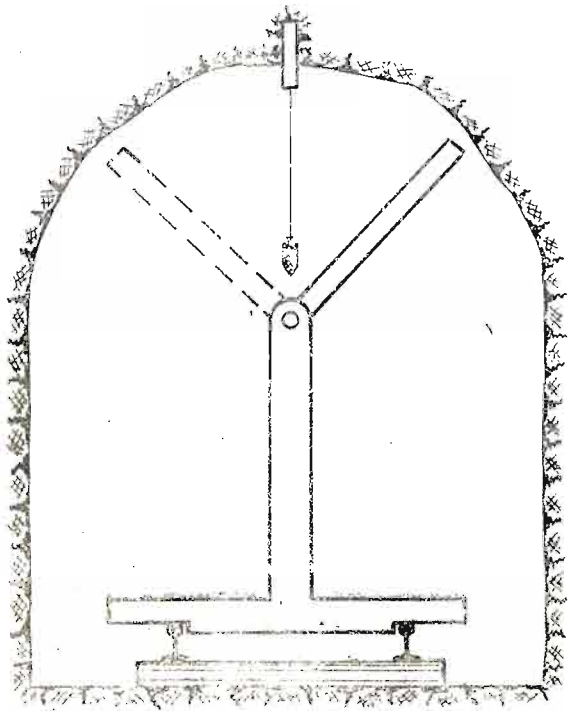
ნახ. 2.3.18.

აგრეთვე ვაგონეტის ზედა ნაწიბურსა და სამაგრს შორის l_1 და l_2 მანძილებს ცალ-ცალკე და სხვა დეტალებს. თუ გვირაბი გაუმაგრებელია, მაშინ ზომავენ მის სიგანეს(ზევით, ქვევით, შუაში) და საშუალო სიმაღლეს. კედლებამდე ზომები აიღება ღერძული შვეულებიდან, ჭერამდე და იატაკამდე კი—კედლის რეპერების ჰორიზონტიდან. წყალსადინარი თხრილების კვეთის შემოწმებისათვის იზომება მათი სიგანე (ზევით k, ფსკერთან m) და სიღრმე (f).

მარკშეიდერული ინსტრუქციის თანახმად, პროექტის მონაცემებიდან გვირაბის ფაქტობრივი ზომების გადახრა ± 5 სმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

თაღისებრი ფორმის გვირაბის განივკვეთის შემოწმება შეიძლება თარგის (შაბლონი) საშუალებით, ხაზოვანი გადაკვეთის მეთოდით ან პოლარული ხერხით.

თარგი წარმოადგენს დგარს მოძრავი თამასით, რომელიც გვირაბის თაღისებური ნაწილის შესაბამის რკალს შემოწერს (ნახ. 19). შემოწმების დროს მას აყენებენ ღერძული რეპერის ქვეშ. თამასის ბრუნვითა და დგარიდან გვირაბის კედლებამდე მანძილების გაზომვით ადგენენ რამდენად არის დაცული პასპორტის მონაცემები.



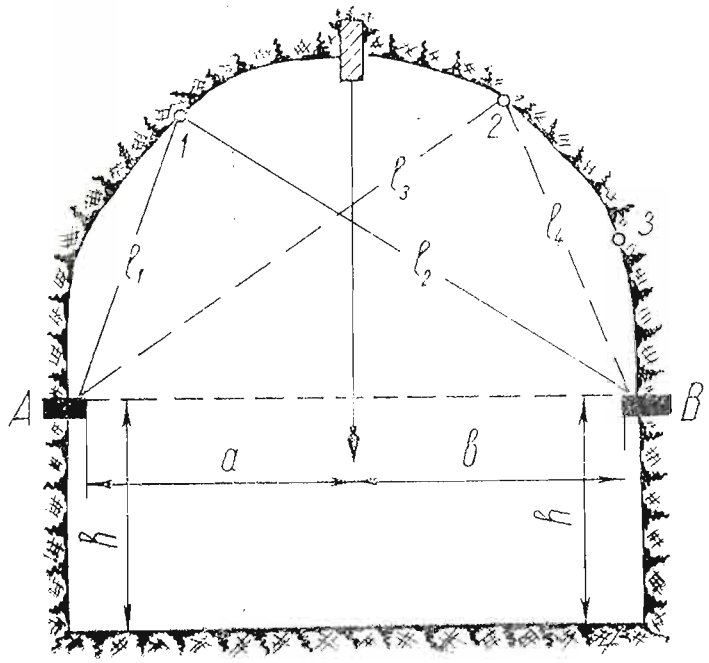
ნახ. 2.3.19.

ხაზოვანი გადაკვეთის ხერხის გამოყენების დროს მარცხენა (*A*) და მარჯვენა (*B*) კედლის რეპერებზე (როგორც ბაზისზე) დაყრდნობით და l_1, l_2, l_3, l_4, და ა. შ. მანძილების გაზომვით აგებენ გვირაბის პერიმეტრზე შერჩეულ მახასიათებელ 1-ლი, მე-2,... წერტილებს (ნახ. 20). ფაქტობრივი კვეთის საპროექტოსთან შედარებით ამოწმებენ გვირაბის გაყვანისა და გამაგრების სისწორეს.

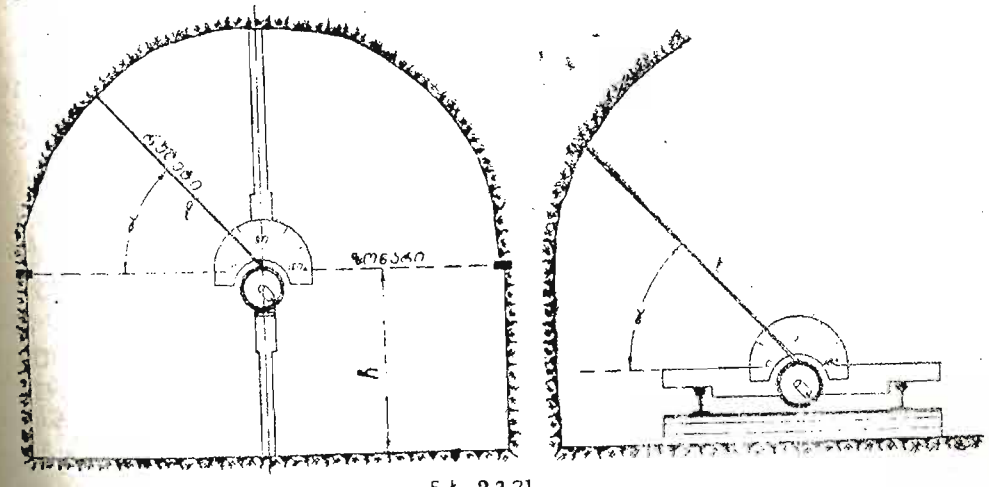
პოლარული ხერხის გამოყენებისას სარგებლობენ დიდი ზომის ტრანსპორტირისა და რულეტისაგან შემდგარი მოწყობილობით, რომელიც დამონტაჟებულია ვერტიკალურ დგარზე (ნახ. 21ა) ან ჰორიზონტულ თარგ-ლარტყაზე (ნახ. 21ბ). ეს უკანასკნელი გაზომვების დროს საზიდი გზის რელსებზე თავსდება.

წინასწარ, პოლარული მეთოდით საკონტროლო გაზომვების დაწყებამდე გვირაბის ცენტრალურ *O* წერტილიდან (რომელიც, ჩვეულებრივ, გვირაბის ღერძზე კედლის რეპერების დონეზე მდებარეობს) პერიმეტრის მახასიათებელ წერტილებამდე l მანძილსა და დახრის γ კუთხეს განსაზღვრავენ გრაფიკულად მუშა ნახაზიდან. კედლის წყვილ რეპერს შორის ჰიმავენ ზონარს და ამ უკანასკნელისა და ღერძული შვეულის ძაფის გადაკვეთაზე აყენებენ ტრანსპორტირის ცენტრს. შემდეგ რულეტს თანამიმდევრულად γ კუთხის შესაბამისად ხრიან ჰორიზონტთან და ზომავენ მანძილს ტრანსპორტირის ცენტრიდან პერიმეტრის მახასიათებელ წერტილებამდე. საპროექტო კვეთის დაცვის შემთხვევაში გაზომილი მანძილი (სიზუსტის ფარგლებში) უნდა დაემთხვეს მუშა ნახაზიდან განსაზღვრულს.

თარგ-ლარტყაზე მოწყობილ ტრანსპორტირს იმ შემთხვევაში აყენებენ, როდესაც საზიდი გზა პროექტის მიხედვით არის დაგებული. ცხადია, ამ შემთხვევაში l და γ-ს მნიშვნელობები უნდა განისაზღვროს მუშა ნახაზიდან ტრანსპორტირის ცენტრის მდებარეობის შესაბამისად.



ნახ. 2.3.20.



ნახ. 2.3.21.

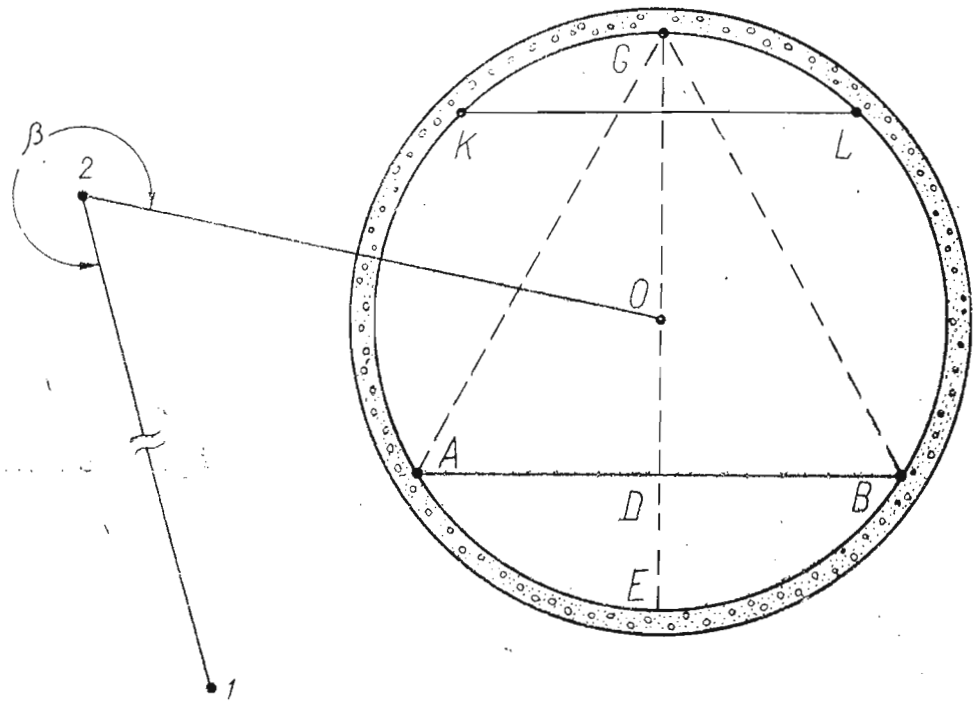
4. მიმართულების მიცემა ვერტიკალური გვირაბისათვის

გვირაბისათვის ვერტიკალური მიმართულების მიცემის საჭიროება წამოიჭრება ხოლმე არსებული ჭაურის რეკონსტრუქციისა და გაღრმავების დროს, აგრეთვე ახალი შახტის მშენებლობაზე ვერტიკალური ჭაურის შემხვედრი სანგ-

რევებით გაყვანისას. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია მოქმედ ჰორიზონტზე ჰაურის ცენტრის ფაქტობრივი კოორდინატების ხელახალი განსაზღვრა.

ჰაურის ცენტრის კოორდინატების განსაზღვრა შეიძლება პირდაპირი და არაპირდაპირი ხერხებით. პირველ შემთხვევაში ჰაურის O ცენტრს უშუალოდ პოულობენ ადგილზე და საყრდენი პუნქტებიდან მიმხრობით საზღვრავენ მის x, y კოორდინატებს. მეორე შემთხვევაში კი სინათლეში ჰაურის კვეთის მახასიათებელ წერტილებს აგეგმავენ და საძიებელ კოორდინატებს საზღვრავენ გრაფიკული ან ანალიზური ხერხებით.

წრიული კვეთის ჰაურის ცენტრის პირდაპირი გზით განსაზღვრა წარმოებს შემდეგნაირად: ჰორიზონტულ სიბრტყეში ჰაურის წრეხაზზე ამაგრებენ

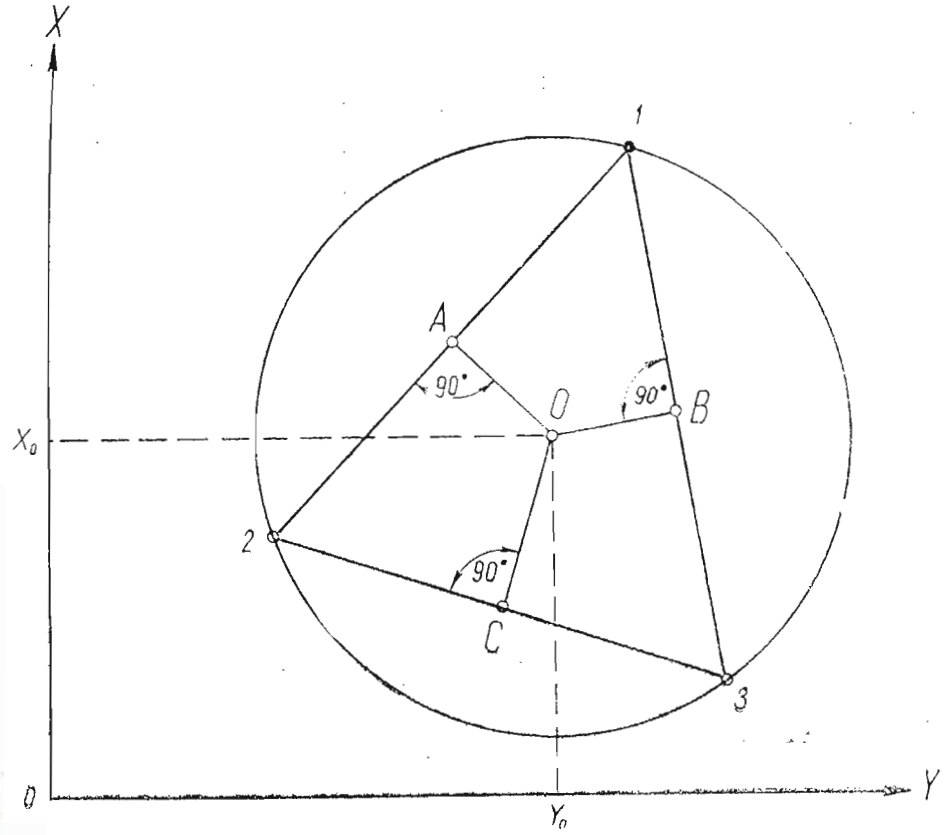


ნახ. 2.3.22.

A, B და C წერტილებს ისე, რომ AC და BC მონაკვეთები ერთმანეთის ტოლები იყოს. A და B წერტილებს შორის დაჭიმავენ მავთულს და მის შუაზე (ნახ. 22) დანიშნავენ D წერტილს. C და D წერტილებს შორის დაჭიმავენ მეორე მავთულს და CD-ს გასწვრივ ამაგრებენ E წერტილს. ამგვარად მიღებული CE ხაზი ჰაურის დიამეტრია, ხოლო მისი შუა O წერტილი კი—საძიებელი ცენტრი. კონტროლის მიზნით O წერტილის მდებარეობას საზღვრავენ განმეორებით—E, K და L წერტილების საშუალებით. ჰაურის ცენტრის ახალ მდებარეობასა და თავდაპირველს შორის გადახრა 2 სმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს. ამის შემდეგ O წერტილზე ცენტრავენ შვეულს და საყრდენი 1-ლ და მე-2 პუნქტებიდან შესაბამისი გაზომვების საშუალებით არკვევენ O წერტილის კოორდინატებს.

თუ ჰაურის ცენტრზე შვეულის დაყენება არ არის შესაძლებელი, მაშინ მისი ცენტრის კოორდინატებს საზღვრავენ არაპირდაპირი გზით. ამისათვის აგეგმავენ ჰაურის წრეხაზზე დამაგრებულ 1-ლ, მე-2 და მე-3 წერტილებს, განსაზღვრავენ მათ კოორდინატებს და დაიტანენ გეგმაზე მსხვილ მასშტაბში

(ნახ. 23). საძიებელი O ცენტრი იმყოფება 1—2, 2—3 და 3—1 ქორდების შუა A, B და C წერტილებიდან ამართული მართობების გადაკვეთაზე. მის x_0, y_0 კოორდინატებს საზღვრავენ გეგმიდან გრაფიკულად ან ანალიზური გეომეტრიიდან ცნობილი ფორმულებით:



ნახ. 2.3.23.

$$\left.\begin{aligned} y_A &= \frac{y_1+y_2}{2};\quad x_A=\frac{x_1+x_2}{2};\quad K_1=-\frac{x_2-x_1}{y_2-y_1};\\ y_C &= \frac{y_2+y_3}{2};\quad x_C=\frac{x_2+x_3}{2};\quad K_2=-\frac{x_3-x_2}{y_3-y_2}, \end{aligned}\right\} \qquad (2.3.13)$$

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \frac{y_C-y_A+K_1x_A-K_2x_C}{K_1-K_2};\\ y_0 &= y_A-K_1(x_1-x_0), \end{aligned}\right\} \qquad (2.3.14)$$

სადაც x_0, y_0 არის ჰაურის ცენტრის საძიებელი კოორდინატები;

x_1, y_1 x_2, y_2, x_3, y_3 — ჰაურის წრეხაზზე მდებარე 1-ლ, მე-2 და მე-3 წერტილების კოორდინატები;

x_A, y_A, x_C, y_C — ქორდების შუა წერტილების კოორდინატები;

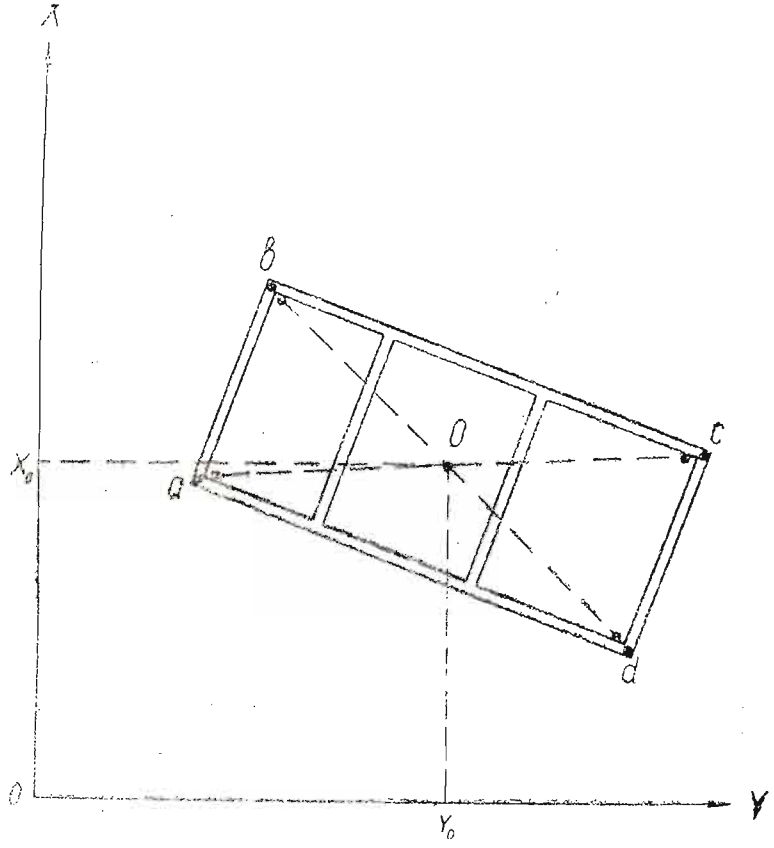
K_1, K_2 — A და C წერტილებზე გამავალი AO და CO წრფეთა კუთხური კოეფიციენტები.

ჰაურის ცენტრის კოორდინატების განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე წრეხაზის სამი განტოლების გადაწყვეტით

$$\left.\begin{aligned}(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 &= R^2,\\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 &= R^2,\\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 &= R^2,\end{aligned}\right\} \qquad (2.13.15)$$

სადაც R — ჰაურის კვეთის რადიუსია.

მართკუთხა კვეთის ჰაურის ცენტრის კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით დიაგონალებზე დაჭიმავენ ac და bd ზონრებს. მათი გადაკვეთის O წერ-



ნახ. 2.3.24.

ტილში, რომელიც ჰაურის ფაქტობრივ ცენტრს წარმოადგენს, ცენტრავენ შვეულს და საყრდენი პუნქტებიდან მიმხრობით საზღვრავენ მის x_0, y_0 კოორდინატებს (ნახ. 24).

როდესაც აღნიშნული ხერხის განხორციელების შესაძლებლობა არ არის, მაშინ ჰაურის კუთხურ წერტილებში ამაგრებენ მარკშეიდერულ ნიშნებს და მათგან ჰაურის მიმდებარე ეზოს ფილის დონემდე ჩამოუშვებენ კუთხურ შვეულებს, არსებული საყრდენი პუნქტების მეშვეობით საზღვრავენ მათ x_a, y_a, x_b, y_b, x_c, y_c, x_d და y_d კოორდინატებს და დაიტანენ გეგმაზე მსხვილ (1 : 10) მასშტაბში. შემდეგ ჰაურის ცენტრის კოორდინატებს საზღვრავენ გრაფიკულად გეგმიდან ან ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned}x_0 &= \frac{x_a + x_b + x_c + x_d}{4},\\ y_0 &= \frac{y_a + y_b + y_c + y_d}{4}.\end{aligned}\right\} \qquad (2.3.16)$$

თ ა ვ ი III

ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვა

(მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირება)

3. 1. ზოგადი ცნობები დამაკავშირებელი სამუშაოების შესახებ

ზედაპირულ და მიწისქვეშა აგეგმვებს შორის გეომეტრიული კავშირის დასამყარებლად სრულდება დამაკავშირებელი აგეგმვა, რომლის კონკრეტული ამოცანაა მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი პუნქტის x, y, z კოორდინატებისა და ერთ-ერთი (ან რამდენიმე) გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრა.

დამაკავშირებელი აგეგმვის პრაქტიკული მნიშვნელობა მეტად დიდია, რადგან მის საჭირო სიზუსტეზე ბევრად არის დამოკიდებული როგორც სამთო სამუშაოების რაციონალური და უსაფრთხო წარმოება, ისე მთელი რიგი მნიშვნელოვანი სამთო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტა, რომლებიც წამოიჭრებიან ხოლმე საბადოს დამუშავების ამა თუ იმ ეტაპზე (გვირაბების გაყვანა შემხვედრი სანგრევებით; ვერტიკალური ჭაურების ჩაღრმავება, პროექტის შესაბამისად კაპიტალური გვირაბების გაყვანა და სხვ.).

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის საწყისი (ან რომელიმე) გვერდის დირექციული კუთხისა და ერთ-ერთი პუნქტის ჰორიზონტული x, y კოორდინატების განსაზღვრას ჰორიზონტულ დამაკავშირებელ აგეგმვას, ანუ მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირებას უწოდებენ, ხოლო მესამე z კოორდინატის, ანუ დედამიწის ფიზიკური ზედაპირიდან მიწისქვეშა გვირაბებში ნიშნულის გადაცემას კი—ვერტიკალურ დამაკავშირებელ აგეგმვას. უკანასკნელი სრულდება ორიენტირების ამოცანისაგან დამოუკიდებლად საგანგებო ხერხებით და განხილული იქნება IV თავში.

ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვის შედეგად მიღებული ორი ელემენტიდან (დირექციული კუთხე, x, y კოორდინატები) დიდი მნიშვნელობა აქვს დირექციული კუთხის განსაზღვრის სიზუსტეს. მართლაც, როდესაც მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის საწყისი A წერტილის x, y კოორდინატების განსაზღვრაში დაშვებულია, შესაბამისად, m_x და m_y შეცდომები (ნახ. 1), მაშინ სვლის მომდევნო წერტილების მდებარეობაშიც იგივე შეცდომები განმეორდება და $A—B\ldots.—F$ პოლიგონი გეგმაზე $A'—B'\ldots.—F^1$ მდებარეობას დაიჭერს. მაგრამ, თუ $\pm\Theta$ შეცდომაა დაშვებული AB გვერდის (AB) დირექციული კუთხის განსაზღვრაში, მაშინ ამ მიზეზით სვლის მომდევნო წერტილების მდებარეობის შეცდომები იზრდება სვლის პერიმეტრის პროპორციულად და პოლიგონი გეგმაზე $A—B''\ldots—F''$ მდებარეობაში აღმოჩნდება. ბოლო F წერტილის მდებარეობის ხაზოვანი $FF''=M_F$ შეცდომა

$$M_F = \bar{F}\bar{F}'' = \frac{\Theta' R}{\rho'}, \qquad (3.\ 1.\ 1)$$

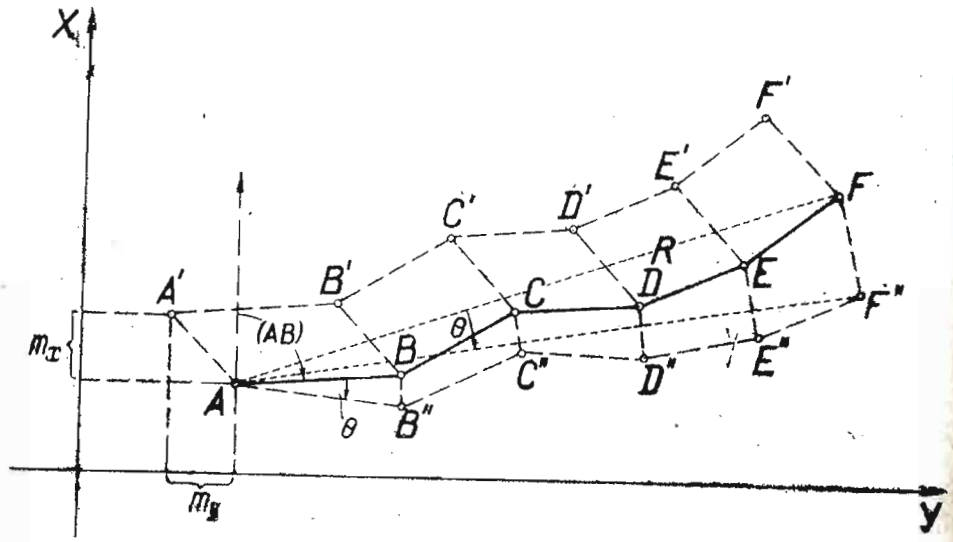
სადაც R არის უმოკლესი მანძილი A წერტილიდან F'' წერტილამდე; $\rho' = 3438''$ თუ $R=2000$ მ-ს, $\Theta = \pm 10'$-ს, მივიღებთ

$$M_F = \frac{10' \cdot 2000}{3438'} = \pm 5{,}8 \text{ მ}.$$

მოყვანილი მაგალითიდან ჩანს, რომ საწყისი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრაში დაშვებული შედარებით მცირე შეცდომაც იწვევს ბოლო წერტილის უხეშად განსაზღვრას. მაშასადამე, დირექციული კუთხის განსაზღვრა (ორიენტირება) დამაკავშირებელი აგეგმვის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია. ამის გამო ჰორიზონტულ დამაკავშირებელ აგეგმვას ხშირად მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირებას უწოდებენ.

მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირება შეიძლება გეომეტრიული და ფიზიკური მეთოდებით. პირველ შემთხვევაში ქმნიან დამხმარე გეომეტრიულ ფიგურებს და ზომავენ მათ ელემენტებს, მეორე შემთხვევაში კი იყენებენ მაგნიტურ ისრებს (მაგნიტური ორიენტირება), სპეციალურ ოპტიკურ ინსტრუმენტებს (ოპტიკური ორიენტირება) ან გიროსკოპს (გიროსკოპული ორიენტირება).

გეომეტრიული მეთოდით ორიენტირება ერთ-ერთი ძირითადია და ფართოდ არის გავრცელებული მარკშეიდერულ პრაქტიკაში. მაგნიტური ორიენტირება მარტივი განსახორციელებელია, მაგრამ თანამედროვე მექანიზებული შახტების პირობებში ვერ იძლევა საკმარის სიზუსტეს, ამიტომ ნაკლებად გამოყენება. ორიენტირების ოპტიკური და გიროსკოპული მეთოდები, განსაკუთრებით ეს უკანასკნელი გეომეტრიულ მეთოდებთან შედარებით მთელი რიგი უპირატესობით ხასიათდება, რის გამოც სწრაფი ტემპით ვითარდება და სულ უფრო ფართოდ ინერგება პრაქტიკაში.



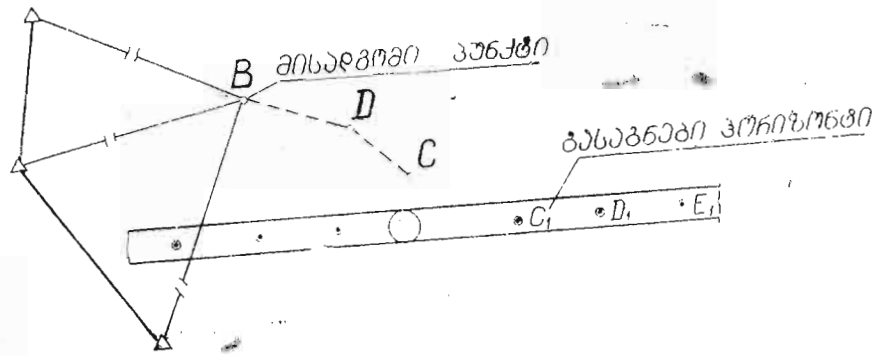
ნახ. 3.1.1.

გეომეტრიული მეთოდით ორიენტირება სრულდება საბადოს გახსნის სქემის შესაბამისად: 1) შტოლნით ან დახრილი ჭაურით, 2) ერთი ვერტიკალური ჭაურით და 3) ორი (ან რამდენიმე) ვერტიკალური ჭაურით.

ზედაპირზე დამაკავშირებელი სამუშაოების დაწყებამდე შტოლნის, დახრილი ან ვერტიკალური ჭაურის პირიდან არა უმეტეს 200—300 მ მანძილზე ამაგრებენ ერთი ან რამდენიმე ე. წ. „მისადგომ“ პუნქტს (ნახ. 2). მათ კოორდინატებს საზღვრავენ ტრიანგულაციის ან მაღალი თანრიგის პოლიგონომეტრიული სვლით. მისადგომ პუნქტად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მთავარი გეოდეზიური საფუძვლის, მაღალი სიზუსტის ანალიზური ქსელებისა და პოლიგონომეტრიის პუნქტები. ტრიგონომეტრიული მეთოდით პუნქტის ჩასმის შემთხვევაში განმსაზღვრელ წყვილ მიმართულებათა რაოდენობა არ უნდა იყოს სამზე ნაკლები. გამოსავალი პუნქტების მიმართ მისადგომი პუნქტის მდებარეობის საშუალო კვადრატული შეცდომა (წინასწარი გაანგარიშებით) არ უნდა აღემატებოდეს ± 10 სმ-ს, ხოლო გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხისა კი — $\pm 10''$-ს. უშუალოდ გვირაბის პირთან დამაგრებული C პუნქტის კოორდინატები ისაზღვრება მისადგომი პუნქტებიდან მე-2 თანრიგის პოლიგონომეტრიული სვლით. ინსტრუქციით ასეთი სვლის გვერდების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს სამს.

გასაგნებ ჰორიზონტზე აგრეთვე წინასწარ უნდა დამაგრდეს სამი მუდმივი C_1, D_1 და E_1 პუნქტი. ორმხრივი მაღაროს ეზოს შემთხვევაში საჭიროა ექვსი მუდმივი პუნქტის დამაგრება.

ამჟამად მოქმედი ინსტრუქციის მიხედვით მიწისქვეშა საყრდენი ქსელის ერთი ან რამდენიმე გვერდის დირექციული კუთხე უნდა განისაზღვროს ორჯერ ერთი და იმავე მეთოდით ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად ან ორი სხვადასხვა ხერხით. ერთი და იმავე გვერდის დირექციული კუთხის ორ გამონათვალს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 3′-ს. ჰორიზონტების თანამიმდევრობითი (საფეხუროვანი) ორიენტირების შემთხვევაში ჰორიზონტის საყრდენი ქსელის გასაგნები გვერდის დირექციული კუთხის ორ გამონათვალს შორის სხვაობა დასაშვებია $\frac{3'}{\sqrt{n}}$-მდე, სადაც n ჰორიზონტების რიცხვია.



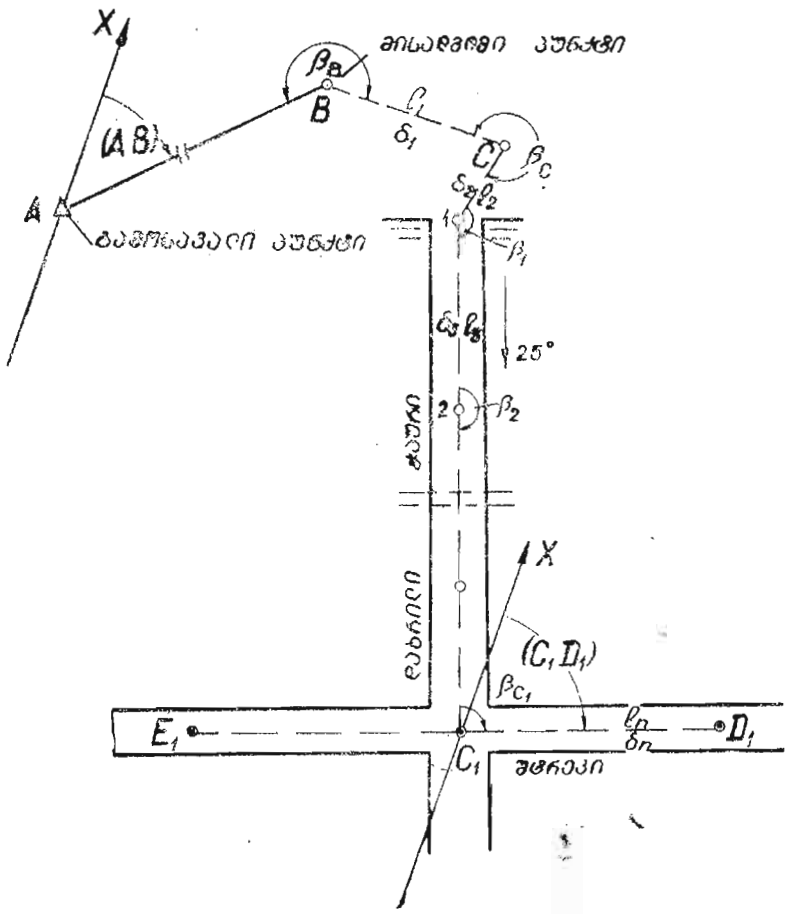
ნახ. 3.1.2.

3. 2. ორიენტირების გეომეტრიული მეთოდები

A. ორიენტირება შტოლნის ან დახრილი ჭაურის შემთხვევაში

დავუშვათ, რომ მიწისქვეშა გვირაბები დაკავშირებულია ზედაპირთან დახრილი ჭაურით (ნახ. 1). გასაგნებ ჰორიზონტზე (მაგ., შტრეკში) მუდმივი მარკშეიდერული ნიშნებით დამაგრებულია სამი C_1, D_1 და E_1 პუნქტი. ზედაპირზე ჭაურის პირის მახლობლობაში მდებარეობს გამოსავალი A და მისადგომი B პუნქტები. საჭიროა განისაზღვროს C_1 D_1 გვერდის (C_1 D_1) დირექციული კუთხე და C_1 წერტილის X_{C_1}, Y_{C_1} კოორდინატები.

განხილადი ამოცანის გადასაწყვეტად B და C_1 პუნქტებს ერთიმეორესთან აკავშირებენ $B-C-1-2\ldots C_1$ პოლიგონომეტრიული სვლით. ზომავენ სვლის ჰორიზონტულ β_B, β_C, β_1, ..., β_{C_1} კუთხეებს, გვერდების l_1, l_2, l_3,... სიგრძეებს და მათი დახრის δ_1, δ_2, δ_3....კუთხეებს. კონტროლის მიზნით სვლას აგებენ პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით. განაზომთა დამუშავების შედეგად გეოდეზიიდან ცნობილი წესით გამოითვლიან საძიებელ $(C_1\ D_1)$ დირექციულ კუთხესა და C_1 წერტილის კოორდინატებს:



ნახ. 3.2.1.

$$(C_1D_1)=(AB)+\beta_B+\beta_C+\beta_1+\cdots+\beta_{C_1}-n\cdot 180^\circ, \qquad (a)$$

$$\left.\begin{aligned} X_{C_1} &= x_B+d_1\cos(BC)+d_2\cos(C1)+\cdots=x_B+\Sigma\Delta x,\\ Y_{C_1} &= y_B+d_1\sin(BC)+d_2\sin(C1)+\cdots=y_B+\Sigma\Delta y, \end{aligned}\right\} \qquad (b)$$

სადაც $(BC)=(AB)+\beta_B-180^\circ$,

$(C1)=(BC)+\beta_C-180^\circ$ და ა.შ.

გასაგნები გვერდის $(C_1\ D_1)$ დირექციული კუთხის განსაზღვრის საშუალო

კვადრატული შეცდომა განაზომთა შეცდომების თეორიის საფუძველზე (*a*) ფორმულის მიხედვით

$$m_{(C_1D_1)}=\pm\sqrt{m^2_{(AB)}+m^2_{\beta_B}+m^2_{\beta_C}+\cdots+m^2_{\beta_{C_1}}}, \qquad (3.\ 2.\ 1)$$

სადაც $m_{(AB)}$ არის გამოსავალი AB გვერდის დირექციული კუთხის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

m_{β_B}, m_{β_C} ....—ჰორიზონტული β კუთხეების გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომები.

თუ დავუშვებთ, რომ დამაკავშირებელი პოლიგონომეტრიული სვლის β კუთხეები ტოლზუსტად არის გაზომილი, ხოლო გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხის $m_{(AB)}$ შეცდომას სიმცირის გამო უგულებელვყოფთ, მივიღებთ

$$m_{(C_1D_1)}=\pm m_\beta\sqrt{n}\ , \qquad (3.\ 2.\ 2)$$

სადაც n არის გაზომილი კუთხეების რაოდენობა;

m_β — ჰორიზონტული კუთხეების გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა.

B. ორიენტირება ერთი ვერტიკალური ჭაურის შემთხვევაში

ერთი ვერტიკალური ჭაურის შემთხვევაში მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირების პრინციპული სქემა შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვიდგინოთ (ნახ.2): გასაგნებ ჰორიზონტზე დამაგრებულია მუდმივი მარკშეიდერული C_1 და D_1 პუნქტები, დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე კი— C და D. ჭაურში ჩაშვებულია ორი A და B შვეული; თითოეული მათგანი ფოლადის მავთულისა და ტვირთის ერთობლიობას წარმოადგენს. მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირების ამოცანას შეადგენს ზედაპირზე მოცემულ CD მიმართულებაზე დაყრდნობით მიწისქვეშა $C_1\ D_1$ მიმართულების დირექციული კუთხისა და C_1 წერტილის კოორდინატების განსაზღვრა. ამ ამოცანაში A და B შვეულებზე გამავალი სიბრტყე მიიღება ვერტიკალურად, რის გამოც AB და A_1B_1 მიმართულებათა დირექციული კუთხეები და, შესაბამისად, A, A_1 და B, B_1 წერტილების x, y კოორდინატები ერთმანეთის ტოლი იქნება. A_1B_1 მიმართულებაზე დაყრდნობით კი განისაზღვრება $C_1\ D_1$ გვერდის საძიებელი (C_1D_1) დირექციული კუთხე და C_1 წერტილის კოორდინატები. მაშასადამე, ორიენტირების ამოცანაა შემდეგი სამი დამოუკიდებელი ნაწილის ამოხსნა:

1) წერტილების დაგეგმილება ზედაპირიდან გასაგნებ ჰორიზონტზე (დაგეგმილების ამოცანა);

2). დასაგეგმილებელი წერტილების კოორდინატების განსაზღვრა კოორდინატთა საერთო სისტემაში (მიმხრობა ზედაპირზე);

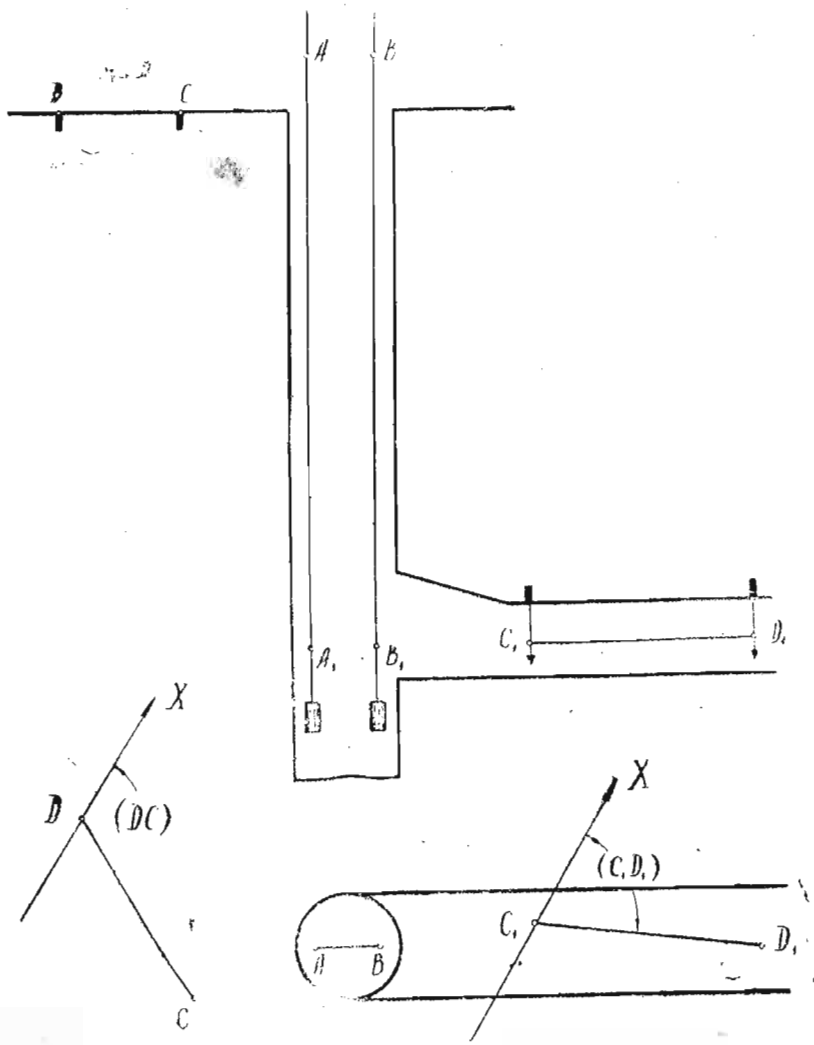
3) $C_1\ D_1$ მიმართულების დაკავშირება შვეულებთან (მიმხრობა მიწისქვეშ).

დაგეგმილების ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება შვეულების საშუალებით ან ოპტიკური ხერხით. პირველ შემთხვევაში იყენებენ ფოლადის მავთულს, რომელიც ზედა ბოლოთი დამაგრებულია უძრავად, ქვედაზე კი დაკიდებულია ტვირთი. მეორე ხერხის გამოყენებისას სარგებლობენ სპეციალური ხელსაწყოებით, რომლებიც ვერტიკალური მიმართულებით დამზერის საშუალებას იძლევიან.

თავის მხრივ, შეეულებით დაგეგმილება შეიძლება უძრავი და მოქანავე შეეულებით. პირველ შემთხვევაში დაკვირვებას აწარმოებენ შეეულის რხევის (ქანაობის) სრული დაწყნარების შემდეგ, მეორე შემთხვევაში კი—რხევის პროცესში სპეციალური სკალების გამოყენებით, საიდანც გამოყავთ შეეულის სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამისი ანათვალი სკალაზე.

რაც შეეხება შეეულებზე მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტას, იგი შეიძლება განხორციელდეს დამაკავშირებელი სამკუთხედებითა და ოთხკუთხედებით, გასწვრივობის მეთოდით, სიმეტრიული ხერხით, პენტაპრიზმით და სხვ.

ვიდრე შევუდგებოდეთ დაგეგმილებისა და მიმხრობის ამოცანების გადა-



ნახ. 3.2.2.

წყვეტის მეთოდების განხილვას, მოკლედ შევეხებით ორიენტირების დროს სამუშაოების ორგანიზაციისა და უსაფრთხოების წესების დაცვის საკითხებს.

მუშაობის ორგანიზაცია. ჰორიზონტული დამაკავშირებელი სამუშაოების შესრულების პერიოდში უნდა შეწყდეს ამწე ჭურჭლების (გალების,

სკიპების) ყოველგვარი მოძრაობა ჭაურში, რაც, ცხადია, არღვევს შახტის (ან მაღაროს) ნორმალურ საწარმოო პროცესს. იმისათვის, რომ ჭაურში აწევის იძულებითი შეჩერების ხანგრძლივობა მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი, საჭიროა წინასწარ გულმოდგინედ შემუშავდეს დამაკავშირებელი სამუშაოების ორგანიზაცია. ჩვეულებრივ, ასეთი სამუშაოების შესრულება მიზანშეწონილია გათვალისწინებული იყოს დღესასწაულის დღეებში, როდესაც შახტზე მხოლოდ სარემონტო სამუშაოები სრულდება.

დამაკავშირებელი სამუშაოების ხელმძღვანელობა ეკისრება გამოცდილ სპეციალისტს—შახტის ან კომბინატის მთავარ მარკშეიდერს.

განხილადი ამოცანის გადაწყვეტასთან დაკავშირებული მარკშეიდერული სამუშაოები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: 1) მოსამზადებელი სამუშაოები, რომელთა შესრულება შეიძლება ჭაურში აწევის შეწყვეტამდე, და 2) ძირითადი სამუშაოები, რომელთა შესრულება შესაძლებელია მხოლოდ ჭაურში ამწე ჭურჭლების მოძრაობის შეწყვეტის შემდეგ.

მოსამზადებელი სამუშაოების ძირითად ამოცანას შეადგენს მოცემულ სამთო-ტექნიკურ პირობებში ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვის პროექტის დამუშავება და გათვალისწინებული დროით ამწის მუშაობის შეწყვეტის განმავლობაში მარკშეიდერული სამუშაოების წარმოების გრაფიკის შედგენა.

დამაკავშირებელი აგეგმვის პროექტის შედგენისათვის გამოსავალი მონაცემებია: ჭაურის კვეთის გაბარიტული ზომები, მისი არმირება, ჭაურმიმდებარე გვირაბებთან და ჭაურზედა შენობასთან შეუღლება; ჭაურისა და ზუმფის სიღრმე; ამწე ჭურჭლებისაგან ჭაურის განთავისუფლების ტექნიკური შესაძლებლობა; ჰაერის ჭავლის შესაძლო მინიმალური სიჩქარე; წყლის წვეთვის ხასიათი; საჭირო ინსტრუმენტები და მოწყობილობა. ჭაურის სიღრმის, სავენტილაციო ჭავლის სიჩქარისა და დაგეგმილების ამოცანის გადაწყვეტის საჭირო სიზუსტის მიხედვით შეირჩევა შეეულის მავთულის დიამეტრი, მუშა ტვირთის ოდენობა, დაგეგმილებისა და მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტის ხერხები. პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს ჯალამბრების, ბლოკების, სკალებისათვის ძელების დადგმის ადგილები და სხვა დეტალები.

პროექტის შედგენის შემდეგ საჭიროა: 1) ჯალამბრების, ბლოკებისა და სკალების დასაყენებლად საჭირო თაროების, ძელების, ჩანგლების დამზადება; 2) ზედაპირზე (ჭაურის პირთან) და გასაგნებ ჰორიზონტზე მისამხრობი პუნქტების დამაგრება; 3) დამაკავშირებელი აგეგმვის არჩეული სქემის განხორციელებისათვის საჭირო ინსტრუმენტებისა და მოწყობილობათა შემოწმება; 4) დამაგრებული პუნქტების დაკავშირება ზედაპირზე—ტრიანგულაციის ან პოლიგონომეტრიული ქსელის პუნქტებთან, გასაგნებ ჰორიზონტზე—მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული ქსელის პუნქტებთან; 5) დამაკავშირებელი აგეგმვის ამოცანის გადაწყვეტისათვის საჭირო სამუშაოების შესრულების გრაფიკის შედგენა.

ძირითადი მარკშეიდერული სამუშაოების შესასრულებლად ყალიბდება ორი ბრიგადა. ერთი ბრიგადა მუშაობს ზედაპირზე, მეორე—გასაგნებ ჰორიზონტზე. პირველი ბრიგადის შემადგენლობაში შედის მარკშეიდერი, მარკშეიდერის თანაშემწე, მუშა და დურგალი; მეორე ბრიგადაში—მარკშეიდერი, მარკშეიდერის ორი თანაშემწე, მუშა და დურგალი. მუშაობის დაწყებამდე ბრიგადებს შორის უნდა მოეწყოს სატელეფონო კავშირი ან სიგნალიზაცია.

ზედაპირზე შესასრულებელი ძირითადი მარკშეიდერული სამუშაოები

შედგება შემდეგი ოპერაციებისაგან: 1) მიწისქვეშა ბრიგადის წევრების ჩაშვება გასაგნებ ჰორიზონტზე სათანადო ინსტრუმენტებითა და მოწყობილობით; 2) ჭაურის განთავისუფლება გალებისაგან; 3) ჭაურის გადახურვა ფიცრებით; 4) ჯალამბრებისა და ბლოკების დაყენება; 5) შვეულების ჩაშვება გასაგნებ ჰორიზონტზე; 6) შვეულების შემოწმება მუშა ტვირთით მათი დატვირთვისა და სკალების დაყენების შემდეგ; 7) დამაკავშირებელი ფიგურის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვა; 8) მოწყობილობათა ალაგება.

გასაგნებ ჰორიზონტზე ასრულებენ შემდეგ სამუშაოებს: 1) ზედაპირიდან ჩაშვებული შვეულების მიღება; 2) შვეულების დატვირთვა წინასწარ შერჩეული მუშა ტვირთით; 3) სკალების დაყენება შვეულების რხევის რეგისტრაციისათვის; 4) შვეულების შემოწმება; 5) შვეულების რხევებზე დაკვირვების წარმოება და სკალებზე მათი სიმშვიდის მდგომარეობის შესაბამისი ანათვლების განსაზღვრა; 6) დამაკავშირებელი ფიგურის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვა; 7) მოწყობილობათა ალაგება; ზედაპირზე და მიწისქვეშ შვეულების შემოწმება და დამაკავშირებელი ფიგურის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვა სრულდება თანადროულად.

უსაფრთხოების წესები. დამაკავშირებელი სამუშაოების შესრულების დროს დაცული უნდა იქნეს უსაფრთხოების შემდეგი წესები:

1) დამაკავშირებელი სამუშაოების დაწყების წინ მარკშეიდერმა მახტის ტექნიკური ზედამხედველის მეშვეობით უნდა გამოაცხადოს მუშაობის დაწყებისა და დამთავრების დრო. კატეგორიულად უნდა აიკრძალოს უცხო პირთა ყოფნა როგორც მაღაროს ეზოში, ისე ჭაურის პირის მახლობლად;

2) დამხმარე მუშებსა და პრაქტიკანტებს უნდა განემარტოთ: *ა*) ფრთხილად იმუშაონ ზედაპირზე და არ ჩააგდონ რაიმე საგნები ჭაურში; *ბ*) მარკშეიდერის ნებართვის გარეშე არ მიუახლოვდნენ ჭაურს;

3) დამაკავშირებელი სამუშაოების მთელი პროცესის განმავლობაში ჭაური გადახურული უნდა იყოს საკმაოდ მტკიცე ფიცრებით;

4) ზუმფი ან ჭაურის ნაწილი, რომელიც გასაგნებ ჰორიზონტზე დაბლა მდებარეობს, დროებით უნდა დაიხუროს მკვრივი თაროს საშუალებით;

5) სამუშაოების მთელი პროცესის განმავლობაში საჭიროა უზრუნველყოფილი იყოს ზედაპირსა და გასაგნებ ჰორიზონტს შორის საიმედო სატელეფონო კავშირი;

6) შვეულების ჩაშვების ოპერაციის დაწყება დაუყოვნებლივ უნდა ეცნობოს მიწისქვეშა სამუშაოების ხელმძღვანელს ტელეფონით ან ხმოვანი სიგნალით

7) შვეულების ჩაშვება და ამოტანა საჭიროა შესრულდეს მცირე (3-5კგ) დატვირთვით;

8) სამუშაოების ხელმძღვანელმა პირადად უნდა შეამოწმოს მავთულის დამაგრება შვეულის ტვირთთან;

9) ჭაურის დროებითი გადახურვის ხვრელები შვეულის მავთულის გასატარებლად უნდა იყოს არა უმეტეს 10-15 სმ დიამეტრისა;

10) შვეულების ჩაშვება და ამოტანა საჭიროა თანაზომიერად, არა უმეტეს 1 მ/წმ სიჩქარით. ყოველი 50 მ-ის ჩაშვების შემდეგ აუცილებელია მცირე შესვენება შვეულის რხევის დასაწყნარებლად;

11) სამუშაოების ხელმძღვანელმა პირადად უნდა შეამოწმოს მთელი მავთული და გაატაროს იგი თითებში;

12) შვეულის მავთული უნდა უძლებდეს არანაკლებ ორმაგ მუშა ტვირთის სიმძიმეს;

13) გასაგნებ ჰორიზონტზე მომუშავე მარკშეიდერმა მუშაობის დაწყება უნდა აცნობოს ზედაპირზე მომუშავე მარკშეიდერს;

14) შვეულების ჩაშვებისა და ამოტანის დროს არავინ არ უნდა იმყოფებოდეს ჭაურის მახლობლად.

1. შვეულებით დაგეგმილების მეთოდები

დაგეგმილება უძრავი (დაწყნარებული) შვეულებით. დაგეგმილების განხილული ხერხის გამოყენებისას ვარაუდობენ, რომ შვეულის მავთული მოთავსებულია აბსოლუტურად მშვიდ გარემოში და ჭანაობის დაწყნარების შემდეგ მას უჭირავს ვერტიკალური მდგომარეობა. სინამდვილეში კი ჰაერის ნაკადის, წყლის წვეთვის და სხვა ფაქტორების გავლენით იგი ყოველთვის გადახრილია ვერტიკალური მიმართულებიდან, ამიტომ ასეთი დაშვება მისაღებია მხოლოდ მცირე სიღრმის ვერტიკალური ჭაურების, შურფებისა და გეზენკებისათვის. პრაქტიკულად ჭახტის შვეულს პირობით უძრავად თვლიან, თუ მისი რხევის ამპლიტუდა არ აღემატება 0,2—0,3 მმ-ს.

უძრავი შვეულით დაგეგმილებისათვის საჭიროა ხელის ჯალამბრები შვეულის ჩასაშვებად და ამოსაწევად, ბლოკები, ფოლადის მავთული, ტვირთი, შვეულის რხევის დამაწყნარებელი საშუალებანი, საცენტრავი ფირფიტები (ნახ. 3). აღნიშნული მოწყობილობათა განლაგება ჭაურში და დაგეგმილების პრინციპული სქემა მოცემულია მე-4 ნახაზზე. აქ შვეულის მავთული 1, რომელიც დახვეულია ჯალამბრის დოლზე 2, გაივლის მიმმართველ ბლოკს 3, მცენტრავ ფირფიტას 4 და ეშვება გასაგნებ ჰორიზონტზე. შვეულის რხევის დაწყნარების მიზნით მისი ტვირთი მოთავსებულია კასრში 5, რომელშიც წყალი ან სხვა ბლანტი სითხე (ტრანსფორმატორის ზეთი, ქვანახშირის ფისი) ასხია.

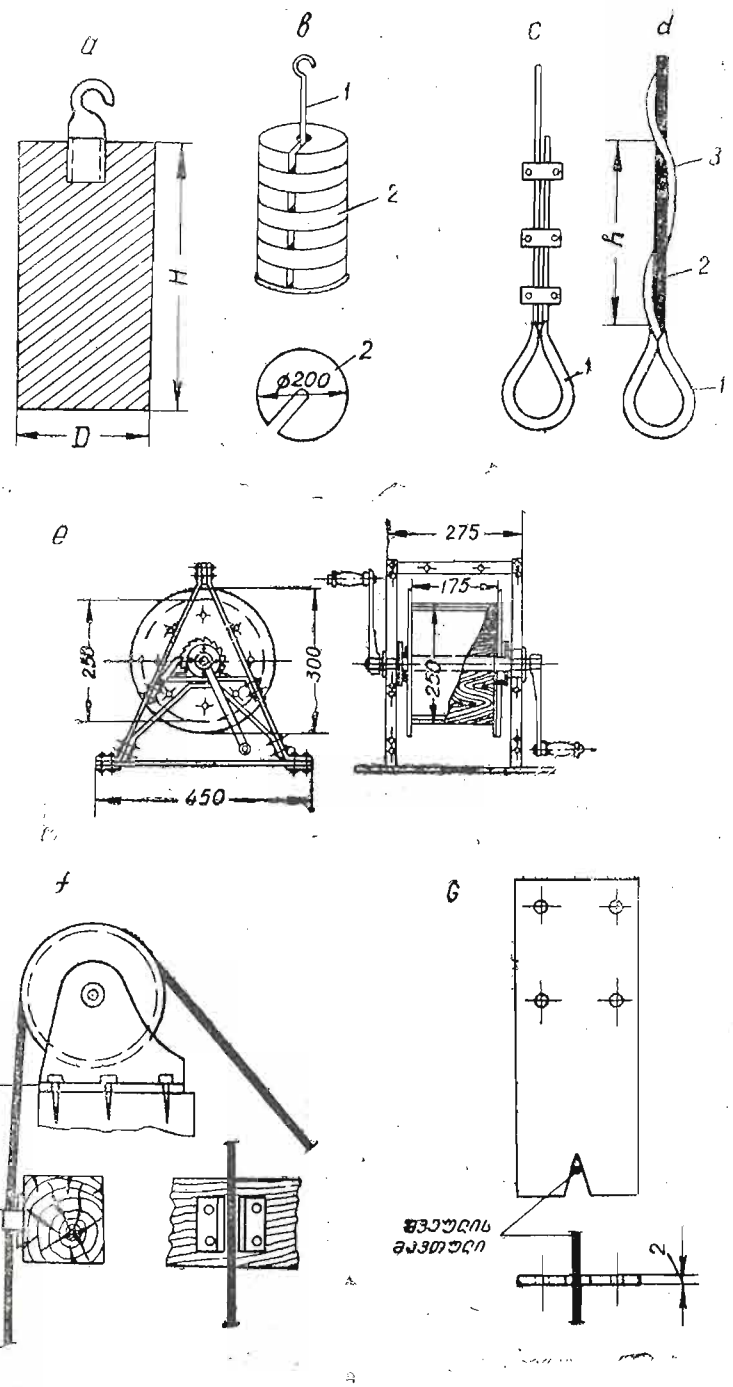
ჯალამბარს აყენებენ შახტზედა ნაგებობის ზედა ბაქნის ჰორიზონტზე. მისი დოლის დიამეტრი არ უნდა იყოს 25 სმ-ზე ნაკლები. მიმმართველ ბლოკს, რომლის დიამეტრი 25 სმ-ია, უნდა ჰქონდეს ვიწრო ღარი შვეულის მავთულის განივი გადაადგილების ასაცილებლად.

საცენტრავი ფირფიტის საშუალებით, რომლის V-სებრ ამონაჭერში გადის შვეულის მავთული, ხორციელდება მავთულის ჩამოკიდების წერტილის უძრაობა დაგეგმილების პროცესში. შვეულის მუშა ნაწილი იმყოფება აღნიშნული ფირფიტის ქვემოთ.

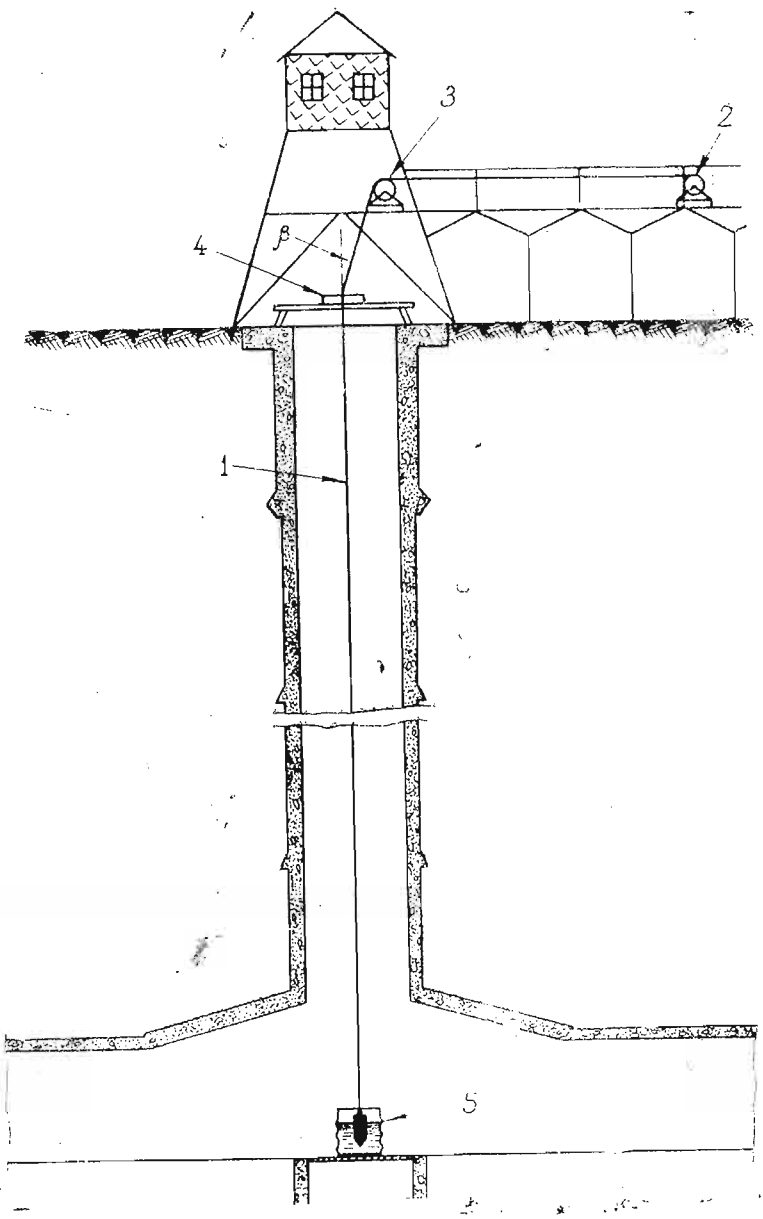
შახტის შვეულისათვის იყენებენ საუკეთესო ხარისხის ფოლადის მავთულს. მისი დიამეტრი დამოკიდებულია ჭაურის სიღრმესა და ტვირთის წონაზე.

უცნობი მარკის მავთულს წინასწარ გამოცდიან ხოლმე წყვეტასა და სიფიცხეზე.

წყვეტაზე გამოცდის მიზნით 3—5 მ სიგრძის მავთულის მონაკვეთს საიმედოდ ჩამოკიდებენ და დატვირთავენ. ტვირთს თანდათანობით ზრდიან საჭირო ოდენობამდე. თუ განზრახულია, რომ ორიენტირებისას გამოყენებული უნდა იქნეს Q სიმძიმის ტვირთი, მაშინ მავთულმა უნდა გაუძლოს $1{,}5—2{,}0 \cdot Q$ დატვირთვას. დასაშვები ტვირთის სიდიდე აიღება სიმტკიცის ზღვრის 60%-ის ოდენობით (იხ. ცხრილი 1).



ნახ. 3. 2. 3. შვეულით დაგეგმილებისათვის საჭირო მოწყობილობანი: *a*—შვეულის ტვირთი; *b*, *c*, *d*—მავთულთან ტვირთის დაკავშირების სქემები; *e*—ხელის ჯალამბარი; *f*—მიმმართველი ბლოკი; *g*—საცენტრავი ფირფიტა



ნახ. 3. 2. 4.

სიფიცხეზე გამოცდის მიზნით მავთულს ერთ და იმავე ადგილას გაღუნავენ 8—10-ჯერ 90° კუთხით. თუ იგი არ გატყდა, ვარგისად ითვლება.

შვეულის ტვირთი უმეტესად ცილინდრული ფორმისაა და მზადდება თუჯისაგან. მისი დიამეტრი ორჯერ ნაკლები უნდა იყოს სიმაღლეზე (ნახ. 3ª). გამოსაყენებლად მოხერხებულია 3ᵇ ნახაზზე გამოსახული კონსტრუქციის ტვირთი, რომელიც შედგება ლითონის ღეროსა 1 და თუჯის ან რკინის ცალკეული საყელურებისაგან 2. თითოეულ საყელურს აქვს რადიალური განაჭერი ლითონის ღეროზე ჩამოსაცმელად. შვეულის ტვირთის მინიმალური წონა

ცხრილი 3. 2. 1

მავთულის დიამეტრი, მმ	მავთულის კლასი: მაღალი სიმტკიცის (*II*) — სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, კგ/მმ²	მაღალი სიმტკიცის (*II*) — დასაშვები ტვირთის სიდიდე, კგ	უმაღლესი სიმტკიცის (*B*) — სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, კგ/მმ²	უმაღლესი სიმტკიცის (*B*) — დასაშვები ტვირთის სიდიდე, კგ
0,5	43	26	52	31
0,8	100	60	130	78
1,0	153	92	196	118
1,5	336	202	388	233
2,0	550	330	620	377

დამოკიდებულია ჰაურის სიღრმეზე, ჰაერის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე, წყლის წვეთვის ინტენსიურობასა და შვეულებს შორის მანძილზე. მარკშეიდერული ინსტრუქციით რეკომენდებულია 100 მეტრამდე სიღრმის ჰაურებისათვის გამოყენებულ იქნეს 30—50 კგ სიმძიმის ტვირთი, უფრო ღრმა ჰაურებისათვის—50—100 კგ.

შვეულის ტვირთს მავთულთან აკავშირებენ სპეციალური გარსაკრითა და მომჭერებით. 3ᵉ ნახაზზე ნაჩვენებია გარსაკრის 1 შეერთება მავთულთან მომჭერების საშუალებით, ხოლო 3ᵈ ნახაზზე კი—დახვევით; ხვიის 3 ბიჯი (*h*) 10—12 სმ-ია.

ზედაპირზე და მიწის ქვეშ საჭირო მოწყობილობის დაყენების შემდეგ იწყებენ შვეულის ჩაშვებას, რისთვისაც მის ბოლოზე მიამაგრებენ 3—5 კგ სიმძიმის ტვირთს და ჩაუშვებენ მას ნელ-ნელა ჰაურში. ამავე დროს მთავარი მარკშეიდერი თითებს შორის ატარებს მავთულს დაზიანებული ადგილის გამოსავლინებლად ჩაშვება წარმოებს 1 მ/სეკ სიჩქარით ყოველი 50 მეტრის ჩაშვების შემდეგ მცირე პაუზის მოწყობით, რათა, შემცირდეს შვეულის რხევა.

გასაგნებ ჰორიზონტზე შვეულის მიღწევისთანავე მიწისქვეშა ბრიგადა იძლევა სათანადო სიგნალს და ჩაშვებას შეწყვეტენ. ამის შემდეგ შვეულს ტვირთავენ მუშა ტვირთით. მხედველობაში მიიღება მავთულის შესაძლო Δl წაგრძელება, რაც იანგარიშება ფორმულით

$$\Delta l = KQl, \tag{3.2.3}$$

სადაც K არის 1 მ მავთულის წაგრძელება ერთი კგ ტვირთით დაჭიმვისას;

Q — ტვირთის წონა, კგ-ში;

l — მავთულის სიგრძე, მ-ში.

K კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია (2) ცხრილში.

ცხრილი 3. 2. 2.

მავთულის დიამეტრი, მმ	K
0,5	0,0255
0,8	0,0100
1,0	0,0064
1,5	0,0028
2,0	0,0016

მაგალითად, თუ $l=300$ მ-ს, $Q=50$ კგ და $d=1,0$ მმ-ს, მაშინ

$$\Delta l = 0,0064 \times 50 \times 300 = 96 \text{ სმ.}$$

შვეულების შემოწმება. შვეულის ჩაშვებისა და დატვირთვის შემდეგ საჭიროა შემოწმდეს ხომ არ ეხება იგი ჰაურის კედლებს. შემოწმებას ახდენენ „ფოსტით“, შვეულის რხევის პერიოდით, შვეულებს შორის მანძილების შედარებითა და სხვა საშუალებებით.

1) შემოწმება „ფოსტით“ სრულდება შემდეგნაირად: შვეულის მავთულს ზედაპირზე გაუკეთებენ 2—3 სმ დიამეტრის მსუბუქი მასალის რგოლს და ჩაუშვებენ ქვევით. თუ მან მიაღწია ქვედა ჰორიზონტამდე, ეს ნიშნავს, რომ შვეული თავისუფლად კიდია ჰაურში.

2) შვეულის რხევის პერიოდის მიხედვით შემოწმებისას იყენებენ შემდეგ ფორმულას:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{G}}, \tag{3. 2. 4}$$

სადაც t არის შვეულის ერთი რხევის პერიოდი, წამებში;

l — შვეულის სიგრძე, მ-ში;

G — სიმძიმის ძალის აჩქარება (9,81 მ/წამ²).

თუ გავითვალისწინებთ, რომ დაახლოებით

$$\frac{\pi}{\sqrt{G}} \approx 1,$$

მაშინ

$$t = \sqrt{l}. \tag{3. 2. 5}$$

(5) ფორმულით შეიძლება გავიგოთ ეხება თუ არა შვეული ჰაურის კედლებს. ამისათვის შვეულს აქანავებენ და საზღვრავენ მისი ერთი რხევის პერიოდს. ამავე პერიოდს გამოთვლიან (5) ფორმულით. თუ ფორმულით გამოთვლილი t არ უდრის დაკვირვებით მიღებულ სიდიდეს, ეს იმას ნიშნავს, რომ შვეულის მავთული სადღაც ეხება ჰაურის კედლებს. (5) ფორმულაში t-ს ნაცვლად თუ შევიტანთ რხევის პერიოდის ფაქტობრივ მნიშვნელობას, შეგვიძლია განვსაზღვროთ მანძილი გასაგნები ჰორიზონტიდან შეხების წერტილამდე გამოსახულებიდან.

$$l = t^2.$$

3) ზედაპირზე და მიწის ქვეშ შვეულებს შორის ჰორიზონტული მანძილების შედარებით შემოწმების დროს აღნიშნული მანძილები არ უნდა განსხვავდებოდეს ერთმანეთისაგან 2 მმ-ზე უფრო მეტად.

აღნიშნული ხერხებიდან ყველაზე სანდოა შემოწმება „ფოსტით“ და მანძილების შედარებით.

შვეულების შემოწმების შემდეგ იწყებენ მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტას.

შვეულების მავთულზე უშუალოდ მიმხრობა შეიძლება მხოლოდ მაშინ, თუ ისინი უძრავია. ამას აკონტროლებენ შვეულის უკან უძრავად დაყენებულ სკალაზე ანათვლებით, რომლებსაც იღებენ მიმხრობის დასაწყისში და დამთავრების შემდეგ. სკალაზე საწყის და საბოლოო ანათვლებს შორის სხვაობა თუ არ აღემატება 0,4 მმ-ს, მაშინ შვეული ითვლება უძრავად, წინააღმდეგ შემთხვევაში იყენებენ ქვემოთ აღწერილ მეთოდს.

დაგეგმილება მოქანავე შვეულებით. დაგეგმილების ამოცანის მეტი სიზუსტით გადაწყვეტა შეიძლება შვეულების რხევებზე დაკვირვებით, რომლის ზოგადი პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: შვეულიდან 5—10 სმ მანძილზე უძრავად აყენებენ M სკალას (ნახ.5). მისგან რამდენიმე მეტრის მანძილზე დგამენ თეოდოლიტს, სამიზნე ჰოგრით აკვირდებიან შვეულის რხევას და

ახდენენ მისი კიდური მდებარეობების ფიქსირებას სკალაზე ანათვლების აღებით. აღებენ ასეთ 11—13 თანამიმდევრობით ანათვალს სკალაზე. ანათვლები აიღება შვეულის მავთულის მხოლოდ გარე ან მხოლოდ შიგა ნაპირის მიხედვით. შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამისი a_0 ანათვალი ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში გამოითვლება ფორმულით

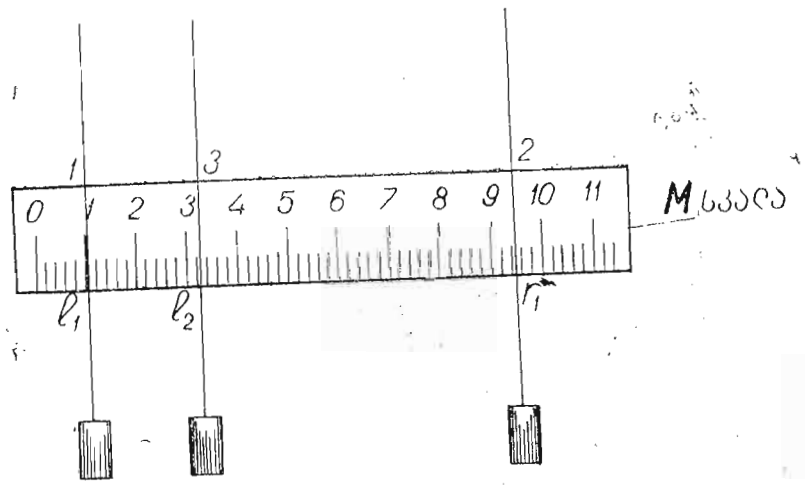
$$a_0 = \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_k}{k}, \qquad (3.\ 2.\ 6)$$

სადაც

$$a_1 = \frac{l_1 + 2r_1 + l_2}{4},$$

$$a_2 = \frac{r_1 + 2l_2 + r_2}{4}, \qquad \text{და ა. შ}$$

$$k = (n-1) + (m-1),$$



ნახ. 3. 2. 5.

$l_1, l_2, \ldots, l_n$ არის შვეულის მარცხენა კიდური მდებარეობების შესაბამისი ანათვლები სკალაზე;

$r_1, r_2 \ldots, r_n$ — შვეულის მარჯვენა კიდური მდებარეობების შესაბამისი ანათვლები სკალაზე;

n და m — შესაბამისად, სკალაზე მარცხენა და მარჯვენა ანათვალთა რაოდენობა.

საშუალო a_0 ანათვალი შეიძლება განისაზღვროს აგრეთვე შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$a_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{\Sigma l}{n} + \frac{\Sigma r}{m}\right). \qquad (3.\ 2.\ 7)$$

თუ აღვნიშნავთ

$$\frac{\Sigma l}{n} = l_0, \qquad \frac{\Sigma r}{m} = r_0,$$

მივიღებთ

$$a_0 = \frac{l_0 + r_0}{2}. \qquad (3.\ 2.\ 8)$$

(8) ფორმულა მართებულია, როცა მარჯვენა და მარცხენა ანათვალთა საერთო რიცხვი კენტია.

მოქანავე შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის განსაზღვრა შეიძლება თეოდოლიტით, საცენტრავი თეფშით, ოკულარის სკალით, პროფ. პ. სობოლევსკის სარკიანი დანადგარით, ფოტოგრაფიული გზით და სხვა მეთოდებით.

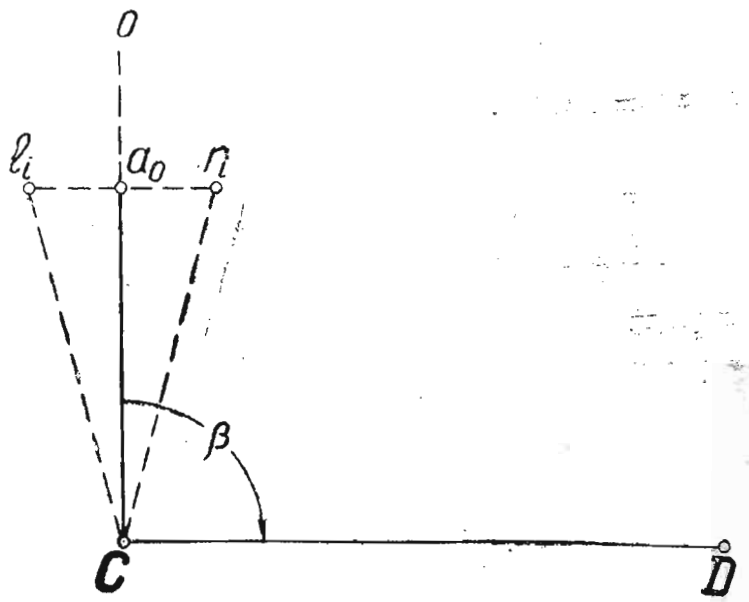
1) თ ე ო დ ო ლ ი ტ ი თ შ ვ ე უ ლ ი ს ს ი მ შ ვ ი დ ი ს მ დ ე ბ ა რ ე ო ბ ი ს გ ა ნ ს ა ზ ღ ვ რ ა შესაძლებელია ღრმა ჭაურების შემთხვევაში, როცა რხევის პერიოდი საკმარისად დიდია. ამ მიზნით დააყენებენ თეოდოლიტს C წერტილზე და შვეულს აჭანავებენ ჰოგრის სამიზნე CO ღერძის მართობულ სიბრტყეში (ნახ. 6). დაამაგრებენ ლიმბს და ალიდადის მოძრაობით დამზერენ შვეულის მავთულის მარცხენა კიდურ მდებარეობას; იღებენ l_1 ანათვალს ლიმბზე. ალიდადის მოძრაობით დამზერენ შვეულის მავთულს კიდური მარჯვენა მდებარეობისას და იღებენ r_1 ანათვალს ლიმბზე.

ასეთ დაკვირვებებს იმეორებენ რამდენიმეჯერ. აღებული ანათვლების საშუალო იქნება შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამისი a_0 ანათვალი ჰორიზონტულ წრედზე. შემდეგ ალიდადის მოძრაობით დამზერენ D წერტილს, აიღებენ a_D ანათვალს ლიმბზე და განსაზღვრავენ მიმხრობი β კუთხეს ფორმულით

$$\beta = a_D - a_0. \qquad (3.\ 2.\ 9)$$

აღწერილი მეთოდის არსებითი ნაკლი ის არის, რომ ანათვლების აღება უნდა მოხდეს სწრაფად—ერთი რხევის პერიოდში, რაც ადვილი არ არის.

2) ო კ უ ლ ა რ ი ს ს კ ა ლ ა. ზოგიერთი კონსტრუქციის თეოდოლიტში ჩვე-

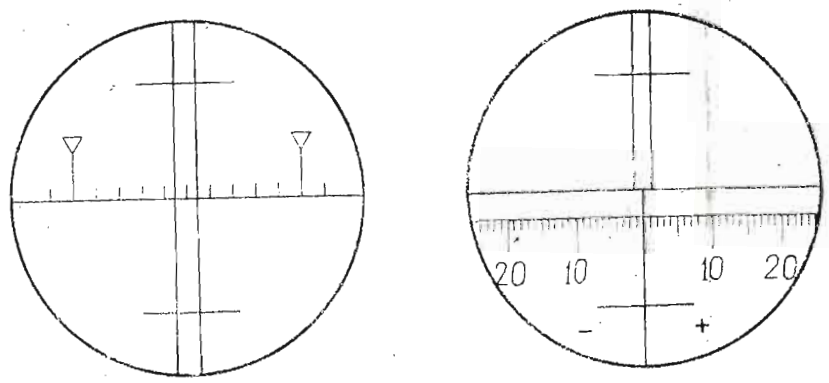


ნახ. 3. 2. 6.

ულებრივი ძაფთა ბადესთან ერთად დატანილია სკალა შვეულის ქანაობაზე დაკვირვებისათვის (ნახ.7). ასეთი ინსტრუმენტით სარგებლობისას დაკვირვებას აწარმოებენ შემდეგი თანამიმდევრობით:

a) თეოდოლიტს ოკულარის სკალით დაცენტრავენ მიმხრობი β კუთხის *C* წვეროზე (ნახ. 8), დამზერენ უძრავ *D* სიგნალს და აიღებენ a_1 ანათვალს ლიმბზე;

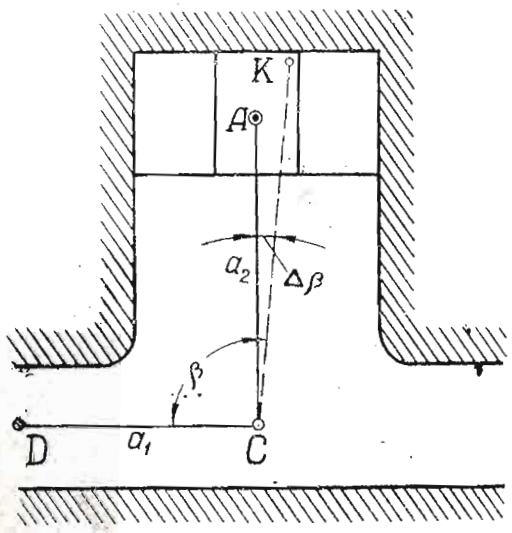
b) ათავისუფლებენ ალიდადას და ჰოგრს აყენებენ მოქანავე *A* შვეულის



ნახ. 3. 2. 7.

მიმართულებით ისე, რომ შვეული რხევისას რჩებოდეს ოკულარის სკალის ფარგლებში. ამ მდგომარეობაში ამაგრებენ ალიდადას და იღებენ a_2 ანათვალს ლიმბზე;

c) უძრავი ჰოგრის ოკულარის სკალით აკვირდებიან შვეულის რხევას, იწერენ მისი კიდური მარჯვენა და მარცხენა მდებარეობების შესაბამის l_i, r_i ანათვლებს სკალაზე (მარჯვენა ანათვლებს იწერენ პლუსი ნიშნით, მარცხენას მინუსით) და (8) ფორმულით გამოითვლიან შვეულის საშუალო მდებარეობის გადახრას თეოდოლიტის ჰოგრის სამიზნე *CK* ღერძიდან, ანუ შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამის a_0 ანათვალს ოკულარის სკალაზე.



ნახ. 3. 2. 8.

d) მიმხრობი β კუთხის მნიშვნელობას ჰოგრის პირველი მდებარეობიდან ანგარიშობენ ფორმულით

$$\beta_1 = (a_2 - a_1) \pm \Delta\beta,$$

ანუ

$$\beta_1 = (a_2 - a_1) - ta_0, \qquad (3.\ 2.\ 10)$$

სადაც *t* არის ოკულარის სკალის ცალი დანაყოფის საფასური სეკუნდებში.

e) ანალოგიურ დაკვირვებებს იმეორებენ ჰოგრის მეორე მდებარეობაშიც და გამოითვლიან საძიებელი კუთხის β_2 მნიშვნელობას. მიმხრობი β კუთხე

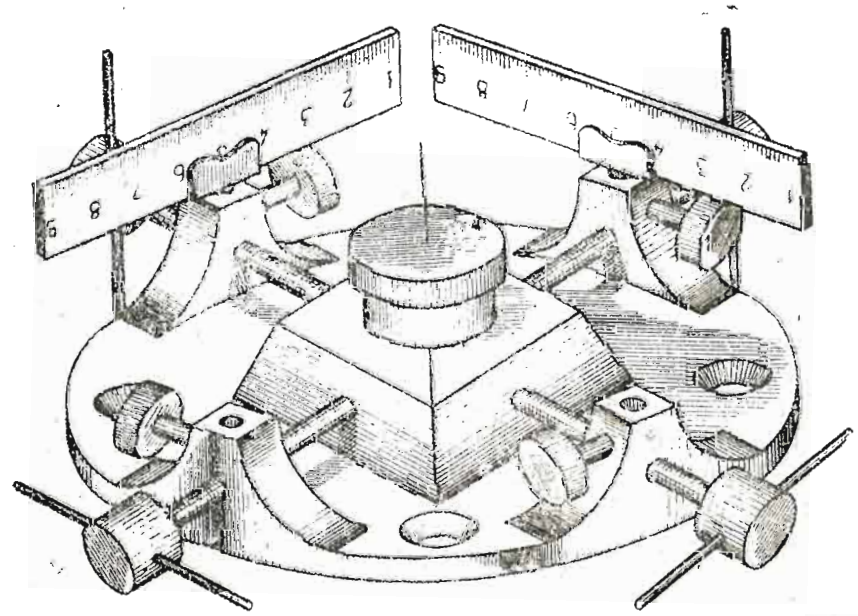
$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}. \qquad (3.\ 2.\ 11)$$

ოკულარის სკალით შვეულის რხევებზე დაკვირვება შეიძლება მხოლოდ ერთ, ჰოგრის სამიზნე ღერძის მართობულ სიბრტყეში, რაც მის ნაკლად ითვლება.

ოკულარის სკალის ცალი დანაყოფის *t* საფასურს საზღვრავენ წინასწარ. ამ მიზნით ზედაპირზე დააყენებენ თეოდოლიტს და მისგან 1,5—2 კმ მანძილზე ირჩევენ კარგად დასანახ საგანს. მას დამზერენ თანამიმდევრობით ოკულარის სკალის კიდური მარცხენა და კიდური მარჯვენა კვესურებით (ლიმბი დამაგრებულია) და აიღებენ შესაბამის ანათვლებს ჰორიზონტულ წრედზე. აღებულ ანათვალთა სხვაობა მოგვცემს სკალის კიდურა კვესურებს შორის შექმნილ α კუთხეს. თუ სკალაზე დანაყოფთა რაოდენობა არის *n*, მაშინ მისი ცალი დანაყოფის საფასური

$$t = \frac{\alpha}{n}. \qquad (3.\ 2.\ 12)$$

3) ს ა ც ე ნ ტ რ ა ვ ი თ ე ო ფ შ ი ს კ ა ლ ე ბ ი თ. აღნიშნული მოწყობილობა შედგება თეფშისაგან (ნახ. 9), რომელშიც მოთავსებულია წაკვეთილი ოთხ-



ნახ. 3. 2. 9.

კუთხა პირამიდა. მისი გადაადგილება შეიძლება ორი წყვილი ურთიერთმართობი ხრახნების საშუალებით. ხრახნებს ზევით სპეციალურ ბუდეში (ჩარჩოში) მაგრდება სკალები. თეფშის ცენტრში არის 3—5 სმ დიამეტრის მრგვალი ამონაჭერი. პირამიდასაც აქვს ხვრელი (ნახაზზე არ ჩანს) და განაჭერი,

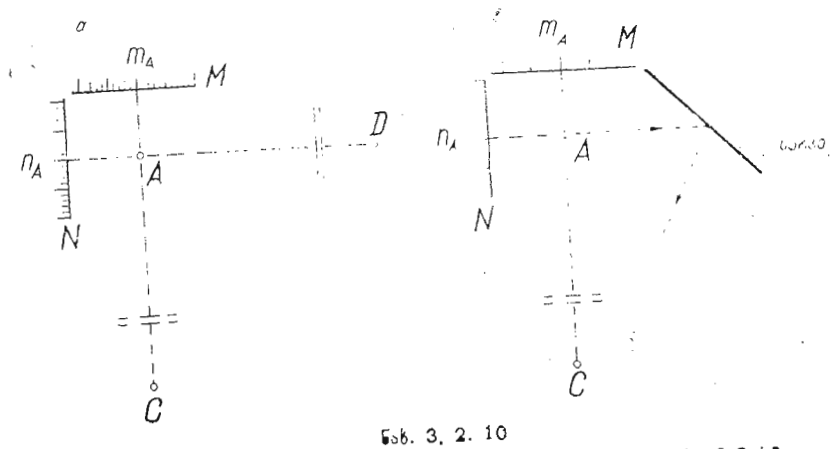
რომლის საშუალებითაც ხდება მისი დაკავშირება შვეულის მავთულთან. პირამიდის ხვრელში შეიძლება ჩაიხრახნოს სპილენძის საცობი წვეტანათი. საცენტრავი თეფში შეიძლება ხრახნების საშუალებით დამაგრდეს ხის სადგარზე.

აღწერილი ხელსაწყოთი მუშაობა შემდეგი თანამიმდევრობით წარმოებს:

a) მაღაროს ეზოში 1,5 მ სიმაღლეზე მყარად ამაგრებენ ხის თაროს, თაროზე ორ ადგილას აკეთებენ 5—6 სმ დიამეტრის წრიულ ამონაჭრებს, ისეთი ვარაუდით, რომ მათ ცენტრში გადიოდეს შვეულების მავთულები. საცენტრავ თეფშს ამაგრებენ თაროზე. პირამიდა ამ დროს მოხსნილია;

b) დაკვირვებას აწარმოებენ ორი თეოდოლიტით (ნახ. 10ª). თითოეულ სკალაზე იღებენ 13—15 ანათვალს და (8) ფორმულით გამოითვლიან შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის შესატყვის m_A და n_A ანათვლებს სკალებზე;

c) სკალების მდებარეობის შეუცვლელად შვეულის მავთულს გასწევენ გვერდზე და თეფშზე დაამაგრებენ პირამიდას წვეტანათი. C და D თეოდოლიტების ჰოგრებით დამზერენ m_A და n_A ანათვლებს სკალებზე. ამის შემდეგ



ნახ. 3. 2. 10

ხრახნების საშუალებით პირამიდას გადააადგილებენ იმდენად, რომ მასზე დამაგრებული წვეტანა მოხვდეს ერთდროულად ორივე თეოდოლიტის ჰოგრების ძაფთა ბადის ჯვარედინზე. შემდგომი გაზომვები წარმოებს წვეტანაზე დამზერით.

აღწერილი მეთოდით მუშაობისას საჭიროა ორი თეოდოლიტის გამოყენება, რაც მისი არსებით ნაკლად უნდა ჩაითვალოს.

იმავე ხელსაწყოს თუ დავუმატებთ ბრტყელ სარკეს, რომელიც დახრილი იქნება სკალების მიმართ 45° კუთხით, მაშინ საკმარისი იქნება ერთი თეოდოლიტი (ნახ. 10ᵇ). ამ შემთხვევაში ფრონტალურ M სკალაზე ანათვლები აიღება ჩვეულებრივი წესით, გრძივ N სკალაზე კი—სარკეში შვეულის გამოსახულებაზე დამზერით.

4) შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის განსაზღვრისათვის პროფ. პ. სობოლევსკიმ შექმნა ორიგინალური ხელსაწყო, მაგრამ პრაქტიკაში იგი ვერ გავრცელდა. იგივე ითქმის გრაფიკულ და ფოტოგრაფიულ მეთოდებზე, ამიტომ მათი აღწერა არ მოგვყავს [31].

შ ვ ე უ ლ ე ბ ი თ დ ა გ ე გ მ ი ლ ე ბ ი ს ს ი ზ უ ს ტ ე. ჰაურში ჩაშვებულ შვეულებზე მოქმედებს: ჰაურში მოძრავი ჰაერის ნაკადი; წყლის წვეთვა; შვეულის ე.წ. „დამატებითი“ რხევები; მავთულის დრეკადობა; შვეულების მიახლოება დედამიწის ცენტრის მიმართულებით; შვეულის მიზიდვა გარემომცველი ქანებით; შვეულის რხევის სიბრტყისა და სკალის სიბრტყის არაპარალელურობა.

1) შვეულის მავთულსა და ტვირთზე ჰაურში მოძრავი ჰაერის ნაკადის გავლენის საკითხს მრავალი საინტერესო კვლევა მიეძღვნა (პროფ. პ. ვილსკი, პროფ. დ. ოგლობლინი და სხვ.). პროფ. პ. ვილსკის (ფრეიბერგის სამთო აკადემია) მიხედვით ერთი ვერტიკალური ჰაურის შემთხვევაში მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირების შეცდომის ძირითად მიზეზს წარმოადგენს ჰაურში მოძრავი ჰაერის ნაკადის გავლენით შვეულების გვერდითი გადახრა. ამ გადახრის გამოსარიცხად მან წამოაყენა მრავალტვირთიანი შვეულით დაგეგმილების მეთოდი. შემდგომი კვლევებით დადგინდა, რომ ჰაურში ჰაერის ნაკადის მოძრაობის რეჟიმი განუწყვეტლივ იცვლება, ამიტომ აღნიშნული მეთოდი არ იძლევა საჭირო სიზუსტეს. მან დაკარგა პრაქტიკული მნიშვნელობა აგრეთვე გიროსკოპული ორიენტირების გავრცელებასთან დაკავშირებით.

მრავალტვირთიანი შვეულით დაგეგმილების შესახებ ვრცელი ცნობები მოცემულია პროფ. დ. ოგლობლინის სახელმძღვანელოში [30].

2) წყლის წვეთების დაცემას გამოყავს შვეულის მავთული წონასწორობიდან და არღვევს მის ნორმალურ რხევას. მავთულზე იგი ქაოსურად მოქმედებს და მისი გავლენის მხედველობაში მიღება ძნელია. ამიტომ საჭიროა შვეულების ჩაშვების ადგილები ისე შეირჩეს, რომ მათზე წყლის წვეთების მოხვედრა რაც შეიძლება მცირე იყოს.

3) მოქანავე შვეულით დაგეგმილების დროს გულისხმობენ, რომ მას აქვს ქანქარისებრი, მილევადი რხევები. მაგრამ, როგორც კვლევებით დადასტურდა, შვეულის ქანქარისებრ რხევებს თან ერთვის მთელი რიგი გარეშე (დამატებითი) რხევები, რომლებიც მნიშვნელოვნად არღვევენ შვეულის, როგორც ქანქარის, ნორმალურ რხევებს. გარეშე რხევების წარმოქმნის ძირითადი მიზეზია ჰაურსა და მის მიმდებარე გვირაბებში ჰაერის ნაკადის სიჩქარისა და მიმართულების უთანაბრობა, აგრეთვე წყლის წვეთვა, ზედაპირზე შვეულების დამაგრების წერტილების რყევა, შვეულის ტვირთის მასის არასიმეტრიული განაწილება შვეულის მავთულის ღერძის მიმართ და სხვ. გარეშე რხევების გავლენის ასაცილებლად საჭიროა ჰაურში ჰაერის ნაკადის რეჟიმის მუდმივობის მიღწევა, შვეულების საიმედოდ დამაგრება ზედაპირზე, დაგეგმილების ყველა შემთხვევაში შვეულის ტვირთის მოთავსება წყალში ან ნამუშევარ ზეთში და სხვ.

4) მავთულის დრეკადობა ვლინდება ორი სახით: ა) დოლზე დახვეული მავთული ჰაურში ჩაშვების დროს ცდილობს მიიღოს ადრინდელი (წრიული) მდგომარეობა, რაც იწვევს დაგეგმილების ხაზოვან შეცდომას; ბ) შვეულის მავთული ბლოკის ღარიდან გასვლისას ცდილობს მდორედ გადავიდეს ვერტიკალურ მდებარეობაში, რის გამოც ზედა ნაწილში ის გადახრილია. დაგეგმილების შეცდომის ამ წყაროს მინიმუმამდე დაყვანის მიზნით საჭიროა შეძლებისდაგვარად გამოვიყენოთ მცირე დიამეტრის მავთული, საცენტრავი (საყრდენი) ფირფიტა და ბლოკები დავამაგროთ ისე, რომ მათი ბრუნვის ღერძები მართობული იყოს შვეულების შემაერთებელი ხაზისა.

5) შვეულების მიახლოების საკითხის განსახილველად გამოვიყენოთ მე-11 ნახაზი, რომელშიც A და B შვეულებია;

H — ჰაურის სიღრმე;

R — დედამიწის რადიუსი;

c და c_1—მანძილი შვეულებს შორის ზედაპირსა და გასაგნებ ჰორიზონტზე.

ნახაზის მიხედვით დავწერთ

$$c_1 = \frac{c(R-H)}{R}.$$

თუ Δc-თი აღვნიშნავთ შვეულების მიახლოებას, ე.ი.

$$\Delta c = c - c_1,$$

მივიღებთ

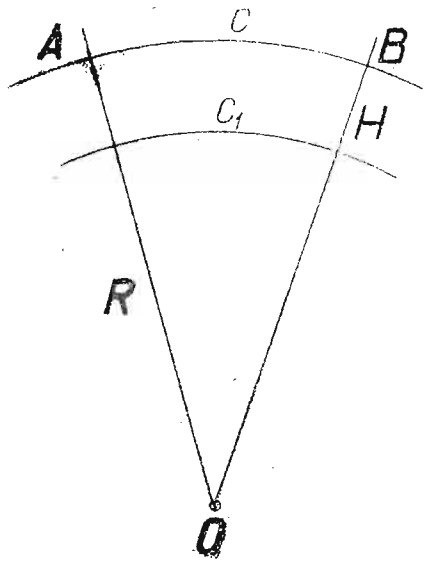
$$\Delta c = c - c_1 = c - \frac{c(R-H)}{R},$$

ანუ

$$\Delta c = c\frac{H}{R}. \qquad (3.\ 2.\ 13)$$

თუ დავუშვებთ, რომ $R \approx 6371$ კმ-ს, $H = 1000$ მ-ს და $c = 4$ მ-ს, მაშინ

$$\Delta c = \frac{4 \cdot 1000}{6371 \cdot 10^3} = 0{,}00063 \text{ მ-ს.}$$



ნახ. 3. 2. 11.

მაშასადამე, ძლიერ ღრმა ჭაურების შემთხვევაშიაც შვეულების მიახლოება მცირე ოდენობაა. მას ამცირებს აგრეთვე გარემომცველი ქანების მიერ შვეულების მიზიდულობა. გარდა ამისა, რადგანაც მიახლოება ხდება შვეულების სიბრტყეში, მისი გავლენა მიმართულების დაგეგმილების ამოცანის გადაწყვეტაზე უმნიშვნელოა.

6) თავისუფლად დაკიდებულ შვეულს და მის ტვირთს იზიდავს გარემომცველი ქანები. მიზიდულობის ძალა მიმართულია ჭაურის ცენტრიდან კედლებისაკენ და მით მეტია, რაც უფრო ახლოს არის ჭაურის კედლებთან შვეულის მავთული. მაგრამ, როგორც ცდებით დადასტურდა, მისი ოდენობა უმნიშველოა (არაუმეტეს 0,4 მმ) და თანაც მის კომპენსაციას ახდენს შვეულების მიახლოება დედამიწის ცენტრის მიმართულებით.

7) სკალების საშუალებით შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის განსაზღვრის დროს ვგულისხმობთ, რომ შვეული ქანაობს სკალის სიბრტყის პარალელურად. თუ ეს პირობა არ არის დაცული, მაშინ საშუალო ანათვალი სკალაზე განისაზღვრება m შეცდომით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$m = \frac{w^3 \sin 2\alpha}{2s}, \qquad (3.\ 2.\ 14)$$

სადაც w არის შვეულის რხევის საშუალო ამპლიტუდა;

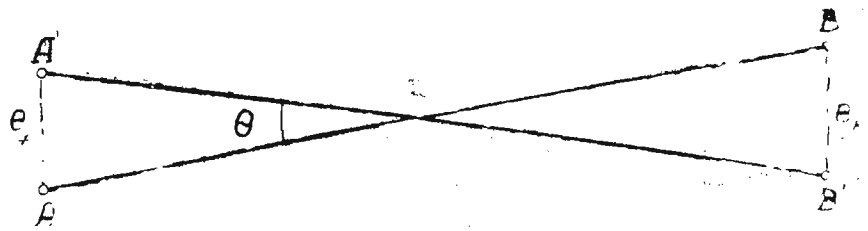
s—მანძილი თეოდოლიტიდან სკალამდე;

α—კუთხე შვეულის რხევისა და სკალის სიბრტყეებს შორის.

თუ $\alpha = 45°$-ს, $w = 5$ სმ-ს და $s = 4$ მ-ს, მაშინ $m = 0{,}3$ მმ-ს, რაც უგულებელსაყოფია.

წერტილებისა და მიმართულების დაგეგმილების შეცდომა. თითოეულ შვეულზე მოქმედი სხვადასხვა ფაქტორის გავლენით A და B წერტილები დაგეგმილდება გასაგნებ ჰორიზონტზე e_A და e_B ხაზოვანი შეცდომებით. ამის შედეგად AB მიმართულების გეგმილი ქვედა ჰორიზონტზე აღმოჩნდება მისი ჭეშმარიტი მიმართულებიდან Θ კუთხით მობრუნებული, რასაც მიმართულების დაგეგმილების კუთხურ შეცდომას უწოდებენ (ნახ. 12).

მიმართულების დაგეგმილების Θ კუთხური შეცდომა უშუალოდ დაკავშირებულია A და B წერტილების დაგეგმილების ხაზოვან e_A და e_B შეცდომებთან. დავადგინოთ მათ შორის კავშირი (ნახ. 13). შემოვიტანოთ აღნიშვნები:



ნახ. 3.2.12

A, B—შვეულების მდებარეობა ზედაპირზე;

A_i, B_i—შვეულების შემთხვევითი მდებარეობა გასაგნებ ჰორიზონტზე;

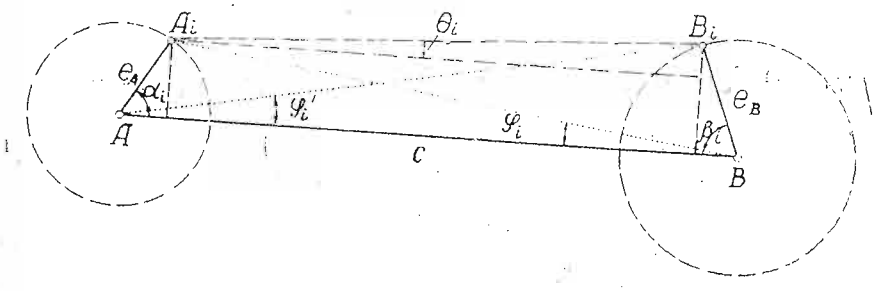
e_A, e_B—A და B წერტილების დაგეგმილების ხაზოვანი შეცდომები;

α_i, β_i—კუთხეები AB-სა და დაგეგმილების ხაზოვან AA_i და BB_i ელემენტებს შორის;

φ_i— დაგეგმილების კუთხური შეცდომის შემთხვევითი მნიშვნელობა,

c — მანძილი შვეულებს შორის.

დავუშვათ, რომ B წერტილი უშეცდომოდ არის დაგეგმილებული ($e_B = 0$);



ნახ. 3. 2. 13.

ხოლო A კი—e_A ხაზოვანი შეცდომით, მაშინ დაგეგმილების კუთხური შეცდომის შემთხვევითი მნიშვნელობა

$$\varphi_i = \frac{e_A \sin \alpha_i}{c}\rho \,. \qquad (3.\ 2.\ 15)$$

რადგან α_i კუთხეს შეუძლია მიიღოს ნებისმიერი მნიშვნელობა 0—360° ფარგლებში, ამიტომ საჭიროა მოიძებნოს დაგეგმილების კუთხური φ_i შეცდომის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა $-\varphi_1$. თუ AA_i მხარი ღებულობს n_1 შემთხვევით მდებარეობას e_A რადიუსის წრეხაზზე, მაშინ:

$$\varphi_1^2 = \frac{[\varphi_i^2]}{n_1},$$

$$\varphi_1^2 = \frac{e_A^2 \rho^2}{n_1 \cdot c^2}[\sin^2 \alpha i]. \qquad (a)$$

მაგრამ α_i კუთხის ცვალებადობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ უსასრულო მცირე $d\alpha$-ს სიდიდით, ამიტომ φ_1-ის გამოთვლა შეიძლება იმდენჯერ, რამდენჯერაც $d\alpha$ მოთავსდება 2π-ში, ე.ი.

$$n_1 = \frac{2\pi}{d\alpha}. \qquad (b)$$

თუ (a) გამოსახულებაში შევიტანთ n_1-ის მნიშვნელობას და ჯამის ნიშანს შევცვლით ინტეგრალის ნიშნით, მივიღებთ:

$$\varphi_1^2 = \frac{e_A^2 \rho^2}{2\pi \cdot c^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha d\alpha,$$

მაგრამ

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha d\alpha = \pi,$$

ამიტომ

$$\varphi_1^2 = \frac{e_A^2 \rho^2}{2c^2}. \qquad (c)$$

თუ დავუშვებთ, რომ B წერტილი დაგეგმილებულია e_B ხაზოვანი შეცდომით, ხოლო A—უშეცდომოდ, ანალოგიურად მივიღებთ

$$\varphi_2^2 = \frac{e_B^2 \rho^2}{2c^2}. \qquad (d)$$

საძიებელი Θ შეცდომა (c) და (d) გამოსახულებათა გათვალისწინებით იქნება

$$\Theta^2 = \varphi_1^2 + \varphi_2^2 = \frac{\rho^2}{2c^2}\left(e_A^2 + e_B^2\right),$$

$$\Theta = \pm \frac{\rho}{c}\sqrt{\frac{e_A^2 + e_B^2}{2}}. \qquad (3.2.16)$$

რადგან A და B წერტილების დაგეგმილების პირობები ერთნაირია, ამიტომ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $e_A = e_B = e$ და (16) ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\Theta = \pm \frac{\rho e}{c}. \qquad (3.2.17)$$

ამგვარად, მიმართულების დაგეგმილების კუთხური შეცდომა მით ნაკლები იქნება, რაც მეტია შვეულებს შორის მანძილი და ნაკლებია წერტილების დაგეგმილების ხაზოვანი შეცდომები.

Θ მაქსიმალურ მნიშვნელობას ღებულობს მაშინ, როდესაც e_A და e_B ხაზოვანი შეცდომების მიმართულებანი AB-ს მართობულია. ასეთ შემთხვევაში ნახაზიდან გვაქვს

$$\varphi_1 = \frac{e_A}{c}\rho; \qquad \varphi_2 = \frac{e_B}{c}\rho,$$

ხოლო

$$\Theta = \pm \frac{\rho e}{c}\sqrt{2}. \qquad (3.2.18)$$

აღნიშნული გვჭონდა, რომ მიწისქვეშა აგეგმვის რომელიმე გვერდის დირექციული კუთხე უნდა განისაზღვროს ორი დამოუკიდებელი ორიენტირებით და სხვაობამ ორ შედეგს შორის არ უნდა გადააჭარბოს $\pm 3'$-ს. აქედან ერთი ორიენტირების საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$M_{ორ} = \pm \frac{3'}{2\sqrt{2}} = \pm 60''.$$

თუ დავუშვებთ, რომ მიმხრობის ამოცანა ზედაპირზე და მიწისქვეშ გადაწყვეტილია ერთი და იმავე $\pm 30''$ სიზუსტით, ე.ი. $m_1 = m_2 = \pm 30''$, მაშინ ორიენტირების შეცდომა იქნება

$$M^2_{ორ} = m_1^2 + \Theta^2 + m_2^2,$$

საიდანაც

$$\Theta = \pm\sqrt{M^2_{ორ} - m_1^2 - m_2^2} = \pm\sqrt{60^2 - 30^2 - 30^2} = \pm 40''.$$

მაშასადამე, მარკშეიდერული ინსტრუქციის მოთხოვნის დაკმაყოფილებისათვის აუცილებელია დაგეგმილების კუთხურმა შეცდომამ არ გადააჭარბოს $\pm 40''$-ს. თუ Θ-ს ამ მნიშვნელობას შევიტანთ (17) ფორმულაში და განვსაზღვრავთ სხვადასხვა შემთხვევაში წერტილების დაგეგმილების ხაზოვანი e შეცდომების მნიშვნელობებს, მივიღებთ

c, მ	2,0	3,0	4,0	5,0
e, მმ	0,4	0,6	0,8	1,0

წერტილების დაგეგმილების სიზუსტის უფრო მკაცრ მოთხოვნილებას იძლევა (18) ფორმულა

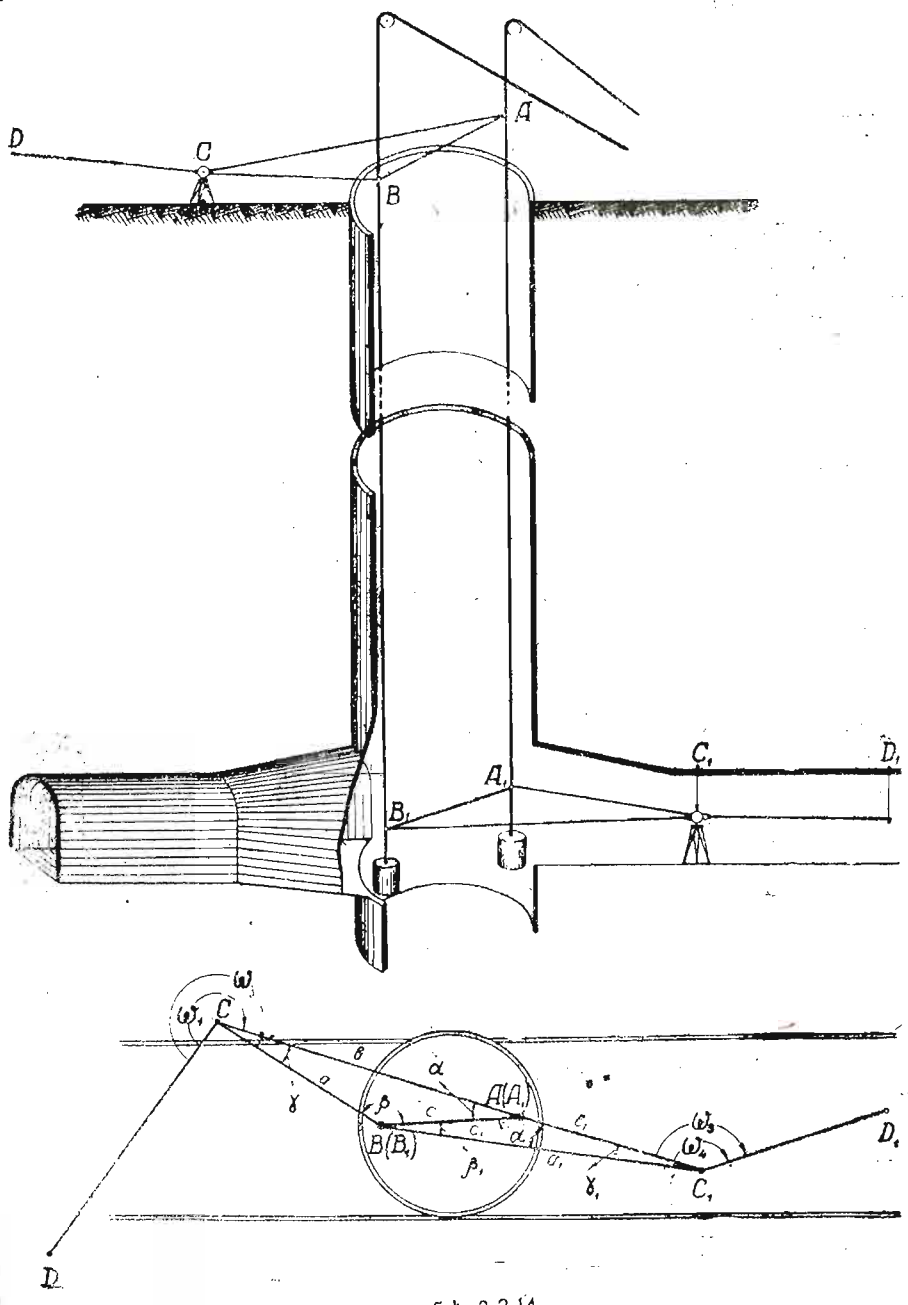
c, მ	2,0	3,0	4,0	5,0
e, მმ	0,3	0,4	0,6	0,7

ამგვარად, ორიენტირების სიზუსტის ინსტრუქციით გათვალისწინებული ნორმების მისაღწევად საჭიროა წერტილების დაგეგმილების ხაზოვანი შეცდომა არ აღემატებოდეს $\pm 0{,}5$ მმ-ს.

2. მიმხრობის მეთოდები

a. დამაკავშირებელი სამკუთხედები

დამაკავშირებელი სამკუთხედების ხერხი ფართოდაა გავრცელებული მარკშეიდერულ პრაქტიკაში. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში:



ნახ. 3.2.14.

ჰაერში ჩაშვებული A და B შვეულის მიმართ (ნახ. 14) ზედაპირზე და მიწისქვეშ (გასაგნებ ჰორიზონტზე) ირჩევენ C და C_1 წერტილებს შემდეგი პირობების დაცვით: 1) C და C_1 წერტილებიდან უნდა მოჩანდეს ორივე შვეული და, შესაბამისად, ზედაპირული და მიწისქვეშა აგეგმვის D და D_1 საყრდენი პუნქტები ; 2) C და C_1 წერტილები შეძლებისდაგვარად ახლოს უნდა მდებარეობდეს შვეულებთან; 3) CAB და C_1AB სამკუთხედებს, რომლებსაც გეგმაზე ერთი საერთო c გვერდი აქვთ და დამაკავშირებელი სამკუთხედები ეწოდებათ, უნდა ჰქონდეს ხელსაყრელი ფორმა, რათა გაზომვის შეცდომებმა მინიმალური გავლენა მოახდინოს მიმხრობის სიზუსტეზე. ქვემოთ დავამტკიცებთ, რომ ეს მიღწეული იქნება იმ შემთხვევაში, როდესაც α და γ კუთხეები არ აღემატება 2—3° და ფარდობა $a:c$ არის მცირე. ასეთ დამაკავშირებელ სამკუთხედებში გვერდების სიგრძის გაზომვის შეცდომები საგრძნობ გავლენას არ ახდენს მიმხრობის სიზუსტეზე.

საკმარის სიზუსტეს იძლევა აგრეთვე დამაკავშირებელი სამკუთხედები, რომლებშიც α და γ კუთხეები 20°-მდეა და $a:c<3$. დამაკავშირებელი სამკუთხედები, რომლებშიც α და γ 20°-ზე მეტია, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ მეორეხარისხოვანი მცირე სიგრძის გვირაბების ორიენტირებისათვის.

ზედაპირსა და გასაგნებ ჰორიზონტზე სრულიად ანალოგიური გაზომვები წარმოებს: თითოეულ დამაკავშირებელ სამკუთხედში ერთდროულად იზომება სამი გვერდი და C და C_1 წვეროებთან მდებარე თითო კუთხე: a, b, c, γ და a_1, b_1, c_1, γ_1. C და C_1 წერტილებზე იზომება აგრეთვე დამაკავშირებელი კუთხეები: w_1, w_2, w_3, w_4. C და C_1 წერტილებთან მდებარე γ და γ_1 კუთხეების გაზომვის საშუალო კვადრატულმა შეცდომამ არ უნდა გადააჭარბოს $\pm 7''$-ს. ამისათვის გაზომვა უნდა შესრულდეს $\pm 30''$ სიზუსტის თეოდოლიტით, სამი სრული განმეორებით. ოპტიკური თეოდოლიტების გამოყენების შემთხვევაში კუთხეების გაზომვა უნდა შესრულდეს სამი ილეთით.

დამაკავშირებელი სამკუთხედების გვერდები იზომება ფოლადის რულეტით მუდმივი დაჭიმვით; თითოეული გვერდი იზომება მინიმუმ ხუთჯერ ანათვლის ± 1 მმ-დე შეცდომით აღებით. ცალკეულ განაზომებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს ± 2 მმ-ს, ხოლო ხუთი განაზომის საშუალო არითმეტიკულის საშუალო კვადრატული შეცდომა—$\pm 0{,}5$ მმ-ს. თითოეულ სამკუთხედში გაზომილი ოთხი ელემენტი საშუალებას გვაძლევს არა მარტო განვსაზღვროთ შვეულებთან მდებარე $\alpha, \beta, \alpha_1, \beta_1$ კუთხეები, არამედ შევამოწმოთ შესრულებული გაზომვების სისწორეც.

დამაკავშირებელი სამკუთხედების ამოხსნა, ე.ი. შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების განსაზღვრა, შეიძლება სინუსების

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{a}{c}\sin\gamma, \\ \sin\beta &= \frac{b}{c}\sin\gamma \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.19)$$

ან გვერდების ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} &= \pm\sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}, \\ \operatorname{tg}\frac{\beta}{2} &= \pm\sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}}, \\ \operatorname{tg}\frac{\gamma}{2} &= \pm\sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}}, \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.20)$$

სადაც

$$p = \frac{1}{2}(a+b+c).$$

(19) ფორმულები გამოიყენება წაგრძელებული ფორმის სამკუთხედების ამოხსნისათვის, რომლებშიც $\alpha < 20°$, $\beta > 160°$, ხოლო (20) ფორმულა კი ისეთი სამკუთხედების ამოსახსნელად, რომლებშიც $\alpha > 20°$, $\beta < 160°$.

როდესაც γ და α (ან β) კუთხეები არ აღემატება 2°-სს, შეიძლება ვიხელმძღვანელოთ გამარტივებული ფორმულით

$$\left.\begin{aligned} \alpha'' &= \frac{a}{c}\gamma'', \\ \beta'' &= \frac{b}{c}\gamma''. \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.21)$$

შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების გამოთვლის შემდეგ ანგარიშობენ კუთხურ შეუკვრელობას სამკუთხედში და თანაბრად აწონასწორებენ მას გამოთვლილ კუთხეებზე. ამის შემდეგ ანგარიშობენ დირექციულ კუთხეებს.

მე-14 ნახაზის შესაბამისად, მიწისქვეშა აგეგმვის პირველი $C_1 D_1$ გვერდის (C_1D_1) დირექციული კუთხე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ერთ-ერთი ქვემოთ მოყვანილი ფორმულით:

$$\left.\begin{aligned} (C_1D_1) &= (DC) + w_1 - (\alpha + \alpha_1) + w_3 \pm 3\cdot 180°, \\ (C_1D_1) &= (DC) + w_1 - \alpha + \beta_1 + w_4 \pm 4\cdot 180°, \\ (C_1D_1) &= (DC) + w_2 + (\beta + \beta_1) + w_4 \pm 3\cdot 180°, \\ (C_1D_1) &= (DC) + w_2 + \beta - \alpha_1 + w_3 \pm 4\cdot 180°. \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.22)$$

C_1 წერტილის კოორდინატები იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$\left.\begin{aligned} y_{C_1} &= y_C + b\sin(CA) + b_1\sin(A_1C_1), \\ y_{C_1} &= y_C + a\sin(CB) + a_1\sin(B_1C_1), \\ x_{C_1} &= x_C + b\cos(CA) + b_1\cos(A_1C_1), \\ x_{C_1} &= x_C + a\cos(CB) + a_1\cos(B_1C_1). \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.23)$$

დამაკავშირებელი სამკუთხედების ამოხსნა ტანგენსების ფორმულით. დამაკავშირებელი ABC სამკუთხედის A და B წვეროებიდან მოპირდაპირე გვერდებზე თუ დავუშვებთ AK_1 და BK მართობებს (ნახ. 15), მაშინ შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{BK}{AK}, \qquad \operatorname{tg}\beta = \frac{AK_1}{BK_1}.$$

მაგრამ

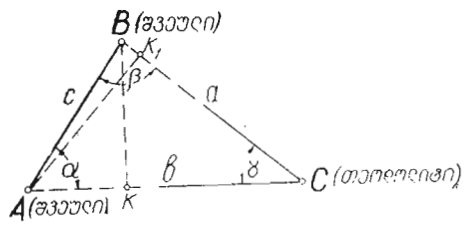
$$BK = a\sin\gamma; \qquad AK = b - a\cos\gamma;$$
$$AK_1 = b\sin\gamma; \qquad BK_1 = a - b\cos\gamma.$$

ამიტომ

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \frac{a\sin\gamma}{b - a\cos\gamma}, \\ \operatorname{tg}\beta &= \frac{b\sin\gamma}{a - b\cos\gamma}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.24)$$

ინჟ. ნ. შევერდინის გამოკვლევით დადგენილია, რომ უკანასკნელი, ე.წ. ტანგენსების, ფორმულა გამოსადეგია ნებისმიერი ფორმის დამაკავშირებელი სამკუთხედის ამოსახსნელად (იხ. [50], [67]).

ა) შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების გამოთვლის შეცდომა და დამაკავშირებელი სამკუთხედის უხელსაყრელესი ფორმა. აღვნიშნოთ დამაკავშირებელ სამკუთხედში გაზომილი სამი გვერდისა და ერთი კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომები m_a, m_b, m_c და M_γ-თი, ხოლო α და β კუთხეების გამოთვლის საშუალო კვადრატული შეცდომები კი M_α და M_β-თი.



ნახ 3.2·15.

დავუშვათ, რომ დამაკავშირებელი სამკუთხედის ამოსახსნელად გამოყენებულია სინუსების ფორმულები:

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}\sin\gamma, \qquad (a)$$

$$\sin\beta = \frac{b}{c}\sin\gamma. \qquad (b)$$

პირველად გამოვითვალოთ M_α. გამოთვლილი α კუთხე წარმოადგენს გაზომილი a, c და γ სიდიდეების ფუნქციას, ამიტომ (a) გამოსახულების მიხედვით დავწეროთ

$$\frac{\partial\sin\alpha}{\partial\alpha}\cdot M\alpha = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial\sin\alpha}{\partial\alpha}\right)^2 m_a^2\rho^2 + \left(\frac{\partial\sin\alpha}{\partial c}\right)^2 m_c^2\rho^2 + \left(\frac{\partial\sin\alpha}{\partial\gamma}\right)^2 M^2_\gamma}.$$

გამოვითვალოთ კერძო წარმოებულები

$$\frac{\partial\sin\alpha}{\partial\alpha} = \cos\alpha; \qquad \frac{\partial\sin\alpha}{\partial a} = \frac{\sin\gamma}{c} = \frac{\sin\alpha}{a};$$

$$\frac{\partial\sin\alpha}{\partial c} = -\frac{a\sin\gamma}{c^2} = -\frac{1}{c}\cdot\frac{a}{c}\sin\gamma = -\frac{\sin\alpha}{c};$$

$$\frac{\partial\sin\alpha}{\partial\gamma} = \frac{a}{c}\cos\gamma.$$

კერძო წარმოებულების მნიშვნელობები შევიტანოთ (c) გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$\cos\alpha \cdot M_\alpha = \pm \sqrt{\frac{\sin^2\alpha}{a^2} \cdot m_a{}^2\rho^2 + \frac{\sin^2\alpha}{c^2} \cdot m_c{}^2\rho^2 + \frac{a^2}{c^2}\cos^2\gamma M_\gamma^2},$$

საიდანაც

$$M_\alpha = \pm \sqrt{\rho^2 \mathrm{tg}^2\alpha \left(\frac{m_a{}^2}{a^2} + \frac{m_c{}^2}{c^2}\right) + \frac{a^2\cos^2\gamma}{c^2\cos^2\alpha} M_\gamma^2}. \qquad (3.2.25)$$

ანალოგიური თანამიმდევრობით მივიღებთ

$$M_\beta = \pm \sqrt{\rho^2 \mathrm{tg}^2\beta \left(\frac{m_b{}^2}{b^2} + \frac{m_c{}^2}{c^2}\right) + \frac{b^2\cos^2\gamma}{c^2\cos^2\beta} M_\gamma^2}. \qquad (3.2.26)$$

როდესაც $m_a = m_b = m_c = m_s$, მაშინ

$$M_\alpha = \pm \sqrt{\rho^2 \cdot \mathrm{tg}^2\alpha \cdot m_s^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2}\right) + \frac{a^2\cos^2\gamma}{c^2\cos^2\alpha} M_\gamma^2}, \qquad (3.2.27)$$

$$M_\beta = \pm \sqrt{\rho^2 \cdot \mathrm{tg}^2\beta \cdot m_s^2 \left(\frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right) + \frac{b^2\cos^2\gamma}{c^2\cos^2\beta} M_\gamma^2}. \qquad (3.2.28)$$

(25) და (26) ფორმულებს მივცეთ საანგარიშოდ უფრო მოხერხებული სახე, რისთვისაც ფესქვეშა გამოსახულების უკანასკნელ წევრში შევიტანოთ a^2 და c^2-ის მნიშვნელობები (a) გამოსახულებიდან, მივიღებთ

$$M_\alpha = \pm \sqrt{\left(\frac{\rho \mathrm{tg}\alpha m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\rho \mathrm{tg}\alpha m_c}{c}\right)^2 + \frac{\mathrm{tg}^2\alpha}{\mathrm{tg}^2\gamma} M_\gamma^2}. \qquad (3.2.29)$$

ანალოგიურად

$$M_\beta = \pm \sqrt{\left(\frac{\rho \mathrm{tg}\beta m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\rho \mathrm{tg}\beta m_c}{c}\right)^2 + \frac{\mathrm{tg}^2\beta}{\mathrm{tg}^2\gamma} M_\gamma^2} \qquad (3.2.30)$$

(25) და (26) ფორმულებიდან ჩანს, რომ, თუ α კუთხე უახლოვდება 0°-ს, ხოლო β კი 180°-ს (ან პირიქით), შვეულებთან მდებარე კუთხეების გამოთვლის შეცდომები მინიმალური იქნება. ასეთი წაგრძელებული სამკუთხედების შემთხვევაში აღნიშნული ფორმულები შემდეგ მარტივ სახეს მიიღებს:

$$M_\alpha = \pm \frac{a}{c} M_\gamma, \qquad (3.2.31)$$

$$M_\beta = \pm \frac{b}{c} M_\gamma. \qquad (3.2.32)$$

უკანასკნელი ფორმულების ანალიზით შეიძლება გამოვიტანოთ შემდეგი დასკვნები:

1) დამაკავშირებელი სამკუთხედის უხელსაყრელეს ფორმად უნდა მივიჩნიოთ წაგრძელებული სახის სამკუთხედი, რომელშიც α და γ კუთხეები არ აღემატება 2—3°-ს, ხოლო ფარდობა $a:c$ მცირეა. ასეთ სამკუთხედში α და β კუთხეების გამოთვლის სიზუსტეზე გავლენას არ ახდენს ჭაზოვანი გაზომვების საშუალო შეცდომები.

2) ხელსაყრელი (წაგრძელებული) ფორმის სამკუთხედში უნდა ვეცადოთ შვეულებს შორის c მანძილი იყოს რაც შეიძლება დიდი, ხოლო C და C_1 წერტილები შევარჩიოთ შვეულებთან ახლოს.

3) γ კუთხე საჭიროა გაიზომოს მაღალი სიზუსტით.

4) დამაკავშირებელ სამკუთხედში მახვილი α კუთხე უფრო ზუსტად განისაზღვრება, ვიდრე ბლაგვი β კუთხე.

ზოგიერთ პირობებში შეუძლებელია აგებულ იქნეს ხელსაყრელი ფორმის დამაკავშირებელი სამკუთხედები. ამ შემთხვევაში დასაშვებია დაახლოებით ტოლფერდიანი სამკუთხედების აგება. ასეთი სამკუთხედების ამოსახსნელად გამოიყენება (20) ფორმულები.

თუ დავუშვებთ, რომ სამკუთხედის ყველა გვერდი გაზომილია ტოლ-ზუსტად, ე. ი.

$$m_a = m_b = m_c = m_s,$$

მაშინ შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების გვერდების ფორმულით გამოთვლის შემთხვევაში M_α და M_β შეცდომები გამოიანგარიშება ფორმულებით[1]

$$\left.\begin{aligned} M_\alpha &= \pm \frac{m_s \cdot \rho''}{c \cdot \sin\beta} \sqrt{1 + \cos^2\beta + \cos^2\gamma}, \\ M_\beta &= \pm \frac{m_s \cdot \rho''}{c \cdot \sin\alpha} \sqrt{1 + \cos^2\alpha + \cos^2\gamma}, \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.33)$$

(33) ფორმულების საშუალებით შეიძლება შემდეგი დასკვნები გავაკეთოთ:

1) გვერდების ფორმულით კუთხის გამოთვლის შეცდომა იზრდება, თუ ეს კუთხე უახლოვდება 0°, ან 180°-ს.

2) გვერდების ფორმულა გამოყენებული უნდა იქნეს მხოლოდ ისეთი დამაკავშირებელი სამკუთხედების ამოსახსნელად, რომლებშიც $\alpha > 20°$ და $\beta < 160°$-ზე.

საკონტროლო გამოთვლები. როგორც ვთქვით, დამაკავშირებელ სამკუთხედში იზომება სამი გვერდი და ერთი კუთხე, ე. ი. ოთხი ელემენტი. სამკუთხედების ამოსახსნელად კი საკმარისია სამი ელემენტი, რომელთა შორის ერთი უნდა იყოს გვერდი. ჭარბი განაზომი ჩატარებული გაზომვებისა და გამოთვლების კონტროლის საშუალებას იძლევა. ამ მიზნით, ერთმანეთს ადარებენ დამაკავშირებელი c გვერდის ორ მნიშვნელობას: უშუალოდ გაზომილს და გამოთვლილს. დამაკავშირებელი c გვერდის (შვეულებს შორის მანძილი) გამოსათვლელად იყენებენ ფორმულებს

$$c_1^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma, \qquad (3.2.34)$$

$$c_1 = (a-b) + \frac{abh}{a-b}. \qquad (3.2.35)$$

(35) ფორმულას იყენებენ ისეთი სამკუთხედებისათვის, რომლებშიც $\gamma < 5°$ და $a:c < 2$. მისი გამოყვანის მიზნით, შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$h = 1 - \cos\gamma. \qquad (3.2.36)$$

1 იხ. [50].

(36) გამოსახულება შევიტანოთ (34)-ში, მივიღებთ

$$c_1^2 = a^2 + b^2 - 2ab(1-h),$$

$$c_1^2 = a^2 + b^2 - 2ab + 2abh,$$

$$c_1^2 = (a-b)^2 + 2abh,$$

$$c_1^2 = (a-b)^2 \cdot \left[1 + \frac{2abh}{(a-b)^2} \right],$$

$$c_1 = (a-b)\left[1 + \frac{2abh}{(a-b)^2} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

კვადრატულ ფრჩხილებში მოთავსებულ გამოსახულებას თუ დავშლით ბინომის მწკრივად და შევიზღუდებით დაშლის პირველი ორი წევრით, მივიღებთ (35) ტოლობას

$$c_1 = (a-b) + \frac{abh}{a-b}.$$

როდესაც სამკუთხედის ამოხსნა სრულდება გვერდების ფორმულით, შემოწმების მიზნით ერთიმეორეს უნდა შევუდაროთ γ კუთხის უშუალოდ გაზომილი და გამოთვლილი მნიშვნელობები. მათ შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 2'30''$-ს.

გამოვიკვლიოთ, თუ რამდენად მგრძნობიარეა (34) ფორმულა სამკუთხედის გვერდებისა და კუთხის გაზომვის შეცდომების მიმართ. უშუალოდ გაზომილი გვერდის გამოთვლილი მნიშვნელობა აღვნიშნოთ c_1-თ, მაშინ გამოთვლილსა და გაზომილს შორის სხვაობა იქნება შეცდომა

$$d = c_1 - c. \tag{3.2.37}$$

ასეთი ფუნქციის საშუალო კვადრატული შეცდომა განისაზღვრება ფორმულით

$$m^2_d = m^2_{c_1} + m^2_c. \tag{3.2.38}$$

(34) გამოსახულების მიხედვით დავწეროთ

$$\frac{\partial c_1^2}{\partial c} \cdot m^2_{c_1} = \left(\frac{\partial c_1}{\partial a}\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{\partial c_1}{\partial b}\right)^2 m_b^2 + \left(\frac{\partial c_1}{\partial \gamma}\right)^2 M_\gamma^2. \tag{3.2.39}$$

კერძო წარმოებულების მნიშვნელობები იქნება:

$$\frac{\partial c_1^2}{\partial c} = 2c; \qquad \frac{\partial c_1}{\partial a} = \frac{2a - 2b\cos\gamma}{2c} = \frac{a - b\cos\gamma}{c};$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial b} = \frac{2b - 2a\cos\gamma}{2c} = \frac{b - a\cos\gamma}{c};$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial \gamma} = \frac{2ab\sin\gamma}{2c} = \frac{ab\sin\gamma}{c}$$

(კერძო წარმოებულების გამოთვლის დროს ნაგულისხმევია, რომ $c_1 \approx c$).

თუ მხედველობაში მივიღებთ მე-16 ნახაზს, შეგვიძლია მიღებული კერძო წარმოებულების გამოსახულებანი გავამარტივოთ

$$a - b\cos\gamma = c \cdot \cos\beta,$$

$$b - a\cos\gamma = -c \cdot \cos\alpha,$$

$$b\sin\gamma = c \cdot \sin\beta.$$

მაშასადამე, კერძო წარმოებულების მნიშვნელობა იქნება

$$\frac{\partial c_1}{\partial a} = \cos\beta; \qquad \frac{\partial c_1}{\partial b} = -\cos\alpha; \qquad \frac{\partial c_1}{\partial \gamma} = a \cdot \sin\beta,$$

ხოლო (39) ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ

$$m_{c_1} = \pm \sqrt{m_a^2\cos^2\beta + m_b^2\cos^2\alpha + \frac{M_\gamma^2}{\rho^2} a^2\sin^2\beta}. \tag{3.2.40}$$

წაგრძელებული ფორმის სამკუთხედისათვის, სადაც მიახლოებით

$$\cos\alpha \cong -1, \quad \cos\beta \cong 1, \quad \sin\beta \cong 0,$$

გვექნება

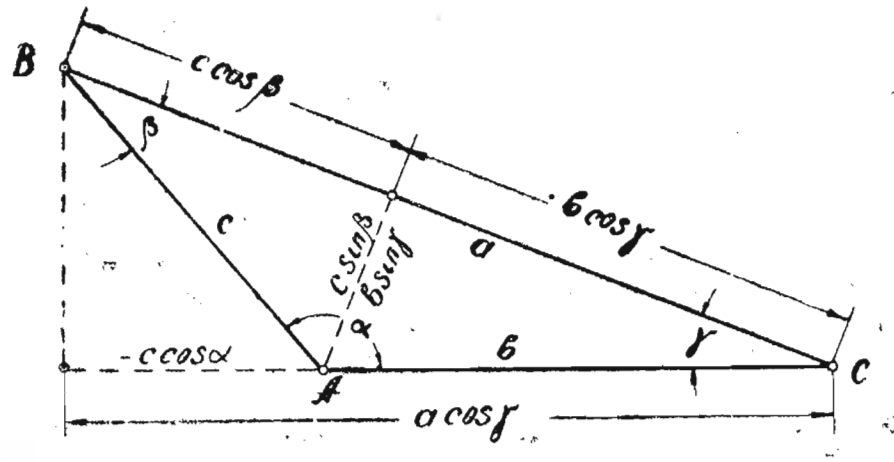
$$m^2_{c_1} = m_a^2 + m_b^2. \tag{3.2.41}$$

თუ m_{c_1}-ის მნიშვნელობას შევიტანთ (38) გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$m_d = \pm \sqrt{m_a^2 + m_b^2 + m_c^2}. \tag{3.2.42}$$

(40) და (42) ფორმულების საფუძველზე დავასკვნით;

1) წაგრძელებული ფორმის სამკუთხედის შემთხვევაში კოსინუსების



ნახ. 3.2.16.

ფორმულით კონტროლი ეფექტურია მხოლოდ ხაზოვანი გაზომვების შეცდომების მიმართ;

2) თუ სამკუთხედის ფორმა მნიშვნელოვნად განსხვავებულია წაგრძელებული ფორმისაგან, მაშინ კოსინუსების ფორმულით კონტროლი, გარდა ხაზოვანი განაზომებისა, ავლენს აგრეთვე γ კუთხის გაზომვის ტლანქ შეცდომასაც.

თუ დავუშვებთ, რომ $m_a = m_b = m_c = m_s$, (42) გამოსახულება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$m_d = \pm m_s\sqrt{3}. \tag{3.2.43}$$

დამაკავშირებელი c გვერდის ორ მნიშვნელობათა სხვაობის შესაძლო ზღვრული სიდიდე აიღება გასამკეცებული საშუალო კვადრატული შეცდომის ტოლი, ე. ი.

$$d_{ზღვ} = \pm 3m_s\sqrt{3}. \tag{3.2.44}$$

მოსკოვის მეტრომშენის შახტების ორიენტირების დროს ზედაპირისა და მიწისქვეშა სამკუთხედების მრავალი განაზომის მიხედვით ინჟ. გ. ონარის მიერ [37] მიღებულ იქნა გვერდების გაზომვის შეცდომების შემდეგი სიდიდეები:

ზედაპირზე $m_s = \pm 0{,}58$ მმ;

მიწისქვეშ $m_s = \pm 1{,}09$ მმ.

ამის მიხედვით ზედაპირის სამკუთხედში

$$d_{ზღვ} = \pm 3\sqrt{3} \cdot 0{,}58 = \pm 3 \text{ მმ};$$

მიწისქვეშ

$$d_{ზღვ} = \pm 3\sqrt{3} \cdot 1{,}09 = \pm 5{,}7 \text{ მმ}.$$

მარკშეიდერული ინსტრუქციის თანახმად, ზღვრული სხვაობა $c_1 - c$ არ უნდა აღემატებოდეს ზედაპირის სამკუთხედში ± 3 მმ-ს, ხოლო მიწისქვეშ კი ± 5 მმ-ს.

ჩატარებული გაზომვებისა და გამოთვლების ღირსებას ზოგჯერ აფასებენ დამაკავშირებელი სამკუთხედის შიგა კუთხეების ჯამის საშუალებით, რომელთაგან ორი (α, β) გამოთვლილია, ხოლო მესამე γ—გაზომილი. პროფ. ი ბაჭურინისა და ინჟ. გ. ონარის გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ წაგრძელებული დამაკავშირებელი სამკუთხედის შიგა კუთხეების ჯამი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სამკუთხედის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვების საკონტროლოდ [5], [37]. იგი გამოდგება მხოლოდ α და β კუთხეების გამოთვლის შესამოწმებლად.

დამაკავშირებელი სამკუთხედების ხერხით ორიენტირების სიზუსტე. ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვის ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად განისაზღვრება მიწისქვეშა აგეგმვის პირველი გვერდის დირექციული კუთხე და ერთი წერტილის კოორდინატები. დამაკავშირებელი აგეგმვის კრიტერიუმად, როგორც აღვნიშნეთ, მიღებულია მიმართების დირექციული კუთხის განსაზღვრის, ანუ ორიენტირების სიზუსტე.

განვიხილოთ დამაკავშირებელი სამკუთხედების ხერხით ორიენტირების სიზუსტის საკითხი.

დავუშვათ, რომ C_1D_1 არის მიწისქვეშა აგეგმვის პირველი გვერდი, ხოლო CD კი—გამოსავალი მიმართულება ზედაპირზე (ნახ. 17). ამ უკანასკნელის დირექციული კუთხე განისაზღვრება ზედაპირული აგეგმვების შედეგად.

მე-17 ნახაზიდან დავწერთ

$$(C_1D_1) = (DC) + \omega_1 - \beta + \alpha_1 + \omega_2 \pm 4 \cdot 180°,$$

საიდანაც

$$M_{(C_1D_1)} = \pm\sqrt{M^2_{(DC)} + M^2_{\omega_1} + M^2_{\beta} + M^2_{\alpha_1} + M^2_{\omega_2} + \Theta^2}, \tag{3.2.45}$$

სადაც $M_{(DC)}$ არის გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის შეცდომა;

M_{ω_1} და M_{ω_2} —მიმხრობი კუთხეების გაზომვის შეცდომები;

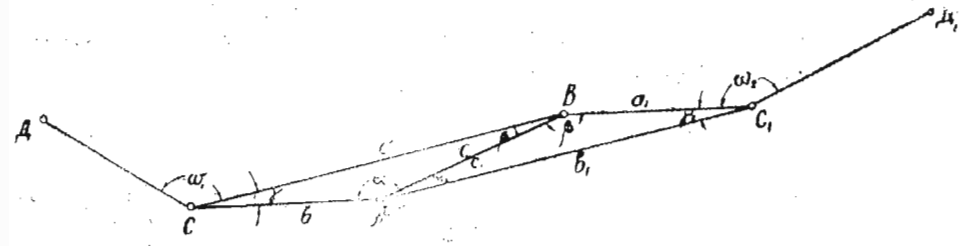
M_{α_1} და M_{β} —შვეულებთან მდებარე კუთხეების შეცდომები;

Θ —დაგეგმილების კუთხური შეცდომა.

გამოსავალი CD გვერდის დირექციული კუთხის $M_{(DC)}$ შეცდომა უმნიშვნელოა ორიენტირების შეცდომასთან შედარებით, ამიტომ შეგვიძლია დავუშვათ, რომ $M_{(DC)} = 0$; მაშინ (45) ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$M_{(C_1D_1)} = \pm\sqrt{M^2_{\omega_1} + M^2_{\alpha_1} + M^2_{\beta} + M^2_{\omega_2} + \Theta^2}, \tag{3.2.46}$$

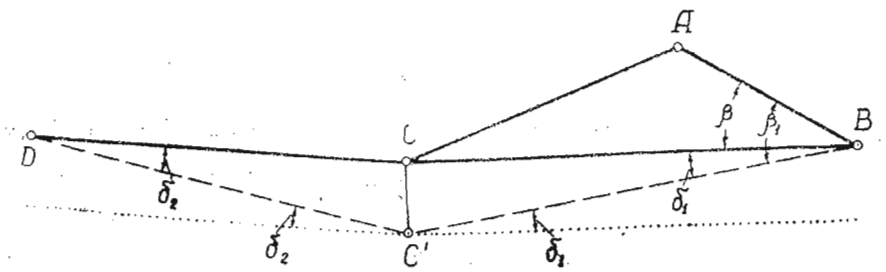
განვსაზღვროთ უკანასკნელ ფორმულაში შემავალი ცალკეული შეცდომები:



ნახ. 3.2.17.

1) M_{ω_1}-ის განსაზღვრა. წაგრძელებული ფორმის სამკუთხედის გამოკვლევის დროს ჩვენ დავადგინეთ, რომ შვეულებთან მდებარე კუთხეების გამოთვლის შეცდომების შემცირების მიზნით ხელსაყრელია C და C_1 წერტილების მიახლოება შვეულებთან. მაგრამ გვერდების სიგრძის შემცირებას მოსდევს კუთხეების გაზომვის შეცდომის გაზრდა თეოდოლიტის დაცენტვრის შეცდომის გავლენით, ამიტომ საჭიროა გამოვიკვლიოთ, როგორია მისი გავლენა მოცემულ შემთხვევაში.

დავუშვათ, რომ თეოდოლიტი დაცენტრილია C წერტილის ნაცვლად



ნახ.3.2.18.

C' წერტილში (ნახ. 18). ნახაზიდან ჩანს, რომ თეოდოლიტის უშეცდომოდ დაცენტვრის შემთხვევაში

$$(AB) = (CD) + \sphericalangle DCB + \beta,$$

ხოლო დაცენტვრის შეცდომის პირობებში კი

$$(AB)_1 = (CD) + \measuredangle DC'B + \beta_1.$$

შევადგინოთ სხვაობა

$$\Delta = (AB) - (AB)_1 = \measuredangle DCB - \measuredangle DC'B + \beta - \beta_1,$$

მაგრამ $\measuredangle DCB - \measuredangle DC'B = \delta_1 + \delta_2; \qquad \beta - \beta_1 = -\delta_1,$

ამიტომ

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 - \delta_1 = \delta_2. \tag{3.2.47}$$

(47) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მიმხრობი კუთხის გაზომვის დროს თეოდოლიტის დაცენტვრის შეცდომა გავლენას ახდენს მიმხრობის სიზუსტეზე, რაც დამოკიდებულია მხოლოდ მისამხრობი გვერდის სიგრძეზე და მცირდება მისი გაზრდით. აქვე შევნიშნავთ, რომ მიმხრობი კუთხის გაზომვისას დამზერენ შვეულების მავთულს ან მათ დამაგრებულ პროექციებს, ამიტომ სიგნალების რედუქციის გავლენაა მხოლოდ D წერტილზე დამზერის დროს.

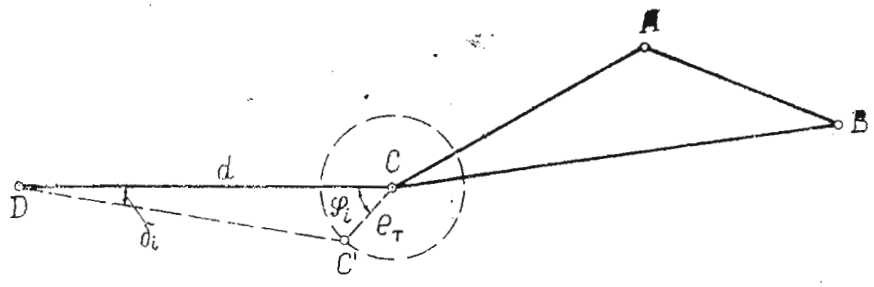
თუ ზემო ნათქვამს მივიღებთ მხედველობაში და განვსაზღვრავთ მიმხრობი ω_1 კუთხის M_{ω_1} შეცდომას, გვექნება

$$M_{\omega_1} = \pm\sqrt{m_i^2 + m_T^2 + m_c^2}, \tag{3.2.48}$$

სადაც m_i არის კუთხის გაზომვის ინსტრუმენტული შეცდომა (გამოითვლება (5.3.14) ან (5.3.15) ფორმულით),

m_T და m_c — კუთხის გაზომვის შეცდომები თეოდოლიტისა და სიგნალების არაზუსტად დაცენტვრისაგან დამოკიდებულებით.

მე-19 ნახაზზე e_T არის თეოდოლიტის დაცენტვრის შეცდომის ხაზოვანი



ნახ. 3.2.19.

ელემენტი, d — მისამხრობი CD გვერდი, φ_i — კუთხე e_T ხაზოვანი შეცდომის მიმართულებასა და CD-ს შორის. C' წერტილს შეუძლია დაიკავოს ნებისმიერი მდებარეობა e_T რადიუსის წრეხაზზე. საძიებელი m_T განისაზღვრება როგორც საშუალო კვადრატული შეცდომა შემთხვევითი δ_i შეცდომების ყველა შესაძლო მნიშვნელობიდან. ნახაზიდან

$$\delta_i'' = \frac{e_T \sin\varphi_i}{d - e_T\cos\varphi_i}\rho'' \cong \frac{e_T \sin\varphi_i}{d}\rho'',$$

თუ δ_i-ს ყველა შესაძლო მნიშვნელობის რაოდენობა იქნება n, ე.ი.

$$n = \frac{2\pi}{d\varphi},$$

მაშინ

$$m_T^2 = \frac{[\delta_i^2]}{n} = \frac{e_T^2\rho^2[\sin^2\varphi_i]}{nd^2}.$$

უკანასკნელ ფორმულაში შევიტანოთ n-ის მნიშვნელობა და ჯამის ნიშან შევცვალოთ ინტეგრალით, მივიღებთ

$$m_T^2 = \frac{e_T^2(\rho'')^2}{2\pi d^2}\int_0^{2\pi}\sin^2\varphi d\varphi.$$

მაგრამ $\int_0^{2\pi}\sin^2\varphi d\varphi = \pi$

ამიტომ

$$m_T^2 = \frac{e^2{}_T}{2d^2}(\rho'')^2,$$

ანუ

$$m_T = \frac{e_T}{d\sqrt{2}}\rho''. \tag{3.2.49}$$

ω_1 კუთხის გაზომვის m_c შეცდომა, გამოწვეული D წერტილში სიგნალის არაზუსტად დაცენტვრით, გამოითვლება ანალოგიურად. თუ e_c იქნება სიგნალის რედუქციის ხაზოვანი სიდიდე, მაშინ

$$m_c'' = \frac{e_c}{\sqrt{2}\,d}\rho''. \tag{3.2.50}$$

m_T და m_e მნიშვნელობების შეტანა (48) გამოსახულებაში მოგვცემს

$$M_{\omega_1} = \pm\sqrt{m_i^2 + \frac{e_T^2\rho^2}{2d^2} + \frac{e_c^2\rho^2}{2d^2}}, \tag{3.2.51}$$

თუ $e_T = e_c = e$, მაშინ

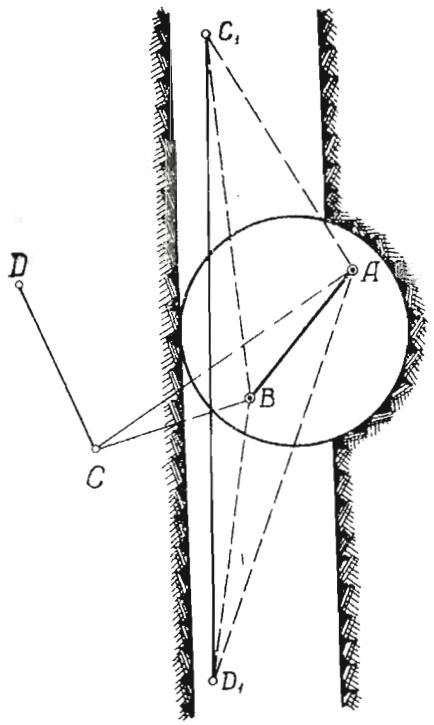
$$M_{\omega_1} = \pm\sqrt{m_i^2 + \left(\frac{e}{d}\rho\right)^2}, \tag{3.2.52}$$

მიმხრობი ω_2 კუთხის $M\omega_2$ შეცდომა, შესაბამისად, იქნება

$$M_{\omega_2} = \pm\sqrt{m_i^2 + \left(\frac{e'}{d'}\rho\right)^2}. \tag{3.2.53}$$

M_α და M_β შეცდომები გამოითვლება (25) და (26) ფორმულებით, ხოლო დაგეგმილების კუთხური Θ შეცდომა კი (17) ფორმულით.

გასაგნებ ჰორიზონტზე შვეულებზე მიმხრობა ორი დამაკავშირებელი სამკუთხედით. ორმხრივი მაღაროს ეზოს შემთხვევაში გასაგნებ ჰორიზონტზე შეიძლება შევქმნათ ორი დამაკავშირებელი სამკუთხედი (ნახ.20). ამ შემთხვევაში ჭაურში უშვებენ A და B შვეულებს და მათ შემაერთებელი ხაზის მახლობლად აირჩევენ ორ C_1 და D_1 წერტილს. თითოეული მათგანი A და B შვეულებთან ერთად ქმნის თითო დამაკავშირებელ სამკუთხედს (ABC_1 და ABD_1), რომლებიც ემხრობა ერთი და იმავე C_1D_1 მიმართულებას. აღნიშნული სამკუთხედების ამოხსნის შედეგად მიიღება C_1D_1 გვერდის დირექციული კუთხის ორი დამოუკიდებელი მნიშვნელობა, რომელთაგან აიღება მათი საშუალო არითმეტიკული.



ნახ.3.2.20.

შვეულებზე ორი დამაკავშირებელი სამკუთხედით მიმხრობა კარგ შედეგს იძლევა და შეიძლება რეკომენდებულ იქნეს ყველა საპასუხისმგებლო ორიენტირების დროს.

შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების გამოთვლის შეცდომა ტანგენსების ფორმულით სამკუთხედის ამოხსნის შემთხვევაში. დამაკავშირებელი სამკუთხედების (24) ფორმულებით ამოხსნის შემთხვევაში შვეულებთან მდებარე α და β კუთხეების გამოთვლის M_α და M_β საშუალო კვადრატული შეცდომები გვერდების ტოლზუსტად გაზომვის დროს გამოისახება ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned} M_\alpha &= \pm\frac{1}{c}\sqrt{(\sin^2\alpha+\sin^2\beta)m_s^2\rho^2+a^2\cos^2\beta M_\gamma^2},\\ M_\beta &= \pm\frac{1}{c}\sqrt{(\sin^2\alpha+\sin^2\beta)m_s^2\rho^2+b^2\cos^2\alpha M_\gamma^2}, \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.54)$$

სადაც m_s არის გვერდების გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

M_γ — γ კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა,

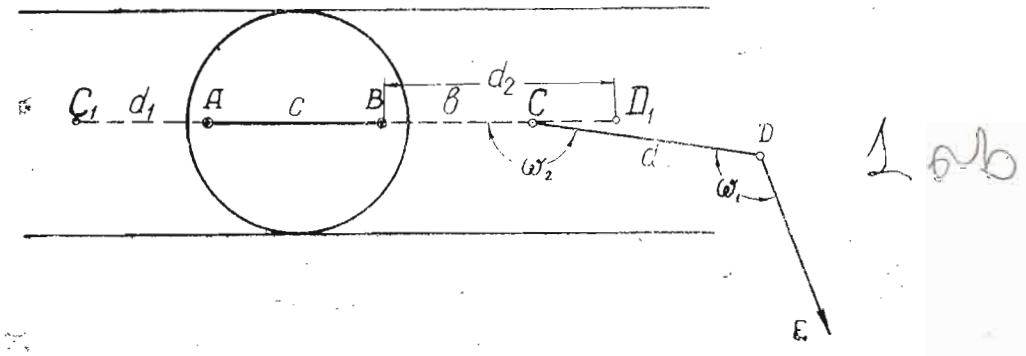
a, b, c — სამკუთხედის გვერდების სიგრძეები.

α, β და γ კუთხეების ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის გამოსადეგია (24) ფორმულები, ვინაიდან როგორი ფორმის სამკუთხედიც არ უნდა გვქონდეს, პასუხი უსასრულობა არ იქნება და გამონათვალთა შეფასება (54) ფორმულებით ყოველთვის შეიძლება. დადგენილია, რომ თუ სამკუთხედის გვერდები გაზომილი იქნება მაღალი სიზუსტით (საშუალო კვადრატული შეცდომა არ გადასცილდება $\pm 0{,}4$ მმ), გამონათვალთა სიზუსტეზე არ მოქმედებს სამკუთხედის ფორმა და თეოდოლიტის დადგმის C (ან C_1) წერტილი შეგვიძლია შევარჩიოთ ნებისმიერ მოსახერხებელ ადგილას [50].

ბ. გასწვრივობის მეთოდი

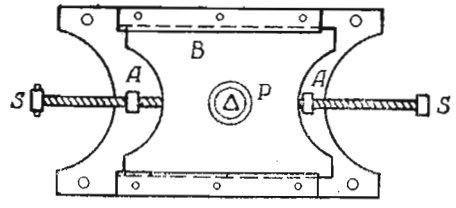
ზემოთ აღინიშნა, რომ რაც უფრო წაგრძელებული ფორმისაა დამაკავშირებელი სამკუთხედი, მით უფრო მაღალი სიზუსტით ხდება მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტა. თუ დავუშვებთ, რომ γ და γ_1 კუთხეები ნულის ტოლია მაშინ მივიღებთ დამაკავშირებელი სამკუთხედების ხერხით მიმხრობის სახესხვაობას, რომელსაც გასწვრივობის მეთოდი ეწოდება. ძნელი არ არის წარმოვიდგინოთ, რომ, თუ A, B და C (ან C_1) წერტილები ერთმანეთის გასწვრივ იქნება განლაგებული, მაშინ საჭირო აღარ იქნება სამკუთხედების ამოხსნა და დირექციული კუთხის გადაცემაც მარტივად განხორციელდება.

გასწვრივობის მეთოდით მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება ორი სქემით. პირველ შემთხვევაში ჭაურში ჩაშვებული A და B შვეულების გასწვრივ ზედაპირის C წერტილზე აყენებენ თეოდოლიტს (ნახ.21). AB-ს



ნახ. 3.2.21.

გასწვრივ თეოდოლიტის ზუსტად დასაცენტრად იყენებენ ნალოს (ნახ.22), რომლის ჭვედა A ნაწილი უძრავია, ზედა B ნაწილი, რომელსაც აქვს სამკუთხა P პრიზმა თეოდოლიტის დასაყენებლად,—მოძრავი. ნალოზე მოთავსებული თეოდოლიტის მიკრომეტრული გადაადგილება შეიძლება SS ხრახნების საშუალებით. ცხადია, თეოდოლიტში გათვალისწინებული უნდა იყოს სადგარისა და ნალოს კონსტრუქციულად დაკავშირების შესაძლებლობა. ზედაპირზე თეოდოლიტის დაყენების შემდეგ მის ცენტრს აგეგმილებენ მიწაზე და აღნიშნავენ სათანადო ნიშნით. თანადროულად ანალოგიურ სამუშაოებს ასრულებენ გასაგნებ ჰორიზონტზე, მხოლოდ ამჯერად შვეულების რხევას აწყნარებენ მათი ტვირთის ბლანტ სითხეში მოთავსებით ან აკვირდებიან სკალების საშუალებით, რის შემდეგ დაწყნარებული შვეულების ან სკალაზე მათი სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამისი ანათვლების გასწვრივ, ნალოს გამოყენებით, ცენტრავენ C_1 თეოდოლიტს. თეოდოლიტის დაყენების შემდეგ მის ცენტრს აგეგმილებენ გვირაბის იატაკზე (ან ჭერზე) და ამაგრებენ მარკშეიდერული ნიშნით. ამავე ჰორიზონტზე შვეულების გასწვრივ მეორე D_1 წერტილს ამაგრებენ ანალოგიურად ან C_1 თეოდოლიტის ჰოგრის გამოყენებით.



ნახ. 3.2.22.

(21) ნახაზის მიხედვით ზედაპირულ საყრდენ DE მიმართულებასა და შვეულებს შორის გეომეტრიული კავშირის დასამყარებლად უნდა გაიზომოს w_1, w_2 კუთხეები და $CD=d$, $BC=b$ და $AB=c$ მანძილები. $(AB)=(C_1D_1)$ დირექციული კუთხე და შვეულების კოორდინატები გამოითვლება ფორმულებით:

$$(AB)=(C_1D_1)=(DE)+w_1+w_2, \tag{3.2.55}$$

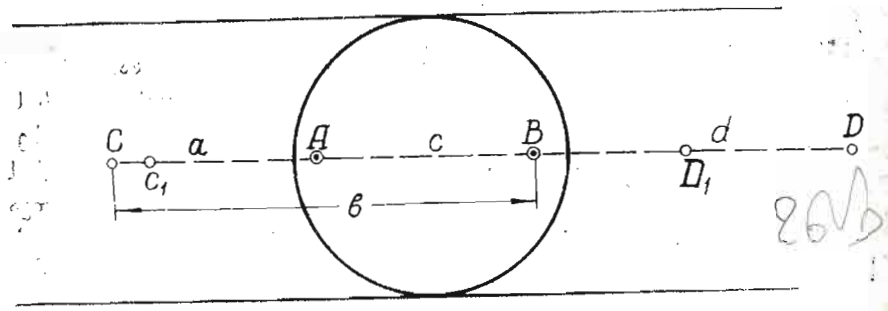
$$\left.\begin{aligned} X_A &= X_D + d\cos(D\widehat{C}) + CA\cdot\cos(CA),\\ Y_A &= Y_D + d\sin(DC) + \widehat{CA}\cdot\sin(CA)). \end{aligned}\right\} \tag{3.2.56}$$

ანალოგიურად იანგარიშება B შვეულის კოორდინატებიც.

გასაგნებ ჰორიზონტზე შვეულების გასწვრივ დამაგრებული C_1, D_1 წერტილების კოორდინატების გამოსათვლელად იზომება მანძილები: $AC_1=d_1$ და $BD_1=d_2$. სქემის თანახმად,

$$\left.\begin{aligned} X_{C_1} &= X_A + d_1\cos(AC_1); \quad X_{D_1} = X_B + d_2\cos(BD_1);\\ Y_{C_1} &= Y_A + d_1\sin(AC_1); \quad Y_{D_1} = Y_B + d_2\sin(BD_1). \end{aligned}\right\} \tag{3.2.57}$$

მიმხრობის მეორე სქემის განხორციელების დროს ზედაპირზე აქვთ წინასწარ დამაგრებული CD მიმართულება, მაგალითად, ჰაურის ღერძი (ნახ. 23). ამ შემთხვევაში C წერტილზე ცენტრავენ თეოდოლიტს და მის ჰოგრს მიმართავენ D პუნქტისაკენ. ჰოგრის სამიზნე ღერძის გასწვრივ ამაგრებენ ბლოკებს,



ნახ. 3.2.23

საცენტრავ ფირფიტებს, შემდეგ უშვებენ A და B შვეულებს ისე, რომ ისინი ჰოგრის კოლიმაციურ სიბრტყეში მდებარეობდნენ. ცხადია, შვეულების ამგვარად ჩაშვების შემთხვევაში $(AB)=(CD)$, ე.ი. მიმხრობის ამოცანა წყდება კუთხური ელემენტების გაზომვისა და გამოთვლის გარეშე. ქვედა ჰორიზონტზე შვეულების გასწვრივ C_1 და D_1 წერტილების დანიშვნა ხორციელდება მიმხრობის პირველი სქემის ანალოგიურად. შვეულებისა და C_1, D_1 წერტილების კოორდინატების განსაზღვრისათვის უნდა გაიზომოს AC, CB, CD, AB, AC_1 და BD_1 მანძილები.

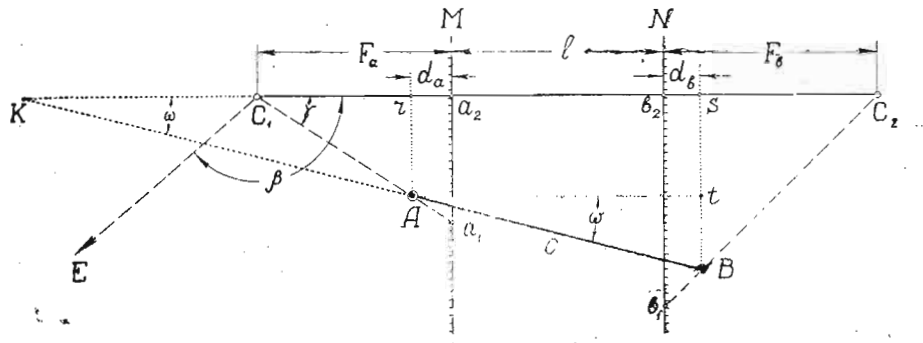
პრაქტიკით დამტკიცებულია, რომ სამუშაოების სწორი ორგანიზაციისა და შვეულების გასწვრივ თეოდოლიტის გულმოდგინედ დაყენებისას მიმხრობის აღწერილი მეთოდი საკმარის სიზუსტეს იძლევა.

ბ. მიმხრობის სიმეტრიული მეთოდი

შვეულებზე მიმხრობის სიმეტრიული, ანუ სკალური, ხერხი შემოღებულ იქნა 1926 წელს პროფ. ფოქსის მიერ. მისი არსი მდგომარეობს შემდეგში: ჰაურში უშვებენ ორ A და B შვეულს (ნახ. 24). გასაგნებ ჰორიზონტზე, დაახლოებით 5 მეტრ მანძილზე თითოეული შვეულიდან და მიახლოებით მათ გასწვრივ, ირჩევენ და მარკშეიდერული ნიშნებით ამაგრებენ C_1 და C_2 წერტილებს და მათ ქვეშ ცენტრავენ თეოდოლიტებს. A და B შვეულებს შორის, მათგან 8—10 სმ მანძილზე, C_1C_2 ხაზის მართობულად, დაახლოებით C_1,C_2 თეოდოლიტების დონეზე აყენებენ M და N სკალებს ისე, რომ მათი დანაყოფებიანი მხარე მიმართული იყოს, შესაბამისად, C_1 და C_2 წერტილებისაკენ. სკალის სიგრძე 20—25 სმ-ია.

შვეულების სიმშვიდის მდებარეობის განსაზღვრისა და მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტისათვის საჭირო გაზომვები და დაკვირვებები შემდეგი თანამიმდევრობით წარმოებს:

1) A შვეულს არხევენ M სკალის პარალელურად და აკვირდებიან C_1 თეოდოლიტის ჰოგრით, იღებენ შვეულის კიდური მდებარეობების შესაბამის 15—20 ანათვალს M სკალაზე. (8) ფორმულით გამოითვლიან A შვეულის სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამის a_1' ანათვალს.



ნახ. 3.2.24

2) ანალოგიურად C_2 თეოდოლიტით აკვირდებიან B შვეულის რხევას N სკალის მიმართ და გამოითვლიან მისი სიმშვიდის მდებარეობის შესაბამის b_1' ანათვალს.

3) C_1 თეოდოლიტის ჰოგრით დამზერენ C_2 წერტილს, C_2-დან კი C_1-ს და C_1C_2 მიმართულების გასწვრივ სკალებზე იღებენ a_2', b_2' ანათვლებს;

4) გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე და 1-ლ, მე-2 და მე-3 მუხლებში ჩამოთვლილ გაზომვებს იმეორებენ. შედეგად მიიღება a_1'', b_1'', a_2'', b_2'' ანათვლები სკალებზე. გამოყავთ შესაბამისი წყვილი ანათვლების საშუალო—a_1,b_1,a_2,b_2.

5) ამშვიდებენ მოქანავე შვეულებს და მილიმეტრიანი სახაზავით ± 1 მმ სიზუსტით ზომავენ თითოეულ შვეულიდან შესაბამის სკალამდე d_a და d_b მანძილებს.

6) ფოლადის რულეტით ± 1მმ-ის სიზუსტით ზომავენ შვეულებს შორის c მანძილს, ხოლო ± 1 სმ-ის სიზუსტით C_1 და C_2 წერტილებიდან უახლოეს სკალამდე F_a, F_b მანძილებს. კონტროლის მიზნით ზომავენ აგრეთვე $C_1C_2=d$ და სკალებს შორის l მანძილებს.

C_1C_2 გვერდის მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლასთან დასაკავშირებლად უნდა გაიზომოს β კუთხე და მისი 360°-მდე შემვსები კუთხე. შეუკვრელობა კუთხეების ჯამში არ უნდა გადასცილდეს $\pm 20''$-ს.

მუშაობის აღწერილი თანამიმდევრობიდან ჩანს, რომ სიმეტრიული მიმხრობის დროს ერთდროულად წყდება დაგეგმილებისა და მიმხრობის ამოცანები. 24-ე ნახაზის თანახმად, C_1C_2 გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრისათვის საჭიროა w კუთხის გამოთვლა. იგი ტოლია:

$$w'' = \rho'' \frac{B\,t}{AB} = \rho'' \frac{BS - Ar}{c},$$

მაგრამ

$$\frac{BS}{F_b - d_b} = \frac{b_2 - b_1}{F_b}; \qquad \frac{Ar}{F_a - d_a} = \frac{a_2 - a_1}{F_a},$$

საიდანაც

$$BS = (b_2 - b_1)\left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right),$$

$$Ar = (a_2 - a_1)\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right),$$

ე. ი.

$$w'' = \frac{\rho''}{c}\left\{(b_2 - b_1)\left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right) - (a_2 - a_1)\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)\right\}. \tag{3.2.58}$$

უკანასკნელი ტოლობა მართებულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც A და B შვეულები მდებარეობს C_1C_2 სწორი ხაზის ერთ მხარეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში გვექნება:

$$w'' = \frac{\rho''}{c}\left\{(b_2 - b_1)\left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right) + (a_2 - a_1)\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)\right\}. \tag{3.2.59}$$

C_1C_2 მიმართულების საძიებელი დირექციული კუთხე

$$(C_1C_2) = (AB) \pm w. \tag{3.2.60}$$

w კუთხის ნიშნის დადგენა ხდება ნახაზის საშუალებით.

C_1 წერტილის კოორდინატების განსაზღვრისათვის ნახაზიდან გვაქვს:

$$\gamma'' = \rho'' \frac{a_2 - a_1}{F_a},$$

$$AC_1 = \frac{F_a - d_a}{\cos\gamma},$$

$$(AC_1) = (C_1C_2) + \gamma \pm 180°.$$

მაშასადამე,

$$\left.\begin{aligned} y_{C_1} &= y_A + AC_1 \sin(AC_1), \\ x_{C_1} &= x_A + AC_1 \cos(AC_1). \end{aligned}\right\} \tag{3.2.61}$$

C_1 წერტილის კოორდინატების გამოთვლა შეიძლება აგრეთვე ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} y_{C_1} &= y_A + (a_2 - a_1)\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)\cos(C_2C_1) + (F_a - d_a)\sin(C_2C_1), \\ x_{C_1} &= x_A + (a_2 - a_1)\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)\sin(C_2C_1) + (F_a - d_a)\cos(C_2C_1), \end{aligned}\right\} \tag{3.2.62}$$

რომლებიც უშუალოდ ნახაზიდან გამომდინარეობენ.

ამის მსგავსად გამოითვლება C_2 წერტილის კოორდინატებიც.

სიმეტრიული ხერხით მიმხრობის სიზუსტის შესახებ. (60) ფორმულის თანახმად, სიმეტრიული მეთოდით მიმხრობის შეცდომა იქნება:

$$m^2_{(C_1C_2)} = m^2_{(AB)} + m^2_w,$$

მაგრამ $m_{(AB)}$ არ არის დამოკიდებული მიმხრობის მეთოდზე, ამიტომ

$$m_{(C_1C_2)} = \pm m_w. \tag{3.2.63}$$

w კუთხე გამოითვლება (58) ან (59) ფორმულით. თუ აღვნიშნავთ

$$a_2 - a_1 = a_0,$$

$$b_2 - b_1 = b_0,$$

მაშინ აღნიშნული ფორმულები ასეთ სახეს მიიღებს:

$$w'' = \frac{\rho}{c}\left\{b_0\left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right) \pm a_0\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)\right\}. \tag{3.2.64}$$

მაშასადამე, w კუთხე შვიდი გაზომილი ელემენტის — a_0, b_0, c, F_a, F_b, d_a, d_b ფუნქციას წარმოადგენს, ამიტომ მიმხრობის შეცდომა

$$m^2_{(C_1C_2)} = m^2_w = \left(\frac{\partial w}{\partial F_a}\right)^2 m^2_{F_a} + \left(\frac{\partial w}{\partial F_b}\right)^2 m^2_{F_b} + \left(\frac{\partial w}{\partial a_0}\right)^2 m^2_{a_0} +$$

$$+ \left(\frac{\partial w}{\partial b_0}\right)^2 m^2_{b_0} + \left(\frac{\partial w}{\partial d_a}\right)^2 m^2_{d_a} + \left(\frac{\partial w}{\partial d_b}\right)^2 m^2_{d_b} + \left(\frac{\partial w}{\partial c}\right)^2 m^2_c. \tag{3.2.65}$$

კერძო წარმოებულების მნიშვნელობები (64) გამოსახულების მიხედვით

$$\frac{\partial w}{\partial F_a} = \frac{\rho a_0 d_a}{c F_a^2}; \qquad \frac{\partial w}{\partial F_b} = \frac{\rho b_0 d_b}{c F_b^2};$$

$$\frac{\partial w}{\partial a_0} = \frac{\rho}{c}\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right); \qquad \frac{\partial w}{\partial b_0} = \frac{\rho}{c}\left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right);$$

$$\frac{\partial w}{\partial d_a} = \frac{\rho a_0}{c F_a}; \qquad \frac{\partial w}{\partial d_b} = \frac{\rho b_0}{c F_b};$$

$$\frac{\partial w}{\partial c} = -\frac{\rho}{c^2}\left\{b_0\left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right) - a_0\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)\right\}.$$

უკანასკნელ გამოსახულებაში $\frac{d_b}{F_b}$ და $\frac{d_a}{F_a}$ ფარდობები ერთთან შედარებით

მცირე სიდიდეებია, ამიტომ შეგვიძლია მათი უგულებელყოფა, ე. ი. გვექნება

$$\frac{\partial w}{\partial c} = -\frac{\rho}{c^2}(b_0 - a_0).$$

წარმოებულების მნიშვნელობების ჩასმა (65) გამოსახულებაში გვაძლევს;

$$m^2_{(C_1C_2)} = \frac{\rho^2}{c^2}\left\{\left(a_0 - \frac{d_a}{F_a^2}\right)^2 m^2 F_a + \left(b_0 \frac{d_b}{F_b^2}\right)^2 m^2 F_b + \left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)^2 m^2 a_0 + \right.$$

$$\left. + \left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right)^2 m^2 b_0 + \left(-\frac{a_0}{F_a}\right)^2 m^2 d_a + \left(\frac{b_0}{F_b}\right)^2 m^2 d_b + \frac{1}{c^2}(b_0 - a_0)^2 m_c^2\right\}. \quad (3.2.66)$$

გამოვიკვლიოთ შეცდომების თითოეული წყაროს გავლენა მიმხრობის სიზუსტეზე.

a_0 და b_0 ოდენობების განსაზღვრის შეცდომების გავლენა გამოისახება ფორმულით

$$m''_{(C_1C_2)} = \pm\frac{\rho''}{c}\sqrt{\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right)^2 m^2 a_0 + \left(1 - \frac{d_b}{F_b}\right)^2 m^2 b_0}. \quad (3.2.67)$$

დავუშვათ, რომ $m_{a_0} = m_{b_0}$; $d_a = d_b$; $F_a = F_b$, მივიღებთ

$$m''_{(C_1C_2)} = \pm\frac{\rho\sqrt{2}}{c}\left(1 - \frac{d_a}{F_a}\right) m_{a_0}. \quad (3.2.68)$$

$\frac{d_a}{F_a}$ ფარდობა მცირეა ერთთან შედარებით, ამიტომ მიახლოებით შეგვიძლია დავწეროთ

$$m''_{(C_1C_2)} = \pm\frac{\rho\sqrt{2}}{c} m_{a_0}. \quad (3.2.69)$$

თუ $c = 2{,}0$ მ; $m_{a_0} = \pm 1$ მმ, მივიღებთ

$$m''_{(C_1C_2)} = \pm\frac{206265 \cdot \sqrt{2}}{2{,}0} \cdot 0{,}001 = \pm 145''.$$

მოყვანილი მაგალითიდან ჩანს, რომ a_0, b_0 ოდენობების ± 1 მმ შეცდომით განსაზღვრა იწვევს დაუშვებელ შეცდომას (c_1c_2) დირექციულ კუთხეში. თუ $m_a = m_b = \pm 0{,}2$ მმ, მაშინ

$$m_{(C_1C_2)} = \pm 29''.$$

ანალოგიური მსჯელობით თუ განვსაზღვრავთ დანარჩენი F_a, F_b, d_a, d_b და c ოდენობების გაზომვის შეცდომების გავლენას მიმხრობის სიზუსტეზე, დავასკვნით, რომ მათი გავლენა უმნიშვნელოა (არ აღემატება $\pm 5''$-ს) და პრაქტიკულად სიმეტრიული მიმხრობის საერთო შეცდომის საანგარიშოდ შეიძლება გამოვიყენოთ (69) ფორმულა.

სიმეტრიული ხერხით მიმხრობის სიზუსტის შესახებ ზემოაღნიშნულის საფუძველზე შეგვიძლია შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

1) C_1 და C_2 წერტილები შეძლებისამებრ ახლოს უნდა დავამაგროთ შვეულებთან;

2) შვეულებს შორის მანძილი საჭიროა ავიღოთ რაც შეიძლება დიდი;

3) სკალები უნდა მოვათავსოთ რაც შეიძლება ახლოს შვეულებთან და d_a და d_b მანძილები გავზომოთ ± 1 მმ-ის სიზუსტით;

4) განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მივაქციოთ სკალებზე a_1, b_1, a_2, b_2 ანათვლების განსაზღვრას. შვეულების სიმშვიდის მდგომარეობის შესაბამისი a_1 და b_1 ანათვლები უნდა განვსაზღვროთ არა ნაკლებ 15—20 სკალური ანათვლების საშუალებით, ± 1 მმ-ის სიზუსტით. a_2 და b_2 ანათვლები სკალაზე (C_1C_2)-ს გასწვრივ უნდა განვსაზღვროთ რამდენიმეჯერ.

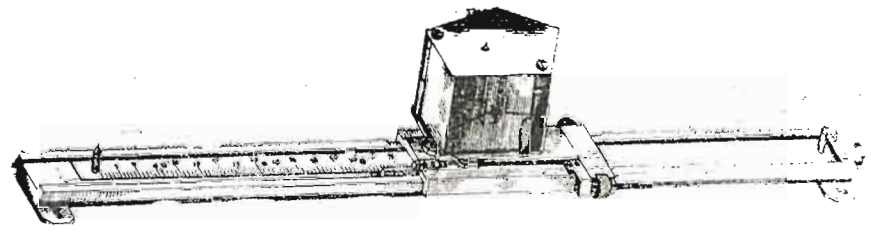
სიზუსტის მხრივ სიმეტრიული მიმხრობის ხერხი დამაკავშირებელი სამკუთხედების მეთოდის ტოლფასია.

d. მიმხრობა პენტაპრიზმით

რიგ შემთხვევებში ჰაურას მიმდებარე გვირაბების განლაგება ისეთია, რომ შვეულებზე მიმხრობა უნდა ვაწარმოოთ მათი გასწვრივი მიმართულების მართობულად. მსგავს პირობებში ხელსაყრელი ფორმის დამაკავშირებელი სამკუთხედების შექმნა არ ხერხდება.

ასეთი შემთხვევებისათვის ინჟ. გ. ნესტერენკოს მიერ მოწოდებულია მიმხრობის მეტად მოხერხებული და საკმაოდ ზუსტი მეთოდი პენტაპრიზმის საშუალებით.

პენტაპრიზმა, რომლის გარდატეხის γ კუთხე 90°-სს უდრის (ან ახლოს არის მასთან), მოთავსებულია სპეციალურ ბაზისურ სახაზავზე (ნახ. 25), რომელსაც აქვს მილიმეტრებიანი სკალა ვერნიერით. პენტაპრიზმის გადაადგილება შეიძლება როგორც ხელით, ისე მიკრომეტრული ხრახნით. სახაზავზე მისი



ნახ. 3.2.25

მდებარეობა განისაზღვრება სკალაზე ანათვალით. პენტაპრიზმის ზედა წახნაგზე დამაგრებულია წვეტანა, რაც მოწყობილობის დაყენებისა და მანძილების გაზომვის დროს გამოიყენება.

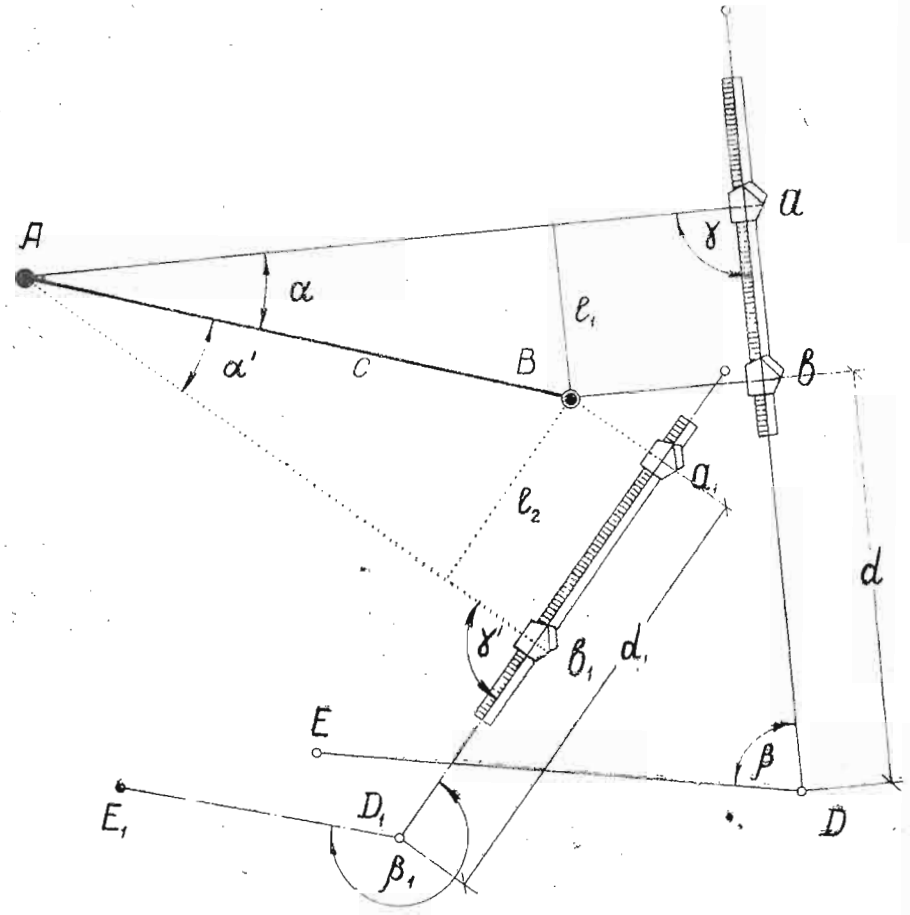
შვეულებზე პენტაპრიზმით მიმხრობის დროს საველე სამუშაოები სრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) ბაზისურ სახაზავს პენტაპრიზმით აყენებენ ზედაპირზე ერთ-ერთი შვეულის სიახლოვეს, დაახლოებით შვეულების გასწვრივი მიმართულების მართობულად (ნახ. 26);

2) ბაზისური სახაზავის გასწვრივ პენტაპრიზმის დონეზე D წერტილში დაცენტრავენ თეოდოლიტს. სახაზავს აყენებენ ჭოგრის სამიზნე ღერძის გასწვრივ, რაც მიიღწევა პენტაპრიზმის გადაადგილებით ისე, რომ აღნიშნული წვეტანა მუდამ რჩებოდეს ძაფთა ბადის ბისექტორზე. ამ მდგომარეობაში სახაზავს ამაგრებენ;

3) პენტაპრიზმას გადააადგილებენ სახაზავზე მანამ, სანამ თეოდოლიტის ჰოგრის ძაფთა ბადის ბისექტორზე არ გამოჩნდება ერთ-ერთი, მაგალითად, A შვეულის გამოსახულება. ამ მდგომარეობაში იღებენ ანათვლებს: სკალაზე—a_1 (0,1 მმ-ის სიზუსტით) და თეოდოლიტის ჰორიზონტულ წრედზე—L'_a;

4) თეოდოლიტის ჰოგრის მდებარეობის შეუცვლელად ხელახლა გადააა-



ნახ. 3.2.26

დგილებენ პენტაპრიზმას ჰოგრის ძაფთა ბადის ბისექტორზე მეორე B შვეულის გამოსახულების გამოჩენამდე. ამ მდგომარეობაში იმავე სიზუსტით იღებენ b^1 ანათვალს სკალაზე;

5) ათავისუფლებენ ალიდადას და თეოდოლიტის ჰოგრს მიმართავენ ზედაპირზე საყრდენი DE გვერდის E წერტილისაკენ. ღებულობენ ანათვალს ჰორიზონტულ წრედზე— L^1_E;

6) გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე და გაზომვების ჩამოთვლილ ოპერაციებს ხელახლა იმეორებენ; ღებულობენ a'', b'', L''_a, L''_E ანათვლებს სკალასა და თეოდოლიტის ჰორიზონტულ წრედზე;

7) პენტაპრიზმის მეორე მდებარეობის დროს 1 მმ-ის სიზუსტით ზომავენ მანძილებს: შვეულებს შორის — c-ს; პენტაპრიზმის წვეტანასა და თეოდოლიტს შორის — d-ს; უახლოეს შვეულსა და პენტაპრიზმის წვეტანას შორის—Bb-ს.

8) ბაზისურ სახაზავს პენტაპრიზმით აყენებენ გასაგნებ ჰორიზონტზე და მის გასწვრივ D_1 წერტილში ცენტრავენ თეოდოლიტს. ასრულებენ ზედაპირის ანალოგიურ გაზომვებს; მიიღებენ a_1', b_1', a_1'', b_1'', $L'a_1$, L'_{E_1}, $L''a_1$, L''_{E_1} ანათვლებს სახაზავის სკალასა და თეოდოლიტის ჰორიზონტულ წრედზე. სავეღე მასალის კამერული დამუშავება სრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) გამოითვლიან ბაზისურ სახაზავზე პენტაპრიზმის გადაადგილების საშუალო ოდენობებს, როგორც სკალის ანათვალთა სხვაობას:

$$l_1' = a' - b'; \qquad l_1'' = a'' - b'';$$

$$l_1 = \frac{l_1' + l_1''}{2}.$$

$$l_2' = a_1' - b_1'; \qquad l_2'' = a_1'' - b_1'';$$

$$l_2 = \frac{l_2' + l_2''}{2}.$$

2) β და β_1 კუთხეებს ანგარიშობენ ჩვეულებრივი წესით:

$$\beta' = L'_a - L'_E; \qquad \beta'' = L_a'' - L''_E;$$

$$\beta = \frac{\beta' + \beta''}{2}.$$

$$\beta_1' = L'_{E_1} - L'_{a_1}; \qquad \beta_1'' = L''_{E_1} - L''_{a_1};$$

$$\beta_1 = \frac{\beta_1' + \beta_1''}{2}.$$

3) გამოთვლიან α და α' კუთხეებს ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{l_1}{c}, \\ \sin\alpha' &= \frac{l_2}{c}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.70)$$

α და α' კუთხეების სიმცირის გამო შეგვიძლია დავწეროთ

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \rho'' \frac{l_1}{c}, \\ \alpha' &= \rho'' \frac{l_2}{c}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.71)$$

4) 26-ე ნახაზის თანახმად:

$$\left.\begin{aligned} (AB) &= (ED) + \beta + \gamma + \alpha \mp 3 \cdot 180^\circ, \\ (D_1E_1) &= (AB) + \alpha' - \gamma' + \beta_1. \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.72)$$

თუ დავუშვებთ, რომ $\gamma = \gamma'$, მაშინ საძიებელი დირექციული კუთხე გამოითვლება ფორმულით

$$(D_1E_1) = (ED) + \beta + \alpha + \alpha' + \beta_1 - 540^\circ. \qquad (3.2.73)$$

თუ ზედაპირული და მიწისქვეშა მიმხრობა წარმოებდა სხვადასხვა პენტაპრიზმით, მაშინ

$$(D_1E_1) = (ED) + \beta + \alpha + \alpha' + \beta_1 - 540^\circ + \Delta\gamma, \tag{3.2.74}$$

სადაც

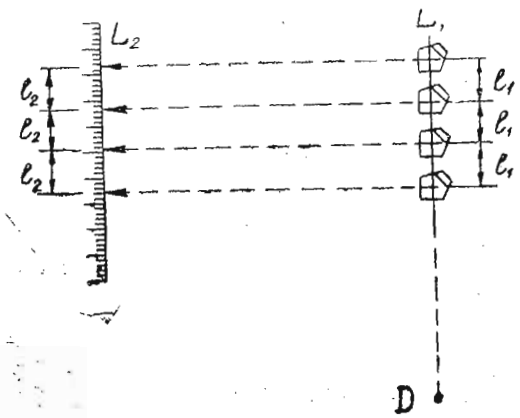
$$\Delta\gamma = \gamma - \gamma'.$$

D_1 წერტილის კოორდინატები გამოითვლება ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} y_{D_1} &= y_D + d\sin(DB) + bB\sin(bB) + Ba_1\sin(Ba_1) + d_1\sin(a_1D_1),\\ x_{D_1} &= x_D + d\cos(Db) + bB\cos(bB) + Ba_1\cos(Ba_1) + d_1\cos(a_1D_1). \end{aligned}\right\} \tag{3.2.75}$$

თუ მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტის დროს სხვადასხვა პენტაპრიზმას ვიყენებთ, მაშინ საჭიროა წინასწარ დადგენილ იქნეს $\Delta\gamma$-ს მნიშვნელობა. ამ მიზნით სამარკშეიდერო ბიუროში აწარმოებენ ორ დამაგრებულ წერტილზე სხვადასხვა პენტაპრიზმით მრავალჯერ მიმხრობას. მიღებულ დირექციულ კუთხეებს შორის სხვაობა იქნება $\Delta\gamma$.

მუშაობის დაწყების წინ უნდა შემოწმდეს პენტაპრიზმის გარდატეხის γ კუთხის მუდმივობა. ამ მიზნით ზედაპირზე D წერტილში აყენებენ თეოდოლიტს, ხოლო მისგან 3—4 მეტრის მანძილზე ათავსებენ საბაზისო სახაზავს პენტაპრიზმით (ნახ. 27). საბაზისო სახაზავის პარალელურად მისგან 3—4 მ მანძილზე დააყენებენ მილიმეტრულ დანაყოფებიან დამხმარე L_2 სახაზავს.



ნახ. 3.2.27.

პენტაპრიზმას თანამიმდევრობით გადააადგილებენ სახაზავზე ერთმანეთის ტოლი l მანძილებით. თითოეული გადაადგილების შემდეგ იღებენ მის ყოველი ცალკეული მდებარეობის შესაბამის ანათვლებს L_1 საბაზისო სახაზავის სკალასა და თეოდოლიტის საშუალებით დამხმარე L_2 სახაზავზე. სახაზავებზე აღებულ ანათვალთა l_1, l_2 სხვაობების თანხვდენა პენტაპრიზმის გარდატეხის კუთხის მუდმივობის მაჩვენებელი იქნება.

პ ე ნ ტ ა პ რ ი ზ მ ი თ მ ი მ ხ რ ო ბ ი ს ს ი ზ უ ს ტ ი ს შ ე ს ა ხ ე ბ. (73) ფორმულის მიხედვით ორიენტირების საერთო შეცდომა, დაგეგმილების კუთხური შეცდომის მხედველობაში მიღებით, იქნება

$$M_{(D_1E_1)} = \pm\sqrt{M^2_\beta + M^2_{\beta_1} + M^2_\alpha + M^2_{\alpha'} + \Theta^2}, \tag{3.2.76}$$

სადაც M_β და M_{β_1} წარმოადგენს კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატულ შეცდომებს და გამოითვლება განაზომთა შეცდომების თეორიიდან ცნობილი წესით (იხ. 5.3.24 ფორმულა).

M_α და $M_{\alpha'}$ სიდიდეები მიიღება (70) და (71) ფორმულების შესაბამისად:

$$\left.\begin{aligned} M''_\alpha &= \pm\rho'' \frac{Ml_1}{c},\\ M''_\alpha &= \pm\rho'' \frac{Ml_2}{c}, \end{aligned}\right\} \tag{3.2.77}$$

სადაც M_{l_1} და M_{l_2} წარმოადგენს l_1 და l_2 ოდენობების განსაზღვრის საშუალო კვადრატულ შეცდომებს. თუ დავუშვებთ, რომ

$$M_{l_1} = M_{l_2} = M_l,$$

მივიღებთ

$$(M''_\alpha)^2 + (M''_{\alpha_1})^2 = 2\rho^2 \frac{M_l^2}{c^2}.$$

უკანასკნელი გამოსახულების მხედველობაში მიღებით (76) ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$M_{(D_1E_1)} = \pm\sqrt{M^2_\beta + M^2_{\beta_1} + 2\rho^2\frac{M_l^2}{c^2} + \Theta^2}. \tag{3.2.78}$$

თუ დავუშვებთ, რომ $M_\beta = M_{\beta_1} = \pm 10''$-ს, $M_l = \pm 2$ მმ-ს, $c = 3{,}0$ მ-ს და წერტილების დაგეგმილების შეცდომის ხაზოვანი ელემენტი $e = \pm 0{,}5$ მმ-ს, მაშინ

$$\Theta = \pm\frac{\rho''e}{c} = \pm\frac{206265''}{3000}\cdot 0{,}5 = \pm 33'',$$

$$M''_\alpha = M''_{\alpha_1} = \pm\rho''\frac{Me}{c} = \pm 206265''\,\frac{0{,}2}{3000} = \pm 13'',7$$

და ორიენტირების საერთო შეცდომა იქნება

$$M_{(D_1E_1)} = \pm\sqrt{10^2 + 10^2 + 2(13'',7)^2 + 33^2} = \pm 40''.$$

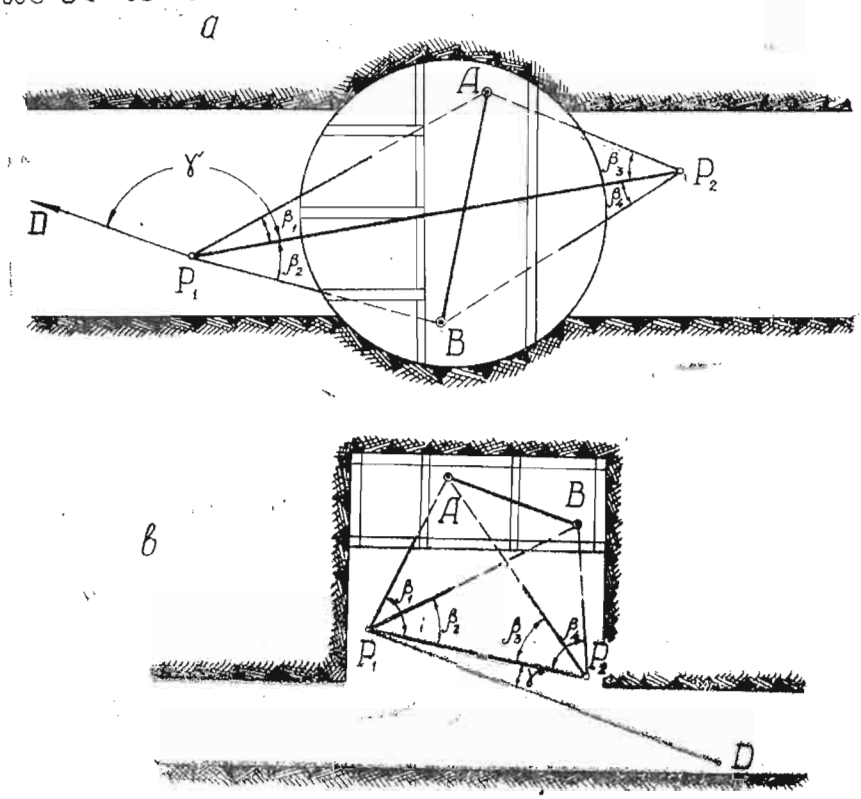
მოყვანილი მაგალითიდან ჩანს, რომ პენტაპრიზმით მიმხრობა დამაკავშირებელი სამკუთხედებისა და სიმეტრიული ხერხების ტოლფასია.

ე. მ ი მ ხ რ ო ბ ა დ ა მ ა კ ა ვ შ ი რ ე ბ ე ლ ი ო თ ხ კ უ თ ხ ე დ ი თ

გეოდეზიაში ხშირად ორი მოცემული წერტილით, რომლებზედაც ინსტრუმენტით დგომა არ არის შესაძლებელი, ისაზღვრება ორი ახალი წერტილის მდებარეობა თითოეული ამ წერტილიდან მეორე და მოცემულ წერტილებზე მიმართებებს შორის შექმნილი ჰორიზონტული კუთხეების გაზომვით (ორმაგი შებრუნებული გადაკვეთის მეთოდი). გასაგებ ჰორიზონტზე შვეულებზე მიმხრობა შეიცავს აღნიშნული ამოცანის ყველა ელემენტს: გვაქვს ორი შვეული, რომელთა კოორდინატები განსაზღვრულია ზედაპირული საყრდენი პუნქტებიდან მიმხრობით (პოლიგონური სვლით, პირდაპირი გადაკვეთის მეთოდით ან დამაკავშირებელი სამკუთხედით). საჭიროა გასაგებ ჰორიზონტზე განისაზღვროს ერთი წერტილის კოორდინატები და ერთი გვერდის დირექციული კუთხე, ანუ ორი ახალი წერტილის მდებარეობა. ამოცანის ამოხსნის

დროს მიწისქვეშ იქმნება ოთხკუთხედი, ამიტომ მიმხრობის ამ ხერხს დამაკავშირებელი ოთხკუთხედის ხერხს უწოდებენ.

28-ე ნახაზზე A, B შვეულები ან მათი დამაგრებული პროექციებია გასაგნებ ჰორიზონტზე; P_1, P_2—მიწისქვეშა აგეგმვის წერტილები. ზედაპირზე მიმხრობის შედეგად ცნობილია A და B შვეულების კოორდინატები და (AB) დირექციული კუთხე. უნდა განისაზღვროს P_1, P_2 წერტილების კოორდინატები



ნახ. 3.2.28.

და P_1P_2 ხაზის დირექციული კუთხე.

განხილადი ამოცანის ამოსახსნელად საჭირო საველე სამუშაოები შედგება ორი ნაწილისაგან: *ა*) P_1, P_2 წერტილების არჩევა და დამაგრება , *ბ*) ოთხკუთხედის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვა.

ჰაურის მიმდებარე გვირაბების ყველაზე გავრცელებული კონფიგურაციის პირობებში შვეულებს შორის AB ხაზის მიმართ P_1 და P_2 წერტილები შეიძლება განლაგდნენ ორმხრივ (ნახ. 28ª) ან ცალმხრივ (ნახ. 28ᵇ). შესაბამისად გვექნება მიმხრობის ორმხრივი ან ცალმხრივი ვარიანტი.

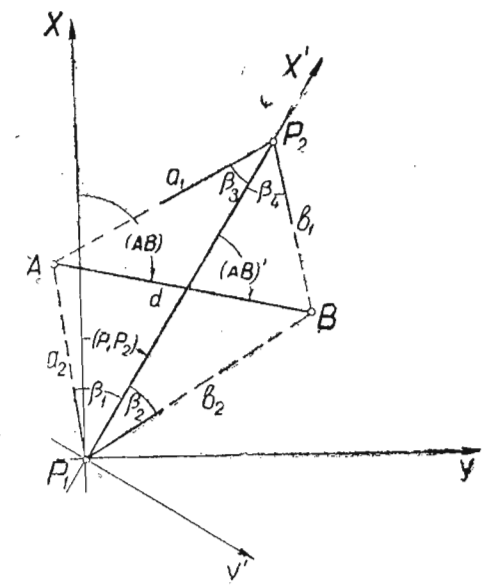
როდესაც დადგენილია მოცემულ პირობებში დამაკავშირებელი ოთხკუთხედით მიმხრობის რომელ ვარიანტთან აქვთ საქმე, იწყებენ P_1 და P_2 წერტილების დამაგრების ადგილის უფრო ზუსტად შერჩევას. აღნიშნული წერტილების მდებარეობა, უპირველეს ყოვლისა, განისაზღვრება ოთხკუთხედის ოთხივე წვეროს ურთიერთხილვადობის აუცილებლობით. გარდა ამისა, P_1 P_2 წერტილებიდან ერთ-ერთის მდებარეობა ისე უნდა შეირჩეს, რომ მისგან ადვილად შეიძლებოდეს მიწისქვეშ პოლიგონომეტრიული სვლის გაგრძელება.

შხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული აგრეთვე ის გარემოება, რომ შექმნილი ოთხკუთხედის ფორმაზე ბევრად არის დამოკიდებული ორიენტირების სიზუსტე. მეთოდის ანალიზმა გამოავლინა, რომ როგორც ორმხრივი, ისე ცალმხრივი მიმხრობის დროს დამაკავშირებელი ოთხკუთხედის უხელსაყრელესი ფორმაა კვადრატი. ამიტომ P_1, P_2 წერტილების ადგილის შერჩევის დროს ცდილობენ ოთხკუთხედს მისცენ დაახლოებით კვადრატის ფორმა (დიაგონალებით AB და P_1P_2 ორმხრივი მიმხრობისას ან AP_2, BP_1—ცალმხრივი მიმხრობის დროს).

P_1, P_2 წერტილების შერჩევისა და დამაგრების შემდეგ იწყებენ კონსტრუირებული ოთხკუთხედის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვას. P_1, P_2 წერტილებზე $\pm 30''$ სიზუსტის თეოდოლიტით, სამი სრული განმეორებით ზომავენ ჰორიზონტულ β_1, β_2, β_3 და β_4 კუთხეებს, აგრეთვე P_1P_2 ხაზის მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლის საწყის P_1D გვერდთან დამაკავშირებელ γ კუთხეს. ხაზოვანი ელემენტებიდან უნდა გაიზომოს ჰორიზონტული მანძილები: $P_1P_2=d$ და შვეულებს შორის c. მანძილები იზომება კომპარირებული ფოლადის რულეტით, დინამომეტრის გამოყენებით.

გეოდეზიაში დამაკავშირებელი ოთხკუთხედის ამოხსნის მრავალი ხერხია ცნობილი. ჩვენ გავარჩევთ ერთ-ერთ მოხერხებულ მეთოდს, სახელდობრ, პირობითი აზიმუტის ხერხს, რომელიც შემოღებულ იქნა პროფ. ვ. ბაუმანის მიერ 1913 წელს.

ამოცანის ამოხსნის მიზნით შემოაქვთ კოორდინატთა პირობითი სისტემა, რომლის სათავეს ამთხვევენ ერთ-ერთ განსასაზღვრელ წერტილს, მაგალითად, P_1-ს, ხოლო x' ღერძის მიმართულებას შეუთავსებენ P_1P_2-ს, ე.ი. შემოაქვთ P_1P_2 ხაზის პირობითი აზიმუტი, რომელიც ნულს უდრის (ნახ.29). კამერული სამუშაოები სრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:



ნახ 3 2.29.

1) საზღვრავენ a_1, b_1, a_2 და b_2 მანძილებს ფორმულებით:

$$a_1 = \frac{d}{\sin\gamma_A}\sin\beta_1; \qquad a_2 = \frac{d}{\sin\gamma_A}\sin\beta_3;$$

$$b_1 = \frac{d}{\sin\gamma_B}\sin\beta_2; \qquad b_2 = \frac{d}{\sin\gamma_B}\sin\beta_4,$$

სადაც

$$\gamma_A = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_3);$$

$$\gamma_B = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_4).$$

A და B შვეულების პირობითი კოორდინატები იქნება:

$$y'_A = a_1\sin(360^\circ - \beta_1) = a_1\sin(180^\circ + \beta_3);$$

$$x'_A = a_2\cos(360^\circ - \beta_1) = d + a_1\cos(180^\circ + \beta_3);$$

$$y'_B = b_2\sin\beta_2 = b_1\sin(180^\circ - \beta_4);$$

$$x'_B = b_2\cos\beta_2 = d + b_1\cos(180^\circ - \beta_4).$$

2) A და B შვეულების პირობითი კოორდინატების საშუალებით გამოითვლიან პირობით $(AB)'$ აზიმუტსა და მანძილს შვეულებს შორის, ფორმულებით:

$$\operatorname{tg}(AB)' = \frac{y'_B - y'_A}{x'_B - x'_A},$$

$$c_{\text{გამოთ.}} = \frac{y'_B - y'_A}{\sin(AB)'} = \frac{x'_B - x'_A}{\cos(AB)'}.$$

უშუალოდ გაზომილ c მანძილს ადარებენ გამოთვლილს. სხვაობა $c_{\text{გამ}} - c_{\text{გამ}}$ არ უნდა აღემატებოდეს ± 3 მმ-ს.

3) 29-ე ნახაზის მიხედვით საძიებელი დირექციული კუთხე

$$(P_1P_2) = (AB) - (AB)', \qquad (3.2.79)$$

სადაც (AB) არის შვეულების შემაერთებელი ხაზის დირექციული კუთხე კოორდინატთა საერთო სისტემაში და განსაზღვრულია ზედაპირზე მიმხრობის შედეგად.

4) გამოთვლიან P_1A, P_1B, P_2A, P_2B ხაზების დირექციულ კუთხეებს:

$$(P_1A) = (P_1P_2) - \beta_1; \qquad (P_1B) = (P_1P_2) + \beta_2;$$

$$(P_2A) = (P_2P_1) + \beta_3; \qquad (P_2B) = (P_2P_1) - \beta_4.$$

P_1 და P_2 წერტილების კოორდინატები გამოითვლება ფორმულებით:

$$y_{P_1} = y_A + a_2\sin(AP_1) = y_B + b_2\sin(BP_1);$$

$$x_{P_1} = x_A + a_2\cos(AP_1) = x_B + b_2\cos(BP_1);$$

$$y_{P_2} = y_A + a_1\sin(AP_2) = y_B + b_1\sin(BP_2);$$

$$x_{P_2} = x_A + a_1\cos(AP_2) = x_B + b_1\cos(BP_2).$$

დამაკავშირებელი ოთხკუთხედით მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტა წარმოებს სპეციალური ფორმულარის მიხედვით, რომლის ნიმუში მოცემულია ინსტრუქციაში.

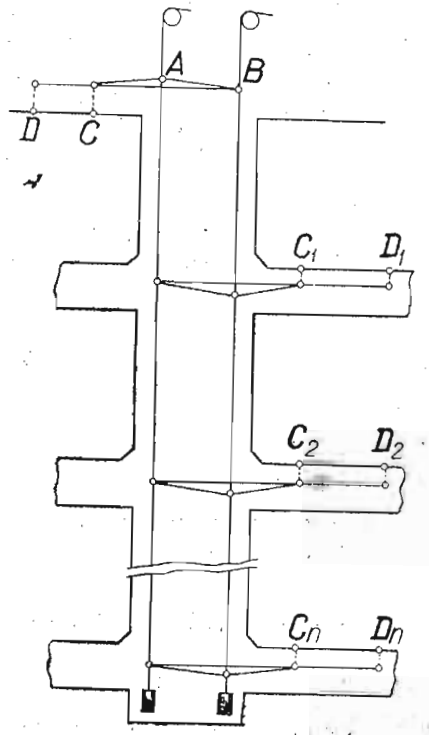
დამაკავშირებელი ოთხკუთხედით მიმხრობის სიზუსტის შესახებ. შვეულებზე დამაკავშირებელი ოთხკუთხედით მიმხრობის სიზუსტის საკითხი პირველად გამოიკვლია პროფ. ვ. ბაუმანმა. მან მოგვცა

ამ ხერხით მიმხრობის შეცდომის გამოსათვლელი მკაცრი, მაგრამ რთული ფორმულები. პროფ. ფ. გალახოვმა მოგვცა იგივე ამოცანა მარტივად, მაგრამ მიახლოებით გადაწყვიტა. 1952 წელს ინჟ. ე. შულგომ გაიმეორა ვ. ბაუმანის გამოკვლევები, მაგრამ მან მიმხრობის შეცდომის გამოსათვლელ ზოგად ფორმულაში კერძო წარმოებულების განსაზღვრის სხვა გზა აირჩია და მიიღო დამაკავშირებელი ოთხკუთხედით მიმხრობის საშუალო კვადრატული შეცდომის გამოსათვლელი ზოგადი ფორმულა, რომელსაც საკმაოდ რთული სახე აქვს. მიმხრობის განხილადი მეთოდი პრაქტიკაში იშვიათად გამოიყენება, ამიტომ მისი სიზუსტის ანალიზი აქ არ მოგვყავს. შევნიშნავთ მხოლოდ, რომ დამაკავშირებელი ოთხკუთხედის უხელსაყრელეს ფორმას წარმოადგენს კვადრატი [33], [69].

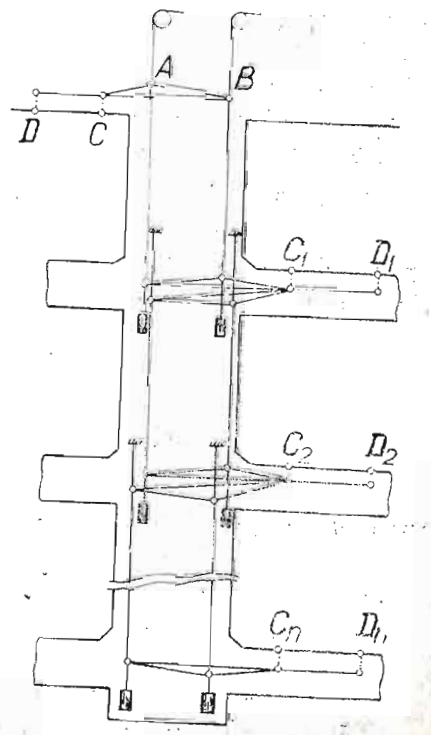
f. საფეხუროვანი ორიენტირება

სხვადასხვა ჰორიზონტის გვირაბების აგეგმვის ორიენტირება შეიძლება უშუალოდ ზედაპირიდან პირდაპირი გზით ან ცალკეული ჰორიზონტების თანამიმდევრობითი ორიენტირებით, რისთვისაც ჯერ აწარმოებენ ზედაპირიდან პირველი ჰორიზონტის გვირაბების ორიენტირებას, შემდეგ პირველი ჰორიზონტიდან მეორე ჰორიზონტის გვირაბებს უკავშირდებიან და ა.შ, რასაც საფეხუროვან ორიენტირებას უწოდებენ. ორიენტირების მეორე მეთოდი დიდი ხანია ცნობილია და პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება, განსაკუთრებით მადნეულის საბადოებისა და ქვანახშირის ციცაბო ფენების დამუშავების დროს.

(30) და (31) ნახაზებზე მოცემულია ერთი და იმავე შახტის სხვადასხვა ჰორიზონტის პირდაპირი და საფეხუროვანი ორიენტირების სქემები. ორივე



ნახ. 3.2.30.



ნახ. 3.2.31.

შემთხვევაში მიმხრობის ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება როგორც დამაკავშირებელი სამკუთხედების, ისე სხვა მეთოდის გამოყენებით. საფეხურეოვანი ორიენტირების მეთოდის შეფასებისა და მისი გამოყენების არსის დადგენისათვის შევადაროთ იგი ზედაპირიდან პირდაპირი ორიენტირების ხერხს. ამ მიზნით გავარჩიოთ ქვედა ჰორიზონტის გვირაბების ორიენტირების სიზუსტის საკითხი.

დავუშვათ, რომ H არის ჭაურის მთლიანი სიღრმე, n—ჰორიზონტების (საფეხურების) რიცხვი და h_0—ჰორიზონტებს შორის მანძილი. მიმხრობის ერთი და იმავე მეთოდის შემთხვევაში, როგორც პირდაპირი, ისე საფეხურეოვანი ორიენტირების ცალკეული მიმხრობის შეცდომები ერთნაირი იქნება, ხოლო დაგეგმილების შეცდომები კი—სხვადასხვა, რადგანაც პირველ და მეორე შემთხვევაში ჭაურის სიღრმე სხვადასხვაა.

პროფ. ი. ლისიცა [24—25] თვლის, რომ დაგეგმილების ხაზოვანი შეცდომა შემთხვევითი ხასიათისაა როგორც ოდენობით, ისე მიმართულებით და პროპორციულია ჭაურის სიღრმისა. თუ e_0 არის ერთი ჰორიზონტის h_0 სიღრმეზე წერტილის დაგეგმილების ხაზოვანი შეცდომა, ხოლო e—ჭაურის H სიღრმეზე დაგეგმილების საერთო საშუალო კვად. შეცდომა, მაშინ n ჰორიზონტის საფეხუროვანი ორიენტირების დროს გვექნება

$$e = e_0\sqrt{n}, \tag{3.2.80}$$

ხოლო ზედაპირიდან პირდაპირი ორიენტირებისას კი

$$e = e_0 n. \tag{3.2.81}$$

ზემომოყვანილი ფორმულების შედარებით ირკვევა, რომ საფეხუროვანი ორიენტირების დროს დაგეგმილების შეცდომის გავლენა ნაკლებია, ვიდრე პირდაპირი ორიენტირების შემთხვევაში. რაც შეეხება მიმხრობის შეცდომის გავლენას, აქ პირიქითაა. საფეხუროვანი ორიენტირების დროს მიმხრობის რაოდენობა n ჰორიზონტის შემთხვევაში n-ჯერ მეტი იქნება ზედაპირიდან პირდაპირი გზით ორიენტირებასთან შედარებით; ამიტომ თუ პირდაპირი ორიენტირებისას მიმხრობის საშუალო კვადრატული შეცდომა არის $\sqrt{2}\,m$, საფეხუროვანი ორიენტირების დროს იქნება $\sqrt{2}\,m\cdot\sqrt{n}$.

მიმხრობისა და დაგეგმილების შეცდომათა აღნიშნული თანაფარდობის საფუძველზე პირდაპირი და საფეხუროვანი ორიენტირების საერთო შეცდომები შეიძლება განისაზღვროს ფორმულებით

$$M_1 = \pm\sqrt{2m^2 + m_0^2}, \tag{3.2.82}$$

$$M_2 = \pm\sqrt{2m^2 n + \frac{m_0^2}{n}}, \tag{3.2.83}$$

სადაც M_1 და M_2 არის ორიენტირების საერთო შეცდომა პირდაპირი და საფეხუროვანი ორიენტირების დროს;

m—ერთი მიმხრობის კუთხური შეცდომა;

m_0—მიმართულების დაგეგმილების კუთხური შეცდომა n ჰორიზონტზე;

n—ჰორიზონტების რიცხვი.

(82) და (83) ფორმულების ანალიზის საფუძველზე პროფ. ი. ლისიცა

მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ საფეხუროვანი ორიენტირებისას ჰორიზონტების n რაოდენობა, რომლის შემთხვევაში M_2 იქნება უმცირესი, გამოისახება ფორმულით

$$n = \frac{m_0}{m\sqrt{2}}. \tag{3.2.84}$$

მაშასადამე, საფეხუროვანი ორიენტირება შეიძლება პირდაპირ ხერხთან შედარებით უფრო ზუსტი იყოს მხოლოდ მიმხრობისა და დაგეგმილების შეცდომათა განსაზღვრული თანაფარდობის შემთხვევაში, რაც n რიცხვით გამოისახება. მისი რიცხობრივი მნიშვნელობა (დამრგვალებული მთელ რიცხვამდე) გვიჩვენებს ორიენტირებისას საფეხურების (ჰორიზონტების) უხელსაყრელეს რიცხვს. თუ $n \leqslant 1$, მაშინ, ცხადია, ორიენტირება უნდა განხორციელდეს პირდაპირი გზით; როდესაც $1 < n < 2$, მაშინ ორიენტირება შეიძლება ნებისმიერი მეთოდით, ხოლო, თუ $n \geqslant 2$—აუცილებელია საფეხუროვანი ორიენტირება.

საფეხუროვანი ორიენტირება ხშირ შემთხვევაში მარტივი და მოხერხებული განსახორციელებელია, არ საჭიროებს რთულ მოწყობილობებს, ამავე დროს ჭაურის ცალკეული განყოფილებების გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი მიმდევრობით, რაც აადვილებს მუშაობის ორგანიზაციას ჭაურში.

C. ორიენტირება ორი ვერტიკალური ჭაურით

წიაღის გვირაბები როდესაც დაკავშირებულია ზედაპირთან მიწისქვეშ ურთიერთდაკავშირებული ორი (ან რამდენიმე) ვერტიკალური ჭაურით, მაშინ ისინი შეიძლება გამოვიყენოთ დამაკავშირებელი აგეგმვის ამოცანის გადასაწყვეტად. ასეთ შემთხვევაში ზედაპირულ და მიწისქვეშა აგეგმვებს შორის გეომეტრიული კავშირის დასამყარებლად საკმარისია თითოეულ ჭაურში თითო შვეულის ჩაშვება. ამის გამო შვეულებს შორის მანძილი რამდენიმე ათეული მეტრი გამოდის, რაც მკვეთრად ამცირებს დაგეგმილების კუთხურ Θ შეცდომას. მართლაც, თუ დავუშვებთ, რომ წერტილების დაგეგმილების ხაზოვანი შეცდომა $e = \pm 5$ მმ-ს და შვეულებს შორის მანძილი $c = 120$ მ-ს, დაგეგმილების კუთხური შეცდომა

$$\Theta = \pm\frac{\rho e}{c} = \pm\frac{206265''}{120000}\cdot 5 = \pm 8'',6.$$

მაშასადამე, წერტილების დაგეგმილების მნიშვნელოვანი ხაზოვანი შეცდომის შემთხვევაშიც (± 5 მმ) დაგეგმილების კუთხური შეცდომა შედარებით მცირეა. ამიტომ, როდესაც საბადო გახსნილია მიწისქვეშ ურთიერთდაკავშირებული ორი ვერტიკალური ჭაურით, დამაკავშირებელი აგეგმვა აუცილებლად უნდა შესრულდეს ორი ვერტიკალური ჭაურით.

ორი ჭაურის შემთხვევაში დამაკავშირებელი აგეგმვა შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება:

a) წერტილების დაგეგმილება ზედაპირიდან გასაგნებ ჰორიზონტზე;

b) შვეულების x, y კოორდინატების განსაზღვრა ზედაპირზე;

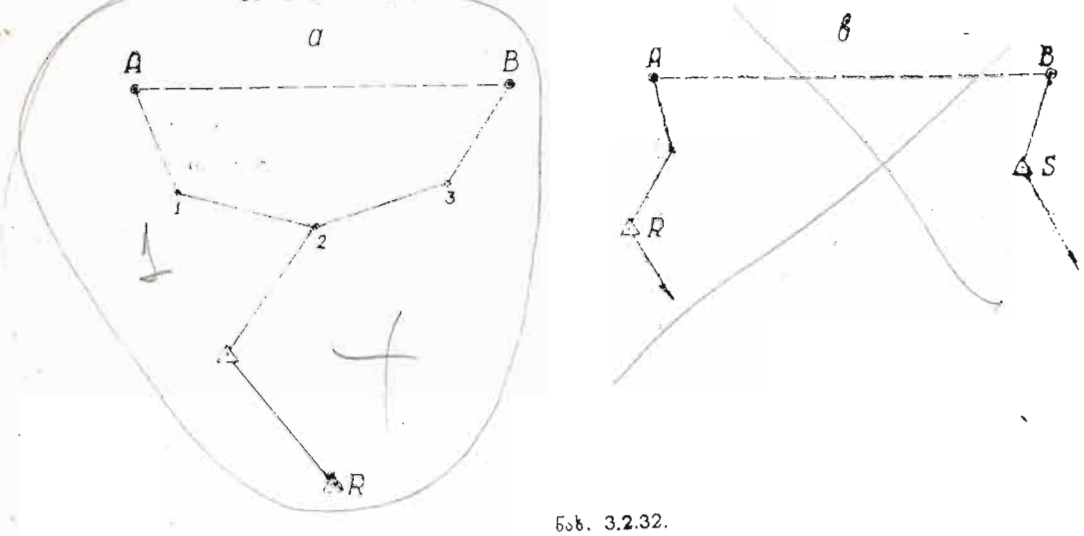
c) შვეულებზე მიმხრობა მიწისქვეშ;

d) გამოთვლები.

წერტილების დაგეგმილება ზედაპირიდან გასაგნებ ჰორიზონტზე სრულდება ისევე, როგორც ერთი ვერტიკალური ჰაურის შემთხვევაში. უფრო ხშირად მიმართავენ დაწყვილებული შვეულებით დაგეგმილებას. გამონაკლის შემთხვევაში, როდესაც ვერ აღწევენ შვეულის რხევის სასურველ დაწყნარებას, იყენებენ მათი სიმშვიდის მდებარეობის განსაზღვრის სკალურ მეთოდს.

შვეულების კოორდინატების განსაზღვრა ზედაპირზე შეიძლება ორი სქემით (ნახ.32).

პირველი სქემის განხორციელების დროს (ნახ.32ª) საორიენტირო ჰაურებს შორის აკეთებენ I კლასის $A—1—2—\cdots B$ პოლიგონომეტრიულ სვლას.



ნახ. 3.2.32.

მას შეძლებისამებრ უნდა ჰქონდეს უმოკლესი სიგრძე და იყოს გაჭიმული AB ხაზის გასწვრივ. აღნიშნულ სვლას აკავშირებენ ზედაპირულ საყრდენ პუნქტებთან.

მეორე სქემის დროს (ნახ.32ᴮ) თითოეული ჰაურის პირის ახლოს ტრიანგულაციით ამაგრებენ თითო მისასვლელ ტრიგონომეტრიულ პუნქტს (R, S). მათი ჩასმის დროს განმსაზღვრელი წყვილი მიმართულებათა რაოდენობა სამზე ნაკლები არ უნდა იყოს. R და S პუნქტების შესაბამის შვეულებთან დასაკავშირებლად საჭირო პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების რიცხვი სამს არ უნდა აღემატებოდეს.

მიწისქვეშ შვეულებზე მიმართობა ხორციელდება A და B შვეულებს შორის $A—1—2—\cdots(n—1)—B$ პოლიგონომეტრიული სვლით (ნახ. 33). იგი უნდა აიგოს უმოკლესი გზით და შეძლებისამებრ (AB)-ს პარალელურად. სვლის ძირითად ნაწილს პირველიდან ($n—1$) წერტილამდე აწარმოებენ შვეულების ჩაშვებამდე. შვეულების ჩაშვების შემდეგ ზომავენ კუთხეებს პირველ და ($n—1$) წერტილებზე და $A—1$ და $(n—1)—B$ მანძილებს.

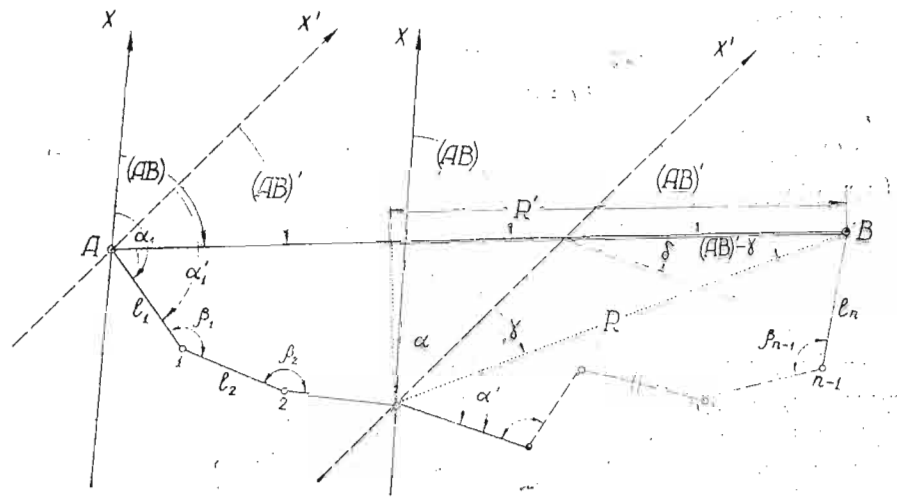
ორი ჰაურით ორიენტირების გამოთვლა სრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) ზედაპირზე ჩატარებული აგეგმვის მასალის გამოყენებით გამოითვლიან A და B შვეულების x_A, y_A, x_B და y_B კოორდინატებს. შვეულების კოორდინატების საშუალებით ანგარიშობენ (AB) მიმართულების დირექციულ კუთხეს და შვეულებს შორის c მანძილს ფორმულებით

$$\operatorname{tg}(AB)=\frac{y_B-y_A}{x_B-x_A},$$

$$c=\frac{y_B-y_A}{\sin(AB)}=\frac{x_B-x_A}{\cos(AB)};$$

2) შემოაქვთ კოორდინატთა პირობითი სისტემა, რომლის საწყისს შეუ-



ნახ. 3.2.33

თავსებენ A წერტილს, ხოლო აბსცისათა ღერძს მიმართავენ ნებისმიერი მიმართულებით, ე.ი.

$$x_A'=0;\qquad y_A'=0;\qquad (A—1)'=\alpha_1'.$$

საწყისი წერტილის პირობითი კოორდინატებისა და მიწისქვეშა აგეგმვის პირველი ($A—1$) გვერდის პირობითი α_1' აზიმუტის საშუალებით გამოითვლიან მიწისქვეშა პოლიგონის დანარჩენი წერტილების კოორდინატებს, მათ შორის B წერტილის x_B'. y_B' კოორდინატებსაც ფორმულებით

$$x_B'=l_1\cos\alpha_1'+l_2\cos\alpha_2'+\cdots+l_n\cos\alpha_n',$$

$$y_B'=l_1\sin\alpha_1'+l_2\sin\alpha_2'+\cdots+l_n\sin\alpha_n',$$

სადაც $\alpha'_2=\alpha_1'+\beta_1\mp180°;\cdots\alpha_n'=\alpha'_{n-1}+\beta_{n-1}\mp180°$ არის გვერდების პირობითი აზიმუტები;

$l_1,l_2,\cdots,l_n$ — გვერდების ჰორიზონტული პროექციები;

3) A და B შვეულების პირობითი კოორდინატების საშუალებით გამოითვლიან AB ხაზის პირობით აზიმუტს და მანძილებს შვეულებს შორის ფორმულებით

$$\operatorname{tg}(AB)'=\frac{y'_B}{x'_B},$$

$$c' = \frac{y'_B}{\sin(AB)'} = \frac{x'_B}{\cos AB'};$$

4) ერთიმეორეს ადარებენ c და c' მანძილებს, რომლებიც გამოთვლილია კოორდინატთა საერთო და პირობითს სისტემებში. $\Delta c = c - c'$ სხვაობამ არ უნდა გადააჭარბოს (122) ფორმულით გამოთვლილ ოდენობას;

5) განსაზღვრავენ მიწისქვეშა აგეგმვის პირველი $A-1$ გვერდის α_1 დირექციულ კუთხეს ფორმულით

$$\alpha_1 = (AB) + \alpha_1' - (AB)'. \tag{3.2.85}$$

თუ პირობით კოორდინატთა სისტემის შემოღებისას $(A-1)' = \alpha_1' = 0°00'$, მაშინ (85) ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\alpha_1 = (AB) - (AB)'; \tag{3.2.86}$$

6) ანგარიშობენ მიწისქვეშა პოლიგონის დანარჩენი გვერდების დირექციულ კუთხეებს ფორმულებით

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \beta_1 \mp 180°,$$
$$\alpha_3 = \alpha_2 + \beta_2 \mp 180° \text{ და ა.შ.;}$$

7) გამოითვლიან მიწისქვეშა პოლიგონის ყველა წერტილის x,y კოორდინატებს ერთიან სისტემაში. ცხადია, B შეუღლის კოორდინატები, გამოთვლილი მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლით, სიზუსტის ფარგლებში უნდა დაემთხვეს ზედაპირული აგეგმვით მიღებულ შედეგს. დასაშვებ შეუკვრელობას კოორდინატებში ანაწილებენ გვერდების სიგრძის პროპორციულად.

იმ შემთხვევაში, როცა დამაკავშირებელი აგეგმვა სხვა ხერხით არ არის ჩატარებული, საჭიროა ორი ჰაურით ორიენტირება შესრულდეს ორჯერ, ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად. შედეგად მიიღება მიწისქვეშა პირველი გვერდის დირექციული კუთხის ორი მნიშვნელობა: α_1 და α_2. თუ $\alpha_1 - \alpha_2$ არ აღემატება $\pm 3'$-ს, მაშინ საბოლოო შედეგად ღებულობენ მათ საშუალო არითმეტიკულს.

ორი ჰაურით ორიენტირების სიზუსტე. ორი ჰაურით ორიენტირების სიზუსტის საკითხი დეტალურად დაამუშავა პროფ. ი. ბახუნინმა [5].

ორი ჰაურით ორიენტირების შეცდომა ხასიათდება მიწისქვეშა პოლიგონის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის სიზუსტით, რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ზედაპირზე და მიწისქვეშა მიმხრობის და წერტილების დაგეგმილების შეცდომებზე. შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$M_{(AB)}$ — ზედაპირზე მიმხრობის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

$M_{\alpha(\beta\, l)}$ — მიწისქვეშ მიმხრობის საშუალო კვადრატული შეცდომა, რომელიც გამოწვეულია დამაკავშირებელი პოლიგონის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვათა შეცდომებით;

Θ — (AB) მიმართულების დაგეგმილების შეცდომის კუთხური ელემენტი. ორიენტირების საერთო საშუალო კვადრ. შეცდომა იქნება

$$M_{or} = \pm \sqrt{m^2_{(AB)} + \Theta^2 + m^2_{\alpha(\beta,l)}}. \tag{3.2.87}$$

განვსაზღვროთ (87) ფორმულაში შემავალი წევრები.

1) $m_{(AB)}$-ს განსაზღვრა. ვიპოვოთ AB-ს მართობული მიმართულებით შეუღლების მდებარეობის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომები, გამოწვეული კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის შეცდომებისაგან. ამ მიზნით გამოვიყენოთ (16) ფორმულა, რომელიც განხილულ შემთხვევაში ასე დაიწერება:

$$m_{(AB)} = \pm \frac{\rho}{c} \sqrt{\frac{m_A^2 + m_B^2}{2}}, \tag{3.2.88}$$

სადაც

$$\left.\begin{aligned} m_A &= \pm \sqrt{m^2_{A_\beta} + m_{A_e}}, \\ m_B &= \pm \sqrt{m^2_{B_\beta} + m^2_{B_l}}. \end{aligned}\right\} \tag{3.2.89}$$

თავის მხრივ (იხ.§ 5.7),

$$m_{A_\beta} = \pm \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\Sigma (R'_A)^2}, \tag{3.2.90}$$

$$m_{B_\beta} = \pm \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\Sigma (R'_B)^2}, \tag{3.2.91}$$

$$m_{A_l} = \frac{\pm \mu \sqrt{\Sigma l \sin^2\delta} + \lambda \Sigma l \sin\delta}{3}, \tag{3.2.92}$$

$$m_{B_e} = \frac{\pm \mu \sqrt{\Sigma l \sin^2\delta} + \lambda \Sigma l \sin\delta}{3}, \tag{3.2.93}$$

სადაც m_β არის β კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

$\Sigma(R'_A)^2$ — ზედაპირის პოლიგონის წერტილებიდან A შეუღლამდე მანძილების AB მიმართულებაზე პროექციების კვადრატების ჯამი;

$\Sigma(R'_B)^2$ — ზედაპირის პოლიგონის წერტილებიდან B შეუღლამდე მანძილების AB მიმართულებაზე პროექციების კვადრატების ჯამი;

c — ჰორიზონტული მანძილი შეუღლებს შორის;

δ — AB-სა და პოლიგონის გვერდების მიმართულებას შორის მოთავსებული კუთხე:

l — გვერდების სიგრძე;

μ — შემთხვევითი გავლენის კოეფიციენტი;

λ — სისტემატური გავლენის კოეფიციენტი;

2) Θ-ს განსაზღვრა. დაგეგმილების შეცდომის კუთხური ელემენტი განისაზღვრება (17) ფორმულით.

3) $M_{\alpha_{(\beta,l)}}$-ის განსაზღვრა, $m_{\alpha_{(\beta,l)}}$ შედგება m_{α_β} და m_{α_e} შეცდომებისაგან, რომლებიც გამოწვეულია, შესაბამისად, მიწისქვეშა დამაკავშირებელი პოლიგონის კუთხური (β_i) და ხაზოვანი (l_i) ელემენტების გაზომვის შეცდომებისაგან, ე.ი.

$$m_{\alpha_{(\beta,l)}} = \pm \sqrt{m^2_{\alpha_\beta} + m^2_{\alpha_l}}. \tag{3.2.94}$$

ა) m_{α_β}-ს განსაზღვრა. მიწისქვეშა პოლიგონის რომელიმე გვერდის დირექციული კუთხის m_{α_β} საშუალო კვადრატული შეცდომა გამოისახება შემდეგი ზოგადი ფორმულით:

$$m^2{}_{\alpha_\beta} = \left(\frac{\partial\alpha}{\partial\beta_1}\right)^2 m^2_{\beta_1} + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial\beta_2}\right)^2 m^2{}_{\beta_2} + \cdots + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial\beta_{n-1}}\right)^2 m^2_{\beta_{n-1}}. \qquad (3.2.95)$$

წარმოებულების მოძებნის მიზნით გამოვიყენოთ გამოსავალი ფუნქცია (ნახ.33):

$$\alpha = (AB) + \alpha' - (AB)', \qquad (3.2.96)$$

საიდანაც

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\beta} = \frac{\partial(AB)}{\partial\beta} + \frac{\partial\alpha'}{\partial\beta} - \frac{\partial(AB)'}{\partial\beta},$$

მაგრამ $\frac{\partial(AB)}{\partial\beta} = 0$, რადგან AB-ს განსაზღვრაში β კუთხეები არ მონაწილეობს, ამიტომ

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\beta} = \frac{\partial\alpha'}{\partial\beta} - \frac{\partial(AB)'}{\partial\beta}. \qquad (3.2.97)$$

გავიხსენოთ, რომ

$$\operatorname{tg}(AB)' = \frac{y_B{}'}{x_B{}'},$$

ხოლო

$$\frac{d(AB)'}{\cos^2(AB)'} = \frac{x_B{}' \cdot dy_B{}' - y_B{}' \cdot dx_B{}'}{(x_B{}')^2},$$

რომელშიც

$$x_B{}' = c \cdot \cos(AB)'; \qquad y_B{}' = c \cdot \sin(AB)'.$$

მაშასადამე,

$$\frac{d(AB)'}{\cos^2(AB)'} = \frac{c\cos(AB)' \cdot dy_B{}' - c\sin(AB)' \cdot dx_B{}'}{c^2\cos^2(AB)'},$$

საიდანაც

$$c \cdot d(AB)' = \cos(AB)' \cdot dy'_B - \sin(AB)' \cdot dx_B{}', \qquad (3.2.98)$$

ანუ დიფერენციალების β-თი კერძო წარმოებულებით შეცვლით მივიღებთ

$$c\frac{\partial(AB)'}{\partial\beta} = \frac{\partial y'_B}{\partial\beta} \cdot \cos(AB)' - \frac{\partial x'_B}{\partial\beta} \cdot \sin(AB)',$$

ხოლო (5.7.6) ფორმულის მიხედვით

$$\frac{\partial y'_B}{\partial\beta} = R\cos\gamma; \qquad \frac{\partial x'_B}{\partial\beta} = -R\sin\gamma,$$

სადაც R არის უმოკლესი მანძილი β კუთხის წვეროდან B შვეულამდე, γ — ამ ხაზის პირობითი დირექციული კუთხე. ამგვარად,

$$c\frac{\partial(AB)'}{\partial\beta} = R\cos\gamma\cos(AB)' + R\sin\gamma\sin(AB)',$$

ანუ

$$c\frac{\partial(AB)'}{\partial\beta} = R\cos[(AB)' - \gamma].$$

როგორც ნახაზიდან ჩანს, $R\cdot\cos[(AB' - \gamma] = R'$ ნამრავლი წარმოადგენს R სხივის პროექციას AB ხაზზე, ამიტომ

$$\frac{\partial(AB)'}{\partial\beta} = \frac{R'}{c}. \qquad (3.2.99)$$

(99) გამოსახულების (97) ფორმულაში ჩასმა გვაძლევს

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\beta} = \frac{\partial\alpha'}{\partial\beta} - \frac{R'}{c}. \qquad (3.2.100)$$

პირველი გვერდის დირექციული კუთხისათვის (100) ფორმულა ასე დაიწერება

$$\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta} = \frac{\partial\alpha_1{}'}{\partial\beta} - \frac{R_1{}'}{c},$$

მაგრამ $\frac{\partial\alpha_1{}'}{\partial\beta} = 0$, რადგან $\alpha_1{}'$ არის პირველი გვერდის პირობითი დირექციული კუთხე და არ არის დამოკიდებული β კუთხეებისაგან, ამიტომ,

$$\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_1} = -\frac{R_1{}'}{c}; \quad \frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_2} = -\frac{R_2{}'}{c}, \ldots, \frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_{n-1}} = -\frac{R'_{n-1}}{c}.$$

მაშასადამე, (95) ტოლობა მიიღებს ასეთ სახეს:

$$m^2{}_{\alpha_1\beta} = \left(\frac{R_1{}'}{c}\right)^2 m^2{}_{\beta_1} + \left(\frac{R_2{}'}{c}\right)^2 m^2{}_{\beta_2} + \cdots + \left(\frac{R'_{n-1}}{c}\right)^2 m^2{}_{\beta_{n-1}}, \qquad (3.2.101)$$

ანუ

$$m^2{}_{\alpha_1\beta} = \frac{1}{c^2}\sum_{i=1}^{i=n-1} (R_i{}')^2 m^2{}_{\beta_i} \qquad (3.2.102)$$

თუ დავუშვებთ, რომ მიწისქვეშ შვეულების დამაკავშირებელი პოლიგონის კუთხეები გაზომილია ტოლი სიზუსტით, მივიღებთ

$$m^2{}_{\alpha_1\beta} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2}\sum_{i=1}^{i=n-1} (R'_i)^2. \qquad (3.2.103)$$

განვსაზღვროთ მეორე გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომა $m_{\alpha_{2\beta}}$. ამ შემთხვევაში (100) გამოსახულების თანახმად დავწერთ

$$\frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta} = \frac{\partial\alpha'_2}{\partial\beta} - \frac{R'}{c}.$$

მოვძებნოთ $\frac{\partial \alpha_2'}{\partial \beta}$ წარმოებული. გამოსავალი ფუნქცია იქნება

$$\alpha_2' = \alpha_1' + \beta_1 \mp 180°,$$

საიდანაც

$$\frac{\partial \alpha_2'}{\partial \beta_1} = 1; \quad \frac{\partial \alpha_2'}{\partial \beta_2} = \frac{\partial \alpha_2'}{\partial \beta_3} = \cdots = \frac{\partial \alpha_2'}{\partial \beta_{n-1}} = 0,$$

ე.ი.

$$\frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_1} = 1 - \frac{R_1'}{c}; \quad \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_2} = -\frac{R_2'}{c}; \cdots; \frac{\partial \alpha_2}{\partial \beta_{n-1}} = -\frac{R'_{n-1}}{c}.$$

მაშასადამე, (95) გამოსახულება მიიღებს ასეთ სახეს:

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2} \sum_{i=1}^{i=n-1} (R_i')^2 + m^2{}_\beta \left(1 - \frac{2R_1'}{c}\right),$$

ანუ

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = m^2{}_{\alpha_{1\beta}} + \left(1 - 2\frac{R_1'}{c}\right) m^2{}_\beta . \tag{3.2.104}$$

ანალოგიურად, მესამე გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომა გამოისახება ფორმულით

$$m^2{}_{\alpha_{3\beta}} = m^2{}_{\alpha_{1\beta}} + \left(2 - 2\frac{R_1' + R_2'}{c}\right) m^2{}_\beta . \tag{3.2.105}$$

ნებისმიერი i-ური გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომა კი იქნება

$$m^2{}_{\alpha i_\beta} = m^2{}_{\alpha_{1\beta}} + \left[(i-1) - 2\frac{R_1' + R_2' + \cdots R'_{i-1}}{c}\right] m^2{}_\beta . \tag{3.2.106}$$

(104) და (105) ფორმულებს შეიძლება მივცეთ გამოსათვლელად უფრო მოხერხებული სახე. ამისათვის m_{α_2}-ის გამოსახულება გადავწეროთ შემდეგნაირად:

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2}[(R_1')^2 + (R_2')^2 + \cdots + (R'_{n-1})^2] + m^2{}_\beta \left(1 - \frac{2R'_1}{c}\right),$$

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2}[(R_1')^2 + (R_2')^2 + \cdots + (R'_{n-1})^2] + m^2{}_\beta \left(\frac{c^2 - 2R_1'c}{c^2}\right),$$

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2}[(R'_1)^2 + (R_2')^2 + \cdots + (R'_{n-1})^2 + c^2 - 2R_1'c].$$

რადგან $c^2 - 2R_1'c + (R_1')^2 = (c - R_1')^2$, ამიტომ

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2}[(c - R_1')^2 + (R_2')^2 + \cdots + (R'_{n-1})^2],$$

ანუ

$$m^2{}_{\alpha_{2\beta}} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2}[(R_A')^2 + \sum_2^{n-1} (R_B')^2]. \tag{3.2.107}$$

ანალოგიურად, (105) და (106) ფორმულები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$m\alpha_{3\beta} = \frac{m^2\beta}{c^2}\left[\sum_1^2 (R_A')^2 + \sum_3^{n-1} (R'_B)^2\right], \tag{3.2.108}$$

$$m^2\alpha i_\beta = \frac{m^2\beta}{c^2}\left[\sum_1^{i-1} (R_A')^2 + \sum_i^{n-1} (R_B')^2\right]. \tag{3.2.109}$$

(109) ფორმულას ზოგჯერ წერენ შემდეგი სახით:

$$m^2\alpha_{i\beta} = \frac{m^2{}_\beta}{c^2} \sum_{i=1}^{i=n-1} \left(R'_{A,B}\right)^2, \tag{3.2.110}$$

სადაც R_A', R_B' პოლიგონის 1, 2, 3, ... ,$(i-1)$ წერტილებიდან, შესაბამისად, A და B შვეულებამდის მანძილების პროექციებია AB ხაზზე.

b) m_{α_l}-ის განსაზღვრა. მიწისქვეშა დამაკავშირებელი პოლიგონის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხის საძიებელი საშუალო კვადრატული შეცდომა გამოისახება შემდეგი ზოგადი ფორმულით:

$$m^2{}_{\alpha_l} = \left(\frac{\partial \alpha}{\partial l_1}\right)^2 m^2{}_{l_1} + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial l_2}\right)^2 m^2{}_{l_2} + \cdots + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial l_n}\right)^2 m_{i_n}. \tag{3.2.111}$$

აგრეთვე

$$\alpha = (AB) + \alpha' - (AB)',$$

ხოლო

$$\frac{\partial \alpha}{\partial l} = \frac{\partial (AB)}{\partial l} + \frac{\partial \alpha'}{\partial l} - \frac{\partial (AB)'}{\partial l}.$$

მაგრამ

$$\frac{\partial (AB)}{\partial l} = \frac{\partial \alpha'}{\partial l} = 0;$$

ამიტომ

$$\frac{\partial \alpha}{\partial l} = -\frac{\partial (AB)'}{\partial l}. \tag{3.2.112}$$

$(AB)'$ გამოითვლება ფორმულით

$$\operatorname{tg}(AB)' = \frac{y_B'}{x_B'},$$

ამ ფუნქციისათვის ჩვენ გექონდა მიღებული (იხ. (98) ფორმულა)

$$cd(AB)' = dy_B' \cdot \cos(AB)' - dx'_B \cdot \sin(AB)'.$$

თუ გადავალთ კერძო წარმოებულზე l-ით მივიღებთ

$$c\,\frac{\partial(AB)'}{\partial l}=\frac{\partial y_B'}{\partial l}\cos(AB)'-\frac{\partial x_B'}{\partial l}\sin(AB)',$$

სადაც

$$y_B'=l_1\sin\alpha_1'+l_2\sin\alpha_2'+\cdots+l_n\sin\alpha_n',$$

$$x_B'=l_1\cos\alpha_1'+l_2\cos\alpha_2'+\cdots+l_n\cos\alpha_n',$$

ხოლო

$$\frac{\partial y_B'}{\partial l_1}=\sin\alpha_1';\qquad \frac{\partial y_B'}{\partial l_2}=\sin\alpha_2'\qquad \text{და ა.შ.}$$

$$\frac{\partial x_B'}{l_1}=\cos\alpha_1';\qquad \frac{\partial x_B'}{\partial l_2}=\cos\alpha_2'\qquad \text{და ა.შ.}$$

ანუ ზოგადად

$$\frac{\partial y_B'}{\partial l}=\sin\alpha';\qquad \frac{\partial x_B'}{\partial l}=\cos\alpha'.$$

მაშასადამე,

$$\frac{\partial(AB)'}{\partial l}=\frac{1}{c}\left[\sin\alpha'\cos(AB)'-\cos\alpha'\sin(AB)'\right],$$

ანუ

$$\frac{\partial(AB)'}{\partial l}=\frac{1}{c}\sin[\alpha'-(AB)']=\frac{\sin\delta}{c},\qquad (3.2.113)$$

სადაც

$$\delta=\alpha'-(AB)'.\qquad (3.2.114)$$

თუ წარმოებულების მოძებნილ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (111) ფორმულაში მივიღებთ

$$m^2{}_{\alpha_l}=\frac{\rho^2}{c^2}\sum_{i=1}^{i=n}\sin^2\delta_i m^2{}_{l_i}.\qquad (3.2.115)$$

(115) ფორმულა მართებულია ნებისმიერი გვერდისათვის.

დირექციული კუთხის m_{α_l} შეცდომაზე გავლენას ახდენს მხოლოდ მანძილების გაზომვის შემთხვევითი შეცდომები, რომლებიც გამოისახება (5.4.26) ფორმულით

$$m_{l_i}=\mu\sqrt{l_i},$$

სადაც μ შემთხვევითი გავლენის კოეფიციენტია. თუ (115) ფორმულაში შევიტანთ m_{l_i}-ს მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$m^2{}_{\alpha_l}=\frac{\rho^2\mu^2}{c^2}\sum_1^n l_i\sin^2\delta_i.\qquad (3.2.116)$$

ამრიგად, მიწისქვეშა პოლიგონის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა, გამოწვეული კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის შეცდომებით, იქნება

$$m^2{}_{\alpha(\beta,l)}=m^2{}_{\alpha_\beta}+m^2{}_{\alpha_l}=\frac{m^2{}_\beta}{c^2}\sum_1^{n-1}(R'_{A,B})^2+\frac{\rho^2\mu^2}{c^2}\sum_1^n l_i\sin^2\delta_i.\qquad (3.2.117)$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ $m_{\alpha(\beta,l)}$ შეცდომა არსებითად დამოკიდებულია დამაკავშირებელი პოლიგონის ფორმაზე. წაგრძელებული ფორმის პოლიგონების შემთხვევაში შეიძლება (117) ფორმულის გამარტივება.

გავარჩიოთ გაჭიმული, დაახლოებით ტოლგვერდებიანი პოლიგონის მაგალითი, რომელშიაც

$$l_1=l_2=\cdots=l_n=l,$$

$$\beta_1=\beta_2=\cdots=\beta_{n-1}\cong 180^\circ.$$

თუ შემაერთებელი პოლიგონი გაჭიმულია AB-ს მიმართულებით, მაშინ $\delta=0$ და m_{α_l} საშუალო კვადრატული შეცდომა ნულის ტოლი იქნება. მაშასადამე, ორიენტირების დროს უაღრესად ხელსაყრელია ასეთი ფორმის პოლიგონი, რადგან ასეთ შემთხვევაში გვერდების გაზომვის შეცდომები გავლენას არ ახდენს ორიენტირების სიზუსტეზე, ე.ი.

$$m^2{}_{\alpha_1(\beta,l)}=m^2{}_{\alpha_1\beta}=\frac{m^2_\beta}{c^2}\sum_1^{n-1}(R_i')^2,\qquad (3.2.118)$$

გაჭიმულ, ტოლგვერდებიან პოლიგონში:

$$c=n\cdot l,$$

$$R_1'=(n-1)l.$$

$$R_2'=(n-2)l,$$

$$\cdots\cdots$$

$$R'_{n-1}=l.$$

მაშასადამე, პირველი გვერდის დირექციული კუთხის საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$m^2{}_{\alpha_1\beta}=\frac{m^2{}_\beta}{n^2l^2}\left[(n-1)^2l^2+(n-2)^2l^2+\cdots+l^2\right],$$

$$m^2{}_{\alpha_1\beta}=m^2{}_\beta\,\frac{(n-1)(2n-1)}{6n}.\qquad (3.2.119)$$

ანალოგიურად, (104) ფორმულის თანახმად, მეორე გვერდის დირექციული კუთხის საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$m^2{}_{\alpha_2\beta}=m^2{}_{\alpha_1\beta}-\frac{n-2}{n}m^2{}_\beta.\qquad (3.2.120)$$

უკანასკნელი გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომა, რომლისთვისაც $i=n$,

$$m^2{}_{\alpha_n\beta}=m^2{}_{\alpha_1\beta}+m^2{}_\beta\left[(n-1)-2\frac{R_1'+R_2'+\cdots+R'_{n-1}}{nl}\right],$$

მაგრამ

$$R_1'+R_2'+\cdots+R'_{n-1}=(n-1)l+(n-2)l+\cdots+l=l[1+2+\cdots+(n-1)]=$$

$$=l\,\frac{n(n-1)}{2},$$

ე.ი.

$$m^2\alpha_{n\beta} = m_{\alpha_{1\beta}} + [(n-1) - 2\frac{n(n-1)l}{2nl}]m^2_\beta,$$

ანუ

$$m_{\alpha_{1\beta}} = m_{\alpha_{n\beta}}. \qquad (3.2.121)$$

ე.ი. ტოლგვერდებიანი გაჭიმული პოლიგონის პირველი გვერდის დირექციული კუთხის საშუალო კვადრატული შეცდომა უკანასკნელი გვერდის შეცდომის ტოლია. მაგალითისათვის დავუშვათ, რომ გაჭიმულ პოლიგონს აქვს ერთმანეთის ტოლი 5 გვერდი, მაშინ

$$m^2\alpha_{1\beta} = m^2_\beta + \frac{(n-1)(2n-1)}{6n} = \frac{6}{5}m^2_\beta,$$

$$m^2\alpha_{2\beta} = m^2_\beta - \frac{n-2}{n}m^2_\beta = \frac{3}{5}m^2_\beta,$$

$$m^2\alpha_{3\beta} = m^2_\beta - \frac{2(n-3)}{n}m^2_\beta = \frac{2}{5}m^2_\beta,$$

$$m^2\alpha_{4\beta} = m^2_\beta - \frac{3(n-4)}{n}m^2_\beta = \frac{3}{5}m^2_\beta,$$

$$m^2\alpha_{5\beta} = m^2_\beta - \frac{4(n-4)}{n}m^2_\beta = \frac{6}{5}m^2_\beta.$$

მაშასადამე, ტოლგვერდებიან გაჭიმულ პოლიგონში საწყისიდან და ბოლოდან თანაბრად დაშორებული გვერდების დირექციული კუთხეების საშუალო კვადრატული შეცდომები ერთმანეთის ტოლია.

c და *c'* მანძილებს შორის დასაშვები სხვაობის შესახებ. ორი ჰაურით ორიენტირების დროს შვეულებს შორის *c* მანძილი გამოითვლება ორჯერ შვეულების ჰემშარიტი და პირობითი კოორდინატების საშუალებით, დავუშვათ, რომ ზედაპირზე შვეულებს შორის მანძილი განსაზღვრულია უშეცდომოთ. ასეთი დაშვება შესაძლებელია, რადგან ზედაპირული აგეგმვები გაცილებით უკეთეს პირობებში და მეტი სიზუსტით წარმოებს, ვიდრე მიწისქვეშ. მიწისქვეშ შვეულების დამაკავშირებელი თეოდოლიტური სვლა ჩავთვალოთ თავისუფალ სვლად და განვსაზღვროთ *B* შვეულის მდებარეობის შეცდომა *AB*-ს მიმართულებით. ამ შემთხვევაში (5.7.19) ფორმულების მიხედვით დავწერთ

$$m_o = \sqrt{\frac{m^2_\beta}{\rho^2}\sum_{i=1}^{i=n}(R_i')^2 + \mu^2\sum_{i=1}^{i=n}l_i\cos^2\delta_i + \lambda^2c^2},$$

სადაც m_β არის კუთხეების გაზომვის შეცდომები;

R_i' — მიწისქვეშა თეოდოლიტური სვლის წერტილებიდან *B* შვეულამდე მანძილების პროექციები *AB*-ს მართობულ მიმართულებაზე;

δ_i — კუთხე *AB* მიმართულებასა და პოლიგონის გვერდებს შორის;

c — მანძილი შვეულებს შორის.

ზღვრულ შეცდომას თუ $2m_\beta$-ის ტოლს ავიღებთ და მხედველობაში მივიღებთ შვეულების სიღრმეში მიახლოებას, *c* და *c'*-ს შორის დასაშვები სხვაობა იქნება

$$f_c \leqslant 2\sqrt{\frac{m^2_\beta}{\rho^2}\sum_{i=1}^{i=n}(R_i')^2 + \mu^2\sum_{i=1}^{i=n}l_i\cos^2\delta_i + \lambda^2c^2} + \frac{H}{R}c. \qquad (3.2.122)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ უკანასკნელი ფორმულა მთელი სისრულით ვერ აკონტროლებს მიწისქვეშა დამაკავშირებელი პოლიგონომეტრიული სვლის ელემენტების გაზომვის სისწორეს. გაჭიმული პოლიგონის შემთხვევაში იგი გამოდგება მხოლოდ მისი გვერდების გაზომვის სისწორის შესამოწმებლად.

ორი ჰაურით ორიენტირების ამოცანის ამოხსნა სპეციალური ფორმულარის მიხედვით ხდება, რომლის ნიმუში მარკშეიდერულ ინსტრუქციაშია მოცემული [49].

3.3. მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირების ფიზიკური მეთოდები

მიწისქვეშა ორიენტირების ზემოთ განხილული გეომეტრიული მეთოდები სათანადო სიზუსტით ხასიათდება, მაგრამ აქვთ არსებითი ნაკლი: მათი განხორციელებისათვის საჭიროა ჰაურში ხანგრძლივი დროით (განსაკუთრებით ერთი ჰაურის შემთხვევაში) აწევის შეჩერება, თანაც არახელსაყრელ გარემო პირობებში მიმხრობისა და დაგეგმილების ამოცანების გადასაწყვეტად საკმაოდ რთული და შრომატევადია გაზომვები.

ამ გარემოებამ მკვლევართა ყურადღება ორიენტირების ისეთი ფიზიკური მეთოდების დამუშავებაზე გაამახვილა, რომლის დროსაც საჭირო აღარ არის შვეულების გამოყენება დაგეგმილების ამოცანის გადასაწყვეტად.

ბუნების ფიზიკური მოვლენებიდან ამჟამად ორიენტირების მიზნებისათვის გამოიყენება მაგნიტური ისრის თვისება დადგეს მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყეში ან გიროსკოპის ბრუნვის ღერძის თვისება დედამიწის მოძრაობის გავლენით დადგეს გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყეში. ამის შესაბამისად არჩევენ მაგნიტურ და გიროსკოპულ ორიენტირებას. მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირების ფიზიკურ მეთოდებს მიეკუთვნება აგრეთვე ოპტიკური ორიენტირება./

A. მაგნიტური ორიენტირება

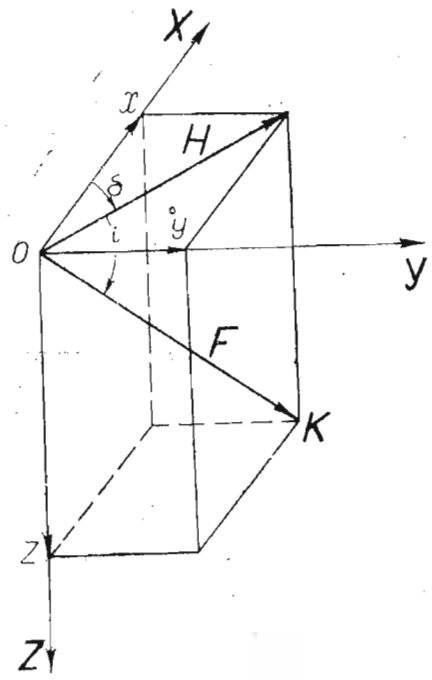
მაგნიტური გაგნება დამყარებულია მაგნიტური ისრის თვისებაზე. სანამ გავარჩევდეთ მაგნიტური ორიენტირების არსსა და მისი განხორციელების მეთოდებს, მოკლედ შევეხოთ დედამიწის მაგნიტური ველის თვისებებს.

ზოგადი ცნობები დედამიწის მაგნეტიზმის შესახებ. დედამიწა გარემომცველ სივრცეში ქმნის მაგნიტურ ველს. ამ ველის არსებობა ყველაზე უფრო მჟღავნდება მისი მოქმედებით მაგნიტურ ისარზე. მაგნიტური ველი ყოველ წერტილში დაძაბულობითა და მიმართულებით ხასიათდება.

მაგნიტური ველის დაძაბულობა იმ ძალას ეწოდება, რომელიც ველის მოცემულ წერტილში მაგნიტური მასის დადებით ერთეულზე მოქმედებს. იგი,

როგორც ძალა, ვექტორული სიდიდეა, ამიტომ მისი განსაზღვრისათვის საჭიროა ამ ვექტორის ოდენობისა და მიმართულების ცოდნა.

წარმოვიდგინოთ მაგნიტური ისარი მისი სიმძიმის O ცენტრით დაკიდებული წვრილ ძაფზე ან მოთავსებული ვერტიკალურად ამართულ ლითონის წვეტზე (ნახ.1). ასეთ პირობებში იგი გაჩერდება სივრცეში გარკვეული OK მიმართულებით. O წერტილი მივიღოთ კოორდინატთა სათავედ, OX ღერძი მივმართოთ ასტრონომიული მერიდიანის მიმართულებით, OY—მის მართობულად, ხოლო OZ კი—ვერტიკალურად ქვევით. ვერტიკალურ სიბრტყეს რომელშიც დგება სიმძიმის ცენტრით დაკიდებული მაგნიტური ისარი, ეწოდება მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყე. იგი არ ემთხვევა ასტრონომიულ მერიდიანის სიბრტყეს და ქმნის მასთან განსაზღვრულ δ კუთხეს, რომელსაც მაგნიტური მიხრილობა ეწოდება. მიხრილობა სხვადასხვა სიდიდისაა დედამიწის სხვადასხვა წერტილში. იმისდა მიხედვით, თუ ასტრონომიული მერიდიანიდან საითკენაა გადახრილი მაგნიტური ისრის ჩრდილოეთი ბოლო—აღმოსავლეთისაკენ თუ დასავლეთისაკენ მიხრილობა არის აღმოსავლური, ანუ დადებითი, და დასავლური, ანუ უარყოფითი.



ნახ. 3.3.1.

მაგნიტურ ისარს, გარდა მიხრილობისა, ახასიათებს კიდევ ე.წ. დახრილობაც. კუთხეს, რომელსაც ქმნის მაგნიტური ისრის ღერძი ჰორიზონტულ სიბრტყესთან, მაგნიტური დახრილობა ეწოდება. იგი აღინიშნება i ასოთი და აითვლება ჰორიზონტული სიბრტყიდან ორივე მიმართულებით 0°-დან 90°-მდე. როდესაც ისრის ჩრდილოეთი ბოლო მიმართულია ჰორიზონტული სიბრტყიდან ქვევით — დახრილობა ითვლება დადებითად, წინააღმდეგ შემთხვევაში—უარყოფითად.

მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყეში მდებარე OK ვექტორი შეიძლება დავშალოთ H და z მდგენელებად, რომლებიც ავრეთვე მერიდიანის სიბრტყეში მდებარეობენ.
ნახაზიდან გვაქვს:

$$\left.\begin{aligned} H &= F\cos i,\\ z &= F\sin i\\ H &= z\,\mathrm{ctg}\,i. \end{aligned}\right\} \qquad (3.3.1)$$

ჰორიზონტული H მდგენელი, თავის მხრივ, შეიძლება დავშალოთ x და y მიმართულებებით ორ მდგენელად:

$$\left.\begin{aligned} x &= H\cos\delta;\\ y &= H\sin\delta. \end{aligned}\right\} \qquad (3.3.2)$$

მაშასადამე, დედამიწის რომელიმე O წერტილში მაგნიტური ველის დაძაბულობის განსაზღვრისათვის საკმარისია H, δ და i სიდიდეების განსაზღვრა. ამ სამი ელემენტიდან პრაქტიკულ საქმიანობაში მარკშეიდერს საქმე აქვს მხოლოდ δ მიხრილობასთან.

დედამიწის მაგნიტური ველის H, δ და i ელემენტები ცვალებადია როგორც სივრცეში, ისე დროში. ამ ელემენტების ცვალებადობის შესწავლის მიზნით მათ განსაზღვრავენ დედამიწის ზედაპირის მრავალ წერტილში, რის საფუძველზეც ადგენენ მაგნიტურ რუკებს.

არჩევენ იზოგონების, იზოკლინებისა და იზოდინების მაგნიტურ რუკებს.

იზოგონური რუკების მისაღებად ერთმანეთთან აერთებენ ყველა წერტილს, რომელთაც აქვთ ერთნაირი მიხრილობა. მიღებულ მრუდებს იზოგონურ ხაზებს ანუ იზოგონებს უწოდებენ. იზოგონურ ხაზებს, რომელნიც ისეთ წერტილებს აერთებენ, სადაც $\delta = 0$, აგონური ხაზები ეწოდება.

იზოკლინური რუკების მისაღებად ერთმანეთთან აერთებენ დედამიწის ზედაპირის ისეთ წერტილებს, რომლებისთვისაც მაგნიტური ისრის დახრილობის i კუთხე ერთნაირია. ისეთი წერტილების შემაერთებელ ხაზებს, სადაც $i=0$, აკლინიკური ხაზი ანუ მაგნიტური ეკვატორი ეწოდება.

იზოგონებისა და იზოკლინების რუკების ანალოგიურად შეიძლება აიგოს აგრეთვე ვერტიკალური და ჰორიზონტული მდგენელების იზოხაზების რუკები, რომლებსაც ამავე მდგენელების იზოდინებს უწოდებენ.

მაგნიტური რუკების მოხმარების დროს აუცილებელია მიღებულ იქნეს მხედველობაში დრო („ეპოქა"), რომელსაც იგი მიეკუთვნება.

იმისდა მიხედვით, თუ რა ფართობს მოიცავს მაგნიტური რუკა, არჩევენ: მსოფლიო, რეგიონალურ და ცალკეულ სამრეწველო რაიონების მაგნიტურ რუკებს.

მსოფლიოს მაგნიტურ რუკებზე გამოისახება გეომაგნეტიზმის ელემენტები დედამიწის მთელი ზედაპირისათვის. რეგიონალური მაგნიტური რუკები დგება დედამიწის ცალკეული ოლქისათვის. ცალკეული სამრეწველო რაიონების მაგნიტურ რუკებს უმეტესად ადგენენ მარგი წიაღისეულის საბადოების გეოფიზიკური მეთოდებით ძიების დროს ან რაიონის ტექტონიკური სტრუქტურის შესწავლისას.

არჩევენ დედამიწის მაგნიტური ველის ელემენტების ცვალებადობის (ვარიაციის) სამ სახეს: საუკუნეობრივს, დღეღამურსა და მაგნიტურ ქარიშხალს.

მაგნიტური ველის საუკუნეობრივი ცვლილებების დასადგენად საჭიროა დედამიწის ერთი და იმავე წერტილისათვის გეომაგნიტური ელემენტების საშუალო წლიური მნიშვნელობების ურთიერთშედარება. ასეთი გზით დადგენილია, რომ მიხრილობის საუკუნეობრივი ცვლილება მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს. მაგალითად, დაახლოებით 400 წლის დაკვირვებებით აღმოჩენილია, რომ მიხრილობის ცვალებადობის ამპლიტუდა ლონდონში უდრის 36°, ბარიზში—32°.

დედამიწის მაგნიტური ველის დღეღამური ცვალებადობის (ვარიაციის) შესწავლას აწარმოებენ მაგნიტურ ობსერვატორიებში სპეციალური მოწყობილობის—ვარიომეტრის საშუალებით. მიხრილობის ღღეღამური ვარიაციის ამპლიტუდა საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე უმეტესად 10′—12′-ის ფარ-

გლებშია, ზოგჯერ 20′-საც აღწევს. ეს ცვლილება მატულობს განედთან ერთად. იგი ზაფხულობით მეტია, ვიდრე ზამთრობით; დღისით მეტია, ვიდრე ღამით.

დაკვირვებით დადგენილია, რომ მიხრილობის დღეღამური ცვლილების ხასიათი და ოდენობა რჩება უცვლელი ვრცელ ტერიტორიაზე 300—400 კმ რადიუსით.

მაგნიტური შეშფოთება, ანუ ქარიშხალი, ხასიათდება ისრის უეცარი და საგრძნობი გადახრით ნორმალური დღეღამური ვარიაციიდან. ისრის ასეთი შეშფოთება მოიცავს ხოლმე ერთდროულად დიდ სივრცეს, ზოგჯერ მთელ დედამიწას. დადგენილია მაგნიტური ქარიშხლის კავშირი პოლარულ ციალთან, ქარიშხალთან, მიწისძვრებთან, ვულკანურ ამოფრქვევასთან და მზის ლაქების გაჩენასთან. შემჩნეულია, რომ მზის ლაქების უხვად გაჩენისას, ე. ი. ყოველ 11 წელიწადში, მაგნიტური ქარიშხლები განსაკუთრებით ხშირი და მძლავრია.

მაგნიტური მიხრილობის ცვალებადობა შეიძლება გამოწვეული იყოს მიწის წიაღში არსებული მაგნიტური მასების მოქმედებით. შიხრილობის ასეთ ცვალებადობას მაგნიტური ანომალიებს უწოდებენ. მათ შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რადგან ისინი დაკავშირებული არიან დედამიწის ქერქის აგებულებასთან, მარგი წიაღისეულის ბუდობებთან და სხვ. ამ მხრივ ყველაზე საინტერესოა კურსკის მაგნიტური ანომალია, რომელიც რამდენიმე ასეულ კმ-ზე ვრცელდება.

მაგნიტური ნიხრილობის ცვალებადობას იწვევს აგრეთვე ადგილობრივი მიზეზები: ინსტრუმენტთან მაგნიტური მადნებისა და ქანების სიახლოვე, მაგნიტური მასები, ელექტროგაყვანილობის ქსელი და ა.შ.

მაგნიტური მადნებისა და ქანების გავლენა მიხრილობაზე დიდი ხანია ცნობილია. განსაკუთრებით ძლიერ გავლენას ახდენს ისარზე მაგნეტიტი და მისი შემცველი ქანები. შედარებით ნაკლებს, მაგრამ მაინც საგრძნობ გავლენას ახდენს ისარზე თითქმის ყველა ამონთხეული ქანი. ამიტომ მარკშეიდერმა უნდა შეისწავლოს თავის სამუშაოს ტერიტორიაზე გეომაგნიტური ელემენტების განაწილება, რისთვისაც სასურველია ტერიტორიის მთლიანი მაგნიტური აგეგმვა.

მიხრილობაზე მაგნიტური მასების გავლენის სიდიდე დამოკიდებულია მანძილზე—დაკვირვების წერტილიდან მაგნიტურ მასამდე, მასის მაგნიტურ თვისებებზე, ფორმაზე, ზომასა და ისრის მიმართ მის მდებარეობაზე. რადგანაც მაგნიტური მასის მოქმედება მაგნიტურ ისარზე უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა, ამიტომ დაკვირვებები შეიძლება მაგნიტური მასიდან ისეთ მანძილზე, სადაც მათი გავლენა უმნიშვნელო იქნება.

ცდებით დადგენილია, რომ მაგნიტურ ისარზე გავლენას ახდენს მხოლოდ მუდმივი დენი, თანაც მისი გავლენა სწრაფად მცირდება გამტარიდან დაკვირვების წერტილის დაშორებასთან ერთად.

მაგნიტური ორიენტირების არსი. მაგნიტური ორიენტირების ზოგადი სქემა ასეთია:

ზედაპირზე, ჰაურის პირის მახლობლად, ირჩევენ CD მიმართულებას, რომლის დირექციული კუთხე არის ცნობილი ან ადვილად შეიძლება განისაზღვროს არსებული საყრდენი გეოდეზიური პუნქტებიდან. მაგნიტური მასებისაგან თავისუფალ სამთო გვირაბში ირჩევენ მეორე C_1D_1 მიმართულებას,

რომელიც შემდგომში ადვილად შეიძლება ჩართულ იქნეს მიწისქვეშა აგეგმვის ძირითად ქსელში. მაგნიტური ინსტრუმენტით (მაგ., სარკიანი ბუსოლით) განსაზღვრავენ CD და C_1D_1 მიმართულებათა $(CD)_a$ და $(C_1D_1)_a$ მაგნიტურ აზიმუტებს (ნახ.2). გამოთვლიან მიწისქვეშა C_1D_1 ხაზის დირექციულ კუთხეს ფორმულით

$$(C_1D_1) = (C_1D_1)_a + \delta + \Delta\delta + \Delta\gamma, \qquad (3.3.3)$$

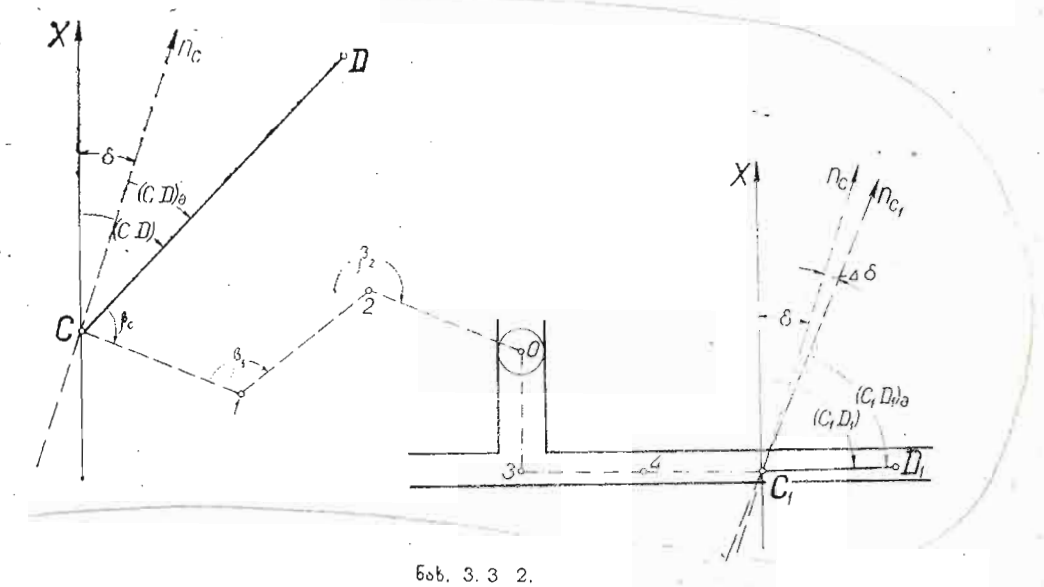
სადაც δ არის მაგნიტური ისრის მიხრილობა,

$$\delta = (CD) - (CD)_a\ ; \qquad (3.3.4)$$

$\Delta\delta$ — შესწორება მაგნიტური მერიდიანის მიმართულების ვარიაციისა ზედაპირის C პუნქტიდან წიაღის C_1 პუნქტზე გადასვლის დროს;

$\Delta\gamma$ — შესწორება C და C_1 წერტილების მერიდიანების შეახლოებისათვის.

C_1 და D_1 წერტილების x,y კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით ჰაურში უშვებენ ერთ O შვეულს. ზედაპირზე ჩვეულებრივი წესით, მაგალითად,



ნახ. 3.3 2.

C—1—2—O პოლიგონური სვლით, განსაზღვრავენ O შვეულის კოორდინატებს. მიწისქვეშ O შვეულს 0—3—4—C_1—D_1 პოლიგონურ სვლით დააკავშირებენ C_1D_1 ხაზთან. ამის შემდეგ C_1 და D_1 წერტილების კოორდინატების გამოთვლა წარმოებს ჩვეულებრივი ფორმულებით.

მაგნიტური გაგნების განხილული სქემიდან ჩანს მისი შემდეგი უპირატესობა: 1) მიმართულების გადაცემა ხდება დაგეგმილების ამოცანის გადაწყვეტის გარეშე; 2) მისი განხორციელებისათვის არ არის საჭირო ჰაურში აწევის დიდი ხნით შეჩერება.

ამ მეთოდს არსებითი ნაკლიც აქვს, კერძოდ, ის, რომ ჯერ კიდევ სრულყოფილად არ არის შესწავლილი, საზოგადოდ, მაგნიტური მოვლენების ბუნება და ამიტომ ძნელია მიწისქვეშა დაკვირვების დროს მაგნიტური ანომალიებისაგან თავისუფალი ადგილის შერჩევა.

მაგნიტური ორიენტირების ზოგადი სქემის განხორციელებისას საჭიროა შემდეგი ძირითადი პირობების დაცვა:

1) ზედაპირული და მიწისქვეშა დაკვირვებები უნდა შესრულდეს იარაღების ერთი და იმავე კომპლექტით (ბუსოლი, თეოდოლიტი, შტატივი);

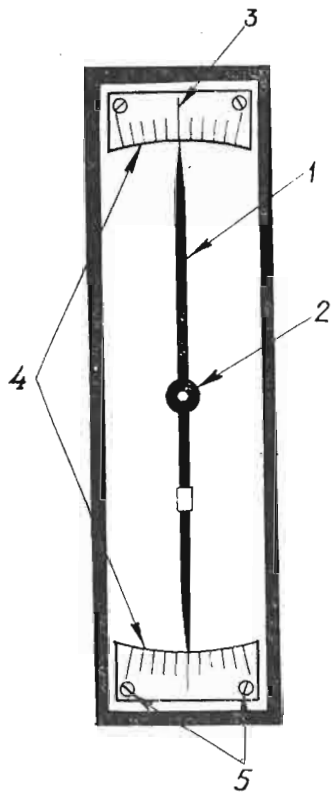
2) საჭიროა გაზომვების შესრულება დროის უმოკლეს შუალედში და

დაკვირვებათა წარმოება მაგნიტური მიხრილობის ვარიაციაზე, თუ 500-მდე კმ მანძილზე არაა მოქმედი მაგნიტური ობსერვატორია აბსოლუტური და სავარიაციო პავილიონებით;

3) $(CD)_3$ და $(C_1D_1)_3$ მაგნიტურ აზიმუტებში უნდა შეტანილ იქნეს შესწორება მიხრილობის ცვლილებაზე, რისთვისაც განაზომები დაყვანილი უნდა იქნეს დროის ერთ მომენტამდე;

4) CD და C_1D_1 მიმართულებები არჩეული უნდა იყოს იმ ვარაუდით, რომ მათი პროექციები ჰორიზონტულ სიბრტყეზე ერთმანეთთან ახლოს მდებარეობდეს.

ზედაპირზე არჩეული CD მიმართულება სასურველია იყოს ტრიანგულაციის ან ზუსტი პოლიგონომეტრიის გვერდი. ტრიანგულაციის შერჩეული გვერდის გასწვრივ მაგრდება ორი პუნქტი: ერთი არანაკლებ 15—20 მეტრზე პირამიდიდან (თუ ის ლითონისაა), მეორე კი—200—300 მეტრზე პირველიდან, თანაც მათგან 200—300 მ რადიუსით არ უნდა მდებარეობდეს მსხვილი მაგნიტური მასები (შახტზედა ნაგებობანი, რკინიგზის ხაზები, წყალსადენი, მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზები და სხვა). CD გვერდის მაგნიტური აზიმუტი ისაზღვრება ორჯერ (იხ. ქვემოთ) მის გასწვრივ დამაგრებულ პუნქტებზე. მეორე განსაზღვრა წარმოებს კონტროლის მიზნით, აგრეთვე მაგნიტური მასების შესაძლო გავლენის გამოსამჟღავნებლად. სხვაობა ერთი და იმავე მიმართულების ორ პუნქტზე განსაზღვრული მაგნიტური აზიმუტების საშუალო მნიშვნელობათა შორის არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 2'$-ს.



ნახ. 3.3.3. საორიენტირო (გამგნე) ბუსოლი: 1—მაგნიტური ისარი; 2—აქატის საქუსლე; 3—ინდექსი; 4—სკალა; 5—შემასწორებელი ხრახნები

მიწისქვეშ C_1D_1 მიმართულების არჩევის დროს უნდა შესრულდეს შემდეგი მოთხოვნები:

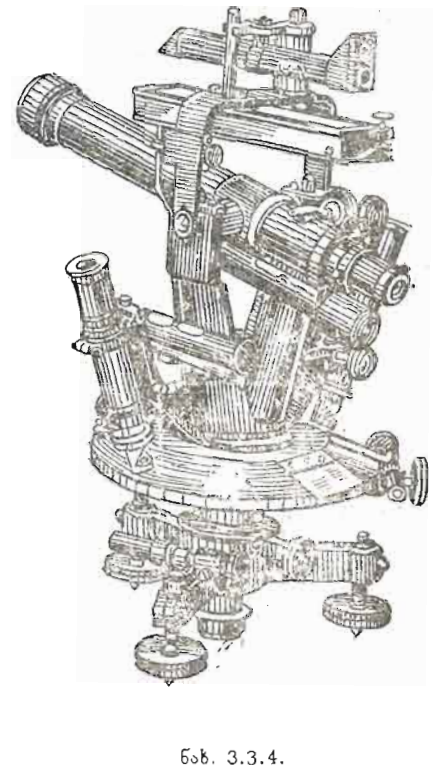
1) არჩეულ გვერდს შეძლებისამებრ დიდი სიგრძე უნდა ჰქონდეს;

2) მისი ბოლო წერტილიდან 25—30 მ მანძილზე არ უნდა იმყოფებოდეს არავითარი რკინის საგნები.

C_1D_1 მიმართულების შერჩევისა და დამაგრების შემდეგ ზომავენ მის პირდაპირ და შებრუნებულ აზიმუტებს, რისთვისაც მაგნიტური ისარაღებით დგებიან ჯერ C_1 პუნქტზე, შემდეგ D_1-ზე. სხვაობა ორ განაზომს შორის არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 2'$-ს.

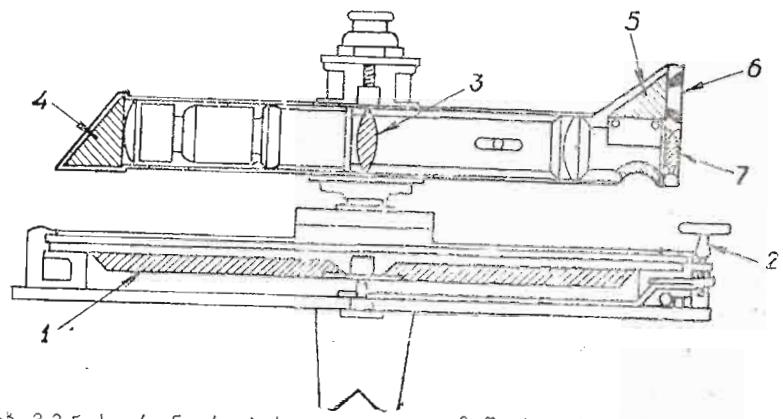
იარაღები მაგნიტური ორიენტირებისათვის. მაგნიტური ორიენტირების დროს მაგნიტური აზიმუტების განსაზღვრისათვის გამოიყენება საორიენტირო ან სარკიანი ბუსოლი, ხოლო მიხრილობის ვარიაციაზე დაკვირვებისათვის—ძაფიანი დეკლინატორი.

საორიენტირო ბუსოლი (ნახ.3) წარმოადგენს თითბრის მოგრძო კოლოფს და იდგმება თეოდოლიტის ჭოგრის ბრუნვის ღერძზე (ნახ.4). მაგნიტურ ისრად გამოყენებულია ძლიერ დამაგნიტებული ფოლადის თხელი ფირფიტა. ისრის სიგრძე 10—15 სმ-ია. მის შუაგულში ჩასმულია თითბრის ქუდი, რომლითაც იგი ჩამოეცმება ხოლმე კოლოფის ფსკერის ცენტრში შვეულად აღმართული ნაწრთობი ფოლადის ნემსის წვეტზე. კოლოფის მოპირდაპირე ბოლოებზე მოთავსებულია ორი სეგმენტი. მათზე გაკეთებულია კოლოფის სიმეტრიის ღერძის შესაბამისი კვესურები, რომლებსაც უთავსებენ მაგნიტური ისრის ბოლოებს აზიმუტების გაზომვის დროს. ისრის ბოლოების სეგმენტის კვესურებთან ზუსტი შეთავსების მიღწევის მიზნით კოლოფის ორივე ბოლოზე ინდექსების პირდაპირ დამაგრებულია ლუპები ან მიკროსკოპი. ზოგჯერ ხელსაწყო აღჭურვილია დამატებითი ჰოგრით, რომელსაც აქვს ორი პრიზმა. ამ მოწყობილობის დეტალები ნაჩვენებია მე-5 ნახაზზე.



ნახ. 3.3.4.

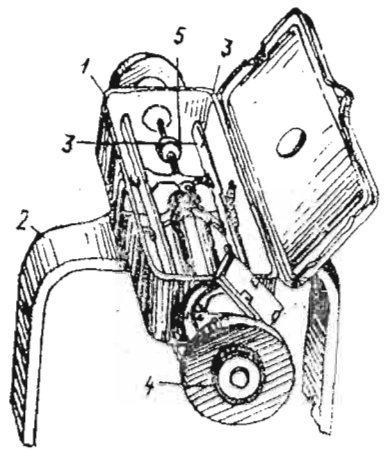
სარკიანი ბუსოლი (ნახ.6) შედგება თითბრის მოგრძო კოლოფისაგან 1, რომლის შიგნით მოთავსებულია მაგნიტური სისტემა 3 საპირწონით 5. კოლოფი სადგარის 2 საშუალებით იდგმება თეოდოლიტის ჭოგრის ბრუნვის ღერძზე. კოლოფის წინა გვერდზე ჩასმულია პატარა სამზერი მილაკი 4. ბუსოლის მაგნიტური სისტემისა და სამზერი მილაკის დეტალები



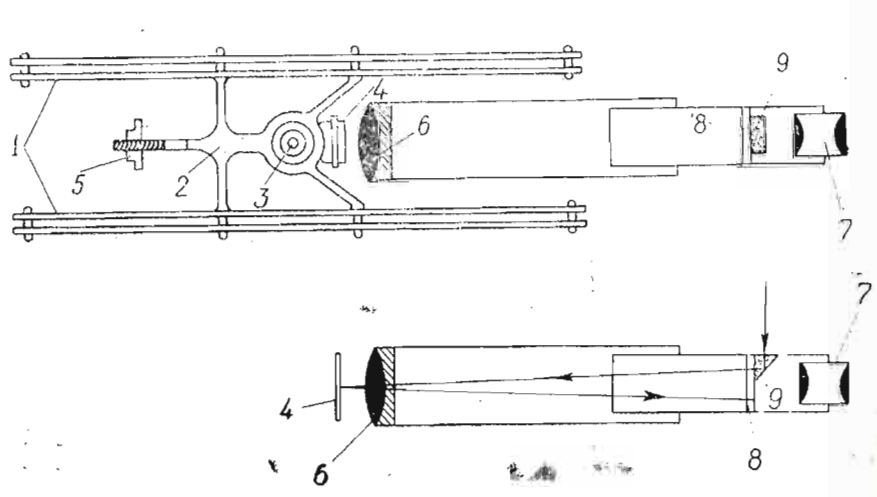
ნახ. 3.3.5. საორიენტირო ბუსოლი ოპტიკური მოწყობილობით: 1—მაგნიტური ისარი; 2—არეტირი; 3—ლინზა; 4—სამხრეთის ბოლოს პრიზმა; 5—ჩრდილოეთის ბოლოს პრიზმა; 6—სამხრეთის ბოლოს ოკულარი; 7—ჩრდილოეთის ბოლოს ოკულარი

ნაჩვენებია მე-7 ნახაზზე: კოლოფის ფსკერის ცენტრში შვეულად ამართულ ფოლადის ნემსის წვეტზე მოჭრაობს მაგნიტური ისარი 1, რომელიც შედგება

ორი წყვილი დამაგნიტებული და ალუმინის კარკასით 2 შეერთებული ფირფიტისაგან. ასეთი აღნაგობის გამო იზრდება მაგნიტური ისრის მგრძნობიარობა. ისარს აქვს ორმხრივი აქატის ქუდი 3, რაც საშუალებას იძლევა ფოლადის ნემსის წვეტზე იგი მოთავსდეს ორ სხვადასხვა მდებარეობაში. ალუმინის აღნიშნულ კარკასზე მიმაგრებულია პატარა სარკე 4, რომლის ამრეკლავი სიბრტყე დაახლოებით მაგნიტური ისრის ღერძის მართობულია. სარკიანი ბუსოლის მეორე მთავარი ნაწილია მცირე ზომის გეოდეზიური ჰოგრი (სამზერი მილაკი). იგი შედგება ობიექტივის 6, okულარის 7, ობიექტივის ფოკალურ სიბრტყეში ჩასმული მინის ფირფიტისა 8 და მართკუთხა პრიზმისაგან 9. ფირფიტის ზედა ნახევარზე დატანილია სკალა, რომელიც okულარის მხრიდან გადაკეტილია გამანათებელი პრიზმით 9. ფირფიტის ქვედა ნახევარზე, სკალის შუა კვესურის გაგრძელებაზე, დატანილია შვეული ხაზი, ე.წ.



ნახ. 3.3.6.

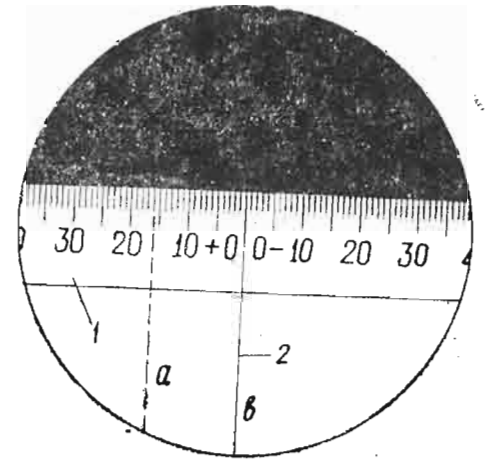


ნახ. 3.3.7.

უძრავი ინდექსი 2. სინათლის სხივი პრიზმის ჰიპოტენუზურ წიბოზე 45 კუთხით ეცემა, აირეკლება მისგან იმავე კუთხით და ანათებს სკალას. თუ სარკის სიბრტყე ვერტიკალურია და ჰოგრის სამიზნე ღერძის მართობული, მაშინ განათებული სკალა გეგმილდება სარკეში და აირეკლება ფირფიტის ქვედა ნახევრისაკენ, მაგრამ როდესაც აღნიშნული პირობა დარღვეულია, მაშინ სარკიდან არეკლილი სხივი არ მოხვდება ჰოგრის მზერის არეში. ასეთ შემთხვევაში საჭიროა შეიცვალოს სარკის დახრა, რაც ხორციელდება საპირწონის 5 გადაადგილებით. თუ იარაღი სწორად არის აწყობილი, დამკვირვებელი okულარში დაინახავს სკალის 1 გამოსახულებას და უძრავ ინდექსს *a* მდგომარეობაში (ნახ.8). მაგნიტური ჩრდილოეთის დამზერისათვის საჭიროა ჰოგრი მოვაბრუნოთ ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ იმდენად, რომ უძრავი ინდექსი დაემთხვეს სკალის შუა ნულოვან დანაყოფს (*b* მდგომარეობა).

სარკიანი ბუსოლი გამოსადეგია არა მარტო მაგნიტური აზიმუტების გასაზომად, არამედ მაგნიტური მიხრილობის ცვლილებაზე დაკვირვებისათვისაც.

ბუსოლებს წაეყენება საერთო და დამატებითი პირობები. პირველს უნდა აკმაყოფილებდეს ნებისმიერი ბუსოლი, ხოლო დამატებითი პირობები ბუსოლის კონსტრუქციის შესაბამისად უნდა იქნეს დაცული. ვრცელი ცნობები ამ საკითხზე მოცემულია პროფ. ნ. თევზაძის სახელმძღვანელოში (იხ. საინჟინრო გეოდეზია, VII).



ნახ. 3.3.8.

განხილული ხელსაწყოების მაგნიტური სისტემა არ არის სრულყოფილი, რადგან სხვადასხვა ინსტრუმენტული შეცდომების გამო ისრის მიმართულება ზუსტად არ ემთხვევა მაგნიტური მერიდიანის მიმართულებას. ამ მხრივ, უფრო მგრძნობიარე იარაღს ძაფიანი დეკლინატორი წარმოადგენს. დეკლინატორში მაგნიტურ ისარს აქვს ნალისებური ფორმა; იგი წვეტანაზე კი არ ბრუნავს, არამედ ჩამოკიდებულია კვარცის წვრილ ძაფზე.

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში ორიენტირების მიზნისათვის ეს იარაღი ვერ გავრცელდა. მისი სუსტი ადგილია კვარცის ძაფი, რომელიც მიწისქვეშა აგებგმის ძნელ პირობებში ხშირად წყდება და აფერხებს მუშაობას. მაგრამ მისი გამოყენება შეიძლება მაგნიტური ისრის მიხრილობის ცვლილებაზე დაკვირვებისათვის.

მაგნიტური აზიმუტის გაზომვა სარკიანი (ან საორიენტირო) ბუსოლით. სარკიანი (ან საორიენტირო) ბუსოლით CD მიმართულების $(CD)_g$ მაგნიტური აზიმუტის გაზომვა წარმოებს შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) თეოდოლიტს სარკიანი (ან საორიენტირო) ბუსოლითურთ დააყენებენ C წერტილზე (ნახ.2);

2) I ვერნიერის ნულოვან კვესურს შეუთავსებენ ლიმბის ნულოვან დანაყოფს, ათავისუფლებენ ლიმბს და დაახლოებით დამზერენ მაგნიტური ჩრდილოეთის მიმართულებას;

3) სათანადო ხრახნის მოშვებით ათავისუფლებენ მაგნიტურ ისარს;

4) ლიმბს აბრუნებენ ხელით და შეათავსებენ ისრის ჩრდილო ან სამხრეთ ბოლოს სეგმენტის ნულოვან ინდექსთან (ან ინდექსს სკალის შუა დანაყოფთან). ამ მდგომარეობაში ლიმბს დაამაგრებენ;

5) მიკროსკოპისა და ლიმბის მიკრომეტრული ხრახნის გამოყენებით ზუსტად ათავსებენ ისრის ბოლოს (ან სკალის შუა დანაყოფს) ინდექსთან. იწერენ შეთავსების დროს (t_1). იღებენ ანათვალს ორივე ვერნიერზე. მათი

საშუალო ვთქვათ, იყოს β_1;

6) სათანადო ხრახნის მოქმედებით მაგნიტურ ისარს დაამაგრებენ;

7) ათავისუფლებენ ალიდადას და ჭოგრს მიმართავენ D პუნქტისაკენ; იღებენ ანათვალს ორივე ვერნიერზე. მათი საშუალო, ვთქვათ, იყოს β_2;

8) გამოითვლიან CD მიმართულების მაგნიტური აზიმუტის მნიშვნელობას t_1 დროის მომენტისათვის ფორმულით:

$$(CD)_a = \beta_2 - \beta_1.$$

მაგნიტური აზიმუტების გაზომვას იმეორებენ 8—10 ჯერ. მიიღებენ CD მიმართულების მაგნიტური აზიმუტის რიგ მნიშვნელობებს $t_1, t_2, \cdots, t_n$ დროის მომენტისათვის. აზიმუტების მეზობელ მნიშვნელობათა შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 2'$-ს. მაგნიტური აზიმუტების მნიშვნელობები დაყვანილი უნდა იქნეს დროის ერთ მომენტამდე, ე. ი. მათში შეტანილი უნდა იქნეს შესწორება მიხრილობის ვარიაციაზე.

ე. დაკვირვების წარმოება მაგნიტური მიხრილობის დღეღამურ ცვლილებაზე. სარკიანი ბუსოლით მაგნიტური მიხრილობის ცვლილებაზე დაკვირვებისათვის წინასწარ განსაზღვრავენ სკალის ერთი დანაყოფის კუთხურ მნიშვნელობას (საფასურს) შემდეგნაირად:

1) სკალის კიდურა მარცხენა დანაყოფს შეათავსებენ ბუსოლის ჭოგრის შვეულ ძაფთან და იღებენ შესაბამის α_1 ანათვალს თეოდოლიტის ჰორიზონტულ წრედზე;

2) აბრუნებენ ალიდადას (მასთან ერთად ბუსოლის კოლოფს) მანამ, სანამ ბუსოლის ჭოგრის შვეული ძაფი არ დაემთხვევა სკალის კიდურა მარჯვენა დანაყოფს და იღებენ შესაბამის α_2 ანათვალს წრედზე.

3) ანგარიშობენ სკალის ერთი დანაყოფის საფასურს ფორმულით

$$\gamma = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{n}, \qquad (3.3.5)$$

სადაც n არის სკალის განაპირა მარცხენა და მარჯვენა ანათვალთა სხვაობა. სკალის დანაყოფის საფასურის განსაზღვრა უნდა განმეორებულ იქნეს 8—10 ჯერ. საბოლოო შედეგად მიიღება მათი საშუალო არითმეტიკული.

მაგნიტური ისრის მიხრილობის ცვლილებაზე დაკვირვებისათვის თეოდოლიტს სარკიანი ბუსოლით დააყენებენ ისეთ პუნქტზე, რომელიც თავისუფალია მაგნიტური მასების გავლენისაგან. თავდაპირველად სკალის შუა დანაყოფს შეათავსებენ ვერტიკალურ ძაფთან და ჩაინიშნავენ დროს (t_1). შემდეგ დროის განსაზღვრულ შუალედში (3—5 წუთში) ბუსოლის მდებარეობის შეუცვლელად იღებენ ანათვლებს სკალაზე შვეული ძაფის პირდაპირ. სკალის ერთი დანაყოფის γ საფასურის მიხედვით განსაზღვრავენ ისრის მიხრილობის ცვალებადობის სიდიდეს საწყის t_1 დროსთან შედარებით.

მაგნიტური ორიენტირების სიზუსტე. მაგნიტური ორიენტირების საერთო შეცდომა გამოითვლება გამოსახულებიდან:

$$M_{ორ} = \pm\sqrt{M^2_{(CD)} + M^2_{(CD)_a} + M^2_{(C_1D_1)_a} + M^2_a}, \qquad (3.3.6)$$

სადაც $M_{(CD)}$ არის საყრდენი CD გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომა;

$M_{(CD)_a}$, $M_{(C_1D_1)_a}$ — შესაბამისად, ზედაპირზე და მიწისქვეშ გაზომილი

$(CD)_a$ და $(C_1D_1)_a$ მაგნიტური აზიმუტების საშუალო მნიშვნელობების საშუალო კვადრატული შეცდომები და გამოითვლება ფორმულებით

$$M_{(CD)_a} = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}, \qquad (3.3.7)$$

$$M_{(C_1D_1)_a} = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)} + \frac{\rho^2 e^2}{d^2}}, \qquad (3.3.8)$$

სადაც M_a არის მაგნიტური მიხრილობის დღეღამური ვარიაციის განსაზღვრის შეცდომა; გამოითვლება (7) ფორმულით;

v — განაზომთა გადახრა საშუალო არითმეტიკულიდან;

n — განაზომთა რაოდენობა;

e — მიწისქვეშ თეოდოლიტისა და სიგნალის ექსცენტრობის ხაზოვანი ელემენტი;

d — მისამხრობი C_1D_1 გვერდის სიგრძე.

პროფ. ვ. ბაუმანის, პროფ. ი. ბახურინისა და დოც. გ. კროტოვის მონაცემებით ხელსაყრელ გარემო პირობებში მაგნიტური ორიენტირების შეცდომა $\pm 1'$-ს არ აღემატება, რაც, ჩვენი აზრით, თანამედროვე მექანიზებული შახტების პირობებში ძნელი მისაღწევია.

B. გიროსკოპული ორიენტირება[1]

a. ზოგადი ცნობები

1852 წელს გამოჩენილმა ფრანგმა მეცნიერმა ლეონ ფუკომ პარიზის მეცნიერებათა აკადემის სხდომაზე მოახდინა მის მიერ შექმნილი ხელსაწყოს დემონსტრაცია, რომლითაც პირველად ექსპერიმენტული გზით დაადასტურა დედამიწის ბრუნვა თავისი ღერძის გარშემო. ამ ხელსაწყოს, რომლის მთავარი ნაწილი სწრაფად მბრუნავი როტორი იყო, მან „გიროსკოპი“[2] უწოდა, რაც ბრუნვის მეთვალყურე (გამომჟღავნებელი) ხელსაწყოს ნიშნავს. ფუკომ წამოაყენა აგრეთვე დედამიწის მოცემულ წერტილში მერიდიანის მიმართულების განმსაზღვრელი ხელსაწყოს, ანუ სწრაფად მბრუნავი სხეულების თვისებების გამოყენებით მექანიკური კომპასის შექმნის იდეა. მაგრამ სწრაფმბრუნავი სხეულების გიროსკოპული თვისებების პრაქტიკული გამოყენება შესაძლებელი გახდა მხოლოდ 50 წლის შემდეგ. ტექნიკისა და განსაკუთრებით ელექტროტექნიკის მძლავრმა განვითარებამ ხელი შეუწყო მთელი რიგი მაღალი სიზუსტის გიროსკოპული ხელსაწყოებისა და მოწყობილობათა შექმნას, რომლებიც გავრცელდნენ წარმოების სხვადასხვა დარგში. სამამულო ომის შემდგომ წლებში დაიწყო მათი პრაქტიკული გამოყენება როგორც გეოდეზიაში, ისე სამარკშეიდერო საქმეში—ზედაპირულ და მიწისქვეშა ქსელების ორიენტირებისათვის.

[1] ძირითადად შედგენილია [16], [17], [33], [35] და [55] შრომების მიხედვით.

[2] ბერძ. **Gyros** – წრე, რგოლი; **skopeo** – ვაკვირდები, ვუყურებ. ამჟამად ფუკოს მიერ შემოღებული ტერმინი „გიროსკოპი“ იხმარება უფრო ფართო გაგებით, მთელი რიგი ხელსაწყოების აღსანიშნავად, რომლებშიც გამოყენებულია სწრაფმბრუნავი სხეულების „გიროსკოპული“ თვისებები.

მიმართულებათა გიროსკოპული ორიენტირება დაფუძნებულია სპეციალური ხელსაწყოს—გიროსკოპული თეოდოლიტის (გიროთეოდოლიტის) გამოყენებაზე, რომელიც მოცემული მიმართების ჭეშმარიტი აზიმუტის ავტონომიური (დამოუკიდებელი) განსაზღვრის საშუალებას იძლევა.

გიროთეოდოლიტის ერთ-ერთი ძირითადი ნაწილია გიროსკოპი, ამიტომ მოკლედ შევეხოთ მის ელემენტარულ თეორიას.

ბ. თავისუფალი გირ̌ოსკოპი და ქანქარისებრი გიროკომპასი

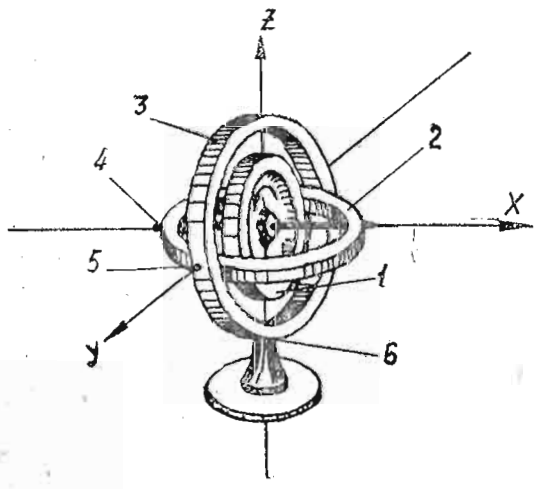
მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირებისათვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს გიროსკოპული ხელსაწყოს მთავარი ღერძის ორი თვისება:

1) უცვლელად შეინარჩუნოს მიმართულება სივრცეში (თავისუფალი გიროსკოპი);

2) შეასრულოს ჰარმონიული რხევები წონასწორობის მდგომარეობის მახლობლობაში, რომელიც ემთხვევა მერიდიანის სიბრტყეს მოცემულ წერტილში (ქანქარისებრი გიროკომპასი).

თ ა ვ ი ს უ ფ ა ლ ი გ ი რ ო ს კ ო პ ი. გიროსკოპულ ხელსაწყოებში გ ი რ ო ს კ ო პ ი წარმოადგენს სწრაფმბრუნავ სხეულს, რომელიც დაკიდებულია იმგვარად, რომ მისი ბრუნვის ღერძს შეუძლია მიმართულების შეცვლა. გიროსკოპის უმარტივესი მაგალითია ჩვეულებრივი ბზრიალა.

გიროსკოპის ბრუნვის ღერძს ნებისმიერად, ყოველგვარი შეზღუდვის გარეშე თუ შეუძლია მიმართულების შეცვლა სივრცეში, მაშინ ასეთ გიროსკოპს აქვს თავისუფლების სამი ხარისხი. კონსტრუქციულად ასეთი გიროსკოპი შეიძლება დამზადდეს სხვადასხვა მეთოდებით, კერძოდ, კარდანის რგოლების საშუალებით (ნახ. 9). ამ შემთხვევაში მასიური როტორი 1 დაკიდებულია შიგა 2 და გარე 3 რგოლებზე, რომლებიც ქმნიან კარდანულ საკიდს. ასეთი საკიდით უზრუნველყოფილია გიროსკოპის ბრუნვა სამი ურთიერთპერპენდიკულარული ღერძის გარშემო:



ნახ. 3.3.9.

1) საკუთრივ როტორის ბრუნვა საკისრებში 4 სიმეტრიის x ღერძის ირგვლივ;

2) როტორის ბრუნვა კარდანის შიგა რგოლთან ერთად საკისრებში 5 ჰორიზონტული y ღერძის ირგვლივ;

3) გიროსკოპული სისტემის მთელი მ გ რ ძ ნ ო ბ ი ა რ ე ე ლ ე მ ე ნ ტ ი ს

(როტორისა ორივე რგოლითურთ) ბრუნვა საკისრებში 6 ვერტიკალური z ღერძის გარშემო.

ხელსაწყოს მთავარ x ღერძს ეწოდება საკუთრივ გიროსკოპის ბრუნვის ანუ, უბრალოდ, გ ი რ ო ს კ ო პ ი ს ღ ე რ ძ ი, y და z ღერძებს კი — კარდანის ღერძები.

გიროსკოპის x ღერძი z ღერძის ირგვლივ ბრუნვისას იცვლის თავის მიმართულებას ადგილობრივი საგნების მიმართ ჰორიზონტულ სიბრტყეში (აზიმუტს), y ღერძის ირგვლივ ბრუნვისას კი — სიმაღლეს ჰორიზონტის სიბრტყის მიმართ. ღერძის დადებით მიმართულებად მიღებულია ღერძის ის ბოლო, რომლიდანაც როტორის ბრუნვა წარმოგვიდგება საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. x, y, z ღერძების გადაკვეთის O წერტილს გიროსკოპის ცენტრი, ანუ დაკიდების წერტილი, ეწოდება.

თავისუფლების სამი ხარისხის მქონე გიროსკოპს, რომელშიც მგრძნობიარე ელემენტის სიმძიმის ცენტრი ემთხვევა დაკიდების O წერტილს და რომელზედაც არ არის მოდებული არავითარი გარეშე ძალა, ეწოდება თ ა ვ ი ს უ ფ ა ლ ი (ასტატიკური, გაწონასწორებული).

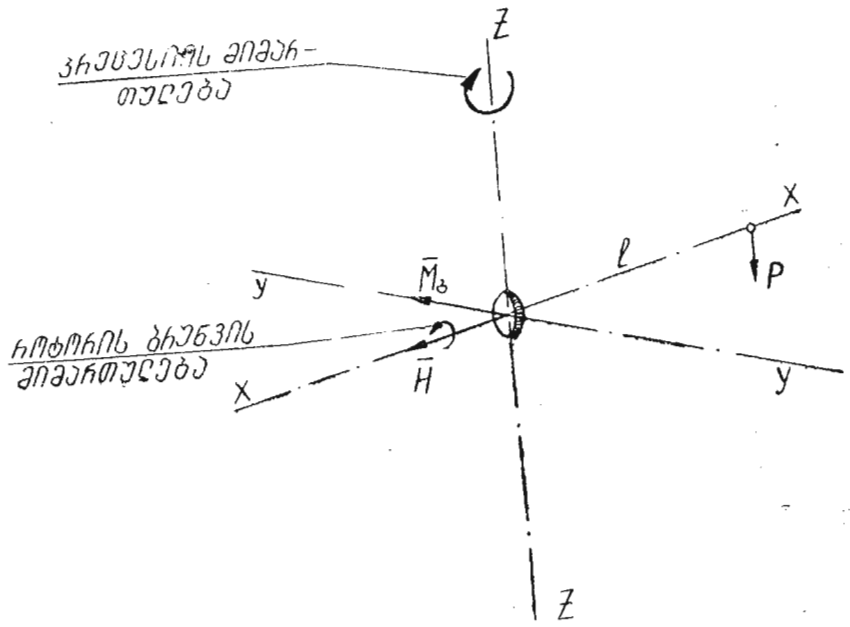
თანამედროვე გიროსკოპულ ხელსაწყოებში გიროსკოპის მბრუნავ დისკოდ გამოყენებულია ასინქრონული ელექტროძრავას როტორი. ის ბრუნავს ელექტროენერგიის საშუალებით. ამისათვის კარდანის შიგა რგოლის ნაცვლად აყენებენ დახურულ კამერას, რომლის შიგნით ათავსებენ ელექტროძრავას. ეს უკანასკნელი ჩვეულებრივი ელექტროძრავასაგან განსხვავდება იმით, რომ მასში ინერციის მომენტის გაზრდის მიზნით სტატორი მოთავსებულია როტორის შიგნით. როტორის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე აღწევს 60 000 ბრუნს წუთში.

თავისუფალი გიროსკოპისათვის დამახასიათებელი თვისებები მჟღავნდება მხოლოდ მას შემდეგ, რაც როტორს მიენიჭება ბრუნვითი მოძრაობა x ღერძის გარშემო. როტორის სწრაფი ბრუნვის გავლენით გიროსკოპის ღერძი იძენს თავისებურ მდგრადობას, ცდილობს შეინარჩუნოს მისთვის პირველად მიცემული მიმართულება სივრცეში, ენერგიულად ეწინააღმდეგება გარეშე ძალების ქმედებას, რომლებიც მისი მიმართულების შეცვლას ცდილობენ. კარდანის ნებისმიერ რგოლზე დარტყმის შედეგად გიროსკოპის ღერძი შესამჩნევად არ იცვლის მდებარეობას. იგივე მოვლენა კარგად შეიმჩნევა ჩვეულებრივი ბზრიალას მაგალითზეც.

თავისუფალ გიროსკობს თუ დავდგამთ მბრუნავ ფუძეზე, რამდენიც არ უნდა ვაბრუნოთ ეს ფუძე, მისი ღერძი უცვლელად შეინარჩუნებს თავდაპირველ მიმართულებას სივრცეში, მაგრამ დედამიწის ბრუნვის გამო შეიცვლის მდებარეობას მიწისპირული საგნების მიმართ. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ღერძის ჩრდილოეთის ბოლო იმოძრავებს აღმოსავლეთისაკენ და აიწევს ჰორიზონტის სიბრტყეზე მაღლა, ღერძის სამხრეთი ბოლო, შესაბამისად, იმოძრავებს დასავლეთისაკენ და დაეშვება ჰორიზონტის სიბრტყის ქვემოთ. დღე-ღამის განმავლობაში გიროსკოპის ღერძი დამკვირვებლის მიმართ შეასრულებს მოჩვენებით მოძრაობას წრიულ კონუსზე, რომლის სიმეტრიის ღერძი დაკვირვების წერტილის მერიდიანის სიბრტყეში იქნება, ხოლო წვეროთ—მგრძნობიარე ელემენტის დაკიდების O წერტილში. თუ საწყისში გიროსკოპის x ღერძს დავაყენებთ მერიდიანის მიმართულებით მაგალითად, დაახლოებით პოლარულ ვარსკვლავზე), მაშინ იგი შეინარჩუნებს

თავის მიმართულებას მიწისპირული საგნების მიმართაც.

გიროსკოპის თვისება—უცვლელად შეინარჩუნოს ღერძის მიმართულება სივრცეში—პრინციპულად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ზედაპირულ და მიწისქვეშა აგეგმვათა ორიენტირებისათვის. მაგრამ გიროსკოპის საკისრებში აღგილი აქვს ხახუნსა და ლუფტს. გარდა ამისა, მგრძნობიარე ელემენტის სიმძიმის ცენტრი ზუსტად არ ემთხვევა ჩამოკიდების წერტილს, ამის გამო ჩნდება გარეშე ძალების მომენტები, რომელთა გავლენით ხდება გიროსკოპის ღერძის აზიმუტური და ვერტიკალური გადაადგილება. გიროსკოპის ღერძის ასეთ გადაადგილებას პრეცესიული გადაადგილება, ანუ პრეცესია, ეწოდება. იგი ხდება გარეშე ძალის მოქმედების მართობული მიმართულებით და წყდება მისი მოქმედების შეწყვეტისთანავე. თუ თავისუფალი გიროსკოპის მთავარ ღერძზე მოვდებთ ვერტიკალურ P ძალას (ნახ. 10), ნაშინ მისი პრე-



ნახ. 3.3 10.

ცესიული გადაადგილება იწარმოებს ჰორიზონტულ სიბრტყეში. პრეცესიის მიმართულება განისაზღვრება შემდეგი წესით: მოქმედი P ძალის ვექტორს თუ მოვაბრუნებთ როტორის ბრუნვის მხარეზე 90° კუთხით, მაშინ იგი უჩვენებს გიროსკოპის ღერძის პრეცესიული მოძრაობის მიმართულებას.

პრეცესიის კუთხური სიჩქარე $W_{პრ}$ განისაზღვრება ფორმულით

$$W_{პრ} = \frac{M_ბ}{H}, \qquad (3.3.9)$$

სადაც $M_ბ$ არის გარეშე ძალის მომენტი;

H — გიროსკოპის კინეტიკური მომენტი.

თავის მხრივ,

$$M_ბ = Pl;$$
$$H = I\Omega;$$

აქ P არის გარეშე ძალა;

l — მოქმედი ძალის მხარი (მანძილი გიროსკოპის ცენტრიდან ძალის მოდების წერტილამდე);

Ω — როტორის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე;

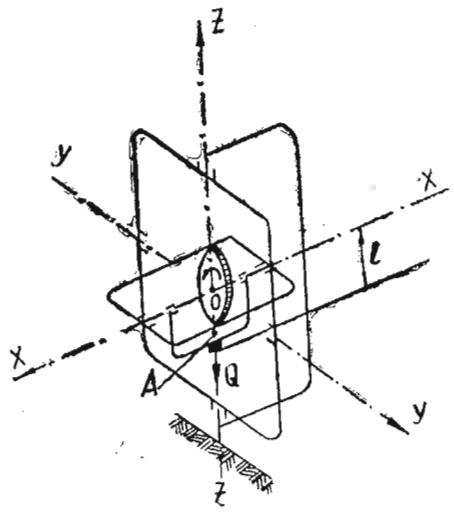
I — როტორის ინერციის მთავარი მომენტი.

გიროსკოპის ღერძის პრეცესიას აქვს არაკანონზომიერი ხასიათი. მისი კუთხური სიჩქარე ყველაზე სრულყოფილ გიროსკოპებში აღწევს 0,5—1°-ს საათში. საკისრებში ხახუნის შემცირების მიზნით ჩატარებულ ცდებს ჯერჯერობით დადებითი შედეგი არ მოუცია, ამიტომ ამჟამად თავისუფალი გიროსკოპი დაბალი სიზუსტის გამო აგეგმვის ორიენტირებისათვის არ გამოიყენება.

გიროკომპასი. თავისუფალ გიროსკოპს თუ წავართმევთ თავისუფლების ერთ ხარისხს, მაგალითად, y ღერძის მიმართ, მაშინ იგი დაკარგავს თავის ძირითად თვისებას—უცვლელად ვერ შეინარჩუნებს ღერძის მიმართულებას სივრცეში. სამაგიეროდ თავისუფლების ორი ხარისხის მქონე გიროსკოპი იძენს ახალ თვისებას: მისი ღერძი ისწრაფვის დადგეს დაკვირვების წერტილის ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყეში, მსგავსად ბუსოლის მაგნიტური ისრისა, რომელიც დგება მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყეში. მაშასადამე ასეთი გიროსკოპი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც მექანიკური კომპასი. მაგრამ პრაქტიკულად ამ იდეის განხორციელება ძალზე რთული აღმოჩნდა. დედამიწის ბრუნვის სიჩქარე ძალიან მცირეა (ერთი ბრუნი დღე-ღამეში). ძალა რომელიც მოქმედებს გიროსკოპზე და მიმართავს მის ღერძს მერიდიანის სიბრტყისაკენ, უმნიშვნელოა და არ შეუძლია გადალახოს ხახუნის ძალები ვერტიკალური z ღერძის საკისრებში. ამის გამო ორხარისხიანი გიროსკოპის მექანიკურ კომპასად გამოყენების ცდებს ჯერჯერობით დადებითი შედეგი არ მოუცია.

გიროსკოპული კომპასის (გიროკომპასის) შექმნის იდეა პრაქტიკულად გადაწყდა მას შემდეგ, რაც მგრძნობიარე ელემენტად გამოყენებულ იქნა თავისუფალი გიროსკოპი დაკიდების წერტილის მიმართ გადაადგილებული სიმძიმის ცენტრით.

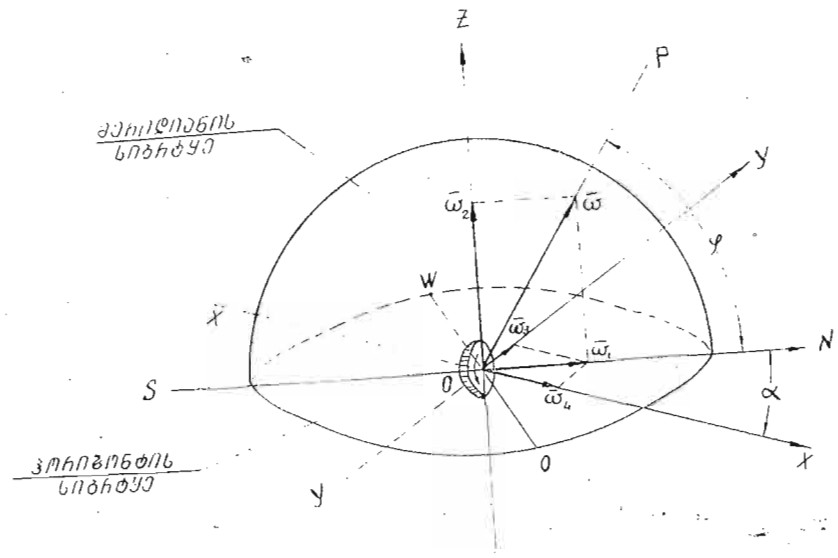
გიროსკოპის აგებულების პრინციპული სქემა მოცემულია მე-11 ნახაზზე. მისი მგრძნობიარე ელემენტის სიმძიმის ცენტრი კი არ ემთხვევა დაკიდების წერტილს, არამედ Q ტვირთის საშუალებით გადაადგილებულია ქვემოთ OA მანძილზე მასზე გამავალი ვერტიკალის მიმართულებით. სიმძიმის ცენტრის გადაადგილებით იზღუდება თავისუფალი გიროსკოპის თავისუფლების ერთი ხარისხი y ღერძის მიმართ. გიროსკოპის x ღერძი Q ტვირთის მოქმედებით მუდამ ცდილობს დადგეს ჰორიზონტის სიბრტყის პარალელურად. მაშასადამე, მგრძნობიარე ელემენტს აქვს თავისუფლების ორი სრული ხარისხი, ერთი კი



ნახ. 3.3.11.

არასრული—შეზღუდული. ასეთი გიროკომპასის მგრძნობიარე ელემენტი ჰგავს ქანქარას, რომლის ჩამოკიდების წერტილი ასევე მაღლაა სიმძიმის ცენტრის მიმართ. ამიტომ ასეთ ხელსაწყოს ქანქარა (ქანქარისებრ) გიროკომპასს უწოდებენ.

გიროკომპასის მოქმედება დაფუძნებულია გიროსკოპის თვისებებსა და დედამიწის დღეღამურ ბრუნვაზე. მე-12 ნახაზზე ნაჩვენებია ცაური სფეროს ჰორიზონტის ზედა ნაწილი. *O* წერტილში მოთავსებულია გიროსკოპი და იმ-



ნახ. 3.3.12.

ყოფება დამკვირვებელი. გიროსკოპის ღერძი ჰორიზონტულ მდგომარეობაშია და საშუადღეო ხაზის ჩრდილო მიმართებასთან აღგენს α კუთხეს. დედამიწა და მასთან ერთად მერიდიანისა და ჰორიზონტის სიბრტყეები ბრუნავს *OP* ღერძის ირგვლივ მუდმივი ω კუთხური სიჩქარით. მისი $\bar{\omega}$ ვექტორი მიმართულია ბრუნვის *OP* ღერძის მიმართებით ჩრდილოეთ პოლუსის მხარეზე, საიდანაც ბრუნვა წარმოგვიდგება საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. დავშალოთ $\bar{\omega}$ ვექტორი ორ ურთიერთმართობულ მიმართულებებით, $\bar{\omega}_1$ და $\bar{\omega}_2$ მდგენელებად.

$\bar{\omega}_1$ ვექტორი შეესაბამება საშუადღეო ხაზის ირგვლივ ჰორიზონტის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს. მას დედამიწის ბრუნვის ჰორიზონტულ მდგენელს უწოდებენ და დამკვირვებელი აღიქვამს როგორც ციურ მნათობთა სიმაღლის ცვლილებას

$$\bar{\omega}_1 = \bar{\omega} \cos \varphi. \tag{3.3.10}$$

აქ φ არის დაკვირვების წერტილის განედი.

$\bar{\omega}_2$ ვექტორი შეესაბამება შეეული ხაზის ირგვლივ მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს სივრცეში. მას დედამიწის ბრუნვის ვერტიკალურ მდგენელს უწოდებენ და დამკვირვებელი აღიქვამს როგორც ციური მნათობთა აზიმუტის ცვლილებას

$$\bar{\omega}_2 = \bar{\omega} \sin \varphi \tag{3.3.11}$$

თუ დედამიწის ბრუნვის ჰორიზონტულ $\bar{\omega}_1$ მდგენელს, ზევის მხრივ, დავშლით ორ $\bar{\omega}_3$ და $\bar{\omega}_4$ ვექტორად კარდანის *y* და გიროსკოპის *x* ღერძების მიმართულებებით, გვექნება

$$\bar{\omega}_3 = \bar{\omega} \cos \varphi \sin \alpha, \tag{3.3.12}$$

$$\bar{\omega}_4 = \bar{\omega} \cos \varphi \cos \alpha. \tag{3.3.13}$$

$\bar{\omega}_4$ ვექტორი გამოხატავს გიროსკოპის ღერძის ირგვლივ ჰორიზონტის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს. იგი თითქმის არ მოქმედებს გიროსკოპის ღერძის მოძრაობაზე სივრცეში, ამიტომ მას უგულებელვყოფთ.

რაც შეეხება $\bar{\omega}_3$ ვექტორს, იგი გამოხატავს *y* ღერძის ირგვლივ ჰორიზონტის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს და წარმოადგენს დედამიწის ბრუნვასთან დაკავშირებულ იმ გარეშე მოვლენას, რომელიც გიროსკოპული კომპასის შექმნის საშუალებას იძლევა. ამიტომ მას დედამიწის ბრუნვის სასარგებლო (მარგ) მდგენელს უწოდებენ. იგი იწვევს გიროსკოპის ღერძის სიმაღლის ცვლილებას—ღერძის აღმოსავლეთისაკენ მიმართული ბოლო მაღლა აიწევს, დასავლეთისაკენ მიმართული კი—დაბლა ეშვება.

(12) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ დაკვირვების ადგილის მერიდიანის სიბრტყეში (როდესაც $\alpha = 0°$) მარგი მდგენელი ($\bar{\omega}_3$) ნულის ტოლია. მაშასადამე, თავისუფალ გიროსკოპში თუ გვექნება მისი ღერძის დახრის ცვლილების ავტომატურად მარეაგირებელი მოწყობილობა, მაშინ შესაძლებელი გახდება შეიქმნას ისეთი მოძრაობა, რომელიც გიროსკოპის ღერძს მერიდიანის სიბრტყეში დააბრუნებს, ე. ი. შეიქმნას გიროკომპასი. ასეთი მოწყობილობაა ქანქარას ტვირთი. გიროსკოპის ქანქარასთან შეერთებით იქმნება ე. წ. მიმმართველი ($M_{მიმმ}$) მომენტი, რომელიც ცდილობს გიროკომპასის ღერძი მიმართოს მერიდიანის სიბრტყისაკენ. მიმმართველი მომენტი

$$M_{მიმმ} = H \bar{\omega}_3,$$

ანუ

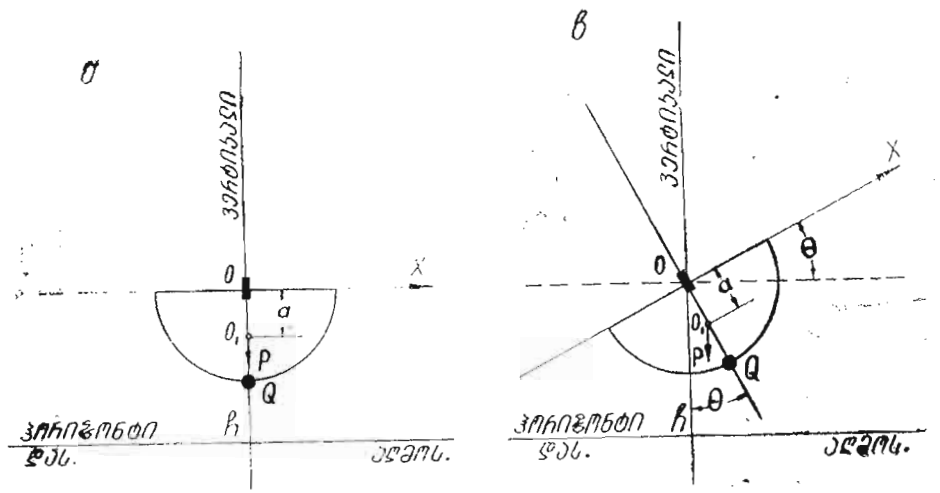
$$M_{მიმმ} = H \bar{\omega} \cos \varphi \sin \alpha. \tag{3.3.14}$$

ქანქარასებრი გიროკომპასის მიმმართველი მომენტის ოდენობაზე ბევრად არის დამოკიდებული ხელსაწყოს სიზუსტე. (14) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ეკვატორზე (როდესაც $\varphi = 0°$) მოცემული გიროკომპასის მიმმართველ მომენტს აქვს მაქსიმალური მნიშვნელობა, ხოლო პოლუსებზე (როდესაც $\varphi = 90°$) იგი ნულის ტოლია. მაშასადამე, მაღალ განედებზე ($\varphi > 70°$—$75°$) გიროკომპასი ვერ იმუშავებს. გიროკომპასების დახასიათების უნიფიცირებისათვის მათი მიმმართველი მომენტების მნიშვნელობა მოცემულია ხოლმე $\varphi = 60°$ განედისათვის.

ა. გიროკომპასის ღერძის ჰარმონიული რხევები და წონასწორობის მდგომარეობა

დავუშვათ, რომ საწყისში გიროკომპასის ღერძი ჰორიზონტულ მდგომარეობაშია (ნახ. 13ა). ამ შემთხვევაში მასზე არ მოქმედებს *Q* ქანქარას ტვირთის სიმძიმის ძალის მომენტი, მაგრამ ჰორიზონტის სიბრტყე მომდევნო მომენტში *y* ღერძის მიმართ ω_3 სიჩქარით ბრუნვის გამო შეიცვლის თავის მდებარეობას და გიროკომპასის ღერძი აღმოჩნდება Θ კუთხით ჰორიზონტის სიბრტყესთან. თუ ღერძის ჩრდილო ბოლო გადახრილია მერიდიანი-

დან აღმოსავლეთით, მაშინ ჰორიზონტის სიბრტყე დაბლა ეშვება, ხოლო დამკვირვებელს კი მოეჩვენება თითქოს ღერძის ჩრდილოეთმა ბოლომ ჰორიზონტზე მაღლა აიწია (ნახ. 13ბ). ჰორიზონტის სიბრტყის y ღერძის ირგვლივ ბრუნვით წარმოიქმნება გარეშე ძალის M_3 მომენტი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია გიროკომპასის მგრძნობიარე ელემენტის P წონაზე, დაკიდების O წერტილიდან სიმძიმის O_1 ცენტრამდე $OO_1=a$ მანძილზე, ანუ მეტაცენტრულ სი-



ნახ. 3.3.13.

მაღლეზე, და გიროკომპასის ღერძის დახრის Θ კუთხეზე ჰორიზონტთან

$$M_3 = P\,a\sin\Theta = M\sin\Theta, \qquad (3.3.15)$$

სადაც $M=Pa$ არის გიროკომპასის ქანქარას მომენტი.

გიროკომპასის ღერძი ქანქარას მომენტის მოქმედებით დაიწყებს აზიმუტურ პრეცესიას მერიდიანის სიბრტყისაკენ. პრეცესიის კუთხური სიჩქარე განისაზღვრება (9) და (15) გამოსახულებიდან

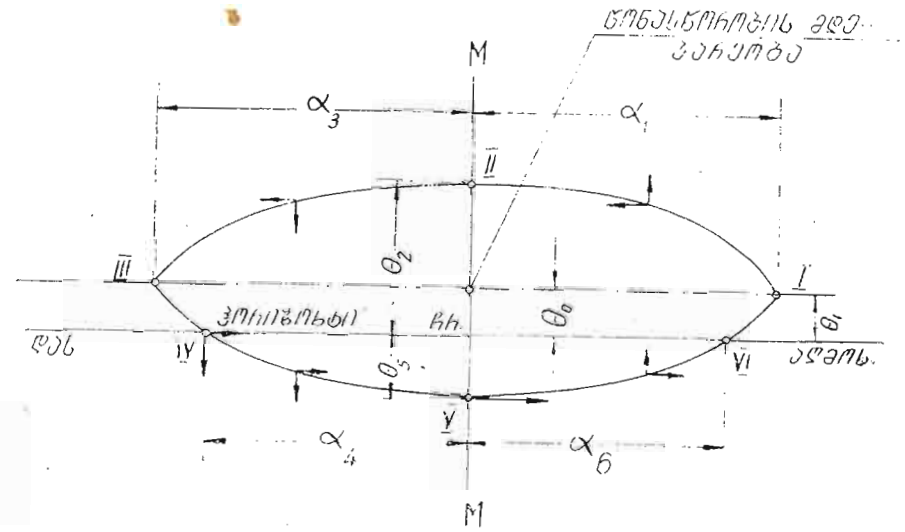
$$\omega_{აზ} = \frac{M}{H}\sin\Theta. \qquad (3.3.16)$$

თუ გიროკომპასის ღერძი ჰორიზონტულ მდგომარეობაშია და იმყოფება მერიდიანის სიბრტყეში, მაშინ მასზე არ მოქმედებს ქანქარას სიმძიმის ძალის მომენტი. მაგრამ მერიდიანის სიბრტყე ბრუნავს სივრცეში შვეული ხაზის ირგვლივ მოცემულ წერტილში დედამიწის ბრუნვის ვერტიკალური $\overline{\omega}_2$ მდგენელის ტოლი კუთხური სიჩქარით. ამის გამო მომდევნო მომენტში გიროკომპასის ღერძი აღმოჩნდება არა მერიდიანის სიბრტყეში, არამედ აღმოსავლეთით, ე. ი. განმეორდება ზემოთ განხილული შემთხვევა. ცხადია, გიროკომპასის ღერძი დარჩება მერიდიანის სიბრტყეში მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მისი პრეცესია სივრცეში იწარმოებს მერიდიანის სიბრტყესთან ერთად, ერთი და იმავე მიმართულებითა და კუთხური სიჩქარით. ვინაიდან მოცემული გიროკომპასის ღერძის პრეცესიის კუთხური სიჩქარე დამოკიდებულია ღერძის დახრის Θ კუთხეზე, ამიტომ ეს პირობა შესრულებული იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გიროკომპასის ღერძი აწეული იქნება ჰორიზონტზე მაღლა ისეთი საკომპენსაციო Θ_0 კუთხით, რომლის დროსაც ღერძის პრეცესიის კუთხური სიჩქარე მოცემულ წერტილ-

ში დედამიწის ბრუნვის ვერტიკალური $\overline{\omega}_2$ მდგენელის ტოლი იქნება, ე. ი. როდესაც $\overline{\omega}\sin\varphi = \frac{M}{H}\sin\Theta_0$. Θ_0 კუთხის სიმცირის გამო გვექნება

$$\Theta_0 = \rho\frac{H}{M}\,\omega\sin\varphi. \qquad (3.3.17)$$

გიროკომპასის ღერძის მდებარეობის ცვალებადობა მერიდიანისა და ჰორიზონტის სიბრტყეების მიმართ წარმოებს ქანქარას ტვირთით გამოწვეული პრეცესიისა და მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის გამო (დედამიწის დღეღამური ბრუნვით) სივრცეში; მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე როგორც ოდენობით, ისე მიმართულებით მუდმივია — მისი ჩრდილოეთი ნაწილი ყოველთვის მოძრაობს დასავლეთისაკენ მოცემულ წერტილში დედამიწის ბრუნვის ვერტიკალური $\overline{\omega}_2$ მდგენელის ტოლი კუთხური სიჩქარით. გიროკომპასის ღერძის აზიმუტური პრეცესიის $\overline{\omega}_{აზ}$ კუთხური სიჩქარე სიმძიმის ძალის გავლენით ცვალებადია როგორც ოდენობით, ისე მიმართულებით: სიჩქარე ჰორიზონტთან ღერძის დახრის Θ კუთხის პირდაპირპროპორციულია, ხოლო მიმართულება კი დამოკიდებულია ჰორიზონტის სიბრტყის მიმართ ღერძის მდე-



ნახ. 3.3.14.

ბარეობაზე. თუ გიროკომპასის ღერძის ჩრდილოეთი ბოლო ჰორიზონტის სიბრტყეზე მაღლა მდებარეობს, მაშინ ღერძის პრეცესიული მოძრაობა წარმოებს დასავლეთის მიმართულებით, წინააღმდეგ შემთხვევაში — აღმოსავლეთისაკენ.

მე-14 ნახაზზე ნაჩვენებია გიროსკოპის ღერძის ჩრდილოეთი ბოლოს მოძრაობის ტრაექტორია. გეგმილთ სიბრტყე მერიდიანის MM სიბრტყის მართობულია. ამ შემთხვევაში გიროკომპასის ღერძის α გადახრა მერიდიანიდან (აზიმუტები) გადაიზომება ჰორიზონტული მონაკვეთებით, ღერძის დახრის Θ კუთხეები კი — ვერტიკალურით.

დავუშვათ, რომ საწყის მდებარეობაში გიროსკოპის ღერძი იმყოფება I წერტილში, აწეულია ჰორიზონტის სიბრტყეზე მაღლა Θ_0 საკომპენსაციო კუთხით და გადახრილია მერიდიანის MM სიბრტყიდან აღმოსავლეთისაკენ α_1

კუთხით. მაშინ მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე სივრცეში ოდენობით და მიმართულებით ტოლია ქანქარას მოქმედებით ღერძის აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარისა. ამ მომენტში გიროკომპასის ღერძი რჩება უძრავად მერიდიანის სიბრტყის მიმართ. რადგან ღერძი იმყოფება ჰორიზონტის სიბრტყის ალმოსავლეთ ნახევარში, ამიტომ ჰორიზონტის სიბრტყე თანდათანობით ეშვება, ღერძის დახრის კუთხე საკომპენსაციო Θ_0 კუთხეზე მეტი ხდება და შემდეგშიც განუწყვეტლივ დიდდება. ქანქარას მოქმედებით ღერძის აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეზე მეტი ხდება და თანდათანობით იზრდება. მერიდიანიდან ღერძის გადახრა მცირდება.

II წერტილში გიროკომპასის ღერძი გაივლის მერიდიანის სიბრტყეს, ღერძის დახრის Θ კუთხე ჰორიზონტთან მაქსიმალური ხდება; აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე უდიდესია, მისი მიმართულება მერიდიანის სიბრტყის მოძრაობის მიმართულებას ემთხვევა ($\alpha = 0°$); ამის შემდეგ ღერძი გადადის ჰორიზონტის დასავლეთ ნაწილში, სადაც ჰორიზონტის სიბრტყე მაღლა იწევს. ღერძის დახრა ჰორიზონტის სიბრტყის მიმართ მცირდება, მისი აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე მცირდება, მაგრამ ჯერ კიდევ მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეზე მეტი რჩება. გიროკომპასის ღერძის გადახრა მერიდიანის სიბრტყიდან დასავლეთით იზრდება.

III წერტილში ჰორიზონტის მიმართ გიროკომპასის ღერძის აწევის Θ კუთხე მცირდება და უტოლდება საკომპენსაციო Θ_0 კუთხეს. ამ მომენტში მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე სიდიდითა და მიმართულებით უტოლდება ქანქარას მოქმედებით ღერძის აზიმუტური პრეცესიის კუთხურ სიჩქარეს. გიროსკოპის ღერძი, I წერტილის ანალოგიურად, მერიდიანის სიბრტყის მიმართ რჩება უძრავი. მერიდიანის სიბრტყიდან გიროკომპასის ღერძის გადახრის α კუთხე აღწევს მაქსიმალურ სიდიდეს. ჰორიზონტის სიბრტყე განუწყვეტლივ მაღლა იწევს, Θ—გამუდმებით მცირდება და ხდება საკომპენსაციო Θ_0 კუთხეზე მცირე. გიროკომპასის ღერძის აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეზე ნაკლები ხდება. ღერძის გადახრა მერიდიანის სიბრტყიდან მცირდება.

IV წერტილში გიროკომპასის ღერძი ჰორიზონტის სიბრტყის პარალელურად დგება. ქანქარას ტვირთი არ მოქმედებს ღერძზე და მისი აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე ნულის ტოლია, მერიდიანის სიბრტყე კი აგრძელებს ბრუნვას მუდმივი სიჩქარით. გიროკომპასის ღერძის α გადახრა მერიდიანის სიბრტყიდან მცირდება. ჰორიზონტის სიბრტყე გამუდმებით მაღლა იწევს, ღერძი კი ეშვება მასზე დაბლა. ქანქარას მოქმედებით გიროკომპასის ღერძი მომატებული კუთხური სიჩქარით იწყებს პრეცესიას შებრუნებული მიმართულებით—აღმოსავლეთით მერიდიანის სიბრტყისაკენ.

V წერტილში გიროკომპასის ღერძის დახრის Θ კუთხე ჰორიზონტის ქვემოთ მაქსიმალურია, ღერძის აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე, II წერტილის ანალოგიურად, უდიდესია, მაგრამ მისი მიმართულება მერიდიანის სიბრტყის მოძრაობის მიმართულების შემხვედრია. მერიდიანის სიბრტყის გავლის შემდეგ გიროკომპასის ღერძი მოხვდება ჰორიზონტის აღმოსავლეთ ნახევარში, სადაც ჰორიზონტის სიბრტყე განუწყვეტლივ დაბლა ეშვება; Θ — მცირდება. ღერძის აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე გამუდმებით

მცირდება. პრეცესია მიმართულია მერიდიანის სიბრტყიდან აღმოსავლეთისაკენ; α მატულობს.

VI წერტილში გიროკომპასის ღერძი, IV წერტილის მსგავსად, ჰორიზონტის სიბრტყის პარალელურია და აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე ნულის ტოლია. მერიდიანის სიბრტყე მოძრაობს დასავლეთისაკენ. α მატულობს. ჰორიზონტის სიბრტყე განუწყვეტლივ დაბლა ეშვება, ღერძი კი იწევს მასზე მაღლა. ქანქარას მოქმედებით გიროკომპასის ღერძი მომატებული კუთხური სიჩქარით იწყებს აზიმუტურ პრეცესიას დასავლეთისაკენ. მაგრამ აზიმუტური პრეცესიის კუთხური სიჩქარე მერიდიანის სიბრტყის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეზე ნაკლებია და ღერძის გადახრა მერიდიანის სიბრტყიდან აღმოსავლეთით მატულობს მანამ, სანამ Θ არ გაუტოლდება Θ_0-ს, ისე როგორც ეს იყო I წერტილში. გიროკომპასის ღერძი, აღწერა რა ელიფსი, ბრუნდება საწყის I წერტილში, რომელშიც მეყსეულად ჩერდება და ქანქარას მოქმედებით ხელახლა იწყებს მოძრაობას დასავლეთისა მერიდიანის სიბრტყისაკენ.

ამგვარად, გიროკომპასის ღერძი ადგილის მერიდიანის სიბრტყის მიმართ ასრულებს არამილევად ჰარმონიულ ელიფსურ რხევებს. ღერძის მდებარეობებს ელიფსზე, სადაც მისი მოძრაობის სიჩქარე ნულს უტოლდება და შემდგომში მოძრაობის მიმართულება იცვლება, გიროკომპასის ღერძის რ ე ვ ე რ სიის მ ო მ ე ნ ტ ე ბ ი ეწოდება, ხოლო ღერძის კიდურა წერტილებს (I, III) კი—გიროკომპასის ღერძის რ ე ვ ე რ ს ი ი ს წ ე რ ტ ი ლ ე ბ ი. დროის მონაკვეთს, რომლის განმავლობაში გიროკომპასის ღერძის ჩრდილოეთი ბოლო შემოუვლის ელიფსს და ბრუნდება საწყის მდებარეობაში, ე. ი. ერთი სრული რხევის დროს, გიროკომპასის ა რ ა მ ი ლ ე ვ ა დ ი რ ხ ე ვ ე ბ ი ს პ ე რ ი ო დ ი ეწოდება (T).

T პერიოდი დამოკიდებულია გიროკომპასის კონსტრუქციულ მონაცემებსა და ადგილის განედზე. იგი განისაზღვრება ფორმულით

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{M\omega \cos\varphi}}. \qquad (3.3.18)$$

გიროკომპასის ღერძის რხევის T პერიოდი სასურველია იყოს რაც შეიძლება მცირე, რადგან შესაბამისად შემცირდება დაკვირვების პროცესი. თანამედროვე მარკშეიდერულ გიროკომპასებში ღერძის რხევის T პერიოდი 7—11 წუთს შეადგენს, მაშინ როდესაც $M-3$ ტიპის გიროკომპასში იგი 29 წუთს უდრიდა (იხ. ცხრ. 3.3.1).

d. ზ ო გ ა დ ი ც ნ ო ბ ე ბ ი მ ა რ კ შ ე ი დ ე რ უ ლ ი გ ი რ ო კ ო მ პ ა ს ე ბ ი ს შ ე ს ა ხ ე ბ

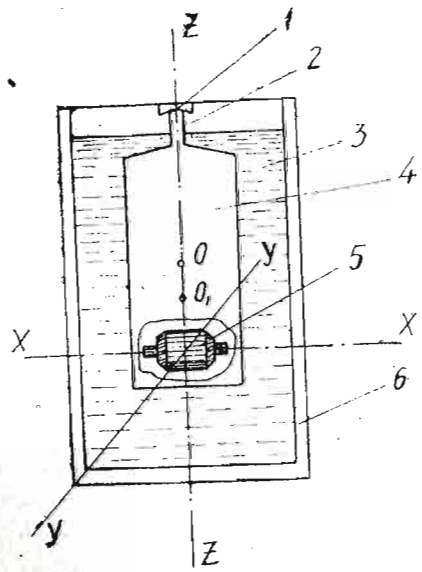
როგორც აღვნიშნეთ, გიროკომპასის ღერძს შეუძლია დაიკავოს დედამიწის ზედაპირის მიმართ მრავალნაირი მდებარეობა, მაგრამ მათგან ჩვენთვის ყველაზე საინტერესოა მისი მხოლოდ ერთადერთი და სრულიად განსაზღვრული მდგომარეობა, რომლის დროსაც იგი უცვლელად ინარჩუნებს აზიმუტსა და სიმაღლეს მიწისპირული საგნების მიმართ. გიროკომპასის ღერძის ასეთ მდებარეობას წ ო ნ ა ს წ ო რ ო ბ ი ს მ დ გ ო მ ა რ ე ო ბ ა ეწოდება. იგი წარმოადგენს გიროკომპასის ღერძის ჰარმონიული რხევების სიმეტრიის ღერძს და, როგორც გვქონდა აღნიშნული, მყარი ფუძის შემთხვევაში იმყოფება ადგილის მერიდიანის სიბრტყეში Θ_0 საკომპესაციო კუთხით ჰორიზონტთან.

გიროკომპასის ღერძის ზემოთ განხილული ძრაობა მართებულია მხოლოდ მუშაობის იდეალურ პირობებში. რეალურ გიროკომპასებში ყოველთვის არსებობს მავნე ფაქტორები—ხახუნი მგრძნობიარე ელემენტის დაკიდების ადგილზე და გიროსკოპის საკისრებში, როტორის კინეტიკური მომენტის ცვალებადობა, მაგნიტური ველები, ხელსაწყოს კონსტრუქციული ელემენტები (საკიდელი, დაცენტვრის მეთოდი და სხვ.), რომელთა გავლენით გიროსკოპის ღერძის რხევები ნელა მილევადი და ასიმეტრიული ხდება. ეს გარემოება საგრძნობლად ამცირებს გიროკომპასის ღერძის წონასწორობის მდგომარეობის (ე. ი. გეოგრაფიული მერიდიანის მიმართულების) განსაზღვრის სიზუსტეს. ამის გამო გიროსკოპულ ხელსაწყოებს წაეყენება ფრიად მაღალი კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური მოთხოვნები, ხოლო საკუთრივ გაზომვები კი სრულდება ისეთი მეთოდებით, რაც განაზომებიდან შეცდომათა დიდი რაოდენობის გამორიცხვის საშუალებას იძლევა.

ღეღისათვის ცნობილია გეოგრაფიული მერიდიანის მიმართულების განმსაზღვრელი გიროსკოპული ხერსაწყოების 50-ზე მეტი ტიპი, რომლებსაც სხვადასხვა პრინციპული სქემა უდევთ საფუძვლად. მათ შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია ქანქარა გიროკომპასები.

თანამედროვე მარკშეიდერულ გიროკომპასებში, რომლებიც ქანქარასებრ გიროსკოპის სქემაზეა აგებული, მგრძნობიარე ელემენტი ჩაშვებულია სითხეში ან კიდია თხელი ლითონის ლენტზე — ტორსიონზე.

გიროკომპასის მგრძნობიარე ელემენტის თხევადი საკიდლის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია მე-15 ნახაზზე. აქ სითხით 3 სავსე რეზერვუარში 6 მოთავსებულია ჰერმეტულად დახურული ცილინდრი 4, რომლის ფსკერზე დაყენებულია გირომოტორი 5. ცილინდრის წონასა და მოცულობას შორის თანაფარდობა ისე შეირჩევა, რომ ის მცირედ დადებითად ტივტივებდეს. გირომოტორი ცილინდრის ქვემო ნაწილშია, ამიტომ უკანასკნელის სიმძიმის ცენტრი გეომეტრიული ცენტრის მიმართ გადაადგილებულია ვერტიკალურად ქვემოთ. ამის გამო ცილინდრი სითხეში მუდამ ვერტიკალურ მდგომარეობაშია, ხოლო გირომოტორის ღერძი, რომელიც ცილინდრის გრძივი ღერძის პერპენდიკულარულად არის დაყენებული, —ჰორიზონტულ მდგომარეობაში დგება.

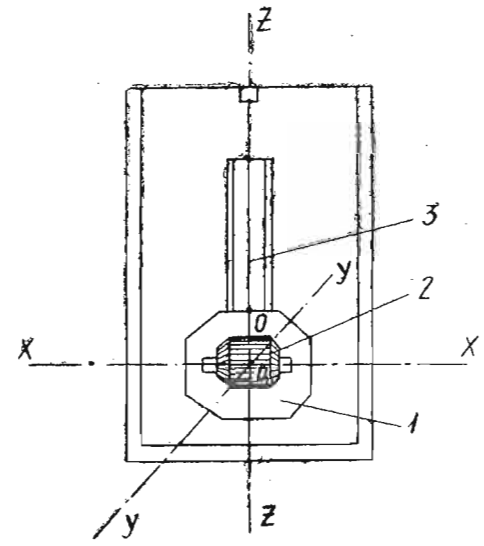


ნახ. 3.3.15.

რეზერვუარში დაცენტვრის მიზნით ცილინდრს აქვს წვეტი 2, რაც მის ზედა ტორსული კიდის ცენტრშია მოთავსებული. ცილინდრის მცირე დადებითი ტივტივის წყალობით წვეტი შედის რეზერვუარის თავსახურავში არსებულ აქატის საქუსლეში 1.

მგრძნობიარე ელემენტის საკიდელას აღწერილ კონსტრუქციას აქვს ქანქარა გიროკომპასის ყველა თვისება, სახელდობრ: გირომოტორის როტორს, საკუთრივ XX ღერძის ირგვლივ ბრუნვის თავისუფლების გარდა, შეუძლია ცილინდრთან ერთად იბრუნოს ვერტიკალური zz ღერძის ირგვლივ, თანაც yy ღერძის ირგვლივ ბრუნვის თავისუფლება შეზღუდულია დაკიდების წერტილის მიმართ ცილინდრის სიმძიმის ცენტრის გადანაცვლებით.

ტორსიონის საკიდელის შემთხვევაში გიროკამერა 1, რომელშიაც გირომოტორია 2 მოთავსებული (ნახ. 16), ჩამოკიდებულია ლითონის თხელ ლენტზე 3 (ტორსიონზე). გირომოტორი დაყენებულია ისე, რომ გიროკამერის სიმძიმის ცენტრის ტორსიონის ღერძზე მდებარეობის შემთხვევაში მისი ღერძი ზუსტად ჰორიზონტულ მდგომარეობას იჭერს. ასეთი საკიდელის შემთხვევაში უზრუნველყოფილია გირომოტორის ბრუნვის თავისუფლება xx და zz ღერძების ირგვლივ, ამავე დროს yy ღერძის ირგვლივ ბრუნვა შეზღუდულია ქანქარას მომენტის შემწეობით, რომელიც წარმოიშობა მუდამ, როცა გირომოტორის ღერძი ჰორიზონტული მდებარეობიდან გადაიხრება. ამგვარად, ტორსიონის საკიდელის შემთხვევაშიც გირომოტორს აქვს ქანქარა გიროკომპასის ყველა თვისება.



ნახ. 3.3.16.

ომის შემდგომ წლებში როგორც ჩვენში, ისე უცხოეთის ზოგიერთ ქვეყანაში კონსტრუირებულია მარკშეიდერული გიროკომპასების (გიროთეოდოლიტების) მთელი რიგი ნიმუშები, რომლებშიც მგრძნობიარე ელემენტის საკიდელი სითხეა ან გრეხადი მასალა (ტორსიონი). მათი ძირითადი ტიპების ტექნიკური დახასიათება (1) ცხრილშია მოყვანილი. აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მგრძნობიარე ელემენტის თხევადი საკიდლის შემთხვევაში საცენტრავ წვეტსა და აქატის საქუსლეს შორის ხახუნის მომენტი არ არის სტაბილური, თანაც დამკავებელი სითხე ჰუჭყიანდება, რაც ხელსაწყოს ჩვენების სიზუსტეზე უარყოფითად მოქმედებს. ამის გამო უკანასკნელ პერიოდში უპირატესობით სარგებლობს გიროთეოდოლიტები ტორსიონის საკიდლით. კონსტრუქციულად ასეთი ხელსაწყოები ორი სახის გვხვდება: ერთ შემთხვევაში ხელსაწყოში ორგანულად არის შეერთებული გიროსკოპული და კუთხსაზომი ნაწილები (გიროთეოდოლიტი), მეორე შემთხვევაში კი გიროსკოპული ნაწილი თავსდება თეოდოლიტზე ზევიდან ან მიედგმება ქვემოდან (გიროსკოპული საცმი).

გავარჩიოთ მარკშეიდერული გიროკომპასების (გიროთეოდოლიტების) აგებულების პრინციპული სქემები დღეისათვის კონსტრუქციულად ყველაზე სრულყოფილი МВ2М, Г₁—Б1, МВТ2 და Г₁—С1 ტიპის გიროსკოპული ინსტრუმენტების მაგალითზე.

ცხრ. 3.3.1

მარკშეიდერული გეოკომპასების ძირითადი ტიპების ტექნიკური დახასიათება

მაჩვენებლები	სხრ კავშირი					უნგრეთი სახ. რეს.			გდრ	გფრ
	М—3	МВ—1	МВ2М	МТ—1	МВТ 2	Г¿—Б1	Г¿—Б2	Г¿—С1	МВК—2	КТ 1
1. დამზადების წელი	1954	1957	1967	1964	1968	1961	1966	1955	1965	1959
2. მიმართულების განსაზღვრის საშ. კვადრ. შეცდომა, სეკ	60	45	35	20	30	2	10	30	20	25
3. პრეცესიული რხევის პერიოდი ($\varphi=60°$ განედზე), წთ	29	14	12,5	11	7	12	10,5	8,5	10—15	6
4. როტორის კინეტიკური მომენტი, 10^3 გ სმ სეკ	115	24	11	24	1,1	4,3	4,3	4	2,3	3,7
5. მთელი კომპლექტის წონა, კგ	500	165	55	45	33	115	85	56	72	85
6. ძირითადი ხელსაწყოს წონა, კგ	65	22	14	16	3,5	20	—	—	—	15
7. მგრძნობიარე ელემენტის საკიდელი[1]	თხ.	თხ.	თხ.	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ
8. დაცენტვრის ხერხი[2]	ემ	წვ.	წვ	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ	ტ

1 თხ. — თხევადი; ტ—ტორსიონი

2 წვ. — წვეტანაზე; ემ—ელექტრომაგნიტური; ტ—ტორსიონზე

ა. MB2M ტიპის ავტომქნა ტაბარმწეიდერი სისტემის

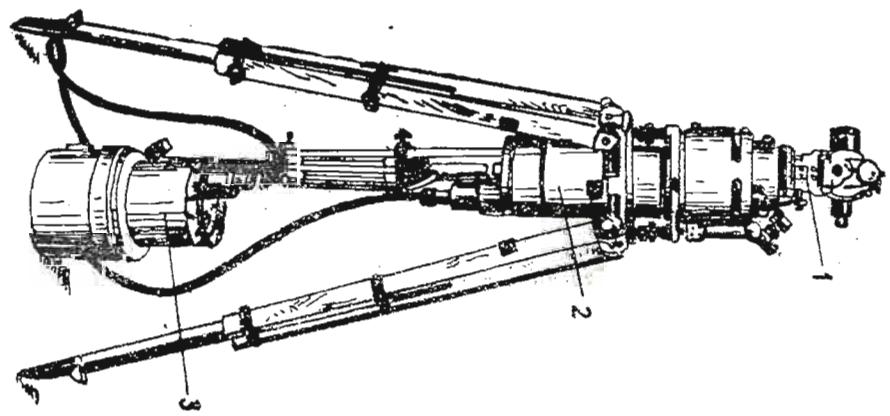
გეოკომპასი

საშიო გეომქნაკისა და საბარმწეიდერო სისტემის სავალდებულო ატრიბუტია ინსტრუმენტის გეოგრაფიულ ლატიტუდაზე მექანიკური ან ელექტრული გეოკომპასის მგრძნობიარე ელემენტი. გეოკომპასის ნებისმიერი ტიპის მგრძნობიარე ელემენტის საშუალებით ხდება ჩაშვებული და წვეტანაზე აყვანილი ელემენტის (იხ. ცხ. 1). ასეთი ხელსაწყოების ყველაზე სრულყოფილი კონსტრუქციაა MB2M ტიპის გეოკომპასი (ნახ. 17). იგი აღჭურვილია ტაბარით, ტაბარის, ტრიანგულაციის ტიპის კუთხის განსაზღვრის ± 35'' სიზუსტით. შედგება ოთხი ძირითადი კვანძისაგან: მგრძნობიარე ელემენტი, რეგისტრატორი, კუთხისზომი ნაწილი და საშენებლო ქვეყრა.

მგრძნობიარე ელემენტი 3 (ნახ. 18) წარმოადგენს 35 სმ სიმაღლისა და 10 სმ დიამეტრის ჰერმეტულად დახურულ ცილინდრის ფორმის ალუმინის კორპუსს, რომლის შიგნით ზედაპირზე 5,5 სმ სიგანის ტიტანის სამი ელექტროდებზე სათხელზე გაკეთებული 7 განლაგებულია. ამ ელექტროდებზე სითხის შემადგენელი გირომაგნიტორის მეშვეობით საშუალებით ხდება მგრძნობიარე ელემენტის თავსახურავზე, რომელსაც ზედაპირზე ქონების ფორმა აქვს, მითავსებულია სიგნალების ფორმა წვეტი 8. იგი წარმოადგენს ტიტანის ლერწას, რომლის ზედა ბოლო ზედაპირზე წვიმაგებულია გაპრიალებული ნახევარსფერო, ხოლო ქვედა ნაწილი კი ჩაიხრახნება მგრძნობიარე ელემენტის თავსახურავში. სიგნალების ფორმა წვეტი მგრძნობიარე ელემენტის ლერწის ზედა ბოლოზე მიმაგრებულია ტიტანის ლერწა, რომელიც ეყრდნობა ქვედა ნაწილში ჩაშენებულ ქვაბულს.

მგრძნობიარე ელემენტის ცენტრი ციალური ბრძანებით ლერწის ზედა ნაწილში ჩაშენებულ ქვაბულს. სიმძიმის ცენტრის სარეგულირებლად მგრძნობიარე ელემენტის თავსახურავზე მოთავსებულია ბალანსირებული ცენტრი (სქემაზე არ არის ნაჩვენები).

მგრძნობიარე ელემენტის ცილინდრის ზედაპირზე, მისი თავსახურავის სიახლოვეს, დამაგრებულია ბრტყელი სარკე 9, რომელის ამრეკლი

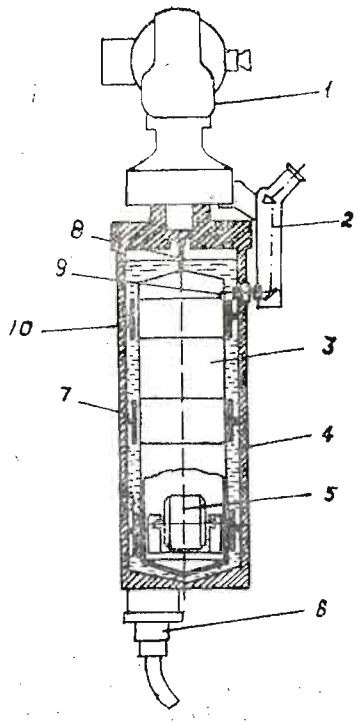


ნახ. 3.3.17. MB2M ბარკის გირომაგნიტური ნაწილი: 1—კუთხსაზომი ნაწილი; 2—მგრძნობიარე ელემენტი; 3—ქვაბული ბალანსირებული

სიბრტყე დაახლოებით გირომოტორის როტორის ბრუნვის ღერძის პერპენდიკულარულია.

მგრძნობიარე ელემენტის შიგნით, მის ფსკერზე, დაყენებულია ГМ—28000—10Б ტიპის გირომოტორი 5. იგი ასინქრონული ელექტრომოტორია, იკვებება 18 ვ ძაბვის 400 ჰც სიხშირის ცვლადი სამფაზა დენით. როტორის ბრუნვის სიჩქარეა—23 500 ბრ/წთ. ცილინდრის შიგნით გირომოტორთან დენის მიყვანა ხდება ცილინდრის გარე ზედაპირზე განლაგებული ელექტროდებიდან სამი რბილი იზოლირებული სადენის საშუალებით.

რეზერვუარი, რომელშიაც მოთავსებულია მგრძობიარე ელემენტი, ავსებულია საყრდენი (დამკავებელი) სითხით—დისტილირებული წყლით, რომელშიაც დენგამტარებლობის მიზნით მცირე რაოდენობით ბორაკია გახსნილი. სითხეში მოთავსებულ მგრძნობიარე ელემენტს $\pm 5°$-დან $\pm 40°$-მდე ტემპერატურისას აქვს 2—17 გ დადებითი ტივტივი. ასეთი ძალით ებჯინება მისი საცენტრავი წვეტი საქუსლეს. რეზერვუარი დამზადებულია მსუბუქი არამაგნიტური შენადნობისაგან. მისი შიგა ზედაპირი 2 მმ სისქის საიზოლაციო შრით არის დაფარული. რეზერვუარის შიგა კედელსა და მგრძნობიარე ელემენტის ცილინდრს შორის დამაგრებულია ელექტროდული უჯრედი 10, რომლის სამი რგოლური ელექტროდი ტიტანის ელექტროდების მიმართ კონცენტრულად არის განლაგებული. მგრძნობიარე ელემენტისა და უჯრედის ელექტროდებს შორის მანძილი დაახლოებით 5 მმ უდრის.



ნახ. 3.3.18.

რეზერვუარის თავსახურავის შიგა მხარეზე უძრავად არის დამაგრებული საფირონის საქუსლე, რომელსაც ებჯინება მგრძნობიარე ელემენტის საცენტრავი წვეტი. აქვეა მოთავსებული მგრძნობიარე ელემენტის საარეტირო (საჩერებელი) მოწყობილობა.

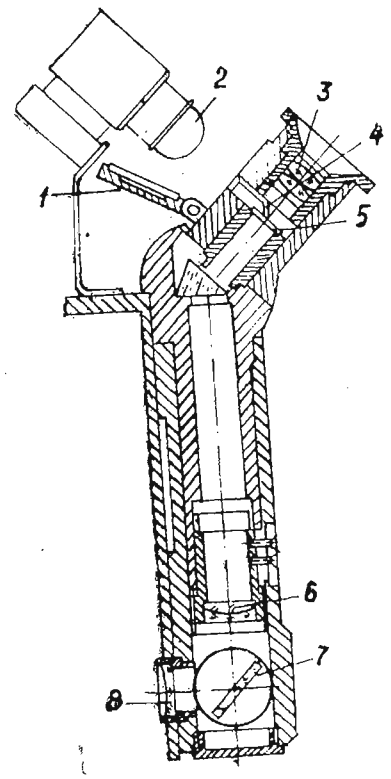
გარე მაგნიტური ველების გავლენისაგან გირომოტორის დაცვის მიზნით რეზერვუარი მგრძნობიარე ელემენტითურთ მოთავსებულია პერმალოისაგან (რკინა-ნიკელის შენადნობი) დამზადებული ორმაგი მაგნიტური ეკრანის შიგნით. მაგნიტურ ეკრანებს შორის მოთავსებულია ფენოპლასტის თბოსაიზოლაციო შუასადები. გარედან მაგნიტური ეკრანი ხელსაწყოს დეკორაციული კორპუსით არის დაცული.

რეზერვუარის კორპუსში არის ორი სათვალთვალო სარკმელი. ერთ-ერთი მათგანი განკუთვნილია მგრძნობიარე ელემენტის რხევაზე დაკვირვებისათვის, მეორე კი — თერმომეტრზე ჩვენების ასაღებად და რეზერვუარში სითხის დონის საკონტროლოდ.

რეზერვუარის ძროზე დამონტაჟებულია აფეთქებაუსაფრთხო დენმიმღები ქუროთ 6, რომელსაც აქვს ოთხი კონტაქტი. სამი მათგანი კვების ბლოკიდან სამფაზა დენის მიღებას ემსახურება, მეოთხე—დამიწებას. შტეფსელის ქუროს აქვს მაბლოკირებელი მოწყობილობა, რაც გამორიცხავს მის გართვას ჩართული ელექტროკვების შემთხვევაში.

რეზერვუარის გვერდით ზედაპირზე მოთავსებულია სპეციალური კორძები სამი ამწე ხრახნისათვის, რომელთა შემწეობით იგი შტატივის საყრდენ რგოლს ეყრდნობა. გიროკომპასის წერტილზე დაცენტვრისათვის რეზერვუარის ძროზე დამაგრებულია კაუჭი საცენტრავი შვეულისათვის.

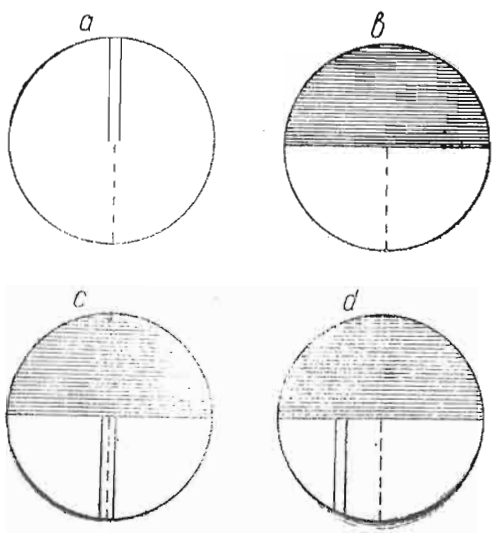
ხელსაწყოს კუთხმზომი ნაწილი წარმოადგენს ТБ—1 ტიპის ოპტიკურ თეოდოლიტს, რომლის ვერტიკალური ღერძი ჩასმულია რეზერვუარის თავსახურავში არსებულ მილისში და გადის მგრძნობიარე ელემენტის დაკიდების წერტილზე. თეოდოლიტის ალიდადასთან მიმაგრებულია ავტოკოლიმატორის ჭოგრი 2, რომელიც მგრძნობიარე ელემენტის რხევაზე დაკვირვებისათვის არის განკუთვნილი. ავტოკოლიმატორის ჭოგრი და გიროკომპასის მგრძნობიარე ელემენტის ბრტყელი სარკე ერთიან ოპტიკურ სისტემას ქმნის (ნახ.19). როდესაც გიროკომპასის ღერძი და ავტოკოლიმატორის ჭოგრის სამიზნე ღერძი ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მდებარეობს, ჭოგრის სამიზნე სხივი, მოხვდება რა მგრძნობიარე ელემენტის სარკეზე, აირეკლება, დაბრუნდება უკან იმავე მიმართულებით და სკალის ინდექსის გამოსახულება გამოჩნდება სამზერი ჭოგრის ძაფთა ბადის ბისექტორში. თუ დავუშვებთ, რომ ავტოკოლიმატორის ჭოგრი იმავე მდგომარეობაში დარჩა, ხოლო გიროკომპასის ღერძი კი რაღაც კუთხით მობრუნდა, მაშინ მგრძნობიარე ელემენტის სარკეც იმავე კუთხით მობრუნდება, და ავტოკოლიმატორის სამიზნე სხივი გადაიხრება. ამ შემთხვევაში სკალის ინდექსის გამოსახულება ბისექტორის გვერდზე გამოჩნდება. იმისათვის, რომ ჭოგრის სამიზნე ღერძი ხელახლა დავაყენოთ სარკის სიბრტყის პერპენდიკულარულად, საკმარისია ჭოგრის ბრუნვით მივაღწიოთ ძაფთა ბადის არეში ინდექსისა და ბისექტორის შეთავსებას.



ნახ. 3.3.19. МБ2М გიროკომპასის ავტოკოლიმატორი: 1—სანათი სარკე; 2—ნათურა; 3—ოკულარი; 4—დიაფრაგმა; 5—ძაფთა ბადე; 6 — მაფოკუსირებელი ლინზა; 7—სარკე; 8—ობიექტივი

გიროკომპასის ავტოკოლიმატორში ინდექსის როლს ასრულებს ძაფთა ბადის ზედა ნაწილი — ბისექტორი (ნახ. 20ა), რომელიც სპეციალური დიაფრაგმით არის გადაკეტილი, რის გამოც ჭოგრის მხედველობის არეში ჩანს ძაფ-

თა ბადის ქვედა ნაწილი — ცალფა შტრიხი (ნახ.20ბ). ნათურით განათებული ბისექტორი აირეკლება მგრძნობიარე ელემენტის სარკიდან,. ხვდება ავტოკოლიმატორის ჰოგრის მზერის არის ქვემო ნაწილში და დაეფარება ძაფთა ბადის ქვემო ნაწილს — ცალფა შტრიხს. თუ კოლიმატორის სამიზნე ღერძი სარკის სიბრტყის პერპენდიკულარულია, მაშინ ცალფა შტრიხი ბისექტორის შუაში მოთავსდება (ნახ. 20გ), წინააღმდეგ შემთხვევაში ბისექტორი ცენტრალური შტრიხის მიმართ გადაადგილებული აღმოჩნდება (ნახ. 20დ). ავტოკოლიმატორის მობრუნებით, რომელიც თეოდოლიტის ალიდადასთან ხისტადაა დაკავშირებული და მხოლოდ მასთან ერთად ბრუნავს, შეიძლება მისი სამიზნე ღერძი ხელახლა დავაყენოთ მგრძნობიარე ელემენტის სარკის სიბრტყის მართობულად. ამისათვის საკმარისია ცალფა შტრიხი ბისექტორის შუაში მოვათავსოთ. კოლიმატორის მობრუნება ხდება ჯერ ხელით, შემდეგ (რევერსიის მომენტებში) მიკრომეტრული ხრახნის საშუალებით.



ნახ. 3.3.20.

ძირითადი ხელსაწყოს კვების ბლოკი წარმოადგენს დენის აფეთქებაუსაფრთხო გარდამქმნელს, რომელიც განკუთვნილია აკუმულატორთა ბატარეადან მიღებულ 15 ვ ძაბვის მუდმივი დენის გარდასაქმნელად 18 ვ ძაბვისა და 400 ჰც სიხშირის სამფაზა ცვლად დენად.

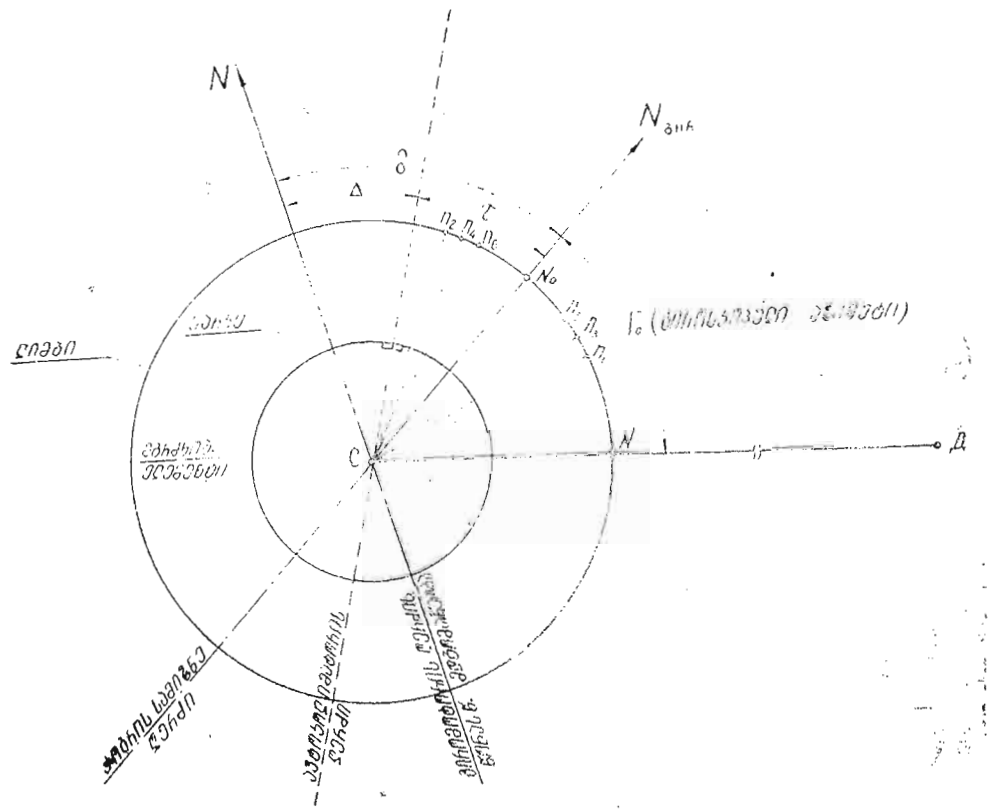
მთელი აპარატურის ჩართვა წარმოებს იმაკე გასაღებით, რომლითაც გიროკომპასის დენმიმღები ქურო მაგრდება. გასაღების შესაბამისი მობრუნებით გიროსკოპის გირომოტორი შეიძლება გამოირთოს, ჩაირთოს სამუშაო რეჟიმამდე და დამუხრუჭდეს.

ვ. გიროსკოპული ორიენტირება MB2M გიროკომპასის საშუალებით

მიმართულებათა ორიენტირების (დირექციული კუთხის განსაზღვრის) გიროსკოპული მეთოდი დაფუძნებულია გიროკომპასის (გირომოტორის) ღერძის თვისებაზე შეასრულოს ნელამილევადი ჰარმონიული რხევები, რომელთა წონასწორობის მდგომარეობა დაკვირვების ადგილის მერიდიანის სიბრტყეში იმყოფება.

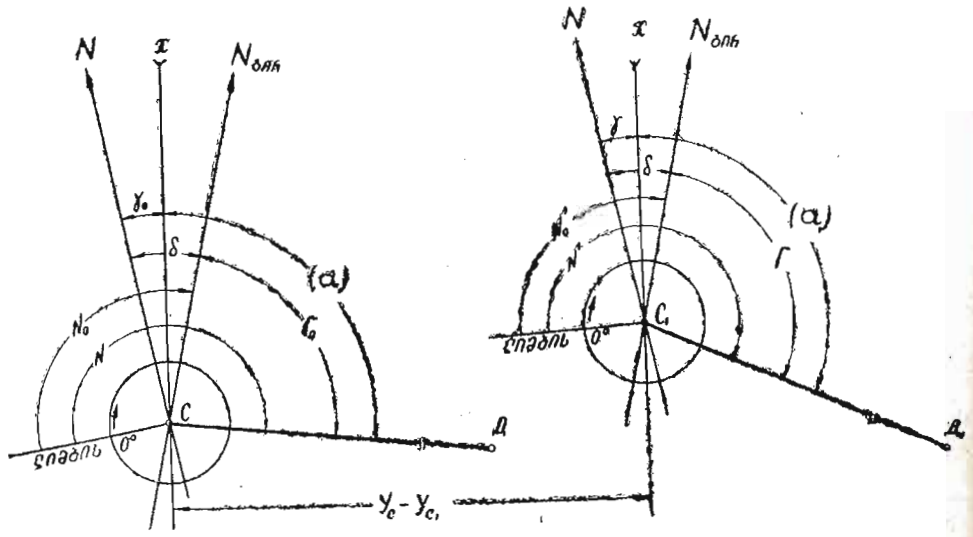
MB2M ტიპის გიროკომპასის მგრძნობიარე ელემენტი რეზერვუარის შიგნით არის მოთავსებული და უშუალოდ გირომოტორის ღერძის რხევაზე დაკვირვება არ არის შესაძლებელი და არც აუცილებელი. გირომოტორი მჭიდროდაა დაკავშირებული მგრძნობიარე ელემენტის ცილინდრთან, ამიტომ მისი ღერძი ცილინდრთან ერთად ირხევა და ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ ცი-

ლინდრის ხან ერთ, ხან მეორე მხარეზე მობრუნების სახით წარმოგვიდგება. მგრძნობიარე ელემენტის ასეთ რხევებს აკვირდებიან მასთან მჭიდროდ დაკავშირებული წარმოსახვითი ხაზის რხევის მიხედვით. ასეთ ხაზს მგრძნობიარე ელემენტის სარკისადმი პერპენდიკულარი წარმოადგენს. თუმც ასეთი ხაზის რხევები გიროკომპასის ღერძის რხევების ზუსტი განმეორებაა, მაგრამ მისი


N
N_გირ
Δ
δ
N₀
I₀ (ინსტრუმენტის ინდექსი)
ღიობი
ნიშნული
ნიშნული
ნიშნული

რევერსიის მომენტში მყის შეჩერებულ ბისექტორს. ცხადია, ამ მომენტში ავტოკოლიმატორის ღერძი შეთავსებული იქნება სარკისადმი პერპენდიკულარის კიდურა მდებარეობასთან, რაც ლიმბზე ანათვლის აღებით ფიქსირდება. ასეთი ოპერაციები სრულდება რევერსიის ექვსი თანამიმდევრობითი წერტილისათვის. შედეგად მიიღება სარკისადმი პერპენდიკულარის რხევის კიდური მდებარეობების შესაბამისი ექვსი ანათვალი ლიმბზე, რომელთა საშუალო N_0 მნიშვნელობა, გამოთვლილი ჩაქრობის ფაქტორის მხედველობაში მიღებით, შეესაბამება მის წონასწორობის მდგომარეობას, რასაც სხვაგვარად მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის მდგომარეობა ეწოდება. ცხადია, დაკვირვების დამთავრების შემდეგ თუ ლიმბზე ანათვალს N_0-ის ტოლს გავხდით, მაშინ ავტოკოლიმატორის ღერძი მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის მდგომარეობას შეუთავსდება და გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყესთან Δ კუთხე შექმნის.

ავტოკოლიმატორისა და სამზერი ჭოგრის ღერძები ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში არ მდებარეობს და ჩვეულებრივ ერთიმეორესთან ადგენს τ კუთხეს, რომელსაც გიროკომპასის კუთხსაზომი ნაწილის კონსტრუქციული მუდმივა ეწოდება. რადგან ლიმბზე N_0 ანათვლის შემთხვევაში ავტოკოლიმატორის ღერძი მერიდიანთან Δ კუთხეს ქმნის, ამიტომ მასთან მჭიდროდ დაკავშირებული სამზერი ჭოგრის სამიზნე ღერძი მერიდიანის სიბრტყესთან დადგება $\delta = \Delta + \tau$ კუთხით, რასაც გიროკომპასის შესწორებას (მიხრილობას) უწოდებენ. მაშასადამე, გიროკომპასის შესწორება არის კუთხე, რომელსაც ქმნის მერიდიანის მიმართულება სამზერი ჭოგრის სამიზნე ღერძთან იმ მომენტში, როდესაც ავტოკოლიმატორის ღერძი მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის მდგომარეობას ემთხვევა.



ნახ. 3.3.22.

გიროსკოპული ორიენტირება, რომლის პრინციპული სქემა 22-ე ნახაზზეა მოცემული, გიროკომპასის δ შესწორების განსაზღვრით იწყება. ამისათვის გიროკომპასს ცენტრავენ ზედაპირზე შერჩეული გამოსავალი CD მიმართების C პუნქტზე ისე, რომ რეზერვუარის სათვალთვალო სარკმელი 5—10°-ის სიზუსტით მერიდიანის მიმართულებით იყოს ორიენტირებული. ამის შემდეგ ჩართავენ ელექტრიკვებას, გირომოტორის 8-9 წუთიანი მუშაობის შემდეგ გადაყავთ ხელსაწყო სამუშაო რეჟიმზე და მგრძნობიარე ელემენტს ათავისუფლებენ. ავტოკოლიმატორის საშუალებით, ზემოაღწერილი წესით, აკვირდებიან მგრძნობიარე ელემენტის ექვს თანამიმდევრობით რევერსიას (შებრუნებას) და თეოდოლიტის ლიმბზე იღებენ ამ მომენტების შესაბამის 6 ანათვალს ($n_1, n_2, \ldots n_6$). დაკვირვების პროცესში, კონტროლის მიზნით, გამოითვლიან მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის მდგომარეობის წინასწარ შუალედურ საშუალოებს რევერსიის ყოველი სამი თანამიმდევრობითი წერტილისათვის ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{n_1 + 2n_2 + n_3}{4}; \qquad N_2 = \frac{n_2 + 2n_3 + n_4}{4}; \\ N_3 &= \frac{n_3 + 2n_4 + n_5}{4}, \qquad N_4 = \frac{n_4 + 2n_5 + n_6}{4}, \end{aligned}\right\} \tag{3.3.19}$$

N_1, N_2, N_3, N_4 შუალედურ საშუალოებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს გიროკომპასის სამმაგ სიზუსტეს. მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის მდგომარეობის საბოლოო N_0 მნიშვნელობა, რომელსაც გიროკომპასის ნულ ადგილს უწოდებენ, გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}{4} + \delta_{N_0}. \tag{3.3.20}$$

აქ δ_{N_0} არის შესწორება ჰარმონიული რხევის დარღვევისათვის

$$\delta_{N_0} = \frac{1}{6}[(N_1 + N_4) - (N_2 + N_3)]. \tag{3.3.21}$$

მგრძნობიარე ელემენტის რხევებზე დაკვირვების დაწყებისა და დამთავრების მომენტებში თეოდოლიტის სამზერი ჭოგრით წრედის ორ მდებარეობაში დამზერენ გამოსავალი CD გვერდის D წერტილს და იღებენ შესაბამის ანათვლებს ლიმბზე. ამ ანათვალთა საბოლოო მნიშვნელობა გამოითვლება როგორც ყველა განაზომთა საშუალო არითმეტიკული. ამის შემდეგ მგრძნობიარე ელემენტი არეტირდება და გიროკომპასი აძოირთვება.

სქემის თანახმად, გიროკომპასის δ შესწორება განისაზღვრება ფორმულით

$$\delta = \alpha + \gamma_0 - (N - N_0), \tag{3.3.22}$$

სადაც α არის გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხე;

γ_0 — მერიდიანების შეახლოება C წერტილთან;

$(N - N_0)$ სხვაობას, რომელსაც გამოსავალი გვერდის გიროსკოპული აზიმუტი ეწოდება, Γ_0 ასოთი აღნიშნავენ, რის შემდეგ (22) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\delta = \alpha + \gamma_0 - \Gamma_0. \tag{3.3.23}$$

გიროკომპასის δ შესწორების განსაზღვრის შემდეგ ზედაპირის ანალოგიურ გაზომვებს ასრულებენ მიწისქვეშა C_1D_1 გვერდის C_1 წერტილზე. გიროკომპასის კონსტრუქციული δ შესწორების მნიშვნელობა მიწისქვეშა პირობებშიაც იგივე დარჩება, ამიტომ C_1D_1 გვერდის საძიებელი დირექციული კუთხე შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებიდან

$$\alpha_1 = \delta + (N' - N'_0) - \gamma, \qquad (3.3.24)$$

სადაც $(N' - N'_0)$ სხვაობა არის C_1D_1 გვერდის გიროსკოპული აზიმუტი და აღინიშნება Γ ასოთი, ხოლო γ—მერიდიანების შეახლოება გიროკომპასის დაყენების C_1 წერტილში. თუ უკანასკნელ ფორმულაში შევიტანთ δ-ს მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$\alpha_1 = \alpha + \Gamma - \Gamma_0 + \delta_\gamma; \qquad (3.3.25)$$

აქ $\delta\gamma = (\gamma - \gamma_0)$ წარმოადგენს C და C_1 წერტილებში მერიდიანების შეახლოებათა სხვაობას და განისაზღვრება შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$\delta_\gamma = \mu (y - y_0), \qquad (3.3.26)$$

სადაც μ არის ადგილის φ განედზე დამოკიდებული კოეფიციენტი, სეკ/კმ; y და y_0—C და C_1 წერტილების ორდინატები, კმ.

ორდინატები განისაზღვრება გრაფიკულად გეგმიდან 0,1 კმ-ის სიზუსტით, ხოლო μ კი—მიახლოებითი ფორმულით

$$\mu = 32'',3 \operatorname{tg} \varphi, \qquad (3.3.27)$$

სადაც φ ადგილის გეოგრაფიული განედია (განისაზღვრება გრაფიკულად რუკიდან 0,2—0,3 გრადუსის სიზუსტით).

კონტროლისა და სიზუსტის გაზრდის მიზნით გასაგნები გვერდის გიროსკოპულ აზიმუტს საზღვრავენ განმეორებით—გიროკომპასის ხელახალი, ამჯერად ხაზის მეორე ბოლოზე დაცენტვრითა და გაშვებით. გასაგნებ ჰორიზონტზე მუშაობის დამთავრების შემდეგ ზედაპირის გამოსავალ CD გვერდზე განმეორებით განსაზღვრავენ გიროკომპასის δ შესწორების ოდენობას. თუმცა (25) ფორმულის მიხედვით დირექციული კუთხის გამოთვლის დროს δ შესწორება შუალედურ როლს ასრულებს და მისი ზუსტი მნიშვნელობის ცოდნა არ არის სავალდებულო, მაგრამ ხელსაწყოს ერთი ამუშავებიდან მეორე ამუშავებამდე იგი მუდმივი უნდა რჩებოდეს. MB2M გიროკომპასით ორიენტირების მეთოდიკა მხედველობაში იღებს შესწორების ცვალებადობის შესაძლებლობას და ამიტომ ითვალისწინებს ყოველ შახტაზე მის ორჯერად (მიწისქვეშ მუშაობის დაწყებამდე და დამთავრების შემდეგ) განსაზღვრას.

გიროსკოპული ორიენტირების ჩვენ მიერ გარჩეული სქემის შემთხვევაში გიროკომპასი დაყენებულია უშუალოდ გამოსავალი ან გასაგნები გვერდის ერთ-ერთ პუნქტზე. თუ ამის შესაძლებლობა არ არის, მაშინ დასაშვებია ხელსაწყო დაიდგას ამ პუნქტების სიახლოეს, მაგრამ არანაკლებ 30 მ მანძილზე, თანაც დადგმის წერტილის CD ან C_1D_1 გვერდებთან დამაკავშირებელი პოლიგონის კუთხეების რიცხვი ორს არ უნდა აღემატებოდეს.

გიროსკოპული ორიენტირების მასალის კამერული დამუშავება წარმოებს სპეციალური ფორმულარის მიხედვით, რომლის ნიმუში მარკშეიდერულ ინსტრუქციაშია მოყვანილი.

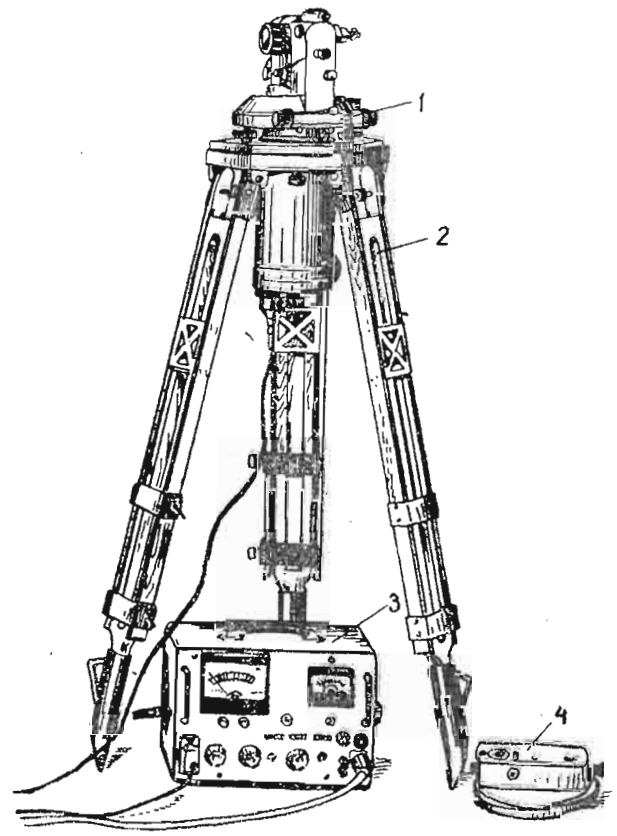
G. უნგრული გიროთეოდოლიტი G_1 — B1

G_1—B1 ტიპის გიროთეოდოლიტი[1], რომელსაც ამზადებს უნგრეთის სახალხო რესპუბლიკის ქარხანა MOM, აფეთქებასაფრთხიანია (ნახ. 23). მის

1 საზღვარგარეთის ქვეყნებში გიროკომპასებს, რომლებშიც მგრძნობიარე ელემენტის საკიდელი ტორსიონია, გიროთეოდოლიტებს უწოდებენ. ჩვენში შენარჩუნებულია მათი საერთო სახელწოდება — გიროკომპასი. ორივე დასახელება იდენტურია.

კომპლექტში შედის გიროთეოდოლიტი 1 შტატივით 2, კვების ბლოკი 3 და აკუმულატორთა ბატარეა 4.

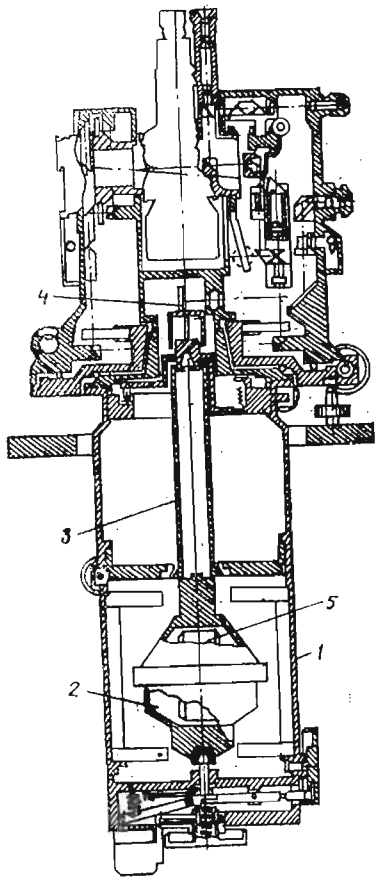
ხელსაწყოს ერთ-ერთი ძირითადი ნაწილია ცილინდრული ფორმის გი-



ნახ. 3.3.23.

როგლოკი 1 (ნახ. 24). გიროგლოკის შიგნით მოთავსებულია მგრძნობიარე ელემენტი, რომელიც ერთიმეორესთან მჭიდროდ დაკავშირებული გიროკამერის 2, ღრუ ცილინდრული შტანგისა 3 და ბრტყელი სარკისაგან 4 შედგება. გიროკამერაში დაყენებულია გირომოტორი 5, რომელიც ასინქრონულ სამფაზა ელექტროძრავას წარმოადგენს, იკვებება 32—36 ვ ძაბვისა და 400 ჰც სიხშირის ცვლადი დენით და სიჩქარეა 20000 ბრუნი წუთში. გირომოტორი დამაგრებულია კამერაში იმგვარად, რომ თავისუფლად დაკიდებული მგრძნობიარე ელემენტის ბრუნვის ღერძი ჰორიზონტულ მდგომარეობაში დგება. გიროკამერა ჰერმეტულად არის დახურული და მასში, როტორის მუშაობის პირობების გაუმჯობესების მიზნით, შექმნილია ვაკუუმი დაახლოებით $1 \cdot 10^{-2}$ მმ ვერც. წყლის სვეტის ტოლი ნარჩენი წნევით. გიროკომპასთან უძრავად არის მიმაგრებული დაახლოებით 17 სმ სიგრძის ღრუ შტანგა, რომლის ზედა ბოლო

ბრტყელი თავსახურით არის დახურული. გიროკამერისა და შტანგის ერთობლიობა ქმნის ხელსაწყოს მგრძნობიარე ელემენტს. მთელი ეს სისტემა დაკიდებულია მართკუთხა კვეთის 0,2 მმ სისქისა და 0,6 მმ სიგანის ლითონის ლენტზე—ტორსიონზე, რომელიც შტანგის შიგნითაა მოთავსებული. ტორსიონის ქვედა ბოლო უძრავად არის მიმაგრებული გიროკამერის კორპუსზე, სიმეტრიის ღერძზე მდებარე წერტილში, ხოლო ზედა— განსაკუთრებულ მოწყობილობაში, რომელსაც ამწე ბაქანი ჰქვია და შტანგასთან არ არის დაკავშირებული.



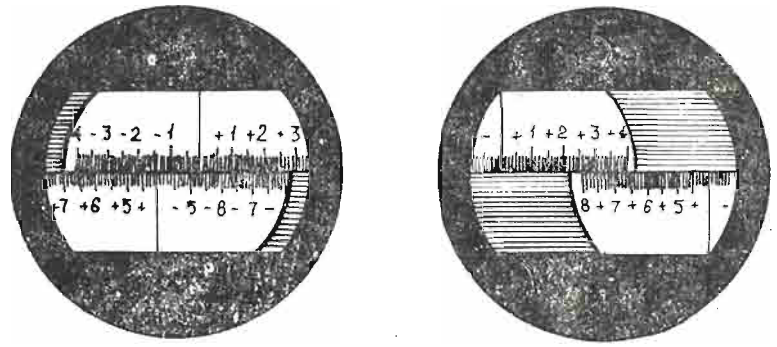
ნახ. 3.3.24.

კუთხსაზომი ნაწილი კონსტრუირებულია უნგრული TE—Б1 ტიპის ოპტიკური თეოდოლიტის ბაზაზე. მასში შეტანილია ზოგიერთი კონსტრუქციული ცვლილებები (გადიდებულია ჰორიზონტული წრედის ზომები, გაძლიერებულია ბრუნვის ვერტიკალური ღერძი). მიმართულების განსაზღვრის პროცესში თეოდოლიტის ლიმბი უძრავად რჩება. ალიდადა ბრუნავს როგორც ხელით, ისე მიკრომეტრული ჭიაჭრახნული გადაცემით. თეოდოლიტს აქვს ორი ამთვლელი მიკროსკოპი, რომელთაგან ერთი მოთავსებულია თეოდოლიტის სამზერი ჭოგრის სადგარზე. G_1—Б1 გიროთეოდოლიტის ავტოკოლიმატორი ძირითადად MB2M გიროკომპასის ავტოკოლიმატორის ანალოგიურია, მაგრამ მისგან განსხვავებით მხედველობის არეში ცალკეული ინდექსებისა და ძაფთა ბადის გამოსახულების ნაცვლად ჩანს დანაყოფებიანი სკალები (ნახ. 25). მგრძნობიარე ელემენტის სარკის სიბრტყისა და ავტოკოლიმატორის სამიზნე ღერძის მართობულობის შემთხვევაში სკალის ნულოვანი ინდექსები უნდა ერთიმეორეს შეუთავსდეს. ინდექსების შეთავსება სრულდება არეტირებულ მდგომარეობაში მგრძნობიარე ელემენტის საბრუნავი მექანიზმის საშუალებით. მგრძნობიარე ელემენტის სარკის რხევისას ავტოკოლიმატორის მზერის არეში ხილული სკალების ზედა და ქვედა გამოსახულებანი გადაადგილდებიან ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებებით. ავტოკოლიმატორის სამიზნე ღერძის მიმართ სარკის მობრუნების კუთხე განისაზღვრება სკალების ცენტრალურ (ნულოვან) ინდექსებს შორის მოთავსებული დანაყოფების რაოდენობით.

კვების ბლოკი წარმოადგენს მუდმივი დენის ცვლად დენად ნახევარგამტარულ გარდამქმნელს. იგი 12 ვ ძაბვის მუდმივ დენს ღებულობს აკუმულატორ-

თა ბატარეადან. გარდაქმნილი 40 ჰც სიხშირის ცვლადი დენი კაბელით გადაეცემა ხელსაწყოს.

დაკვირვების წარმოება. G_1—Б1 გიროთეოდოლიტით მუშაობის დროს აკვირდებიან მგრძნობიარე ელემენტის იძულებითსა და თავისუფალ რხევებს. იძულებითს რხევებს აკვირდებიან გირომოტორის სა-



ნახ. 3.3.25.

ჭიროკუთხური სიჩქარით ბრუნვის დროს, თავისუფალს—გამორთული გირომოტორის შემთხვევაში.

მგრძნობიარე ელემენტის იძულებითი რხევები, რაც მიმმართველი მომენტის მოქმედებით ხდება, იწვევს ტორსიონის გრეხას, ეს კი—გრეხის მომენტის წარმოქმნას, რაც მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის მდგომარეობის გადაადგილებას იწვევს მერიდიანის სიბრტყიდან. ამის გამოსარიცხავად საჭიროა ტორსიონის დაუგრეხავ მდგომარეობაში შენარჩუნება, რისთვისაც მისი ზედა ბოლო უნდა მობრუნდეს მგრძნობიარე ელემენტის მოძრაობის კვალდაკვალ. პრაქტიკულად ეს სრულდება ალიდადის მოძრაობით, რომელზედაც ტორსიონის ზედა ბოლოა დამაგრებული.

ალიდადისა და მგრძნობიარე ელემენტის სინქრონულ მობრუნებას აღწევენ ავტოკოლიმატორში ხილული სკალების ცენტრალური შტრიხების შეთავსებულ მდგომარეობაში შენარჩუნებით, რაც ალიდადის მიკრომეტრული ხრახნის საშუალებით ხორციელდება და გრძელდება უწყვეტლივ იძულებითს რხევებზე დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში. რევერსიის მომენტებში შტრიხებს განსაკუთრებული გულმოდგინებით შეათავსებენ და იღებენ ანათვალს თეოდოლიტის ჰორიზონტულ წრედზე. G_1—B1 გიროთეოდოლიტით მუშაობისას, ჩვეულებრივ, აკვირდებიან რევერსიის ოთხ თანამიმდევრობითს წერტილს და იღებენ შესაბამის n_1, n_2, n_3 და n_4 ანათვლებს ლიმბზე. წონასწორობის მდგომარეობის შესაბამისი ანათვლები განისაზღვრება ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{n_1 + 2n_2 + n_3}{4} = \frac{1}{2}\left(\frac{n_1 + n_2}{2} + \frac{n_2 + n_3}{2}\right), \\ N_2 &= \frac{n_2 + 2n_3 + n_4}{4} = \frac{1}{2}\left(\frac{n_2 + n_3}{2} + \frac{n_3 + n_4}{2}\right), \end{aligned}\right\} \qquad (3.3.28)$$

$$N_0' = \frac{N_1 + N_2}{2}.$$

მგრძნობიარე ელემენტის იძულებითი რხევების დაკვირვებათა სისწორის საკონტროლოდ უნდა განისაზღვროს რხევათა ჩაქრობის f ფაქტორი ფორმულით

$$f = 1 + \frac{n_3 - n_1}{n_2 - n_3}. \qquad (3.3.29)$$

f-ის მნიშვნელობა 1,005 არ უნდა აღემატებოდეს.

მგრძნობიარე ელემენტის იძულებითი რხევების ფაქტობრივი წონასწორობის მდგომარეობის შესაბამის N_0' ანათვალში შეტანილი უნდა იქნეს შესწორება ნული პუნქტისათვის (ტორსიონის გრეხაზე), რაც თავისუფალ რხევებზე დაკვირვებით განისაზღვრება. ამისათვის მგრძნობიარე ელემენტს ფრთხილად აუშვებენ და აღწევენ, რომ მისი თავისუფალი რხევის ამპლიტუდა იყოს რაც შეიძლება მცირე—არა უმეტესი სკალის 80 დანაყოფისა, ე. ი. არ გამოდიოდეს ავტოკოლიმატორის მზერის არიდან. რხევის ამპლიტუდის შესაბამისად ამთვლელ ინდექსად იღებენ ქვედა სკალის ცენტრალურ შტრიხს ან ზედა სკალის კიდურა შტრიხებს. შერჩეული შტრიხის რხევის ფიქსაცია ხდება რევერსიის წერტილებში სკალაზე ანათვლის აღებით. რევერსიის ოთხი მოსაზღვრე წერტილის შესაბამისი a_1, a_2, a_3 და a_4 ანათვლების შემთხვევაში მგრძნობიარე ელემენტის თავისუფალი რხევების წონასწორობის მდგომარეობის შესაბამისი A_0 ანათვალი განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$A_0 = \frac{A_1 + A_2}{2}, \qquad (3.3.30)$$

სადაც

$$A_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{a_2 + a_3}{2}\right),$$

$$A_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{a_2 + a_3}{2} + \frac{a_3 + a_4}{2}\right).$$

A_0 სიდიდით ხასიათდება სკალების ურთიერთმდებარეობა სრულიად დაუგრეხავი ტორსიონის შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც მგრძნობიარე ელემენტი თავისუფლად და უძრავად კიდია ტორსიონზე, მაშინ სკალების ცენტრალური შტრიხები ერთიმეორის მიმართ A_0 დანაყოფით არის გადაადგილებული.

მგრძნობიარე ელემენტის იძულებით რხევებზე დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში სკალების ცენტრალური შტრიხები შეთავსებულ მდგომარეობაშია. მაშასადამე, დაკვირვების პროცესში ტორსიონი $\varepsilon_T = A_0\gamma$ კუთხით არის დაგრეხილი, სადაც γ სკალის ცალი დანაყოფის საფასურია, წამებში. ამ დროს წარმოქმნილი ტორსიონის გრეხის მომენტი იწვევს წონასწორობის მდგომარეობის გადაადგილებას ΔN სიდიდით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta N = \frac{\varepsilon_T}{D} = \frac{A_0\gamma}{D}, \qquad (3.3.31)$$

სადაც D გიროკომპასის ვარგისობის მაჩვენებელია, ხოლო $\frac{\gamma}{D}$ ფარდობა, რომელსაც C ასოთი აღნიშნავენ, ხელსაწყოს საპასპორტო მახასიათებელია.

მისი ოდენობა დაკვირვების ადგილის განედზეა დამოკიდებული და ადვილად განისაზღვრება გირობლოკის პასპორტის მიხედვით. ტორსიონის გრეხაზე შესწორებას თუ C კოეფიციენტის საშუალებით გამოვსახავთ, მაშინ

$$\Delta N = A_0 C, \qquad (3.3.32)$$

ხოლო იძულებითი რხევების წონასწორობის ჭეშმარიტი მდგომარეობა კი გამოითვლება ფორმულით

$$N_0 = N'_0 + \Delta N. \qquad (3.3.33)$$

სხვა მხრივ, G_1—B1 გიროთეოდოლიტის საშუალებით გიროსკოპული აზიმუტისა და C_1D_1 გვერდის დირექციულ კუთხის განსაზღვრა ძირითადად MB2M ტიპის გიროკომპასის ანალოგიურად წარმოებს.

G_1 — B1 გიროთეოდოლიტის ბ შესწორება გაცილებით სტაბილურია MB2M გიროკომპასის ანალოგიურ შესწორებასთან შედარებით და არ საჭიროებს სისტემატურ განსაზღვრას. ხელსაწყოს დამამზადებელი ქარხანა შესწორების მუდმივობის გარანტიას იძლევა 15 დღე-ღამის განმავლობაში, თუ ამ პერიოდში მიმართულებათა განსაზღვრის რაოდენობა 50-ს არ აღემატება. ეს გარემოება მნიშვნელოვნად ამცირებს შესწორების განსაზღვრისათვის საჭირო გაზომვების მოცულობას და ამარტივებს გიროსკოპული ორიენტირების მეთოდიკას. მაგრამ უნდა აღინიშნოს G_1 — B1 გიროთეოდოლიტის არსებითი ნაკლი: იგი აფეთქებასაფრთხიანია, დიდი მასის მქონე (მთელი კომპლექტი 122 კგ იწონის), თანაც დენგამტარისა და ტორსიონის დაუგრეხავ მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად არ გააჩნია ავტომატური სათვალთვალო სისტემა, ამიტომ ეს ოპერაცია ხელით სრულდება, რაც დამკვირვებელზე ძლიერ მომქანცველად მოქმედებს. ამჟამად ქარხანა უშვებს Γ_1—B2 მარკის გაუმჯობესებულ გიროთეოდოლიტებს, რომლებსაც აქვთ ავტომატური სათვალთვალო სისტემა.

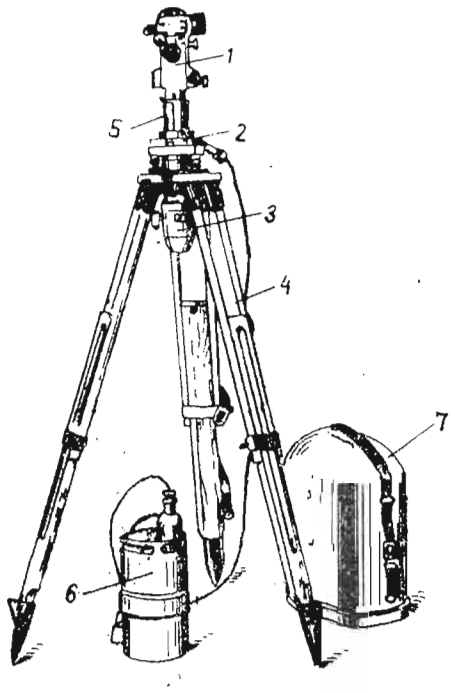
ჰ. MBT2 მარკის აფეთქებაუსაფრთხო მარკშეიდერული გიროკომპასი

MBT2 მარკის აფეთქებაუსაფრთხო მარკშეიდერული გიროკომპასი, რომელიც კონსტრუირებულია სამთო გეომექანიკისა და სამარკშეიდერო საქმის საკავშირო სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში, ამჟამად არსებულ ანალოგიურ ხელსაწყოებს შორის ყველაზე მსუბუქია და უზრუნველყოფს გიროსკოპული აზიმუტის $\pm 30''$ სიზუსტით განსაზღვრას.

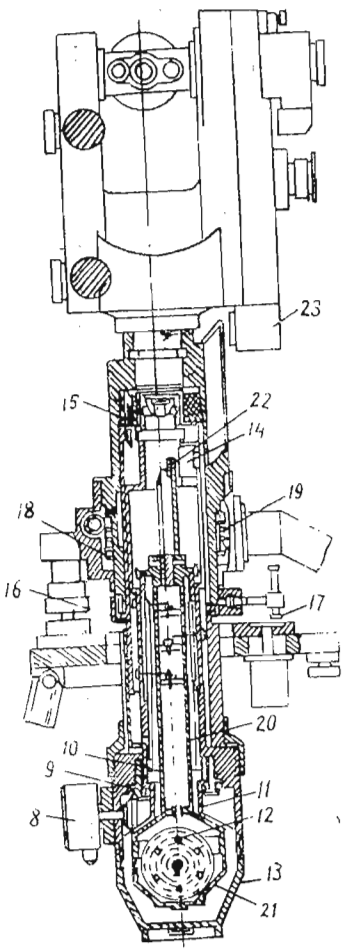
MBT2-ის კომპლექტში შედის ძირითადი ხელსაწყო, რომელიც შტატივზე იდგმება, და აკუმულატორთა ბატარეა (ნახ. 26). ძირითადი ხელსაწყო კუთხსაზომი 1 ნაწილისა და მოსახსნელი გიროსაცმისაგან 3 (გირომისადგარი) შედგება. კუთხსაზომი ნაწილი ტრეგერზე 5 თავსდება, გიროსაცმი კი ტრეგერის ქვევიდან ჩაისმება. ტრეგერი შედგება შტატივის 4 საყრდენ რგოლზე მიმაგრებული უძრავი ფუძისა და საბრუნი კორპუსისაგან. საბრუნი კორპუსი რომელიც განლაგებულია ტრეგერის ცენტრალურ ნაწილში, წარმოადგენს ღრუ მასრას, რომელიც უსასრულო მიკრომეტრული ხრახნის 2 საშუალებით ბრუნავს ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ. ძირითადი ხელსაწყო (კუთხსაზომი ნაწილი და გიროსაცმი) მჭიდროდ მაგრდება საბრუნ კორპუსთან და მასთან ერთად ბრუნავს.

გიროსაცმის შიგნით ტორსიონზე კიდია მგრძნობიარე ელემენტი (ნახ. 27), რომელიც შედგება გიროკამერისა 21 და ღრუ ცილინდრული შტანგისაგან 20, რომელზედაც ზემოთ ბრტყელი სარკეა 22 მიმაგრებული. გიროკამერაში დაყენებულია ГМА — 2,5 ტიპის გირომოტორი, რომელიც 30 ვ ძაბვისა და 430 ჰც სიხშირის სამფაზა დენით იკვებება. თითოეულ ფაზაში დენის ძალა 0,2 ა უდრის, როტორის ბრუნვის სიჩქარე—12000 ბრ/წუთში.

MBT2-ში მგრძნობიარე ელემენტი



ნახ. 3.3 26.



ნახ. 3.3.27. MBT2 გიროკომპასის აგებულების სქემა: 8—არეტირის მქნევარა; 9—კონუსური კბილანა; 10, 11—საარეტირო მექანიზმის შიგა და გარე ქანჩები; 12—გირომოტორი; 13—მაგნიტური ეკრანი; 14—სარკმელი; 15—შტეპსელის გასართის ჩანგალი; 16—საკეტი; 17—გამშვები გასაღები; 18—საკონტაქტო რგოლები; 19—მუსები; 20—ცილინდრული შტანგა; 21—კამერა; 22—ბრტყელი სარკე; 23— ავტოკოლიმატორი

კიდია სპეციალური კონსტრუქციის ტორსიონზე, რომელსაც სიმტკიცის ორმაგი მარაგი და გრეხის ძალიან მცირე მომენტი აქვს. ტორსიონის ქვედა ბოლო მჭიდროდაა დაკავშირებული მგრძნობიარე ელემენტთან, ხოლო ზედა კი ჩაჭერილია სპეციალური მოწყობილობით, რაც გიროსაცმის კორპუსის მიმართ მისი მდებარეობის რეგულირების საშუალებას იძლევა.

გიროკომპასში გამოყენებულია საარეტირო მოწყობილობის ორიგინალური კონსტრუქცია, რაც უზრუნველყოფს არეტირების შემდეგ მგრძნობიარე ელემენტის სრულ უძრაობასა და ტორსიონის დაჭიმვის უცვლელობას.

გიროსაცმის ქვედა ნაწილში განლაგებულია მაგნიტური ეკრანი 13, რომელიც საიმედოდ იცავს გირომოტორს გარე მაგნიტური ველების გავლენისაგან. მტვრისა და მექანიკური დაზიანებისაგან გიროსაცმი დაცულია ჰერმეტული კორპუსით, რომლის ზემო ნაწილში მგრძნობიარე ელემენტის რხევაზე დაკვირვებისათვის დამცავი მინით დახურული სამზერი სარკმელია 14 მოთავსებული.

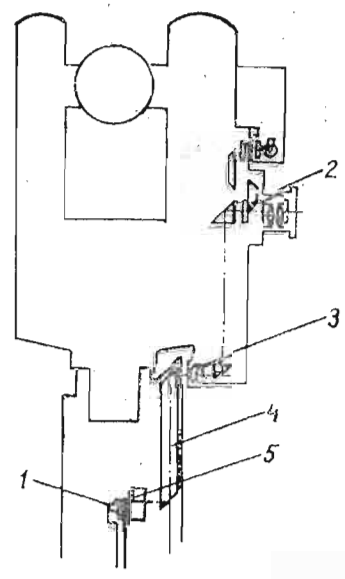
გიროსაცმის თავზე განლაგებულია შტეფსელის გასართის ჩანგალი 15, რომლითაც მყარდება ელექტრული კავშირი გიროსაცმსა და ტრეგერის საბრუნ კორპუსს შორის.

ხელსაწყოს დაყენების დროს საბრუნ კორპუსში გიროსაცმი ჩაისმება ქვევიდან და მაგრდება საკეტით 16. საკეტის ქანჩი გიროსაცმის სრული დამაგრების შემდეგ იკეტება გამშვები გასაღების 17 საშუალებით. მხოლოდ ამის შემდეგ შეიძლება თავისი ბუდიდან გასაღების ამოღება და კვების ბლოკში ჩადგმა. ასეთი ბლოკირება გამორიცხავს გიროსაცმის მოხსნას ჩართული ელექტროკვების დროს და უზრუნველყოფს გიროკომპასის აფეთქებაუსაფრთხოებას. ტრეგერის ელექტრული შეერთება საბრუნ კორპუსთან განხორციელებულია საკონტაქტო რგოლებისა 18 და მუსების 19 საშუალებით.

გიროკომპასის კუთხსაზომი ნაწილი ძირითადად ოპტიკური ОТШ თეოდოლიტის ბაზაზეა აგებული და განსხვავდება მისგან ავტოკოლიმატორით 23, რომელიც უშუალოდ თეოდოლიტის დგარზეა დამონტაჟებული.

28-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ავტოკოლიმაციური სისტემის ოპტიკის სქემა. რადგან მგრძნობიარე ელემენტის სარკე 1 დამაგრებულია ავტოკოლიმატორის ობიექტივის 3 დონეზე დაბლა, ამიტომ მათ შორის ოპტიკური კავშირის უზრუნველსაყოფად გამოყენებულია რომბული პრიზმა 4, რომელიც საბრუნ კორპუსთან არის მიმაგრებული.

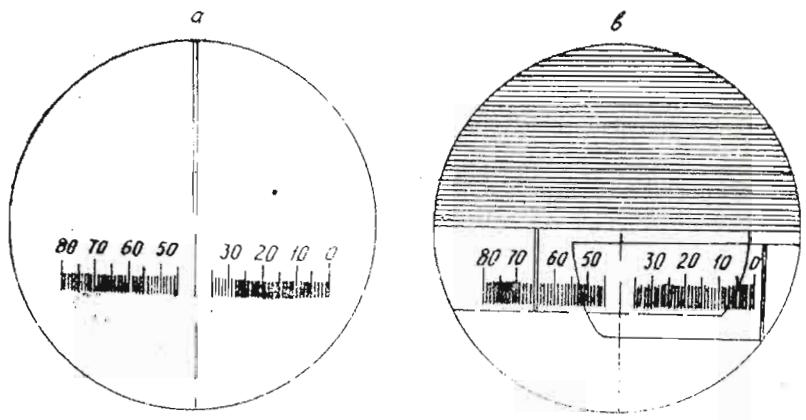
ავტოკოლიმატორის ძაფთა ბადეს 2 აქვს 29ა ნახაზზე გამოსახული სახე. MB2M გიროკომპასის მსგავსად, აქაც ბადის ზემო ნაწილი (ბისექტორი) დამკვირვებლისაგან გადაკეტილია, ამიტომ მზერის არეში ჩანს მისი მხოლოდ ქვედა ნაწილი — სკალა.



ნახ. 3.3.28.

BMT2 გიროკომპასის მნიშვნელოვანი თავისებურებაა მეორე ამრეკლი სარკე 5, რომლის როლს ასრულებს გიროსაცმის კორპუსზე არსებული სამზერი სარკმლის ზედა მოვერცხლილი ნახევარი. მაშასადამე, ძაფთა ბადის ბისექტორის გამოსახულება ერთდროულად ორი სარკიდან აირეკლება და ავტოკოლიმატორის მზერის არეში გამოჩნდება ორი ბისექტორი (ნახ. 29ბ). მეორე სარკე საშუა-

ლებას იძლევა ხელსაწყოს ამუშავებისას ფიქსირებულ იქნეს გიროსაცმის მდებარეობა კუთხსაზომი ნაწილის ლომბის ძიმართ. ამისათვის საკმარისია ალიდადის ბრუნებით სკალის ცენტრალური (წყვეტილი) შტრიხი შეყვანილ იქნეს



ნახ. 3.3.29.

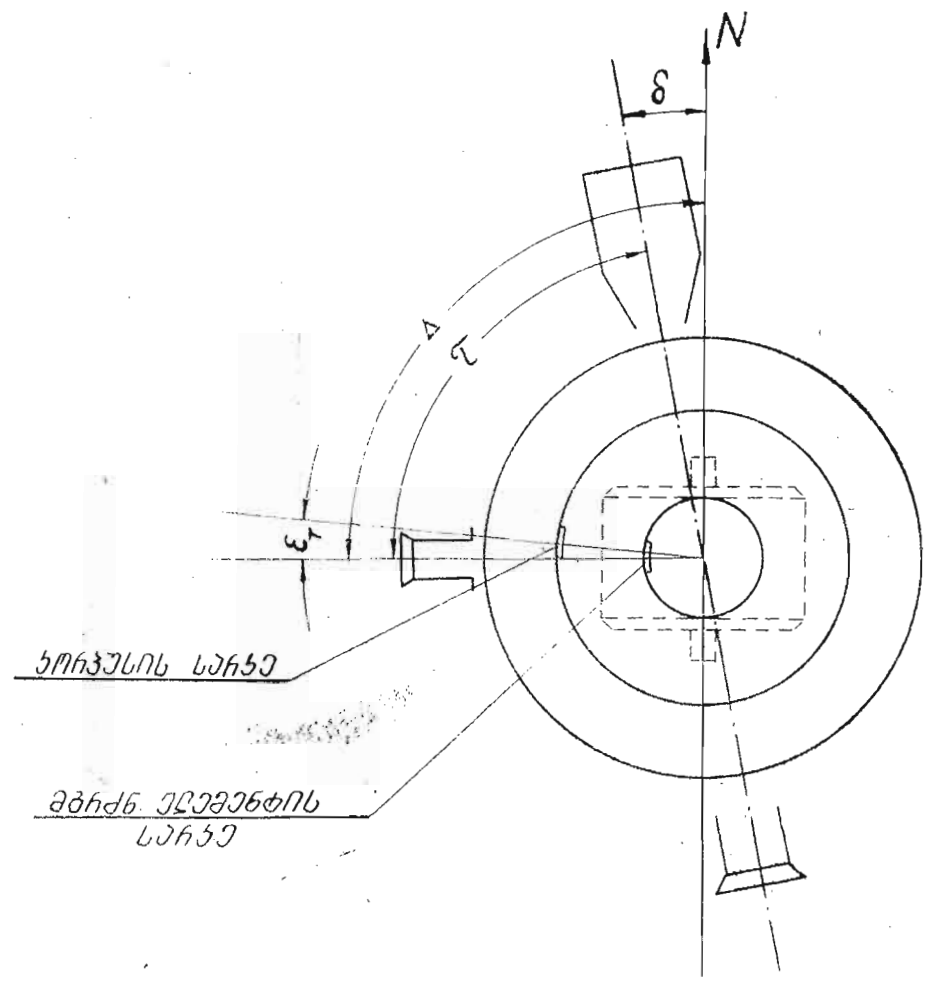
კორპუსის ბისექტორში და აღებულ იქნეს ანათვალი ლიმბზე. მგრძნობიარე ელემენტის რხევებზე უძრავი ავტოკოლიმატორით დაკვირვების დროს მზერის არეში ჩანს მგრძნობიარე ელემენტის მოძრავი და კორპუსის უძრავი ბისექტორები.

კვების ბლოკი შედგება КНГК–3,5 აკუმულატორთა ბატარეისა და დენის ნახევარგამტარულ გარდამქმნელისაგან, რომლებიც ერთ ალუმინის ფართო კორპუსშია 6 მოთავსებული. გარდამქმნელის საშუალებით აკუმულატორთა ბატარეადან მიწოდებული მუდმივი დენი გარდაიქმნება 30 ვ ძაბვისა და 430 ჰც სიხშირის სამფაზა ცვლად დენად. გარდამქმნელს გააჩნია მუდმივი ძაბვის სტაბილიზატორი. კვების ბლოკის მთელი საკონტროლო და ამამუშავებელი მოწყობილობა მის თავსახურავზეა დამონტაჟებული. ტრანსპორტირებისას ძირითადი ხელსაწყო ბუდეში 7 თავსდება (ნახ. 26).

MBT2 გირკომპასით დაკვირვების თავისებურებანი. 30-ე ნახაზზე ნაჩვენებია MBT2 გიროკომპასის გეომეტრიული ელემენტები. Δ და τ სიდიდეები განხილული იყო MB2M გიროკომპასის აღწერის დროს. ამიტომ დამატებით განმარტებას არ საჭიროებს. რაც შეეხება ε_T სიდიდეს, მას ტორსიონის ნულ პუნქტს უწოდებენ და წარმოადგენს გიროსაცმისა და მგრძნობიარე ელემენტის სარკეებისადმი პერპენდიკულარებს შორის მოთავსებულ კუთხეს იმ მომენტში, როდესაც მგრძნობიარე ელემენტი თავისუფლად და უძრავად კიდია ტორსიონზე. ხელსაწყოს მუშაობის პროცესში ε_T სიდიდის სტაბილურობას უზრუნველყოფს ტორსიონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების უცვლელობა და მისი დამაგრების ზედა წერტილის უძრაობა. ამუშავებებს შორის ε_T სიდიდის შესაძლო ცვლილებათა მხედველობაში მისაღებად მუშაობის მეთოდიკა ითვალისწინებს ყოველი ამუშავების წინ მის განსაზღვრას მგრძნობიარე ელემენტის თავისუფალ რხევებზე დაკვირვების საშუალებით.

გაზომვების დაწყების წინ გიროკომპასს ცენტრავენ გამოსავალი ან გასაგნები გვერდის ერთ-ერთ წერტილზე და აძლევენ 20—30°-ის სიზუსტით

ჩრდილოეთის ორიენტაციას. თავდაპირველად აკვირდებიან მგრძნობიარე ელემენტის თავისუფალ რხევებს. დაკვირვებათა გასაადვილებლად ავტოკოლიმატორის ღერძს წინასწარ აყენებენ გიროსაცმის სარკისადმი პერპენდიკულარუ-



ნახ. 3.3.30.

ლად, რისთვისაც ალიდადის ბრუნებით სკალის ცენტრალური შტრიხი (ანათვალი 40) შეყავთ კორპუსის ბისექტორში. ამის შემდეგ ფრთხილად ათავისუფლებენ (აუშვებენ) მგრძნობიარე ელემენტს და აღწევენ იმას, რომ მისი ბისექტორის რხევები ავტოკოლიმატორის სკალის ფარგლებში რჩებოდეს.

იღებენ ბისექტორის კიდური მდებარეობების შესაბამის n_1, n_2, n_3 და n_4 ანათვლებს სკალაზე. მგრძნობიარე ელემენტის თავისუფალი რხევების წონასწორობის შესაბამისი n_0 ანათვალი გამოითვლება ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} n'_0 &= \frac{n_1+2n_3+n_3}{4}; \quad n_0'' = \frac{n_2+2n_3+n_4}{4}; \\ n_0 &= \frac{n_0'+n_0''}{2}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.3.34)$$

მგრძნობიარე ელემენტის თავისუფალ რხევებზე დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში ავტოკოლიმატორი უძრავია, რის გამოც კორპუსის ბისექტორის შესაბამისი π_K ანათვალი უცვლელი რჩება ($n_K = 40$). ამიტომ ტორსიონის ნული პუნქტი, რომლის სიდიდე ბისექტორების ურთიერთმდებარეობით ხასიათდება, განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$\varepsilon_T = (n_K - n_0)\, t, \tag{3.3.35}$$

სადაც t სკალის ცალი დანაყოფის საფასურია ($t = 52''$).

თავისუფალ რხევებზე დაკვირვების შემდეგ ჩართავენ გიროკომპასს, რისთვისაც მუშაობის რეჟიმის გადამრთველს აყენებენ ხელსაწყოს ამუშავების მდგომარეობაში. ამ დროს გირომოტორის ღერძი სწრაფად იწყებს მოძრაობას მერიდიანისაკენ. შესაბამისად მოძრაობს ავტოკოლიმატორის მზერის არეში მგრძნობიარე ელემენტის ბისექტორიც. ტორსიონის გრეხის მომენტის გავლენის გამორიცხვის მიზნით მგრძნობიარე ელემენტის ბისექტორს საბრუნი კორპუსის უსასრულო მიკრომეტრული ხრახნის ბრუნვით აჩერებენ n_0 ანათვალზე (ამ დროს კორპუსის ბისექტორი დგას $n_K = 40$ ანათვალზე), რითაც აღწევენ ტორსიონის დაუგრეხავ მდგომარეობაში შენარჩუნებას.

მერიდიანის სიბრტყის მახლობლად გირომოტორის ღერძის მიყვანის შემდეგ, რაც MBT2 გიროკომპასში 1—2 მინუტის განმავლობაში ნახევრად ავტომატურად სრულდება, იწყებენ მგრძნობიარე ელემენტის იძულებით რხევებზე დაკვირვებას. ასეთი დაკვირვებები MB2M გიროკომპასის ანალოგიურად წარმოებს. წონასწორობის N'_0 მდგომარეობა განისაზღვრება რევერსიის ოთხი თანამიმდევრობითი წერტილის შესაბამისი ანათვლების საშუალებით (28) ფორმულით. რევერსიებს შორის შუალედებში ორჯერ ზომავენ მისამხროზ N მიმართულებას, აგრეთვე ორჯერ საზღვრავენ გიროსაცმის სარკის მდებარეობას, რისთვისაც ავტოკოლიმატორს აყენებენ სარკის პერპენდიკულარულად და იღებენ N_K ანათვალს ლიმბზე (ნახ.31).

MBT2 გიროკომპასს გააჩნია გირომოტორის გაქანების განსაკუთრებული რეჟიმი რაც 1—2 მინუტის განმავლობაში უზრუნველყოფს მისი ღერძის 1—3°-ის სიზუსტით მერიდიანის სიბრტყეში მიყვანას. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ მომენტში გირომოტორის ღერძი მერიდიანის სიბრტყის მიმართ იჭერს I მდებარეობას და ქმნის მასთან მცირე β კუთხეს (ტორსიონი დაუგრეხავ მდგომარეობაშია), ხოლო მასთან კონსტრუქციულად დაკავშირებული გიროსაცმისა და მგრძნობიარე ელემენტის სარკეებისადმი პერპენდიკულარებს კი უჭირავთ, შესაბამისად, II და III მდებარეობა. შემდგომში გირომოტორის ღერძის იძულებითი რხევები გრძელდება მიმმართველი და ტორსიონის გრეხის მომენტების ერთობლივი ქმედების პირობებში. ამის შედეგად ღერძის წონასწორობის ფაქტობრივი IV მდებარეობა ε კუთხით გადაადგილებული აღმოჩნდება მერიდიანიდან. მგრძნობიარე ელემენტის სარკისადმი პერპენდიკულარი გირომოტორის ღერძთან მუდმივ Δ კუთხეს ადგენს, ამიტომ მგრძნობიარე ელემენტის წონასწორობის ფაქტობრივი V მდებარეობა ასევე გადაადგილებულია თავისი ჭეშმარიტი VI მდებარეობიდან იმავე ε კუთხით. ε-ის გამოთვლისათვის საჭიროა ტორსიონის გრეხის კუთხისა და გიროკომპასის ვარგისიანობის D კოეფიციენტის ცოდნა.

31-ე ნახაზის მიხედვით, როდესაც მგრძნობიარე ელემენტის სარკისადმი

პერპენდიკულარი, რომელსაც თავდაპირველად II მდებარეობა ეჭირა, წონასწორობის V მდგომარეობაში დგება, ტორსიონი ψ კუთხით არის დაგრეხილი

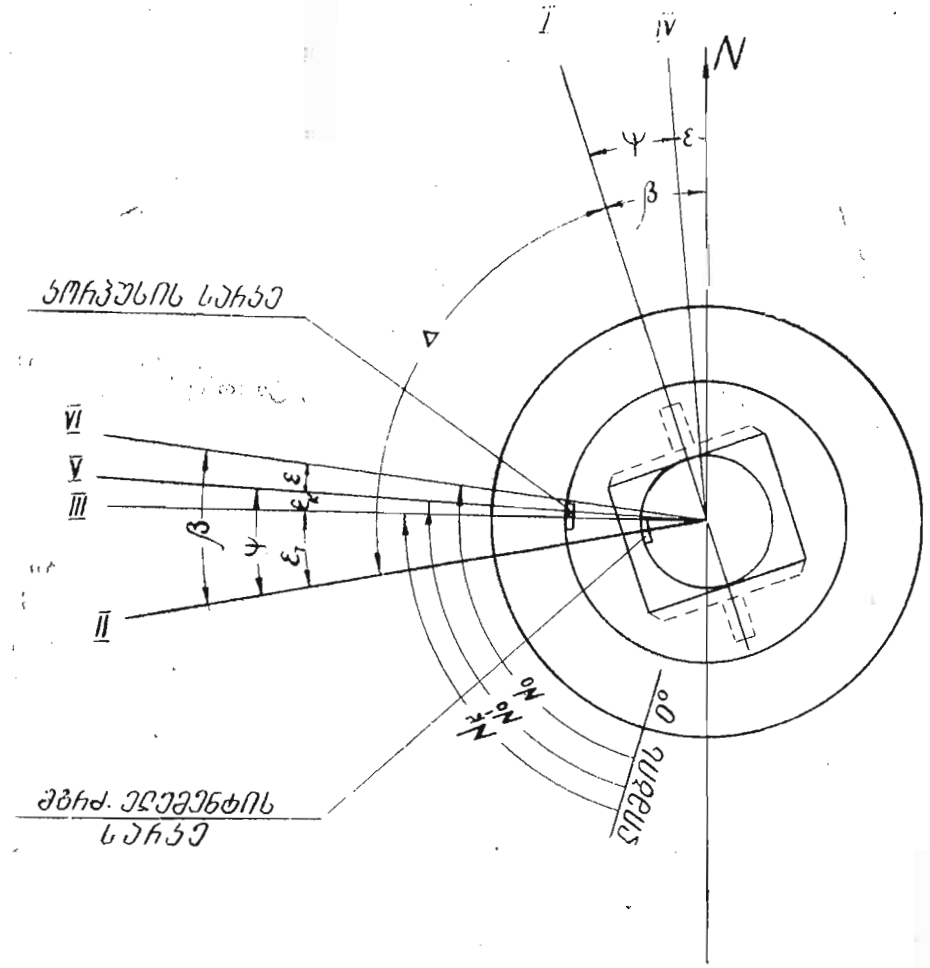
$$\psi = \varepsilon_T + \varepsilon_K, \tag{3.3.36}$$

სადაც

$$\varepsilon_K = N'_0 - N_K.$$

შესწორება ტორსიონის გრეხაზე

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_T + \varepsilon_K}{D}. \tag{3.3.37}$$



ნახ. 3.3.31.

ε შესწორების მხედველობაში მიღებით წონასწორობის მდგომარეობის შესაბამისი N_0 ანათვალი ლიმბზე იქნება

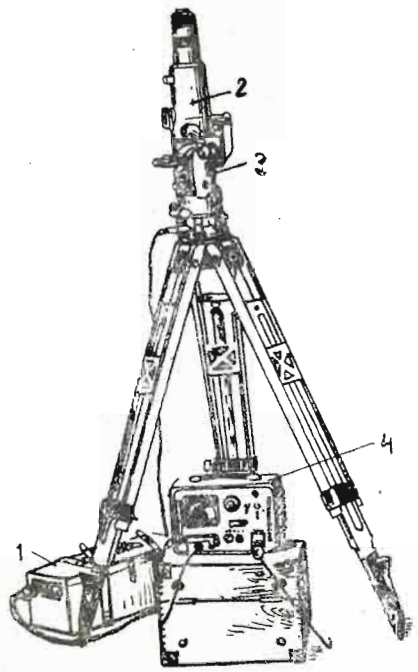
$$N_0 = N'_0 + \varepsilon. \tag{3.3.38}$$

ამის შემდეგ გიროსკოპული აზიმუტისა და გასაგნები გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრა MB2M გიროკომპასის ანალოგიურად წარმოებს.

კონსტრუირებულია ახალი აფეთქებაუსაფრთხო მარკშეიდერული გიროკომპასი MBT4, რომლის მთელი კომპლექტი (გირობლოკი, გამზომი ბლოკი, გარდამქმნელი და აკუმულატორთა ბატარეა) გაერთიანებულია ერთ ხელსაწყოში, რომელიც მუშაობის დროს იდგმება შტატივზე. MBT4 და MBT2 გიროკომპასების მოქმედებისა და ექსპლოატაციის პრინციპი ძირითადად ერთნაირია. MBT2 გიროკომპასისაგან განსხვავებით MBT4 გიროკომპასი საჭიროებს მხოლოდ მიახლოებით (20°-ის სიზუსტით) ორიენტირებას, რის შემდეგ მისი ღერძი ამუშავების პერიოდში $\pm 1°$ სიზუსტით დგება მერიდიანის სიბრტყეში. არ საჭიროებს სათვალთვალო სისტემას, არც მგრძნობიარე ელემენტის მოძრაობაზე განუწყვეტელ დაკვირვებას. გამზომი ბლოკის ბრუნვა არ მოქმედებს გირობლოკის მუშაობის სიზუსტეზე, ამიტომ გამოსავალ და გასაგნებ გვერდებზე მიბმა შეიძლება რევერსიის მომენტებს შორის დროის შუალედში [47].

*Gi-C*1 მარკის მცირეგაბარიტიანი გიროსკოპული საცმი

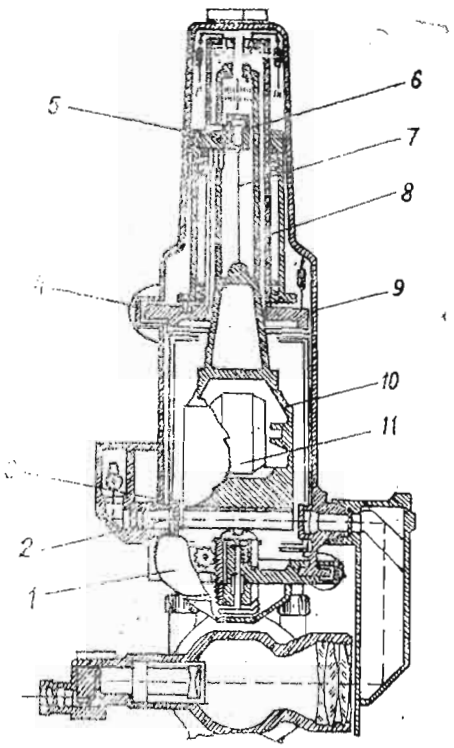
უკანასკნელ წლებში კონსტრუირებულია ე. წ. გიროსკოპული საცმის რამდენიმე მოდელი. მათ შორის უფრო საყურადღებოა უნგრეთის სახალხო რესპუბლიკაში დამზადებული *Gi—C*1 მარკის გიროსაცმი, რომლის კომპლექტში შედის თეოდელიტი 3 შტატივით, გიროსაცმი 2, კვების ბლოკი 4, აკუმულატორთა ბატარეა 1 და ზესადები საორიენტირო ბუსოლი (ნახ. 32). იგი აფეთქებასაფრთხიანია; საკუთრივ გიროსაცმი 4,1 კგ-ს იწონის, მთელი მოწყობილობა კი—56 კგ-ს.



ნახ. 3.3 32.

*Gi—C*1 გიროსაცმი იდგმება, იცენტრება და მაგრდება თეოდოლიტის ჰოგრის ბრუნვის ღერძზე. მისი ვერტიკალური ღერძი თეოდოლიტის ბრუნვის მთავარ ღერძს უერთდება. ამგვარად, გიროსაცმი მჭიდროდ არის დაკავშირებული თეოდოლიტის ალიდადასთან და ბრუნავს მასთან ერთად. კონსტრუქციული აღნაგობით იგი ძირითადად *Gi—B*1 გიროთეოდოლიტის ანალოგიურია (ნახ. 33). მისგან განსხვავებით მას არ აქვს სპეციალური ავტოკოლიმატორი. მგრძნობიარე ელემენტის რხევებზე დაკვირვება ხორციელდება თეოდოლიტის სამიზნე ჰოგრის საშუალებით, რომლის ბრუნვის ღერძზე გიროსაცმია დაყენებული. ამისათვის გამოიყენება ოპტიკური პრიზმა, რომელიც

ობიექტივის წინ მაგრდება. ბრტყელი სარკის ნაცვლად, რომელიც *Gi—B*1 გიროთეოდოლიტში მგრძნობიარე ელემენტის შტანგაზეა მიმაგრებული, აქ გამოყენებულია ბრტყელ-პარალელური ფირფიტა 3, რომელიც გიროკამერის ფსკერზეა მიკრული. მგრძნობიარე ელემენტის მობრუნებისას ბრუნდება აგრეთვე ბრტყელ-პარალელური ფირფიტა და მასთან ერთად ინდექსის 2 გამოსახულებაც. მიუხედავად *Gi — C*1 გიროსაცმის ამგვარი თავისებურებისა, მგრძნობიარე ელემენტის რხევებზე დაკვირვება, აგრეთვე გიროსკოპული აზიმუტისა და გიროსაცმის შესწორების განსაზღვრა ისევე წარმოებს, როგორც *Gi—B*1 გიროთეოდოლიტით მუშაობის შემთხვევაში. აქვე შევნიშნავთ, რომ გიროსაცმის შესწორების ოდენობა ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში სტაბილური რჩება, რაც გამორიცხავს ყოველი ორიენტირებისას მისი განსაზღვრის აუცილებლობას.



ნახ. 3.3 33. *Gi—C*1 გიროსაცმის კონსტრუქცია: 1—არეტირი; 2—სკალის ინდექსი; 3 — ბრტყელ-პარალელური ფირფიტა; 4—ჰიდრავლიკური გადაცემა; 5—ბაქანი; 6—ლითონის საცობი; 7—ტორსიონი; 8—ცილინდრული შტანგა; 9 — საყრდენი ბაქანი; 10—გიროკამერა; 11—გირომოტორი

k. გიროსკოპული ორიენტირების სიზუსტის შესახებ

გასაგნები C_1D_1 გვერდის დირექციული კუთხე იანგარიშება (25) ფორმულით

$$\alpha_1 = \alpha + \Gamma - \Gamma_0 + \delta_\gamma ,$$

საიდანაც α_1 დირექციული კუთხის განსაზღვრის შეცდომა, თუ Γ და Γ_0 გიროსკოპული აზიმუტების განსაზღვრის საშუალო კვადრატულ შეცდომებს, შესაბამისად, M_Γ და M_{Γ_0} ასოებით აღვნიშნავთ, ხოლო გამოსავალი CD გვერდის დირექციულ კუთხეს უშეცდომოდ ჩავთვლით და სიმცირის გამო მერიდიანების შეახლოების განსაზღვრის შეცდომებს უგულებელვყოფთ, იქნება:

$$M_{\alpha_1} = \pm \sqrt{M_\Gamma^2 + M_{\Gamma_0}^2} . \qquad (3.3.39)$$

რამდენადაც Γ და Γ_0 გიროსკოპული აზიმუტების განსაზღვრისათვის საჭირო გაზომვების კომპლექსი ერთნაირია, გაზომვები სრულდება ერთი და იმავე დამკვირვებლის მიერ ერთი და იმავე ხელსაწყოებითა და მეთოდებით, ამდენად ორიენტირების მოსალოდნელი შეცდომის წინასწარი გაანგარიშების დროს შეიძლება დავუშვათ, რომ $M_\Gamma = M_{\Gamma_0}$ და მივიღებთ

$$M_{\alpha_1} = M_\Gamma \sqrt{2}. \qquad (3.3.40)$$

მაგრამ გამოსავალი და გასაგნები გვერდების გიროსკოპული აზიმუტები განისაზღვრება სულ მცირე ორჯერ მაინც და საბოლოო შედეგად აიღება განაზომთა საშუალო არითმეტიკული, ამიტომ გიროსკოპული აზიმუტის ცალკეული (ერთჯერ) გაზომვის საშუალო კვადრატულ შეცდომას თუ m_Γ-ით აღვნიშნავთ, გვექნება

$$M_\Gamma = \frac{m_\Gamma}{\sqrt{2}},$$

ხოლო

$$M_{\alpha_1} = \pm m_\Gamma. \qquad (3.3.41)$$

მაშასადამე, Γ და Γ_0 გიროსკოპული აზიმუტების ორ-ორჯერ განსაზღვრის შემთხვევაში ორიენტირების, ანუ C_1D_1 გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის შეცდომა გიროკომპასის m_Γ სიზუსტის ტოლი გამოდის. გიროკომპასის სიზუსტეში იგულისხმება მიმართების გიროსკოპული აზიმუტის ცალკეული (ერთჯერადი) განსაზღვრის m_Γ საშუალო კვადრატული შეცდომა. იგი ხელსაწყოს საპასპორტო მახასიათებელია, დგინდება ექსპერიმენტულად ერთი და იმავე გვერდის გიროსკოპული აზიმუტის მრავალჯერ განსაზღვრით და გამოითვლება ბესელის ფორმულით

$$m_\Gamma = \pm \sqrt{\frac{[v\,v]}{n-1}}, \qquad (3.3.42)$$

სადაც n არის გიროსკოპული აზიმუტის განსაზღვრათა რაოდენობა;

v — ყოველი ცალკეული განაზომის გადახრა განაზომთა საშუალო არითმეტიკულიდან.

ზემოთ მოყვანილი მოსაზრებებით უნდა ვიხელმძღვანელოთ ორიენტირების მოსალოდნელი შეცდომის წინასწარი გაანგარიშების შემთხვევაში, ხოლო გიროსკოპული ორიენტირების ფაქტობრივი შედეგების სიზუსტის შეფასება კი რეკომენდებულია გამოსავალი და გასაგნები გვერდების გიროსკოპული აზიმუტების ორმაგი განაზომთა სხვაობის მიხედვით ფორმულით

$$M_{\alpha_1} = \frac{1}{2}\sqrt{d_0^2 + d^2}, \qquad (3.3.43)$$

სადაც d_0, d არის, შესაბამისად, გამოსავალი და გასაგნები გვერდების გიროსკოპული აზიმუტების ორმაგ განაზომთა სხვაობა.

აღსანიშნავია, რომ ორიენტირების გიროსკოპული მეთოდი მთელი რიგი არსებითი ღირსებით ხასიათდება: მისი სიზუსტე არ არის დამოკიდებული სამთო სამუშაოების სიღრმეზე, არც გასაგნები გვერდის ჭაურიდან დაშორებაზე; სამუშაოების წარმოება მარტივია, შრომის ნაყოფიერება მაღალი, ხოლო მუშაობის პირობები კი გაცილებით ხელსაყრელი და უსაფრთხო, ვიდრე ორიენტირების გეომეტრიული მეთოდების შემთხვევაში. ამიტომ იგი სულ უფრო ფართოდ ინერგება მარკშეიდერულ პრაქტიკაში.

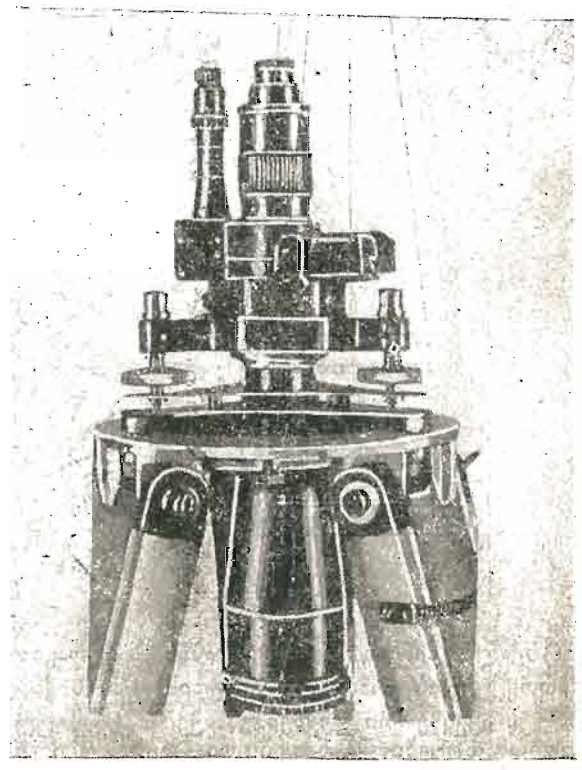
ბ. ოპტიკური ორიენტირება

ა. ზოგადი ცნობები. ოპტიკური ორიენტირების დროს დაგეგმილების ამოცანის გადაწყვეტა წარმოებს სპეციალური ოპტიკური ხელსაწყოებით.

არჩევენ ოპტიკური დაგეგმილების ორ სახეს. ერთ შემთხვევაში მზერის დახრილი ან შვეული სხივის საშუალებით ცალკეულ წერტილს აგეგმილებენ, მეორე შემთხვევაში კი — მიმართულებას.

ცალკეული წერტილის დაგეგმილების მიზნით 1873 — 78 წლებში ნაგელისა და შტამპფერის მიერ შექმნილი ხელსაწყოები ვერ გავრცელდა მარკშეიდერულ პრაქტიკაში [30].

1935 წელს ცეისის ფირმის მიერ კონსტრუირებულ იქნა ორიგინალური ხელსაწყო, რომლის საშუალებით შესაძლებელი იყო არა ცალკეული წერტილის, არამედ მიმართულების დაგეგმილება. მას მიმართულების მაგეგმილებელი (პროექტირი) უწოდეს. 1939 წელს ინჟ. ქ. სენტემოვმა დაამზადა ანალოგიური ხელსაწყოს საცდელი ნიმუში და გამოსცადა იგი დონეცკის აუზის ერთ-ერთ შახტზე. გამოცდამ დადებითი შედეგი გამოიღო, მაგრამ მეორე მსოფლიო ომმა ხელი შეუშალა დაწყებული სამუშაოების დამთავრებას. ომის შემდგომ წლებში სამთო გეომექანიკისა და სამარკშეიდერო საქმის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში შექმნეს ამ ინსტრუმენტის უფრო სრულყოფილი ნიმუში ПН—1. საწარმოო გამოცდის შედეგების საფუძველზე მასში კონსტრუქტორ ა. მეშჩერიაკოვის მიერ შეტანილ იქნა მთელი რიგი გაუმჯობესებანი. 1957 წელს ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხანამ გამოუშვა ამ ხელსაწყოს გაუმჯობესებული კონსტრუქცია — ПН—1М.



ნახ. 3.3.34.

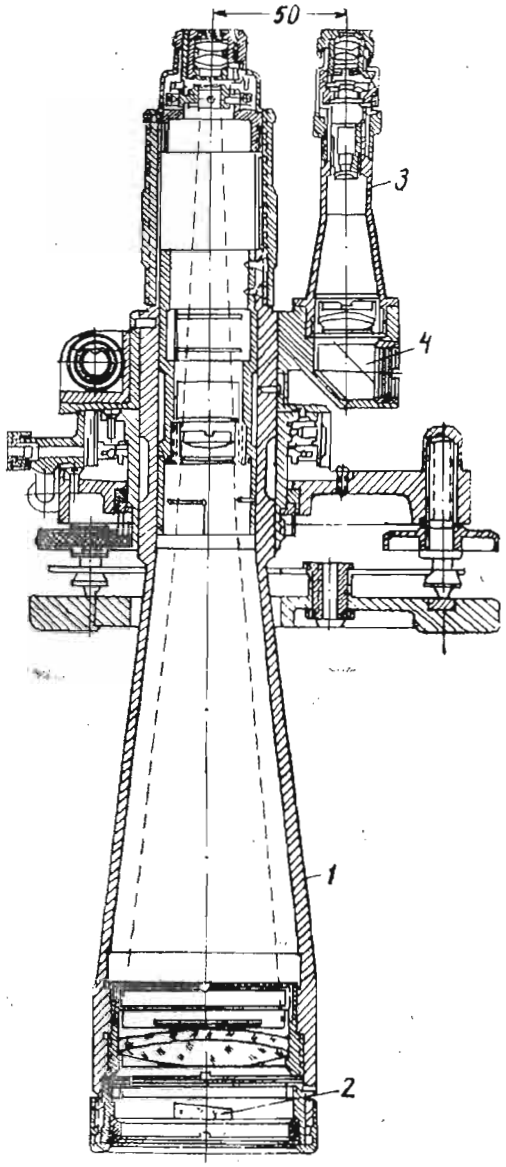
ბ. მიმართულების მაგეგმილებელი (პროექტირი) ПН—1М[1]. ოპტიკური დაგეგმილებისათვის საჭირო ხელსაწყოების კომპლექტში შედის მიმართულების მაგეგმილებელი ПН—1М, ორი სკალა და ორი სიგნალი.

ПН—1М ხელსაწყო, რომლის საერთო ხედი 34-ე ნახაზზეა მოცემული, ორმაგი გამოსახულების პრინციპზეა აგებული. მის სამზერ ჭოგრს 1 ობიექტივის ნაწილში მიმაგრებული აქვს მცირე გარდატეხის კუთხის ($\varepsilon = 0{,}01$ ან $0{,}2$ რადიანი) მქონე ოპტიკური სოლი 2 (ნახ. 35). ოკულარის ნაწილის პარალელურად დაყენებულია მართკუთხაპრიზმიანი 4 დამ-

1 [35]-ის მიხედვით.

ხმარე სამიზნე მილაკი 3.

სამზერი ჭოგრი 1 დაყენებულია სამი დამყენებელხრახნიან სადგარზე და აქვს მასთან ხშულად დაკავშირებული ცილინდრული თარაზო, რომლის ცალი



ნახ. 3.3.35.

დანაყოფის საფასური 20''.ს უდრის. ჭოგრს შეუძლია ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ ბრუნვა, აქვს ძაფთა ბადე, ოკულარის სკალა, დამტკეცი და მიკრომეტრული ხრახნები.

სამიზნე მილაკი 3 (დამხმარე ჭოგრი) ხისტადაა შეერთებული სამზერ ჭოგრთან. მილაკის შიგნით მოთავსებული ძართკუთხა პრიზმა 4 მზერის სხივს მიმართავს სამზერი ჭოგრის სამიზნე ღერძის მართობული მიმართულებით.

სამზერი ჭოგრი და დამხმარე სამიზნე მილაკი ისეა ერთიმეორესთან შეუღლებული, რომ მათი კოლიმაციური სიბრტყეები თანამთხვევადია

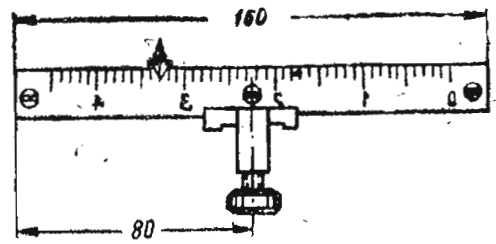
ოპტიკური სოლი 2 ფარავს ჭოგრის ობიექტივის შუა ნაწილს. მისი მთავარი კვეთი გადის ჭოგრის სამიზნე ღერძზე. სოლის გადამტეხი მოქმედების გამო მისგან გამოსული გარდატეხილი სხივი ადგენს გარდაუტეხავ სხივთან მუდმივ ε კუთხეს.

სკალები (ნახ.36) მაგრდება შტატივზე. სკალის სიგრძე 160 მმ-ია, დანაყოფის საფასური 3 მმ; დანაყოფები იზრდება მარჯვნიდან მარცხნივ. სკალას აქვს მოძრავი ინდექსი და სამიზნე.

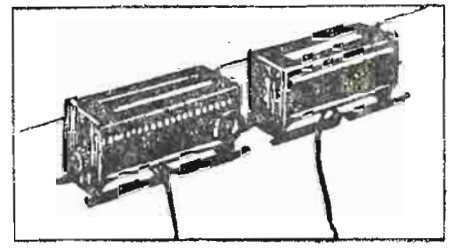
სიგნალი (ნახ. 37) წარმოადგენს ლითონის კოლოფს, რომლის შიგნით მოწყობილია 25—40 ვტ ძაბვის ორი ელექტრონათურა. კოლოფი ზემოდან დახურულია მქრქალი მინით, პლექსიგლასის სახურავითა და ტრაფარეტით. თითოეული პროექტირის კომპლექტში შედის ორი სიგნალი. ერთ-ერთი მათგანის ტრაფარეტს აქვს ერთი გრძივი განაჭერი (ჭვრიტე), მეორეს—ორი. შიგნიდან ელექტრონათურებით განათებული კოლოფები ქმნის ერთმაგი და ორმაგი სინათლის ზოლს. სიგნალებად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე ჩვეულებრივი აკუმულატორული საშახტო ნათურებიც.

ПН—1м პროექტირის შემოწმება. ПН—1м მიმართულების მაგგმილებელში დაცული უნდა იყოს სამი გეომეტრიული პირობა:

1) ცილინდრული თარაზოს ღერძი სამზერი ჭოგრის ბრუნვის ვერტიკა-



ნახ. 3.3.36



ნახ. 3.3.37

ლური ღერძის მართობული უნდა იყოს;

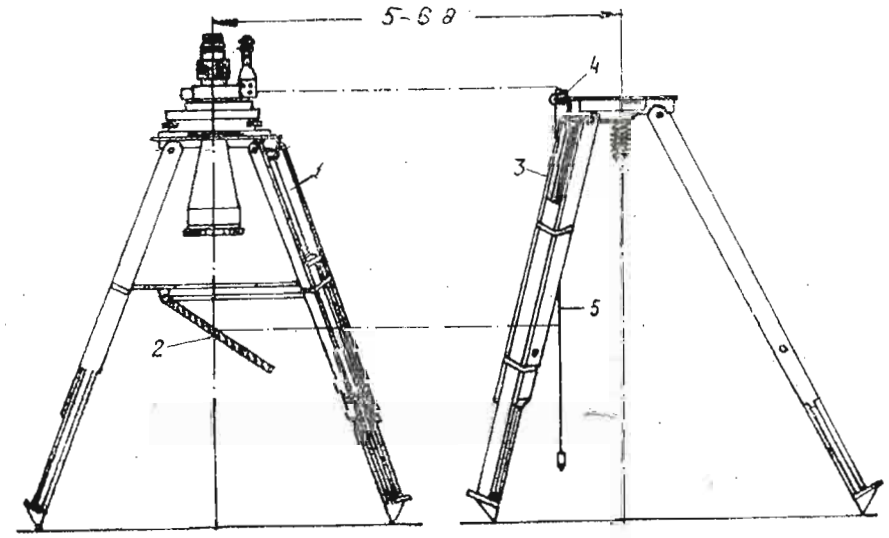
2) ოპტიკური სოლის მთავარი კვეთის სიბრტყე ძირითადი და დამხმარე ჭოგრების სამიზნე ღერძებზე გამავალი სიბრტყის პარალელური უნდა იყოს;

3) პროექტირის ძირითადი ჭოგრის სამიზნე და გეომეტრიული ღერძები ერთიმეორეს უნდა ემთხვეოდეს.

პირველი შემოწმება სრულდება ისევე, როგორც ყველა სხვა მარკშეიდერულ ინსტრუმენტებში.

მეორე შემოწმება შემდეგი თანამიმდევრობით წარმოებს:

1) ხელსაწყოს აყენებენ შტატივზე 1 (ნახ. 38). შტატივის ფეხებზე ამაგ-



ნახ. 3.3.38.

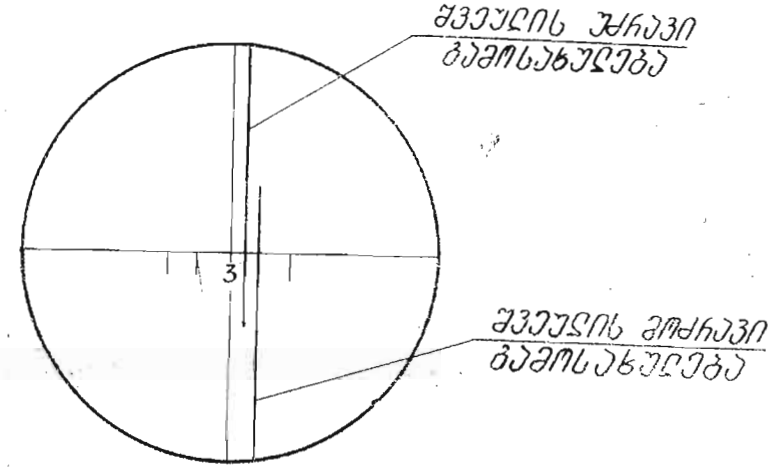
რებენ სპეციალურ ბრტყელ სარკეს 2, რომლის საშუალებით პროექტირის ძირითადი ჭოგრის მზერის ვერტიკალური სხივი შეიძლება გარდატეხილ იქნეს საჭირო კუთხით. ინსტრუმენტიდან დაახლოებით 6 მეტრ მანძილზე დგამენ თეოდოლიტის შტატივს 3, რომლის თავზე ამაგრებენ სკალას 4. სკალაზე კიდე-

ბენ საცენტრავ შვეულს 5, რომლის მავთულს აშუქებენ სარკის დონეზე მოთავსებული გამჭვირვალე ქაღალდით ან კალკით დახურული ნათურით;

2) ძირითადი ჰოგრის სამიზნე ღერძი ცილინდრული თარაზოთი მოყავთ შვეულ მდგომარეობაში; მოაბრუნებენ ძირითად ჰოგრს და დამხმარე ჰოგრით დამზერენ შვეულს;

3) იმზირებიან პროექტირის სამზერ ჰოგრში; სარკის დახრითა და ბრუნვით აღწევენ ისეთ მდგომარეობას, როცა ობიექტივის თავისუფალი ნაწილით ხილული შვეულის უძრავი გამოსახულება შეუთავსდება ძაფთა ბადის შვეულ ძაფს და შვეულის უძრავი და მოძრავი გამოსახულება აღმოჩნდება ჰოგრის მზერის არის შუა ნაწილში, ძაფთა ბადის ჯვარედინის სიახლოეს (ნახ. 39);

4) ხელსაწყოს ძირითად ჰოგრს მიკრომეტრული ხრახნის საშუალებით



ნახ. 3.3.39.

აბრუნებენ ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ მანამ, სანამ შვეულის ორივე გამოსახულება ერთიმეორეს არ შეუთავსდება. ამ მომენტში სამიზნე მილაკით ღებულობენ მისი ძაფთა ბადის ვერტიკალური ძაფის მოპირდაპირე ანათვალს სკალაზე. შვეულის გამოსახულებათა შეთავსებას იმეორებენ 10-ჯერ მაინც და იღებენ შესაბამის ანათვლებს სკალაზე. აღებული ანათვლებიდან გამოყავთ საშუალო მნიშვნელობა (n_1). გამოთვლილი საშუალო n_1 ანათვალი უნდა დაემთხვეს თვალით უშუალოდ სკალაზე შვეულის პირდაპირ აღებულ n_2 ანათვალს.

თუ l-ით აღვნიშნავთ მანძილს პროექტირიდან სკალამდე, მაშინ $n_1 - n_2$ სხვაობის (შეცდომის) კუთხური მნიშვნელობა

$$\gamma'' = \frac{n_1 - n_2}{l} \rho''. \qquad (3.3.44)$$

თუ γ არ აღემატება 30″, მაშინ თვლიან, რომ (2) პირობა დაცულია. წინააღმდეგ შემთხვევაში ხელსაწყოს შეასწორებენ შემდეგი წესით:

1) ძირითადი ჰოგრის მიკრომეტრული ხრახნის მოქმედებით შეათავსებენ სამიზნე მილაკის ძაფთა ბადის ვერტიკალურ ძაფს სკალის საშუალო n ანათვალთან;

2)დამხმარე ჰოგრის ძაფთა ბადის შვეულ ძაფს შემასწორებელი ხრახნებით შეათავსებენ შვეულთან.

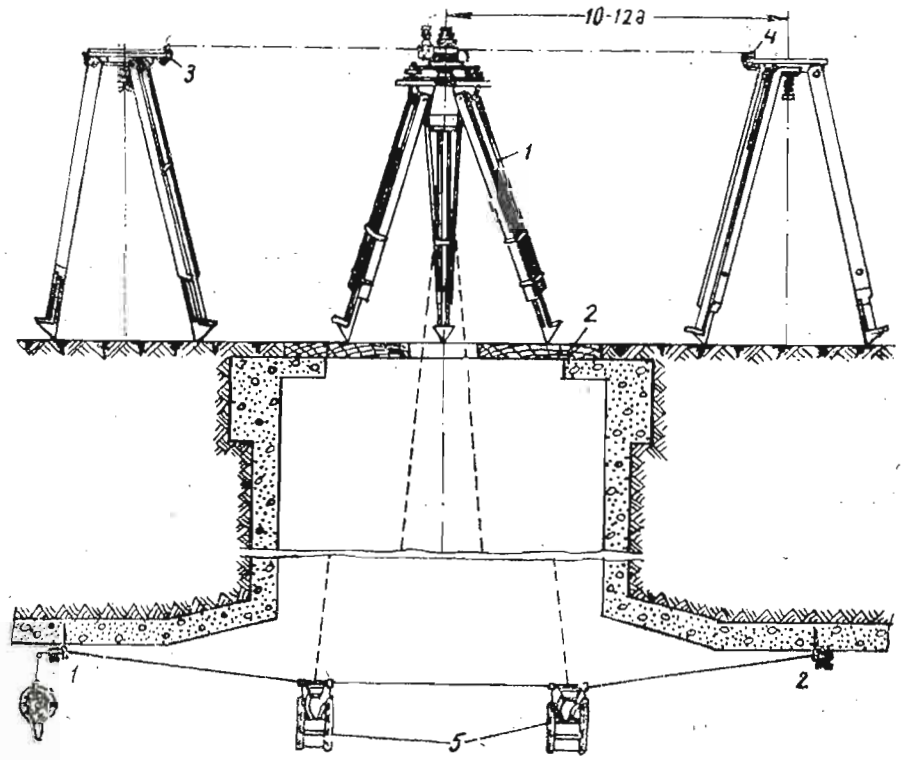
შემოწმებას იმეორებენ თავიდან მანამ, სანამ γ არ აღმოჩნდება 30″-ზე ნაკლები.

მესამე პირობის შემოწმების მიზნით ხელსაწყოს ძირითად ჰოგრს აბრუნებენ ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ და აკვირდებიან შვეულის უძრავ გამოსახულებას. თუ იგი ჰოგრის ბრუნვისას რჩება ძაფთა ბადის ცენტრში, მაშინ მესამე პირობა დაცულია. წინააღმდეგ შემთხვევაში შესწორებას აწარმოებენ ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნებით.

ვიზუალურ შემოწმებას საჭიროებს აგრეთვე სიგნალები. თითოეული მათგანის საკიდლის ხაზი ტრაფარეტის გრძივი ამონაჭრების სიმეტრიის ღერძს უნდა ემთხვეოდეს.

ბ. მიმართულებისა და კოორდინატების გადაცემა ზედაპირიდან გასაგნებ ჰორიზონტზე ПН—1м *პროექტირით.* 1) *მოსამზადებელი სამუშაოები.* ოპტიკური დაგეგმილების დაწყების წინ უნდა შემოწმდეს ხილვადობა ჰაურში. ამ მიზნით სიგნალს ან ჩვეულებრივ საშახტო ნათურას ათავსებენ გალის სახურავზე (ან ბადიაში) და ნელა უშვებენ ჰაურში. შეუიარაღებელი თვალით ზემოდან აკვირდებიან ხილვადობას. თუ ნათურის სინათლე უწყვეტლივ ჩანს ზედაპირიდან, მაშინ ПН—1м-ით ოპტიკური დაგეგმილება შეიძლება.

ხელსაწყოს დასაყენებლად ჰაურის პირზე აწყობენ მყარ თაროს 2. შესაძლებელია ამ მიზნით გამოყენებულ იქნეს გალიც. თაროს (ან გალის) ფსკერის შუა ნაწილში აკეთებენ 20—25 სმ დიამეტრის ხვრელს ჰაურში დასამზერად (ნახ. 40).



ნახ. 3.3.40.

გასაგნებ ჰორიზონტზე, ჭაურის მიმდებარე გვირაბის ჭერში, ერთიმეორისაგან 8—12 მეტრ მანძილზე აბეტონებენ 1-ლ და მე-2 მარკშეიდერულ ნიშნებს. მათი დამაგრების ადგილი შეირჩევა ისე, რომ 1—2 მიმართულება დააჯლოებით გადიოდეს ჭაურის იმ განყოფილების შუაში, რომელზედაც პროექტირია დაყენებული. დამაგრებულ წერტილებს შორის დაჭიმავენ ფოლადის მავთულს, რომელზედაც ერთ დონეზე კიდებენ სიგნალებს 5. ერთ-ერთი მათგანი (ერთი ზოლით) უნდა იყოს 1-ლი წერტილის მხარეზე, მეორე (ორი ზოლით)—მე-2 წერტილის მხარეზე. პროექტირი უნდა მდებარეობდეს დაახლოებით სიგნალებს შუა, მაგრამ არ არის აუცილებელი იყოს მათ გასწვრივ.

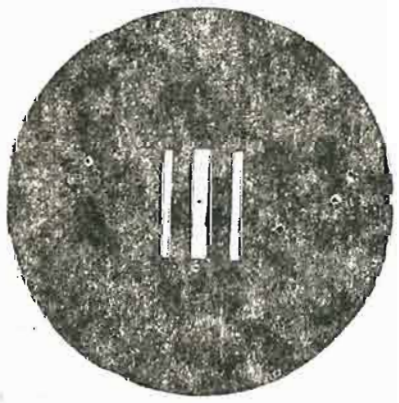
სიგნალებს შორის l მანძილი იანგარიშება წინასწარ ფორმულით

$$l = \alpha H, \qquad (3.3.45)$$

სადაც α არის სოლის გარდატეხის კუთხე და, ჩვეულებრივ, უდრის 0,01 ან 0,02 რადიანს;

H — ჭაურის სიღრმე.

ზედაპირზე, ჭაურის პირზე მოწყობილ თაროზე 2 აყენებენ შტატივს 1, ამ უკანასკნელზე კი — პროექტირს. იგი ზუსტად არ მდებარეობს სიგნალების გასწვრივ, ამიტომ სადგარის ერთ-ერთი დამყენებელი ხრახნის მოქმედებით მცირედ ხრიან მის ძირითად ჰოგრს და ორივე სიგნალის გამოსახულებას მოაქცევენ ძაფთა ბადის შუა ნაწილში. ამის შემდეგ ჰოგრს აბრუნებენ ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ მანამ, სანამ სიგნალების გამოსახულებანი ერთიმეორეს არ გადაფარავს, ისე როგორც ეს 41-ე ნახაზზეა ნაჩვენები. ამ მომენტში სამიზნე მილაკის მზერის სხივის მიმართულებით ხელსაწყოდან 10—12 მეტრის მანძილზე აყენებენ შტატივებს, რომლებზედაც მიმაგრებულია სკალები 3, 4.



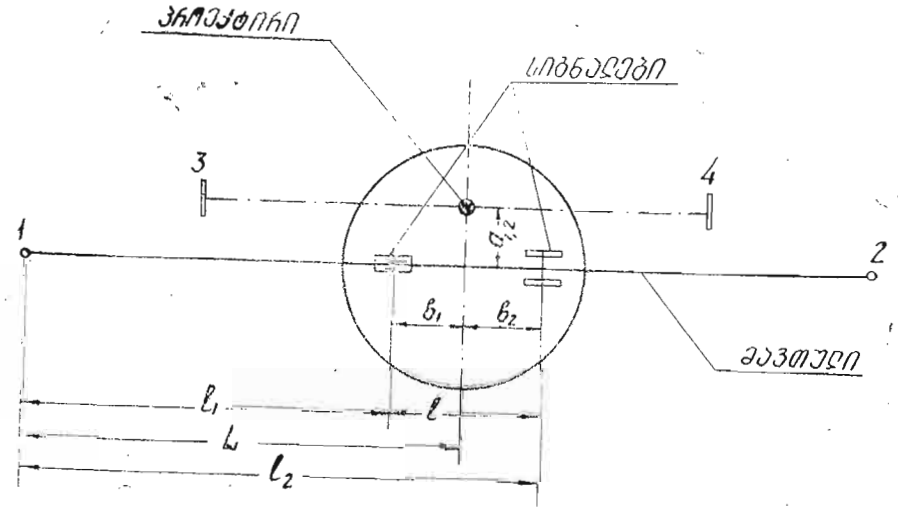
ნახ. 3.3.41.

2) მიმართულების გადაცემა. ძირითად ჰოგრს აბრუნებენ მანამ, სანამ ორივე სიგნალის გამოსახულებანი ერთიმეორეს არ გადაფარავს (ნახ. 41). სიგნალების გამოსახულებების ასეთი შეთავსება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ოპტიკური სოლის მთავარი კვეთი 1-2 ხაზის მართობულია. მაგრამ თავის მხრივ, ოპტიკური სოლის მთავარი კვეთი დამხმარე ჰოგრის კოლიმაციური სიბრტყის პერპენდიკულარულია, ამიტომ სამიზნე მილაკით გარდატეხილი სხივი გასაგნები 1—2 ხაზის პარალელური იქნება. ამ მდგომარეობაში სამიზნე მილაკის საშუალებით ღებულობენ ანათვალს სკალაზე 3. ასეთ ოპერაციებს იმეორებენ 10-ჯერ. შემდეგ სამიზნე ჰოგრს აბრუნებენ ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ 180°-ით, ხელახლა შეათავსებენ სიგნალების გამოსახულებებს და იღებენ ანათვალს სკალაზე 4, რასაც იმეორებენ 10-ჯერ მაინც.

ცდებით დადგენილია, რომ თუ სიგნალის ცალი განაჭერის გამოსახულება შეყვანილი იქნება მეორე სიგნალის ბისექტორის გამოსახულებაში ჯერ ერთი, შემდეგ მეორე მხრიდან, მაშინ შესაბამისი ანათვლები სკალაზე განსხვავებული იქნება რაღაც მუდმივი სიდიდით. ამ შეცდომის გამოსარიცხად ხუთი შეთავსება უნდა მოხდეს ბისექტორში შტრიხის მარჯვენა მხრიდან შეყვანით, მეორე ხუთი შეთავსება კი—მარცხენა მხრიდან.

თითოეულ სკალაზე აღებულ ანათვალთა საშუალო მნიშვნელობათა პირდაპირ ამაგრებენ სამიზნეებს. ცხადია, სამიზნეების შემაერთებელი ხაზი გასაგნები 1—2 მიმართულების პარალელური იქნება. ამიტომ თუ ზედაპირზე ჩვეულებრივი გეოდეზიური მეთოდით განვსაზღვრავთ სამიზნეების შემაერთებელი ხაზის დირექციულ კუთხეს, ამით მიწისქვეშა (1—2) ხაზის ორიენტირების ამოცანაც გადაწყვეტილი იქნება.

3) კოორდინატების გადაცემა. სიგნალებზე x, y კოორდინატების გადაცემა წარმოებს პროექტირის მთავარი ჰოგრის ოკულარის სკალით (ოპტიკური სოლის გარეშე). ამისათვის ცილინდრული თარაზოს შემწეობით ჰოგრის ოპტიკური ღერძი მოყავთ ვერტიკალურ მდგომარეობაში და განსაზღვრავენ სკალის დანაყოფებში თითოეული სიგნალის a და b გადახრას ოკულარის ცენტრიდან. აღნიშნული სიდიდეები უნდა განისაზღვროს თარაზოს ორ მდგომარეობაში (ნახ. 42).



ნახ. 3.3.42

თუ ε არის სკალის ცალი დანაყოფის საფასური, ხოლო H კი—ჭაურის სიღრმე (ხელსაწყოს ოკულარიდან სიგნალამდე), მაშინ a და b სიდიდეები მეტრებში გამოითვლება ფორმულებით

$$a_მ = \frac{a\varepsilon'' H}{\rho''}; \qquad b_მ = \frac{b\varepsilon'' H}{\rho''}. \qquad (3.3.46)$$

გასაგნებ ჰორიზონტზე ზომავენ 1-ლი წერტილიდან თითოეულ სიგნალის ცენტრამდე ჰორიზონტულ l_1 და l_2 მანძილებს. შემდეგ ანგარიშობენ კოორდინატთა ნაზრდების ჯამს (b_1+b_2) და ადარებენ მას სიგნალებს შორის l მანძილს. მიწისქვეშა №1 მარკშეიდერულ წერტილიდან ინსტრუმენტის ოკულარის ცენტრამდე L მანძილს გამოითვლიან ორჯერ ფორმულებით:

$$L_1 = l_1 + b_1 \text{ და } L_2 = l_2 + b_2.$$

L-ის საბოლოო მნიშვნელობად აიღება ორი გამონათვალის საშუალო არითმეტიკული

პროექტირის ობიექტივის ცენტრის კოორდინატებს განსაზღვრავენ ზედაპირზე, რის შემდეგ a, b, l_1 და l_2 სიდიდეების ან L-ის გამოყენებით ადვილად გამოითვლიან როგორც სიგნალების ცენტრის, ისე №1 მარკშეიდერული წერტილის x, y კოორდინატებს.

d. ოპტიკური ორიენტირების სიზუსტის შესახებ. ПН—1м პროექტირის საწარმოო გამოცდის შედეგებმა ცხადყო, რომ ოპტიკური ორიენტირების ეს მეთოდი მაღალი ნაყოფიერებითა და საკმარისი სიზუსტით ხასიათდება. საგულისხმოა, რომ სამუშაოების ჯეროვანი ორგანიზაციის დროს ორიენტირების ამოცანის გადაწყვეტა 2—3 საათის განმავლობაში სრულდება. ამასთან ერთად დადგენილია, რომ 300 მეტრზე ღრმა ჭაურების შემთხვევაში ორიენტირების სიზუსტეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს რეფრაქცია, რაც ჭაურის სიღრმის ზრდასთან ერთად მატულობს. რეფრაქციის გავლენის გამორიცხვა სათანადო შესწორებების შეტანით შეუძლებელია, რადგან ჭაურში ჰაერის ნაკადის მდგომარეობა განუწყვეტლივ იცვლება. ამის გამო არსებული ხელსაწყოებით ოპტიკური ორიენტირება შესაძლებელი და რაციონალურია მხოლოდ 300 მეტრამდე სიღრმის ჭაურების შემთხვევაში.

3.4. დამაკავშირებელი აგეგმვის მარტივი მეთოდები

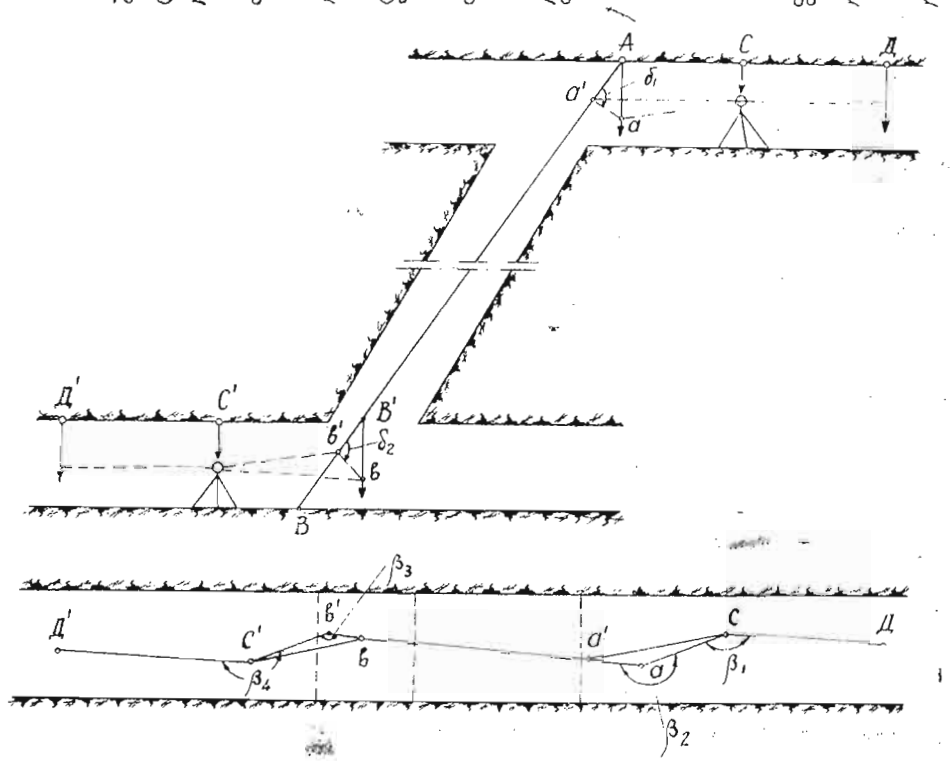
რთული ფორმის საბადოების დამუშავების დროს სხვადასხვა ჰორიზონტების მოსამზადებელი და წმენდითი გამონამუშევრების დასაკავშირებლად ხშირად გაყავთ ხოლმე მთელი რიგი დამხმარე ციცაბოდ დაქანებული ან ვერტიკალური გვირაბი (გეზენკი, შურო, აღმავალი). მათში ჩვეულებრივი პოლიგონური სვლის წარმოება ძნელია ან შეუძლებელი, ამიტომ ასეთ შემთხვევებში დამაკავშირებელი აგეგმვა, ანუ სამთო სამუშაოების ერთი ჰორიზონტიდან მეორეზე დირექციული კუთხისა და კოორდინატების გადაცემა, შეიძლება როგორც ზემოთ განხილული ერთ-ერთი მეთოდით, ისე შედარებით უფრო გამარტივებული ხერხებით. ამ დროს, როგორც წესი, არ არის ხოლმე საჭირო მაღალი სიზუსტის გაზომვები. ამიტომ მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს დამაკავშირებელი აგეგმვის (ორიენტირების) მარტივი მეთოდები: 1) დახრილი მავთულითა და დამხმარე შვეულებით; 2) არათავისუფალი შვეულით; 3) ექსცენტრულჭოგრიანი თეოდოლიტით; 4) გასწვრივი შვეულებით; 5) ერთი შვეულითა და მხები ზონრით; 6) საკიდი ბუსოლით და სხვ.

a. ორიენტირება დახრილი მავთულითა და დამხმარე შვეულებით

დახრილ გვირაბში ორი ჰორიზონტის გვირაბების ჭერსა და იატაკზე დამაგრებულ A და B წერტილებს შორის დაჭიმავენ ფოლადის მავთულს (ნახ. 1). დახრილი მავთულის ქვედა ნაწილის B' წერტილში ამაგრებენ შვეულს მცირე ტვირთით. ასევე, შვეულს კიდებენ მის ზემო A წერტილშიც. ზედა და ქვედა ჰორიზონტებზე ქმნიან დამაკავშირებელ $aa'C$ და $C'bb'$ სამკუთხედებს, ზომავენ მათ გვერდებს, თითო კუთხეს და ჩვეულებრივი წესით ამოხსნიან. გარდა ამისა, C და C' წერტილებზე უნდა გაიზომოს მისამხრობი β_1 და β_4 კუთხეები. რადგან დახრილი მავთული და შვეულები ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მდებარეობს, ამიტომ დამაკავშირებელი სამკუთხედების aa' და bb' გვერდების დირექციული კუთხეები ტოლი იქნება და $C'D'$ გვერდის საძიებელი დირექციული კუთხე გამოითვლება ფორმულით

$$(C'D') = (DC) + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 - 4 \cdot 180^\circ. \qquad (3.4.1)$$

C' წერტილის კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით ზომავენ დახრილი



ნახ. 3.4.1

მავთულის $a'b'$ სიგრძეს, აგრეთვე მისი დახრის δ კუთხეს საკიდი ნახევარწრედით ან გამოითვლიან $Aa'a$ და $B'b'b$ მართკუთხა სამკუთხედებიდან ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned} \cos\delta_1 &= \frac{a\,a'}{A\,a'}, \\ \cos\delta_2 &= \frac{b\,b'}{B'\,b}, \\ \delta &= \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.4.2)$$

C' წერტილის კოორდინატები გამოითვლება ფორმულებით:

$$y_{C'} = y_C + C\,a' \cdot \sin(C\,a') + a'\,b' \cdot \cos\delta \cdot \sin(a'\,b') + b'\,C' \sin(b'C'),$$

$$x_{C'} = x_C + C\,a' \cdot \cos(C\,a') + a'\,b' \cos\delta \cdot \cos(a'b') + b'C' \sin(b'C').$$

ორიენტირების აღწერილი მეთოდის განხორციელება შეიძლება აგრეთვე

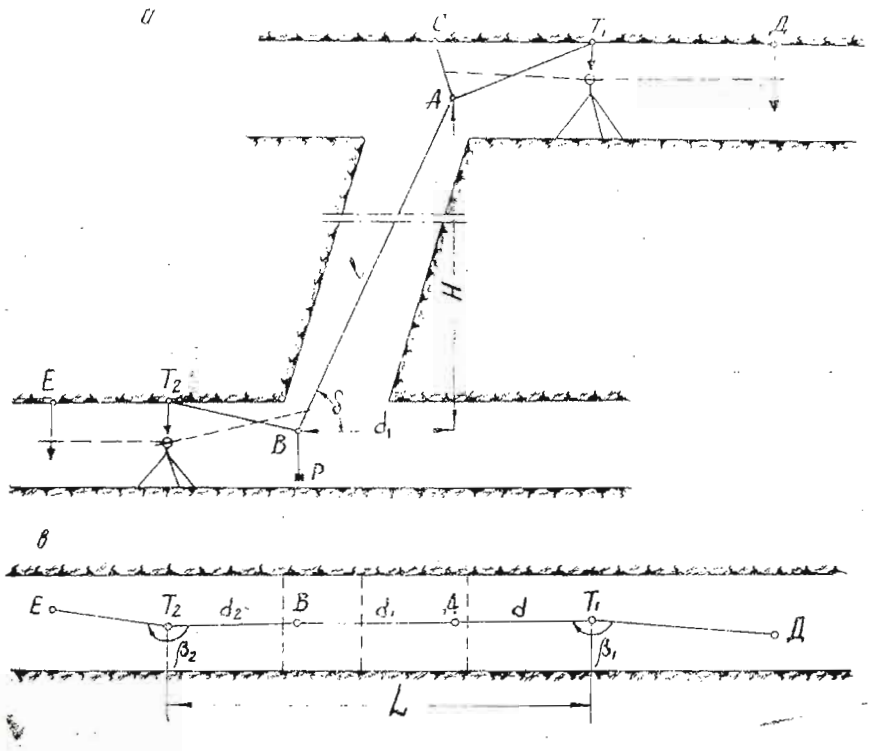
დამხმარე შვეულების გარეშეც. ამ შემთხვევაში მიმხრობას აწარმოებენ ზედა და ქვედა ჰორიზონტებზე დახრილი მავთულის ხილულ მონაკვეთებზე უშუალოდ.

დამაკავშირებელი სამკუთხედების aa' და bb' გვერდების სიმცირის მიუხედავად აღწერილი მეთოდი უზრუნველყოფს მეჯრეხარისხოვანი გვირაბების აგეგმვის საჭირო სიზუსტით ორიენტირებას.

ბ. ორიენტირება არათავისუფალი შვეულის საშუალებით

ამ მეთოდის არსი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც ციცაბო, ისე ვერტიკალური გვირაბების შემთხვევაში, მდგომარეობს შემდეგში:

ზედა ჰორიზონტის C წერტილში დამაგრებულ შვეულს, რომლის ქვედა ბოლოზე P ტვირთია დაკიდებული, გასწვევენ ზემო ნაწილში AT_1 საჭიმით ერთ მხარეზე, ხოლო ქვევით კი $-BT_2$-თი საწინააღმდეგო მიმართულებით (ნახ. 2ა). ასეთი მოქმედების შედეგად შვეული მიიღებს ტეხილი $CABP$ ხაზის სახეს. მისი ქვედა



ნახ. 3.4.2.

ნაწილის BT_2, BP და BA მონაკვეთები მდებარეობს ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში, ხოლო ზედა AC, AB და AT_1 კი — დახრილში. ორიენტირების ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა შვეულის ორივე ნაწილი ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში იმყოფებოდეს. ამისათვის ზედა ჰორიზონტის T_1 წერტილის ქვეშ ცენტრავენ კარგად შემოწმებულ თეოდოლიტს. შვეულის დამაგრების C წერტილს გადააადგილებენ მანამ, სანამ AC მონაკვეთი არ დაემთხვევა თეოდოლიტის ჰოგრის ძაფთა ბადის შვეულ ძაფს. ამ დროს სისტემის AC, AT, AB, BT_2 და

BP მონაკვეთები ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მოთავსდება. ამის შემდეგ T_1 და T_2 წერტილებზე ზომავენ დამაკავშირებელ β_1 და β_2 კუთხეებს (ნახ. 2ბ).

გასაგნები T_2E გვერდის დირექციული კუთხე გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$(T_2E) = (DT_1) + \beta_1 + \beta_2 - 2 \cdot 180°. \qquad (3.4.3)$$

T_2 წერტილის კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით უნდა გაიზომოს: 1) თარაზული d მანძილი T_1 თეოდოლიტიდან A-მდე; 2) თარაზული d_1 მანძილი T_2 თეოდოლიტიდან B-მდე; 3) შვეულის დახრილი AB მონაკვეთის სიგრძე და მისი დახრის δ კუთხე ჰორიზონტთან საკიდი ნახევარწრედით, $\pm 1°$-ის სიზუსტით.

AB ხაზის თარაზული პროექცია გამოითვლება ფორმულით

$$d_1 = AB\cos\delta.$$

T_2 წერტილის კოორდინატები

$$x_{T_2} = x_T + L\cos(T_1T_2),$$

$$y_{T_2} = y_T + L\sin(T_1T_2),$$

სადაც

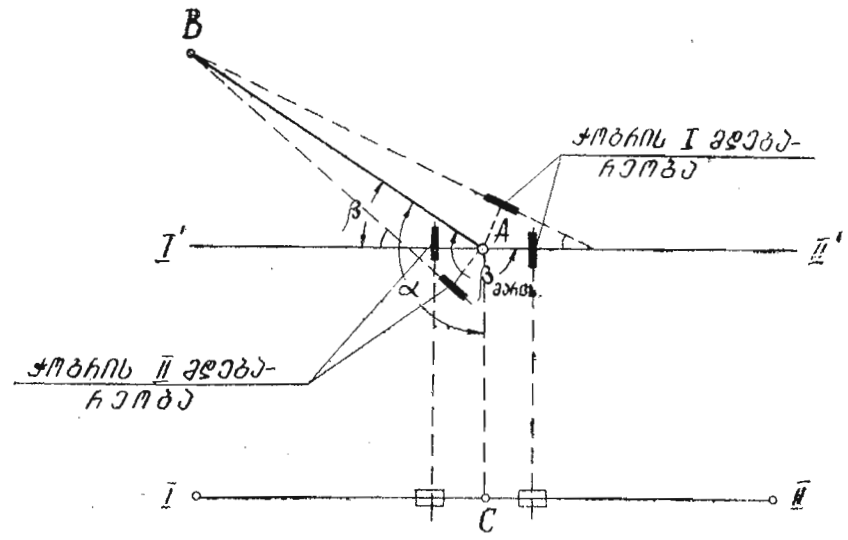
$$L = d + d_1 + d_2,$$

$$(T_1T_2) = (DT_1) + \beta_1 - 180°.$$

აღწერილი მეთოდით დირექციული კუთხის გადაცემის სიზუსტე 5—7′-ს უდრის.

ც. ორიენტირება ექსცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტით

ასეთ თეოდოლიტს აყენებენ ციცაბო ან ვერტიკალური გვირაბის ზემოთ, ზედა ჰორიზონტის A წერტილში (ნახ. 3). ქვედა ჰორიზონტის I—II მარკშეიდერულ წერტილებს შორის ჰორიზონტულად დაჭიმავენ მავთულს. ჰოგრის



ნახ. 3.4.3.

მზერის არეში მდებარე მის ორ მონაკვეთს ანათებენ მაღაროს ეკრანირებული ნათურების საშუალებით. ძაფთა ბადის ჰორიზონტულ ძაფს შეათავსებენ მავთულთან ან აყენებენ მის პარალელურად და ღებულობენ a_1 საშუალო ანათ-

ვალს ჰორიზონტულ წრედზე. ცხადია, ამ დროს ჭოგრის სამიზნე ღერძი I—II მავთულის პერპენდიკულარული იქნება. ამის შემდეგ ათავისუფლებენ ალიდადას, ჭოგრს მიმართავენ ზედა ჰორიზონტზე დამაგრებულ B წერტილისაკენ და ღებულობენ b_1 საშუალო ანათვალს წრედზე. ასეთივე ოპერაციას იმეორებენ შვეული წრედის მეორე მდებარეობაშიც და იღებენ შესაბამის a_2 და b_2 ანათვლებს. აღებული ანათვლებით განისაზღვრება α კუთხე, ხოლო (I — II) და (AB) გვერდებს შორის $\beta_{\text{მარცხ}}$ კუთხე კი სქემის თანახმად

$$\beta_{\text{მარცხ}} = 90^\circ + \alpha,$$

ანუ

$$\beta_{\text{მარცხ}} = 90^\circ + \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2}. \qquad (3.4.4)$$

(4) ფორმულით სარგებლობისას უნდა გვახსოვდეს, რომ თუ $a_1 > a_2$, მაშინ $b_1 > b_2$; თუ $a_1 < a_2$, მაშინ $b_1 < b_2$; წინააღმდეგ შემთხვევაში b_1 ან b_2-ს უნდა დაემატოს 360°.

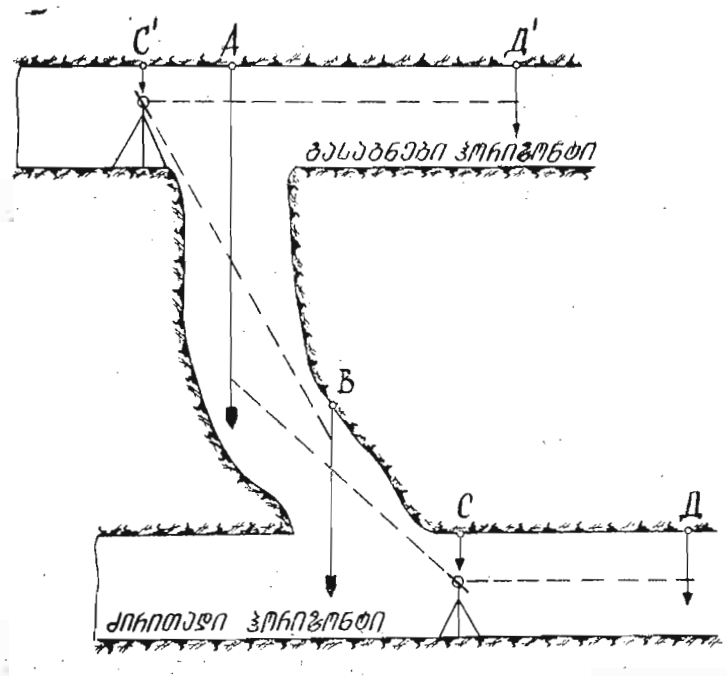
β კუთხისა და (I—II) დირექციული კუთხის საშუალებით ადვილად განისაზღვრება AB გვერდის დირექციული კუთხე.

კოორდინატების გადაცემის მიზნით უნდა გაიზომოს AC' ხაზის დახრილი სიგრძე და მისი დახრის კუთხე ჰორიზონტთან, აგრეთვე I—C ან II—C მანძილები.

ორიენტირების აღწერილი მეთოდის სიზუსტე დაახლოებით უდრის $\pm 2'$-ს.

d. გასწვრივი შვეულების მეთოდი

ამ შემთხვევაში აღმავალ გვირაბში ქვედა ჰორიზონტის მარკშეიდერულ C წერტილის გასწვრივ ამაგრებენ ორ A და B შვეულს, ხოლო ზედა ჰორიზონტზე AB-ს გასწვრივ C' წერტილში დგამენ თეოდოლიტს (ნახ. 4). C,



ნახ 3.4.4.

B, A და C' წერტილები ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მდებარეობს, ამიტომ CB, BA, და $A'C'$ მონაკვეთების დირექციული კუთხეები ტოლი იქნება.

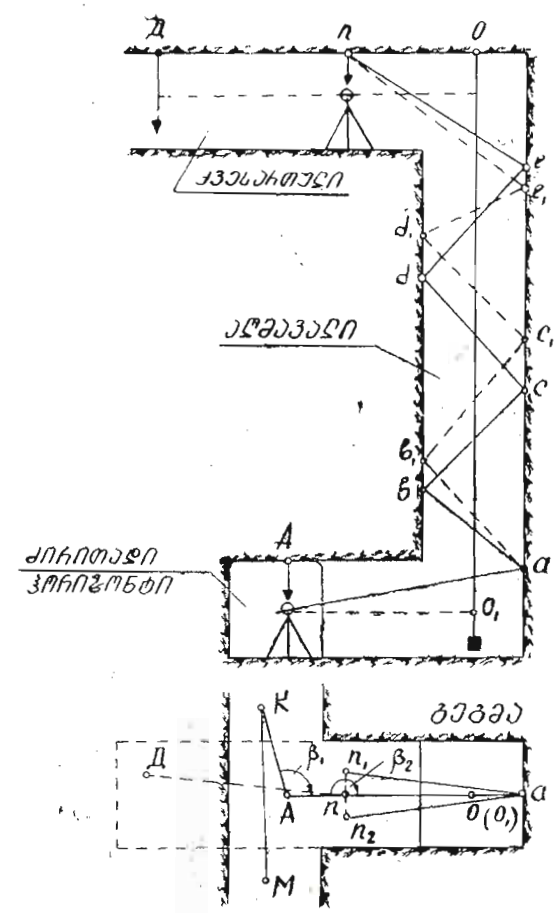
გასაგნებ $C'D'$ გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის მიზნით საკმარისია C და C' წერტილებზე მისამხრობი DCA და $D'C'B$ კუთხეების გაზომვა.

კოორდინატების გადაცემისათვის საჭიროა გაიზომოს C და C' წერტილებს შორის მოთავსებული თითოეული მონაკვეთის სიგრძე და დახრის კუთხე.

დირექციული კუთხის გადაცემის აღწერილი მეთოდის სიზუსტე დაახლოებით $\pm 5'$-ს უდრის.

e. ორიენტირება ერთი შვეულითა და მხები ზონრით

ამ ხერხის გამოყენების დროს ვერტიკალური აღმავლის O წერტილიდან ჩამოუშვებენ შვეულს (ნახ. 5). ქვედა გამოსავალ ჰორიზონტზე, შვეულის მახლობლად, ამაგრებენ A წერტილს. თეოდოლიტური სვლის უახლოეს პუნქტებიდან განსაზღვრავენ A წერტილისა და O შვეულის x_A, y_A, x_0 და y_0 კოორდინატებს და $AO_1 = (AO)$ მიმართების დირექციულ კუთხეს. AO ხაზის გასწვრივ, ნებისმიერი დახრის კუთხით ჰორიზონტთან, გვირაბის კედელში დროებითი მარკშეიდერული ნიშნით ამაგრებენ a წერტილს, საიდანაც აღმავალში ჭიმავენ შვეულის მხებ $a\,b\,c\cdots k\,n$, ზონარს. იგი შვეულს ოდნავ უნდა ეხებოდეს, თანაც ერთი და იმავე მხრიდან. ორიენტირების სიზუსტის გაზრდისა და უხეში შეცდომების აცილების მიზნით ზონარს ხელახლა ჭიმავენ ახალ წერტილებზე ისე, რომ ამჯერად ab_1, b_1c_1, c_1d_1, $\cdots k_1n_2$ მონაკვეთები შვეულს მეორე მხრიდან ეხებოდეს. ასეთი მოქმედების შედეგად ზედა ჰორიზონტზე მიღებულ n_1 და n_2 წერტილებს შორის მანძილს



ნახ, 3.4.5.

ყოფენ შუაზე და დანიშნავენ n წერტილს, რომლის ქვეშ ცენტრავენ თეოდოლიტს.

რადგან A, a, b, $\cdots$, n წერტილები დაახლოებით ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მდებარეობს და (Aa) და (On) გვერდების დირექციული კუთხეები

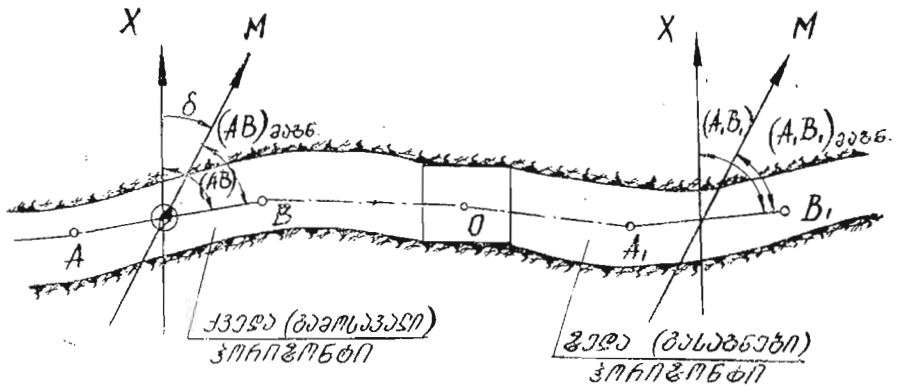
ტოლია, ამიტომ ორიენტირების გადასაწყვეტად საკმარისია A და n წერტილებზე გაიზომოს დამაკავშირებელი $aAk=\beta_1$ და $OnD=\beta_2$ კუთხეები.

კოორდინატების გადაცემის მიზნით საჭიროა AO_1 და On მანძილების გაზომვა.

ასეთი ხერხით დირექციული კუთხის გადაცემის სიზუსტე 15 — 20′-ს უდრის.

ვ. ორიენტირება საკიდი ბუსოლით

მაგნიტური გაგნება შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მაგნიტური ქანებისა და მასებისაგან (ლითონის დანადგარები, სატრანსპორტო საშუალებანი და ა. შ.) თავისუფალ გვირაბებში. ამისათვის ქვედა ან ზედა გამოსავალ ჰორიზონტზე, მაგნიტური მასების გავლენისაგან თავისუფალ გარემოში, ცნობილ A და B პუნქტებს შორის დაჭიმავენ ზონარს და საკიდი ბუსოლით განსაზღვრავენ AB-ს პირდაპირ და შებრუნებულ მაგნიტურ აზიმუტებს (ნახ. 6). მათ შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 30'$-ს. გამოითვლიან მაგნიტურ



ნახ. 3.4.6.

მიხრილობას

$$\delta=(AB)-(AB)_{\text{მაგ}},$$

სადაც (AB) არის AB ხაზის დირექციული კუთხე;

$(AB)_{\text{მაგ}}$ — იმავე მიმართულების მაგნიტური აზიმუტი.

ანალოგიურად, იმავე ინსტრუმენტით გაზომავენ ზედა ან ქვედა გასაგნებ ჰორიზონტზე შერჩეულ A_1B_1 გვერდის მაგნიტურ აზიმუტს. (A_1B_1) დირექციულ კუთხეს გამოთვლიან ფორმულით

$$(A_1B_1)=(A_1B_1)_{\text{მაგ}}\cdot\pm\delta.$$

კოორდინატების გადაცემას აწარმოებენ ზედა ჰორიზონტიდან ჩამოშვებულ ერთ შვეულზე მიმხრობით.

ორიენტირების განხილული მეთოდი სხვა ხერხებთან შედარებით მარტივი და სწრაფია. დირექციული კუთხის გადაცემის სიზუსტე 15—20′- უდრის.

თავი IV

ვერტიკალური დამაკავშირებელი სამუშაოები

4.1. ზოგადი ცნობები

III თავში განხილული იყო ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვა, რითაც გეომეტრიული კავშირი მყარდება ზედაპირულ და მიწისქვეშა აგეგმვებს შორის გასაგნებ ჰორიზონტულ სიბრტყეზე. მაგრამ ეს არ არის საკმარისი. დედამიწის ფიზიკური ზედაპირისა და წიაღის გვირაბების სივრცობრივი მდებარეობის წარმოსადგენად, აგრეთვე მთელი რიგი სამთო-გეომეტრიული და სპეციალური დანიშნულების ამოცანების გადასაწყვეტად აუცილებელია მათ შორის გეომეტრიული კავშირის დამყარება ვერტიკალურ სიბრტყეშიც, რაც ვერტიკალური დამაკავშირებელი აგეგმვის საშუალებით სრულდება და მდგომარეობს მიწისქვეშ გასაგნებ ჰორიზონტზე დამაგრებული ნებისმიერი პუნქტის (მარკშეიდერული ნიშნის, რეპერის) აბსოლუტური სიმაღლის (z კოორდინატი, ნიშნული) განსაზღვრაში.

მიწისქვეშა სამუშაოები როდესაც დაკავშირებულია ზედაპირთან ჰორიზონტული ან დახრილი გვირაბებით (შტოლნით, დახრილი ჭაურით), ვერტიკალური დამაკავშირებელი აგეგმვა წარმოებს გეომეტრიული ან ტრიგონომეტრიული ნიველობით, ვერტიკალური ჭაურების შემთხვევაში კი — საგანგებო ხერხებით.

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში გავრცელებულია ვერტიკალური ჭაურების შემთხვევაში ზედაპირიდან გასაგნებ ჰორიზონტზე ნიშნულის გადაცემის შემდეგი ოთხი ხერხი; 1) გრძელი საშახტო ბაფთით; 2) ფოლადის რულეტით; 3) ფოლადის მავთულით და 4) სიგრძესაზომით. უკანასკნელ ხანებში მოწოდებულია აგრეთვე ამ ამოცანის გადაწყვეტის ახალი მეთოდი, ე. წ. სინათლის (ელექტროოპტიკური) მანძილმზომის საშუალებით.

ამოცანის გადასაწყვეტად სამუშაოების დაწყებამდე ჭაურის პირთან უნდა დამაგრდეს A, ხოლო მაღაროს ეზოში B რეპერი (ნახ. 1). A რეპერის ნიშნული განისაზღვრება გეომეტრიული ნიველობით IV კლასის სანიველო მარკებზე დაყრდნობით. B რეპერის ნიშნულის განსაზღვრა, გამოყენებული მეთოდის მიუხედავად, შესრულებული უნდა იქნეს ორჯერ. ორ შედეგს შორის Δh სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს

$$(0{,}01+0{,}0002H)\ \text{მ-ს}, \qquad (4.1.1)$$

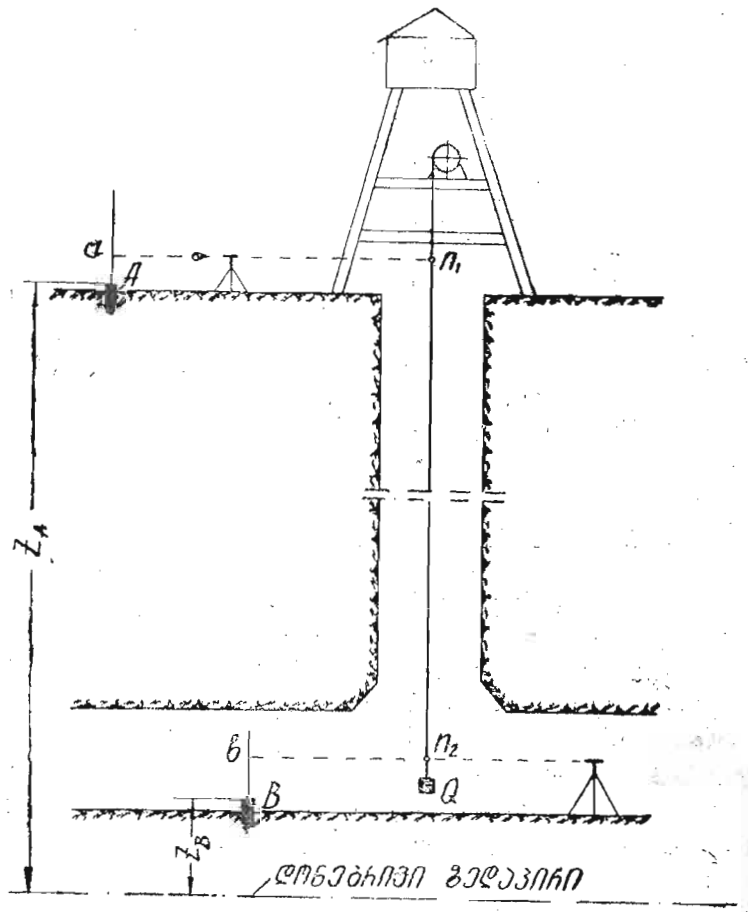
სადაც H არის ჭაურის სიღრმე, მეტრებში.

ა. ნიშნულის გადაცემა გრძელი საშახტო ბაფთით

საშახტო ბაფთა, რომლის სიგრძე 100, 200, 500 და ზოგჯერ 1000 მეტრია, მზადდება უმაღლესი ხარისხის ფოლადისაგან. იგი დაყოფილია დეციმეტრებად. სანტიმეტრებისა და მილიმეტრების ათვლა წარმოებს სპეციალური მილიმეტრებიანი სახაზავის საშუალებით, რომელიც შტიფტის (წკირის) საშუალებით მაგრდება ბაფთის დეციმეტრულ ნასვრეტში. ბაფთას თან ახ-

ლავს პასპორტი, რომელშიც მოცემულია: 1) ბაფთის კომპარირების შესწორება; 2) კომპარირების დროს გამოყენებული ტვირთის ოდენობა და 3) კომპარირების ტემპერატურა.

საშახტო ბაფთის საშუალებით ნიშნულის გადაცემის სქემა მოცემულია (1) ნახაზზე. ჭაურის პირთან დამაგრებული A რეპერის ცნობილი z_A ნიშნულით B რეპერის z_B ნიშნული რომ განისაზღვროს, ურნალის ზედა მიმღებ ბაქანზე აკეთებენ დროებით თაროს და მასზე საიმედოდ ამაგრებენ ჯალამბარს ბაფთით. ბაფთაზე კიდებენ 2—3 კგ სიმძიმეს და მიმმართველი ბლოკის საშუალებით ფრთხილად უშვებენ ჭაურში. ქვედა ჰორიზონტზე აღნიშნულ სიმძიმეს ცვლიან მუშა ტვირთით, რომელიც სასურველია იყოს ბაფთის შემოწმების დროს გამოყენებული ტვირთის ტოლი.



ნახ. 4.1.1.

ზედაპირზე და მიწისქვეშ აყენებენ ნიველირს ისე, როგორც ეს სქემაზეა ნაჩვენები და თანადროულად (სიგნალის მიცემით) აიღებენ ინსტრუმენტების ჰორიზონტების შესაბამის ოთხ ანათვალს:

a — ანათვალი A რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე;

n_1 — ზედა ნიველირის ჰორიზონტის შესაბამისი ანათვალი ბაფთაზე;

b — ანათვალი B რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე;

n_2 — ქვედა ნიველირის ჰორიზონტის შესაბამისი ანათვალი ბაფთაზე.

გარდა ამისა, განისაზღვრება ჰაერის საშუალო ტემპერატურა ჭაურში. ჭაურიდან ამომავალი ჰაერის ნაკადის შემთხვევაში ტემპერატურა იზომება ზედაპირზე (t_1) და მაღაროს ეზოში (t_2). საშუალო ($t_{საშ}$) ტემპერატურა განისაზღვრება როგორც ორი განაზომის საშუალო არითმეტიკული

$$t_{საშ} = \frac{t_1 + t_2}{2}. \qquad (4.1.2)$$

ჩამავალი ჰაერის ნაკადის შემთხვევაში ჭაურის ზემო ნაწილში (დაახლოებით 80—100 მ სიღრმეზე) ჰაერის ტემპერატურა სწრაფად იცვლება, ამიტომ იგი უნდა გაიზომოს ჭაურის პირთან ($t_ზ$), 80 მ სიღრმეზე (t_{80}) და მაღაროს ეზოში ($t_ე$); საშუალო ტემპერატურა გამოითვლება ფორმულით

$$t_{საშ} = \frac{\frac{t_ზ + t_{80}}{2} \cdot 80 + \frac{t_{80} + t_ე}{2} \cdot (H - 80)}{H}; \qquad (4.1.3)$$

აქ H არის ჭაურის სიღრმე, მეტრებში.

საძიებელი z_B ნიშნული გამოითვლება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$z_B = z_A + a - [(n_1 - n_2) + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4] - b, \qquad (4.1.4)$$

სადაც Δl_1 არის ბაფთის კომპარირების შესწორება;

Δl_2 — შესწორება ბაფთის წაგრძელებისათვის მუშა ტვირთის გავლენით;

Δl_3 — შესწორება საკუთარი წონის გავლენით ბაფთის წაგრძელების გამო;

Δl_4 — ტემპერატურული შესწორება.

კომპარირების Δl_1 შესწორებას იღებენ ბაფთის პასპორტიდან.

შესწორება Q ტვირთის გავლენით ბაფთის წაგრძელებაზე გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta l_2 = \frac{(Q - Q_0) H_0}{EF}, \qquad (4.1.5)$$

სადაც E არის მასალის დრეკადობის მოდული (უდრის 2000000 კგ/სმ²);

F — ბაფთის განივკვეთის ფართობი, სმ²;

Q_0 — ბაფთის კომპარირების დროს გამოყენებული ტვირთის სიმძიმე, კგ;

Q — გაზომვის პროცესში გამოყენებული მუშა ტვირთის სიმძიმე, კგ;

H_0 — ბაფთის მუშა ნაწილის სიგრძე, მ-ში.

Δl_2 შესწორების შეტანა საჭიროა მხოლოდ მაშინ, როცა $Q \neq Q_0$.

შესწორება საკუთარი წონის გავლენით ბაფთის წაგრძელებაზე გამოითვლება (5) ფორმულის ანალოგიურად გამოსახულებიდან

$$\Delta l_3 = \frac{H_0 Q_{საშ}}{EF}; \qquad (4.1.6)$$

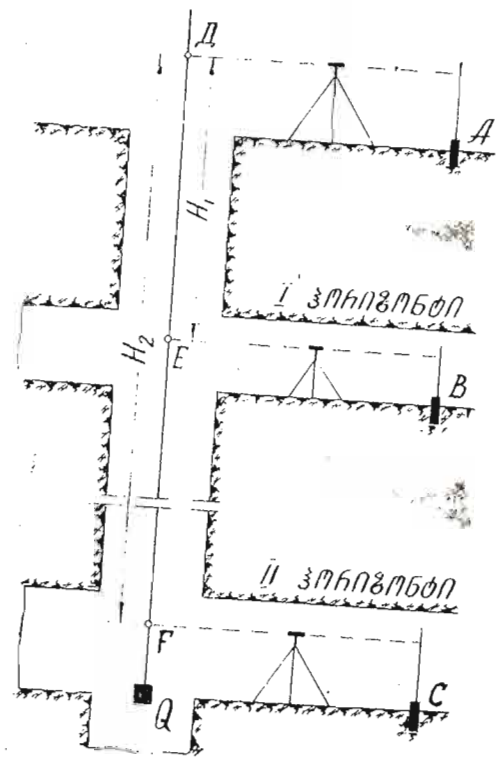
აქ $Q_{საშ}$ არის საკუთარი წონის გავლენით ბაფთის მუშა ნაწილის საშუალო დაჭიმულობა და განხილადი მაგალითის შემთხვევაში

$$Q_{საშ} = \frac{Q_1 + Q_2}{2},$$

სადაც Q_1 და Q_2 არის საკუთარი წონით ბაფთის დაჭიმულობა, შესაბამისად, ზედა და ქვედა ნიველირის ჰორიზონტების დონეზე. რადგან $Q_2 = 0$, ამიტომ

$$Q_{საშ} = \frac{Q_1}{2} = \frac{H_0 F \gamma}{2},$$

სადაც γ არის ფოლადის კუთრი წონა (უდრის 7,8 გ/სმ³);
$H_0 F \gamma$ — ბაფთის მუშა ნაწილის წონა.



ნახ. 4.1.2.

თუ $Q_{საშ}$-ს მნიშვნელობას შევიტანთ (6) გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$\Delta l_3 = \frac{H_0^2 \gamma}{2E}. \qquad (4.1.7)$$

როდესაც ნიშნული უნდა გადაეცეს თანადროულად ორი (ან რამდენიმე) ჰორიზონტის გვირაბებს, ბაფთას ჩაუშვებენ ქვედა ჰორიზონტამდე და Δl_3 შესწორებას ამ დონისათვის (7) ფორმულით ანგარიშობენ. რაც შეეხება I ჰორიზონტს (ნახ. 2), აქ ბაფთის H_1 მონაკვეთზე მოქმედებს ორი (გამჭიმავი) ძალა — ბაფთის H_1 უბნის წონის ნახევარი და $(H_2 - H_1)$ მონაკვეთის წონა, ამიტომ გამჭიმავი Q' ძალა

$$Q' = F\gamma\left[\frac{H_1}{2} + (H_2 - H_1)\right] = F\gamma\left(H_2 - \frac{H_1}{2}\right),$$

ხოლო ბაფთის $\Delta l_3'$ წაგრძელება, თანახმად ჰუკის კანონისა, იქნება

$$\Delta l_3' = \frac{Q' H_1}{EF} = \frac{F\gamma\left(H_2 - \frac{H_1}{2}\right) H_1}{EF},$$

$$\Delta l_3' = \frac{\gamma}{E}\left(H_2 - \frac{H_1}{2}\right) H_1. \qquad (4.1.8)$$

(7) და (8) ფორმულები მართებულია იმ შემთხვევაში, თუ მათში შემავალი ელემენტები გამოსახული იქნება გრამებსა და სანტიმეტრებში. სიხის-

ტის E მოდულის განზომილებაა კგ/სმ², ამიტომ ფორმულის მნიშვნელი უნდა გამრავლდეს 10^3-ზე; ასევე H მონაკვეთები უნდა გამოსახულ იქნეს სმ-ში, რის თვისაც მრიცხველი უნდა გამრავლდეს 10^4-ზე. ამ შემთხვევაში Δl_3 და $\Delta l_3'$ შესწორებები მიიღება სმ-ში და (7) და (8) ფორმულები შემდეგი სახით გადაიწერება:

$$\Delta l_3 = \frac{5 H_0^2}{E}\gamma \text{ სმ}; \qquad (4.1.9)$$

$$\Delta l_3' = \frac{10\gamma}{E} H_1\left(H_2 - \frac{H_1}{2}\right) \text{ სმ}. \qquad (4.1.10)$$

უკანასკნელ გამოსახულებებში თუ შევიტანთ $\gamma = 7{,}8$ გ/სმ³ და $E = 2000000$ კგ/სმ² მნიშვნელობებს, აგრეთვე H_0, H_1 და H_2-ს გამოვსახავთ ასეულ მეტრებში, ხოლო შესწორებებს — მმ-ში, მივიღებთ საკუთარი წონის გავლენით ბაფთის წაგრძელების გამოსათვლელ შემდეგ მარტივ ფორმულებს:

$$\Delta l_3 = 1{,}95 H_0^2 \text{ მმ}; \qquad (4.1.11)$$

$$\Delta l_3' = 3{,}95 H_1\left(H_2 - \frac{H_1}{2}\right) \text{ მმ}. \qquad (4.1.12)$$

ტემპერატურული Δl_4 შესწორება გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta l_4 = H\alpha(t - t_0), \qquad (4.1.13)$$

სადაც α არის ფოლადის ბაფთის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი;
t_0 — ბაფთის კომპარირების ტემპერატურა (აიღება ბაფთის პასპორტიდან);
t — ბაფთის საშუალო ტემპერატურა, რომელიც გამოითვლება (2) ან (3) ფორმულით.

ბ. ნიშნულის გადაცემა ფოლადის რულეტით

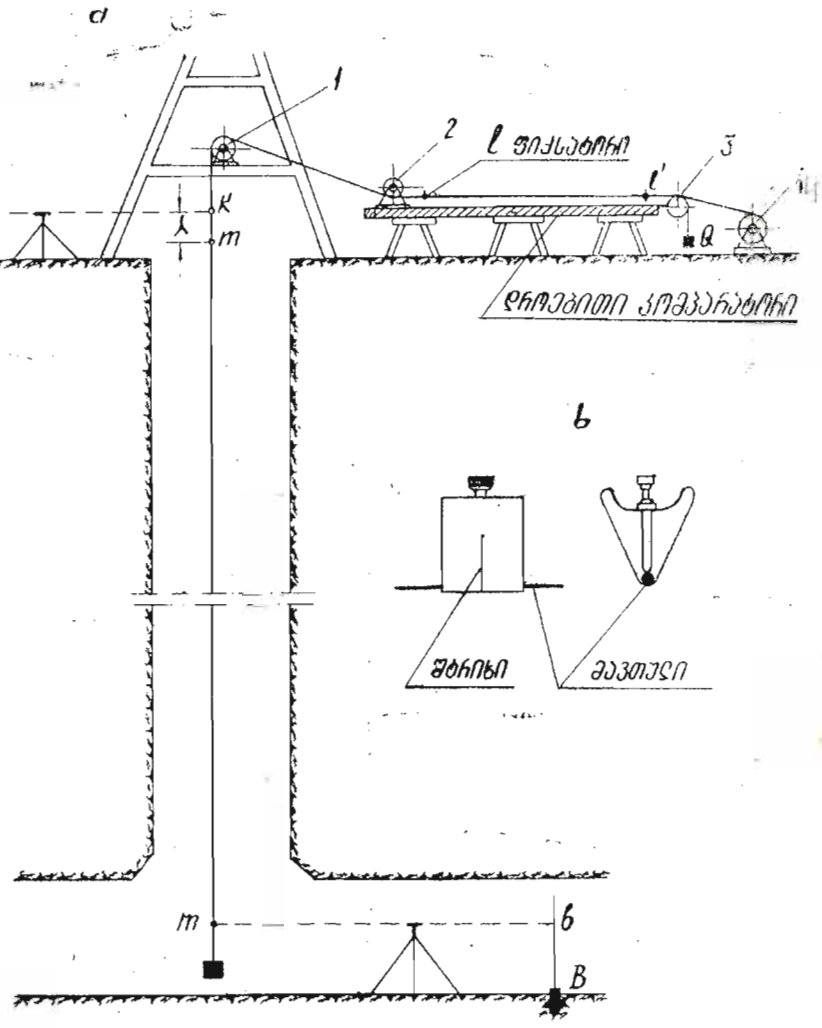
50 მეტრამდე სიღრმის გეზენკების, სავენტილაციო შურფების, საძიებო და სხვა დანიშნულების ვერტიკალური გვირაბების შემთხვევაში ნიშნულის გადაცემა შეიძლება სათანადო სიგრძის (20, 30, 50 მ) ფოლადის რულეტით გრძელი საშახტო ბაფთის ანალოგიურად (ნახ. 1). B რეპერის საძიებელი z_B ნიშნული გამოითვლება (4) ფორმულით, მხოლოდ არ შეიტანება შესწორება რულეტის წაგრძელებისათვის მუშა ტვირთის გავლენით (Δl_2), რადგან რულეტზე კიდებენ მისი კომპარირებისას ნახმარი დაჭიმვის ტოლ სიმძიმეს. სიმცირის გამო არ შეიტანება აგრეთვე შესწორება საკუთარი წონის გავლენით რულეტის წაგრძელების გამო (Δl_3). ტემპერატურული Δl_4 შესწორება იანგარიშება (13) ფორმულით, რომელშიც t აიღება გვირაბის შუა ნაწილში ჰაერის ტემპერატურის ტოლი. რულეტის კომპარირების Δl_1 შესწორების ოდენობა დგინდება საზომის პასპორტის მიხედვით.

ფოლადის რულეტები დაყოფილია სანტიმეტრებად, ამიტომ (4) ფორმულაში შემავალი n_1 და n_2 ანათვლები აიღება უშუალოდ რულეტზე ნიველირის ჭოგრით, დამხმარე მილიმეტრებიანი სახაზავის გამოყენების გარეშე.

კონტროლის მიზნით ნიშნულის გადაცემა სრულდება ორჯერ (გაზომვების მეორე ციკლის დროს ცვლიან ინსტრუმენტის ჰორიზონტს და რულეტს გადააადგილებენ).

ბ. ნიშნულის გადაცემა ფოლადის მავთულით

ნიშნულის გადაცემის ეს მეთოდი 1914 წელს არის მოწოდებული პროფ. პ. სობოლევსკის მიერ. მისი განხორციელებისათვის საჭიროა 1,0—1,5 მმ დიამეტრის ფოლადის მავთული, დახვეული ხელის ჯალამბრის დოლზე 4 (ნახ. 3). ჯალამბარს ამაგრებენ ჭაურის პირიდან განსაზღვრულ მანძილზე, ხოლო მავთულის თავისუფალ ბოლოს კი მიმმართველი ბლოკების 1, 2 და 3 სისტე-



ნახ. 4.1.3.

მით მსუბუქი ტვირთით უშვებენ ჭაურში: მავთულის საჭირო დონემდე ჩაშვების შემდეგ მის მსუბუქ ტვირთს ცვლიან 10 კგ სიმძიმის მუშა ტვირთით (ნახ. 3ª). ამის შემდეგ B წერტილის z_B ნიშნულის განსაზღვრის სქემა იგივეა, რაც გრძელი საშახტო ბაფთის გამოყენების დროს, იმ განსხვავებით, რომ ამ შემთხვევაში ზედა და ქვედა ნიველირის ჰორიზონტებს შორის ვერტიკალური მანძილის შესაბამისი მავთულის მონაკვეთის სიგრძე იზომება ზედაპირზე მოწყობილ სპეციალურ დროებით კომპარატორზე, რომელიც წარმოადგენს ხის

ქვესადგარებზე ჰორიზონტულად მყარად დამაგრებულ 30—40 სმ სიგანისა და დაახლოებით 20 მ-ის სიგრძის ფიცარფენილს, რომლის საწყისსა და ბოლოში მაგრდება ბლოკები 2 და 3. ფიცარფენილის გასწვრივ ჭიმავენ რულეტს (ან ბაფთას). რულეტის მარცხენა ბოლო უძრავად მაგრდება, მარჯვენა კი გადის ბლოკზე 3 და იტვირთება საზომის კომპარირებისას გამოყენებული Q სიმძიმით. როგორც სქემიდან ჩანს, ფოლადის მავთული ბლოკების 2 და 3 საშუალებით გაივლის რულეტის გვერდით და შემდეგ ეხვევა დოლზე. მუშაობა წარმოებს შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) ზედაპირზე და მიწისქვეშ აყენებენ ნიველირს, A და B პუნქტებზე — ლარტყებს. მავთულზე ამაგრებენ ორ ფიქსატორს (ნახ. 3ᵇ): m-ს ქვედა ნიველირით მისი ჰორიზონტის დონეზე და l-ს კომპარატორზე დაჭიმული ბაფთის საწყისში — ნებისმიერი დანაყოფის პირისპირ. თანადროულად იღებენ ანათვლებს: ლარტყაზე — b; l ფიქსატორის შტრიხის პირისპირ რულეტზე — n_1 და ზომავენ ჰაერის ტემპერატურას მაღაროს ეზოში.

2) ჯალამბრის სახელურის ბრუნვით იწყებენ მავთულის დახვევას დოლზე. ამის შედეგად l ფიქსატორის შტრიხი გადაინაცვლებს რულეტის გასწვრივ და თანდათანობით მიუახლოვდება მის ბოლოს. ამ მომენტში შეაჩერებენ მავთულის ამოწევას და იღებენ ანათვალს რულეტზე l ფიქსატორის შტრიხის პირისპირ — (n_2); რულეტის საწყისში მავთულზე ამაგრებენ ახალ l_1 ფიქსატორს და იღებენ ანათვალს მისი შტრიხის პირისპირ რულეტზე — n_3. ამის შემდეგ l ფიქსატორს მოხსნიან და აგრძელებენ მავთულის ამოწევას მანამ, სანამ l_1 ფიქსატორი არ მიაღწევს რულეტის ბოლოს, რის შემდეგ აღწერილი ოპერაციები მეორდება.

3) მავთულის დახვევა დოლზე და ზემოთ აღწერილი ოპერაციები მეორდება მანამ, სანამ m ფიქსატორი არ გამოჩნდება ზედა ნიველირის ჭოგრის მხედველობის არეში. ამ მომენტში მავთულის დახვევას შეაჩერებენ და ღებულობენ ანათვალს რულეტზე უკანასკნელი ფიქსატორის შტრიხის პირისპირ, აგრეთვე ზედა ნიველირის ჰორიზონტული დამზერის სხივის პირდაპირ ლარტყაზე — (a).

4) ზედა ნიველირის ჰორიზონტის დონეზე მავთულს უკეთებენ k ფიქსატორს. ზომავენ მილიმეტრებიანი სახაზავით m და k ფიქსატორებს შორის λ მანძილს. λ-ს ექნება მინუსი ნიშანი, თუ m-ი მაღლაა k-ზე და პირიქით. ზომავენ აგრეთვე ჰაერის ტემპერატურას ჭაურის პირთან, ჭაურის შუა ნაწილში და კომპარატორთან.

საძიებელი z_B ნიშნული

$$z_B = z_A + a - [\Sigma (n_2 - n_1) + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3] \pm \lambda - b, \qquad (4.1.14)$$

სადაც n_1 და n_2 მავთულზე დამაგრებული ფიქსატორების შტრიხების პირისპირ აღებული ანათვლებია რულეტზე;

λ — მანძილი m და k ფიქსატორებს შორის;

Δl_1 — შესწორება რულეტის ტემპერატურაზე;

Δl_2 — შესწორება ზედაპირსა და ჭაურში მავთულის ტემპერატურის სხვაობაზე;

Δl_3 — შესწორება რულეტის კომპარირებაზე.

Δl_1 შესწორება გაზომილ $\Sigma(n_2-n_1)\approx H$ მანძილში, გამოწვეული რულეტის კომპარირებისას (t_0) და კომპარატორზე (t_1) ტემპერატურათა სხვაობით, იანგარიშება ფორმულით

$$\Delta l_1 = H\alpha(t_1-t_0).$$

ჰაურში ჰაერის საშუალო ტემპერატურას თუ t ასოთი აღვნიშნავთ, მაშინ შესწორება ზედაპირზე და ჰაურში მავთულის ტემპერატურათა სხვაობისათვის

$$\Delta l_2 = H\alpha(t-t_1),$$

ხოლო ჯამური Δl_t შესწორება კი

$$\Delta l_t = \Delta l_1 + \Delta l_2 = H\alpha(t-t_0),$$

ე. ი. ტემპერატურული შესწორების ანგარიშის დროს შეიძლება ვიხელმძღვანელოთ (13) ფორმულით.

შესწორება რულეტის კომპარირებისათვის განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$\Delta l_3 = \frac{\Sigma(n_2-n_1)}{l} m_k, \qquad (4.1.15)$$

სადაც l არის რულეტის სიგრძე, m_k — შესწორება რულეტის კომპარირებაზე (პასპორტის მიხედვით).

l და m ფიქსატორების დამაგრება მავთულზე და დროებით კომპარატორზე მავთულის სიგრძის გაზომვა სრულდება ერთი და იმავე ტვირთის გამოყენებით, ამიტომ შესწორება მუშა ტვირთის გავლენით მავთულის წაგრძელებაზე არ შეიტანება. მხედველობაში არ მიიღება აგრეთვე საკუთარი წონის გამო მავთულის წაგრძელება, რადგან იგი მოცემულ შემთხვევაში უგულებელსაყოფი ოდენობაა.

კონტროლის მიზნით ნიშნულის გადაცემას ასრულებენ განმეორებით — ჰაურში მავთულის ჩაშვების დროს. ამ შემთხვევაში მავთულზე m ფიქსატორი მაგრდება ზედა ნიველირის ჰორიზონტის დონეზე, l ფიქსატორი კი — რულეტის ნულოვანი დანაყოფის სიახლოეს (l').

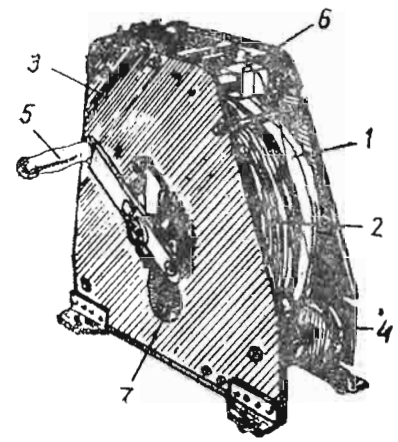
d. ნიშნულის გადაცემა ДА-2 მარკის სიგრძესაზომით

დედამიწის ფიზიკური ზედაპირიდან წიაღის გვირაბებში ნიშნულის გადაცემის ზემოთ განხილული მეთოდები მთელი რიგი ნაკლოვანებებით ხასიათდება. ასე, მაგალითად, გრძელი საშახტო ბაფთის გამოყენებისას, თუმცა საკმარისი სიზუსტის მიღწევა სავსებით შესაძლებელია, საჭიროა რამდენიმე ასეული მეტრის სიგრძის საზომის კომპარირება, რაც ადვილი შესასრულებელი არ არის. ფოლადის მავთულის საშუალებით მაღალი სიზუსტის მიღწევა შეიძლება, მაგრამ მოითხოვს დროებითი კომპარატორის მოწყობას ზედაპირზე, რომელზეც მავთულის სიგრძის გაზომვას დიდი დრო სჭირდება.

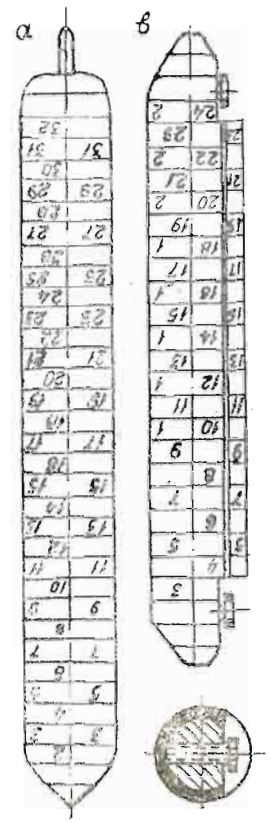
ამ ნაკლოვანებებისაგან თავისუფალია ВНИМИ-ის მიერ შექმნილი ДА-2 მარკის სიგრძესაზომი, რომლის არსი მდგომარეობს ეტალონირებული დისკოს ბრუნვის რიცხვის საშუალებით მავთულის სიგრძის განსაზღვრაში. ამ ხელსაწყოთი, რომელსაც უშვებს ქ. ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების

ქარხანა, შეიძლება გაიზომოს როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტული და დახრილი მანძილები.[1]

ДА-2 ინსტრუმენტის საერთო ხედი მოცემულია მე-4 ნახაზზე. საზომი დისკო წრიული სკალით 1 და დოლი 2, მასზე დახვეული მავთულით აწყობილია სადგარში 3 განხორციელებულ საერთო ჰორიზონტულ ღერძზე. დისკოზე მავთულის მოხვევის კუთხის 270°-მდე გაზრდის მიზნით დოლიდან გამოსული მავთული გადადის მიმმართველ ბლოკზე 4. დოლი ხისტადაა დაკავშირებული იარაღის ჰორიზონტულ ღერძთან და ბრუნავს სახელურის 5 საშუალებით. დოლის ბრუნვის დროს საზომი დისკო უძრავად რჩება. იგი ბრუნავს მასზე შემოვლებული მავთულის ჰაურში ჩაშვების შემთხვევაში. კბილანების საშუალებით საზომი დისკო დაკავშირებულია ბრუნვის მრიცხველთან 6. ამ უკანასკნელზე აითვლება დისკოს სრული ბრუნთა რიცხვი (ასეული, ათეული, ერთეული). დისკოს წრეხაზის სიგრძე უდრის 1 მ-ს, ამიტომ ბრუნვის მრიცხველის საშუალებით



ნახ. 4 1.4.



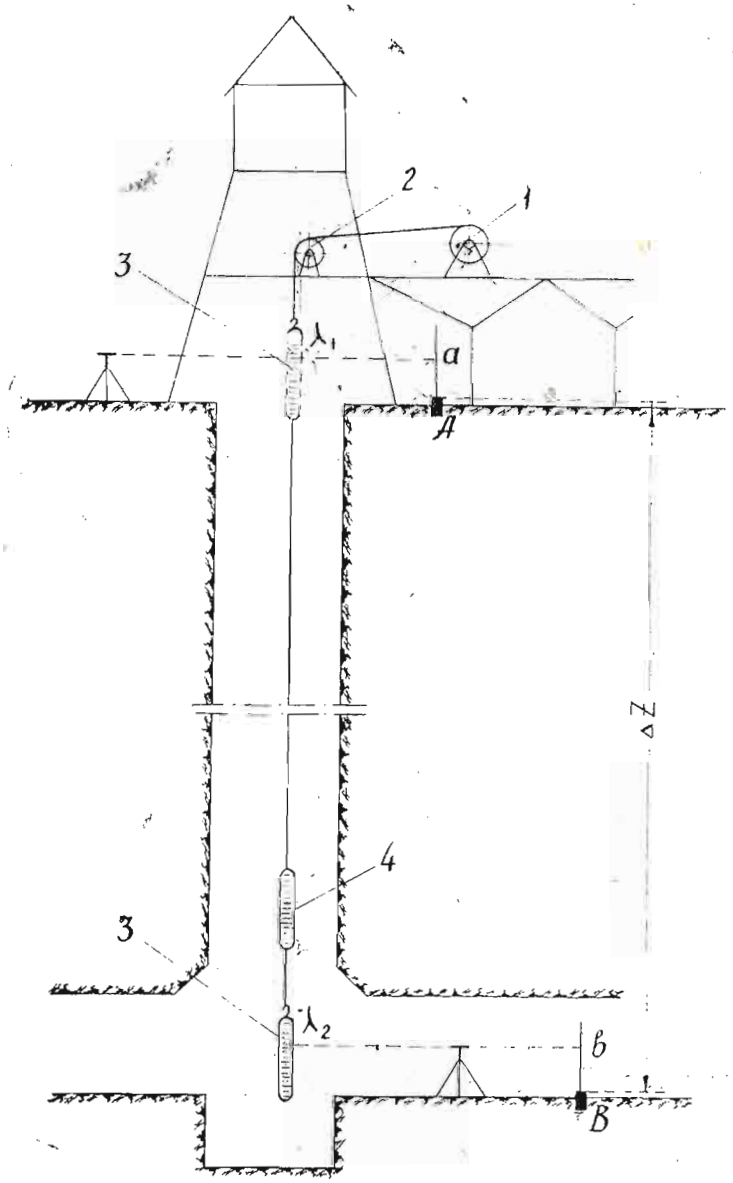
ნახ. 4.1.5. ДА-2 სიგრძესაზომის ლარტყები: *a*—ტვირთ-ლარტყა; *b*—საკონტროლო ლარტყა.

მიიღება მავთულის წერტილის მიერ განვლილი მანძილი მეტრებში. დისკოს ერთ-ერთი ნაწიბური მთელი სიგრძე დაყოფილია 100 ნაწილად. დანაყოფის მეათედი აითვლება თვალზომით, ე. ი. დისკოს ბრუნვის რიცხვი განისაზღვრება ± 1 მმ შეცდომით.

საზომი დისკო დამზადებულია მცირე სითბური გაფართოების კოეფიციენტის მქონე ლითონისაგან. მისი ტემპერატურის მხედველობაში მიღების მიზნით მას აქვს თერმომეტრი 7. მავთულის ქვედა ბოლოზე დაიკიდება ე. წ.

[1] პროფ. ფ. პავლოვმა გამოიყენა ზღვების სიღრმეების გასაზომად არსებული სიღრმესაზომის მოქმედების პრინციპი და მარკშეიდერული მიზნებისათვის პირველმა შექმნა ე. წ. სიღრმესაზომი. ეს ხელსაწყო პრაქტიკაში ვერ გავრცელდა მანამ, სანამ მის ბაზაზე არ შეიქმნა ავტომატური სიგრძესაზომი ДА-2.

ტვირთ-ლარტყა, რომელიც ტყვიით ამოვსებული ლითონის ცილინდრს წარმოადგენს (ნახ. 5ª). მის ზედაპირზე ჰადრაკული წყობის სანტიმეტრული დანაყოფებია დატანილი, რაც საშუალებას იძლევა ანათვალი აღებულ იქნეს ტვირთ-ლარტყის ბრუნვის შემთხვევაშიც. ДА-2 ხელსაწყოს აქვს აგრეთვე



ნახ. 4.1.6. ДА-2 სიგრძესაზომით ნიშნულის გადაცემის სქემა: 1—სიგრძის საზომი; 2—ბლოკი; 3 – ტვირთ-ლარტყა; 4—საკონტროლო ლარტყა.

საკონტროლო ლარტყა, რომელიც უკავშირდება მავთულს ტვირთ-ლარტყის ზემოთ 1—2 მეტრ მანძილზე. იგი ალუმინისაგან არის დამზადებული და მავთულზე მაგრდება ორი მომჭერი ხრახნით (ნახ. 5ᵇ).

ვერტიკალური ჭაურის შემთხვევაში ზედაპირიდან წიაღის გვირაბებში ნიშნულის გადაცემის დროს ДА-2 ხელსაწყო შეიძლება დაყენებულ იქნეს რო-

გორც ჭაურის ზედა მიმღებ ბაქანზე (ნახ. 6), ისე აწეულ და მყარად დამაგრებულ გალის იატაკზე.

მუშაობა შემდეგი თანამიმდევრობით წარმოებს:

1) ზედაპირზე დააყენებენ ნიველირს, მისი ჰორიზონტის დონემდე ჩამოუშვებენ ტვირთ-ლარტყას და ჯალამბარს შეაჩერებენ. იღებენ ანათვლებს: სიგრძესაზომის დისკოსა და მრიცხველზე (N_1), ნიველირით ტვირთ-ლარტყასა (λ_1) და A რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე (a).

2) დაუშვებენ მავთულს იმდენზე, რომ საკონტროლო ლარტყამ ტვირთ-ლარტყის ადგილი დაიკავოს და იღებენ ანალოგიურ სამ ანათვალს;

3) შემდეგ ტვირთ-ლარტყას ჩაუშვებენ ქვედა ნიველირის ჰორიზონტამდე. იღებენ ანათვალს სიგრძის საზომის დისკოსა და მრიცხველზე, ნიველირით ტვირთ-ლარტყასა და B რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე (N_2, λ_2, b);

4) საკონტროლო ლარტყას ჩაუშვებენ იმდენზე, რომ მან დაიჭიროს ტვირთ-ლარტყის ადგილი და იმეორებენ ანალოგიური ანათვლების აღებას.

საძიებელი Δz აღმატება გაზომვების ერთი ციკლიდან (ტვირთ-ლარტყის ანათვლების გამოყენებით) გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$\Delta z' = (N_2 - N_1) - (a - \lambda_1) + (b - \lambda_2), \qquad (4.1.16)$$

სადაც N_1 და N_2 არის ანათვლები ДА-2 სიგრძესაზომზე;

a, b — ანათვლები A და B რეპერებზე დაყენებულ ლარტყებზე;

λ_1 და λ_2 — ანათვლები ტვირთ-ლარტყაზე, შესაბამისად, ზედაპირზე და მიწის ქვეშ.

გაზომვების მეორე ციკლიდან (საკონტროლო ლარტყის ანათვლების გამოყენებით) იმავე (16) ფორმულით განისაზღვრება Δz აღმატების მეორე $\Delta z''$ მნიშვნელობა. სხვაობა ორ შედეგს შორის არ უნდა აღემატებოდეს

$$(\Delta z' - \Delta z'')_{\text{დასაშ}} \leqslant 0{,}01 + 0{,}0002\,(N_2 - N_1) \text{ მ.} \qquad (4.1.17)$$

აღმატების ორი დასაშვები მნიშვნელობიდან გამოითვლება მათი საშუალო არითმეტიკული — $\Delta z'_{\text{საშ}}$.

აღმატების საბოლოო მნიშვნელობა იქნება

$$\Delta z = \Delta z'_{\text{საშ}} + \Delta z_1 + \Delta z_2 + \Delta z_3 + \Delta z_4, \qquad (4.1.18)$$

აქ:

1) Δz_1 არის შესწორება საზომი დისკოს კომპარირებაზე,

$$\Delta z_1 = (N_2 - N_1)(l - 1), \qquad (4.1.19)$$

სადაც l არის საზომი დისკოს წრის ფაქტობრივი სიგრძე ქარხნის პასპორტის მიხედვით, მ-ში;

2) Δz_2 — შესწორება მავთულის d დიამეტრისათვის; იანგარიშება ფორმულით

$$\Delta z_2 = (N_2 - N_1)\,d\pi, \qquad (4.1.20)$$

მავთულის d დიამეტრი იზომება მიკრომეტრით;

3) Δz_3 — შესწორება საზომი დისკოს ტემპერატურაზე:

$$\Delta z_3 = \alpha_1 (N_2 - N_1)(t - t_0), \qquad (4.1.21)$$

სადაც t არის დისკოს ტემპერატურა სამუშაოს შესრულების დროს;

t_0 — დისკოს ტემპერატურა კომპარირების დროს;

α_1 — დისკოს მასალის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი;

4) Δz_4 — შესწორება ჰაურსა და ზედაპირზე მავთულის ტემპერატურის სხვაობისათვის:

$$\Delta z_4 = \alpha_2 (N_2 - N_1)(t_{საშ} - t_3) \text{ მ}. \qquad (4.1.22)$$

აქ t_3 არის ჰაერის ტემპერატურა ზედაპირზე სამუშაოს შესრულების დროს;

α_2 — მავთულის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი;

$t_{საშ}$ — ჰაერის საშუალო ტემპერატურა ჰაურში (გამოითვლება (2) ან (3) ფორმულით).

B რეპერის საძიებელი z_B ნიშნული გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$z_B = z_A - \Delta z. \qquad (4.1.23)$$

შენიშვნა. ДА-2 ავტომატური სიგრძესაზომით ნიშნულის გადაცემა შეიძლება საკონტროლო ლარტყის გარეშეც. ამ შემთხვევაში გაზომვების მეორე ციკლი სრულდება ტვირთ-ლარტყის მდებარეობისა და ნიველირების ჰორიზონტების შეცვლის შემდეგ.

ე. ნიშნულის გადაცემა ელექტროოპტიკური მანძილმზომით

ელექტროოპტიკური მანძილმზომები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ზედაპირიდან მიწისქვეშა გვირაბებში ნიშნულის გადაცემის მიზნით. კვლევებით დადასტურებულია, რომ ამ ხერხით ნიშნულის გადაცემას მცირე დრო (1—1,5 საათი ჰაურის სიღრმისაგან დამოუკიდებლად) სჭირდება, ამავე დროს საჭირო სიზუსტით ხასიათდება, რაც ზემოთ განხილულ ხერხებთან შედარებით მის უპირატესობაზე მეტყველებს.

ელექტროოპტიკური მანძილმზომით ნიშნულის გადაცემის სამი შესაძლო ვარიანტიდან, რომლებიც გარჩეული აქვს მ. პაშჩენკოვს თავის ნაშრომში [39], ერთ-ერთის არსი მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 7):

ზედაპირზე, უშუალოდ ჰაურის პირთან ახლოს, აყენებენ ელექტროოპტიკურ D მანძილმზომს, რომლის მიმღებ-გადამცემი სისტემის ობიექტივთან ხისტადაა დაკავშირებული სპეციალური P საცმი (ბრტყელი სარკე, პრიზმა). საცმის ამრეკლი სიბრტყე მანძილმზომის გადამცემი და მიმღები ჰოგრების ოპტიკურ ღერძებთან ადგენს 45° კუთხეს. ხელსაწყოს გადამცემი ჰოგრიდან გამოსული სინათლის ნაკადი ამ საცმის საშუალებით მობრუნდება 90°-ით და მიემართება ვერტიკალურად ქვევით მდებარე O ამრეკლისაკენ, რომელიც ქვედა ჰორიზონტზე მოწყობილ თაროზეა დაყენებული. აქედან არეკლილი სხივი შებრუნებული მიმართულებით ბრუნდება უკან, ხვდება P საცმის სარკისებრ ზედაპირს, საიდანაც მიემართება მანძილმზომის მიმღებ ჰოგრში.

B რეპერის ნიშნულის განსაზღვრის მიზნით გამოყენებულია ორი ნიველირი: ერთით განისაზღვრება ელექტროოპტიკური მანძილმზომის ოპტიკური ღერძების ნიშნული, ხოლო მეორეთი O ამრეკლიდან ნიშნული გადაეცემა B რეპერს.

z_B ნიშნული განისაზღვრება ფორმულით

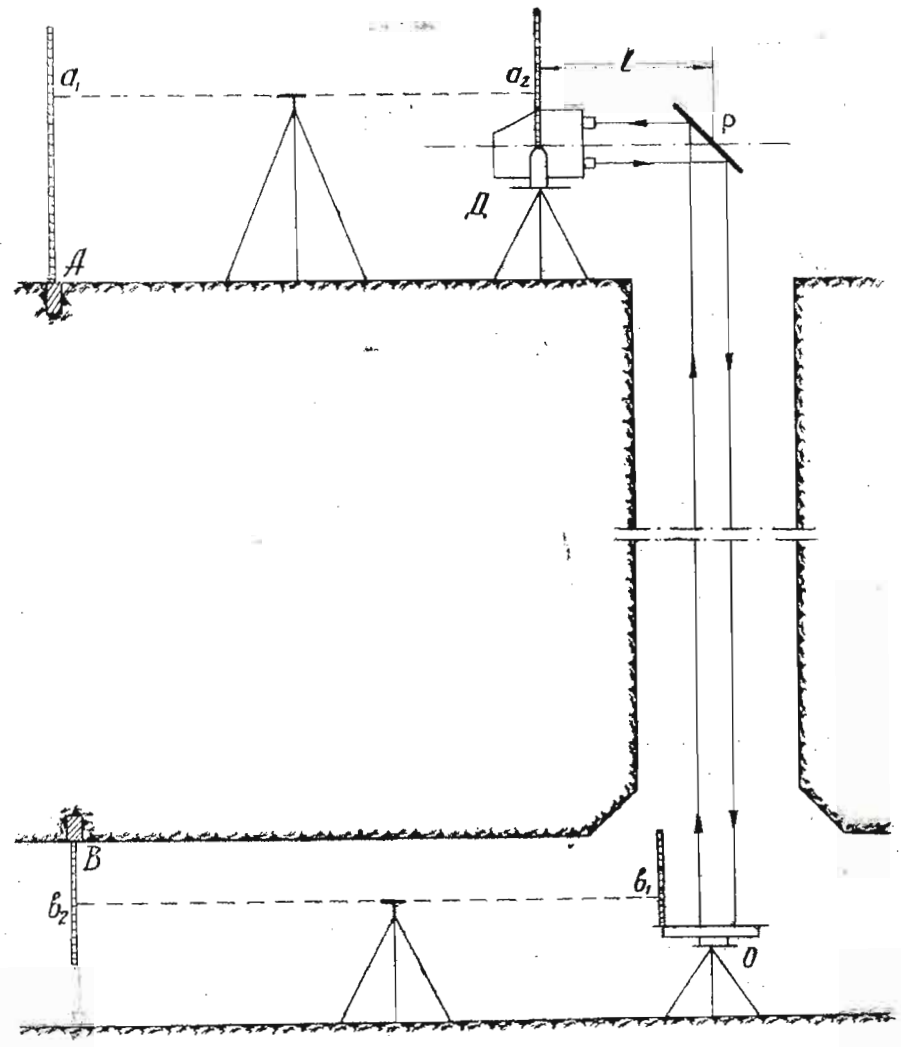
$$z_B = z_A + (a_1 - a_2) - (s - l) + (b_1 + b_2), \qquad (4.1.24)$$

სადაც z_A არის ზედაპირზე საყრდენი რეპერის ნიშნული;

a_1, a_2, b_1, b_2 — ანათვლები ლარტყებზე, შესაბამისად, ზედაპირზე და მიწისქვეშ;

s — მანძილმზომით გაზომილი მანძილი;

l — P საცმის მუდმივა.



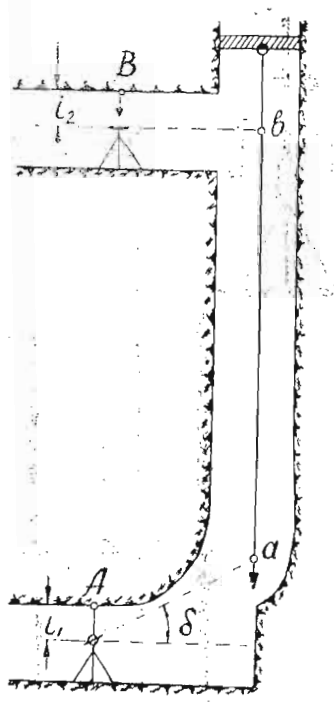
ნახ. 4.1.7

1961 წელს ДСТ-2 მარკის ელექტროოპტიკური მანძილმზომით ზემოაღწერილი სქემით განხორციელდა ერთ-ერთი შახტის 365 მ სიღრმის ჰაურის

მიმდებარე გვირაბში ნიშნულის გადაცემა, რასაც 1,5 საათი დასჭირდა. გრძელი საშახტო ბაფთითა და ელექტროოპტიკური მანძილმზომით განსაზღვრულ ნიშნულებს შორის სხვაობა გამოვიდა 0,122 მ-ი [39].

ვ. ნიშნულის გადაცემა საქვესართულე გვირაბებში

მადნის საბადოების დამუშავებისას ამოსაღები ბლოკის საქვესართულე გვირაბები ერთიმეორის მიმართ ორიენტირებული უნდა იყოს არა მარტო ჰორიზონტულ სიბრტყეში, არამედ ვერტიკალურშიც. ამისათვის საჭიროა ძირითადი ჰორიზონტიდან საქვესართულე გვირაბებში ნიშნულის გადაცემა. რადგან ასეთი გვირაბების არსებობის ვადა მცირეა, მათში სპეციალურ რეპერებს არ ამაგრებენ და ნიშნულს გადასცემენ უშუალოდ თეოდოლიტური (კუთხზომითი) აგეგმვის პუნქტებს.



ნახ. 4.1.8.

ნიშნულის გადაცემის მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია ქვესართულის ძირითად ჰორიზონტთან დამაკავშირებელი გვირაბის აღნაგობაზე. მაგალითად, ისეთი შვეული აღმაღლების შემთხვევაში, რომლებშიც რულეტის ჩაშვება შეიძლება, ეს ამოცანა გრძელი საშახტო ბაფთის ანალოგიურად ამოიხსნება, დახრილი აღმავლების დროს კი ტრიგონომეტრიული ნიველობა გამოიყენება. ზოგჯერ საჭირო ხდება როგორც ტრიგონომეტრიული, ისე გეომეტრიული ნიველობის შეხამება (ნახ. 8). ასეთ შემთხვევაში აღმავლის ვერტიკალურ ნაწილში უშვებენ რულეტს და ნიველირის ჰორიზონტის დონეზე იღებენ b ანათვალს. რულეტის ქვემო ნაწილში a ანათვალს იღებენ ძირითადი ჰორიზონტის მარკშეიდერული A პუნქტის ქვეშ დაყენებული თეოდოლიტის ჰოგრის საშუალებით. ამავე დროს ზომავენ თეოდოლიტის ჰოგრის სამიზნე სხივის დახრის δ კუთხეს, რულეტით მის L სიგრძეს, აგრეთვე ინსტრუმენტების i_1 და i_2 სიმაღლეებს. A და B წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობა

$$\Delta z = (b-a)+(i_2-i_1)+L\sin\delta, \qquad (4.1.25)$$

ხოლო A წერტილის ნიშნული

$$z_A = z_B - \Delta z. \qquad (4.1.26)$$

თავი V

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრია

(ჰორიზონტული აგეგმვა)

5.1. ზოგადი ცნობები

მიწისქვეშა აგეგმვის ობიექტები (შტრეკი, კვერშლაგი, ქანობი, ლავა და ა. შ.) ვიწრო და გაჭიმული სახისაა, ამიტომ მათი ჰორიზონტული აგეგმვა შეიძლება მხოლოდ პოლიგონომეტრიული (პოლიგონური აგეგმვის) მეთოდით მართობების ხერხით წვლილადების აგეგმვასთან შეხამებით. პოლიგონომეტრის მხრივ იგულისხმება გვირაბებში სათანადოდ შერჩეული და დამაგრებული პუნქტების სისტემა, რომლებიც თანამიმდევრული ურთიერთშეერთებით ქმნიან ღია ან შეკრულ მრავალკუთხედს (პოლიგონს) და რომელშიც კუთხური და ხაზოვანი ელემენტები უშუალოდ არის გაზომილი.

გვირაბებში აგებული ყოველი პოლიგონომეტრიული სვლა დაკავშირებული (მიბმული) უნდა იყოს არსებულ საყრდენ ქსელთან, ე. ი. ცნობილი უნდა იყოს ახალი სვლის საწყისი წერტილის კოორდინატები და მისი გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხე. ამისათვის საჭიროა ახალი პოლიგონომეტრიული სვლა დაწყებულ იქნეს ძველი აგეგმვის რომელიმე ხისტი პუნქტიდან, ხოლო გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხე კი მიღებულ იქნეს უშუალოდ გიროსკოპული ხელსაწყოების გამოყენებით ან განისაზღვროს არსებული ქსელის რომელიმე გვერდთან დამაკავშირებელი β_1 კუთხის საშუალებით (ნახ. 1).

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლები და მათი სისტემები საყრდენ პუნქტებთან მიმხრობისა და აქედან გამომდინარე კონტროლის ხასიათისა და ხერხების მიხედვით იყოფა თავისუფალ (კიდული ან შეკრული) და არათავისუფალ სვლებად და სისტემებად [41].

თავისუფალი კიდული პოლიგონომეტრიული სვლა ეყრდნობა სვლის საწყისში მდებარე ერთ ცნობილ პუნქტს 1 და ერთ ხისტ α_1 დირექციულ კუთხეს. ასეთი სვლის პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის კონტროლი შეიძლება მხოლოდ განმეორებითი სვლით (ნახ. 1ა). კონფიგურაციით კიდული სვლა შეიძლება იყოს გაჭიმული ან ტეხილი სახის.

თავისუფალი შეკრული პოლიგონომეტრიული სვლა (ნახ. 1ბ) ეყრდნობა ცნობილ პუნქტსა 1 და ერთ ხისტ α_1 დირექციულ კუთხეს, თანაც მისი საწყისი და ბოლო წერტილი ერთიმეორეს ემთხვევა. ასეთ სვლებს აკონტროლებენ კუთხეების ჯამისა და კოორდინატთა ნაზრდების ჯამის შედარებით მათ თეორიულ ოდენობებთან.

არათავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლებს აქვს ჭარბი გამოსავალი მონაცემები. ასეთი სვლები აიგება:

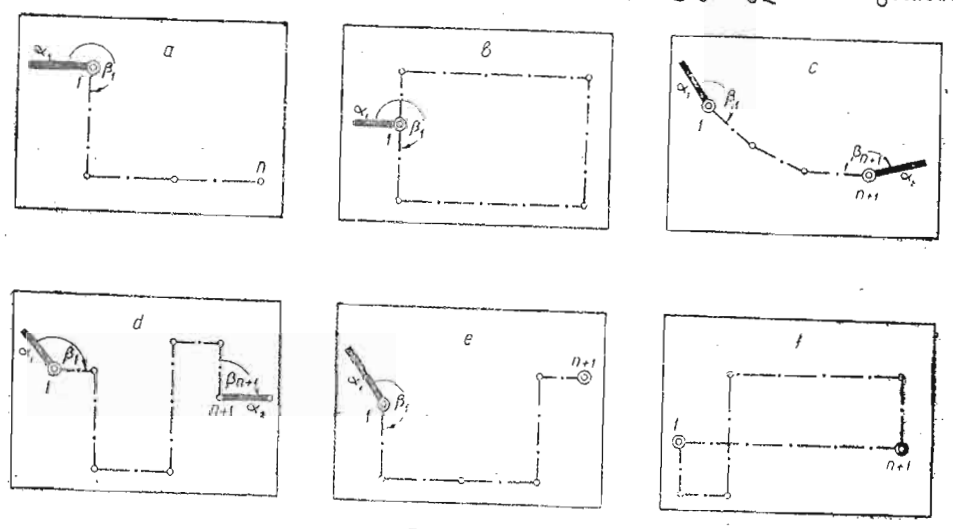
ა) ხისტ პუნქტებსა $(1, n+1)$ და ხისტ დირექციულ (α_1, α_2) კუთხეებს შორის (ნახ. 1ც), ე. ი. სრული კონტროლით (დირექციულ კუთხეებში და კოორდინატებში);

ბ) ხისტ α_1 და α_2 დირექციულ კუთხეებს შორის ერთი წერტილის 1 გამოსავალი კოორდინატებით, ე. ი. კონტროლით დირექციულ კუთხეებში (ნახ. 1დ);

c) ორ ხისტ 1 და $n+1$ პუნქტს შორის ერთი გამოსავალი α_1 დირექციული კუთხით, ე. ი. კონტროლით კოორდინატებში (ნახ. 1ᵉ);

d) ორ ხისტ 1 და $n+1$ პუნქტს შორის (ორი ჰაურით ორიენტირებისას) გამოსავალი დირექციული კუთხის გარეშე, ე. ი. კონტროლით სვლის ჩამკეტის სიგრძის მიხედვით (ნახ. 1ᶠ).

უკანასკნელ სამ შემთხვევაში პოლიგონომეტრიულ სვლას არ გააჩნია



ნახ. 5. 1. 1.

სრული კონტროლი, ამიტომ საჭიროა განმეორებითი სვლის შესრულება ან კუთხეების ხელახალი გაზომვა.

სამთო სამუშაოების განვითარების შესაბამისად მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლების ქსელი ღებულობს ურთიერთმიჯრილი პოლიგონების სისტემების სახეს.

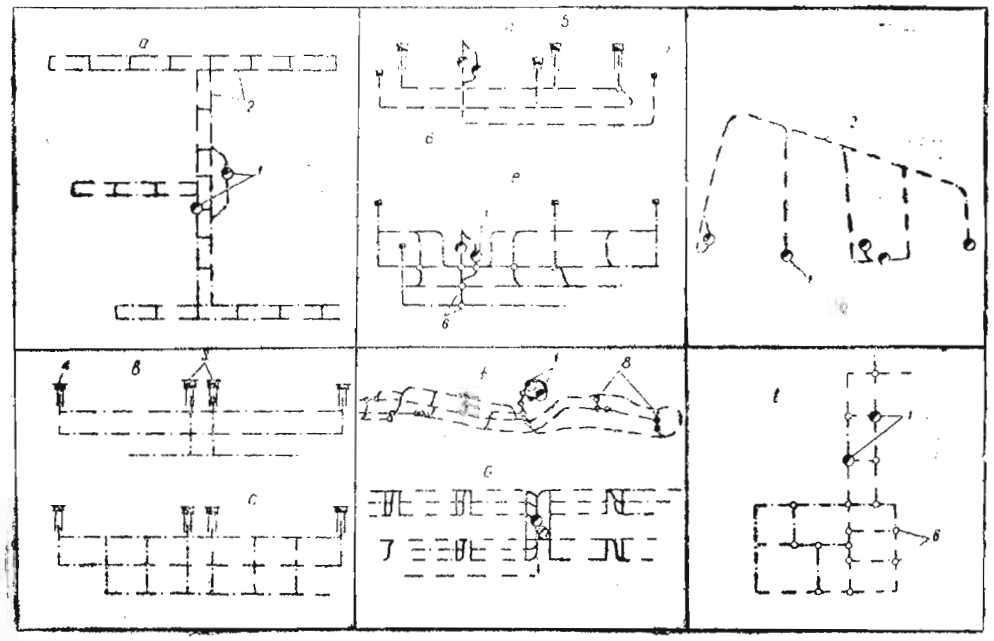
მიწისქვეშა საყრდენი ქსელების სისტემების აგებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მარგი წიაღისეულის საბადოების წოლის პირობები და მათი გახსნის მეთოდები. ამ ფაქტორებზეა დამოკიდებული ძირითადი გვირაბების სივრცობრივი განლაგება, რომლებშიც აგებენ პოლიგონომეტრიულ სვლებს; ქსელის კონფიგურაცია, პოლიგონომეტრიული სვლების გვერდების სიგრძე; პოლიგონომეტრიული ქსელის შეერთების შესაძლებლობა ზედაპირული და სხვა ჰორიზონტების პოლიგონომეტრიული ქსელის პუნქტებთან, ე. ი. პოლიგონების სისტემებში დამატებითი კავშირის არსებობა და ხასიათი.

საბადოების წოლის პირობებისა და მათი გახსნის მეთოდების შესაბამისად გამოყოფენ მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელების აგების ექვს ყველაზე უფრო ტიპობრივ სისტემას [41]:

1) თარაზული განლაგების ცალკეული ფენის დამუშავების შემთხვევაში (ნახ. 2ᵃ), როდესაც, როგორც წესი, საბადოს ხსნიან ცენტრალური შეწყვილებული ჰაურებით, საყრდენი ქსელი კონსტრუქციულად წარმოადგენს მთავარი მიმართულებების შტრეკებსა და მათ პარალელურ გვირაბებში აგებულ პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემებს, რომლებიც ქმნიან გაჭიმულ, ერთიმეორესთან მიჯრილ პოლიგონებს.

2) საყრდენი ქსელის კონსტრუქცია დამრეცი და დახრილი ცალკეული

ფენების დამუშავების შემთხვევაში, როდესაც საბადოს ხსნიან დახრილი ჭაურებით შახტის ველის ფლანგებზე სავენტილაციო გამკვეთების გაყვანით, დამოკიდებულია დამუშავების მიღებულ სისტემაზე. მაგალითად, დამუშავების მთლიანი სისტემის დროს ორჯერად პოლიგონომეტრიულ სვლებს აგებენ სასართულე შტრეკებში მუდმივი პუნქტების სისტემებს შორის. სასართულე შტრეკების სავენტილაციო გამკვეთებთან შეერთების შემდეგ პოლიგონომეტრიულ სვლებს აკავშირებენ მიწისპირული საყრდენი ქსელის პუნქტებთან (ნახ. 2ᵇ); მიმართებით გრძელი სვეტებით დამუშავების შემთხვევაში პოლიგონომეტრიული სვლები ქმნის ერთიმეორესთან მიჯრილ შეკრულ პოლიგო-



ნახ. 5. 1. 2. მიწისქვეშა საყრდენი ქსელის სისტემების ძირითადი სახეები:
1—ვერტიკალური ჰაურები; 2—პოლიგომონეტრიული სვლები; 3—დახრილი ჰაურები; 4—სავენტილაციო გამკვეთები; 5—სავენტილაციო დახრილი ჰაურები; 6—საკვანძო წერტილები; 7—შურფები; 8—მუდმივი პუნქტები

ნებს. სასართულე შტრეკის სავენტილაციო გამკვეთებთან შეერთების შემდეგ, პირველი შემთხვევის ანალოგიურად, პოლიგონომეტრიულ სვლებს აერთებენ მიწისპირული საყრდენი ქსელის პუნქტებთან (ნახ. 2ᵉ).

3) დამრეც ან დახრილ ფენათა წყების დამუშავებისას, როდესაც საბადოს ხსნიან ცენტრალურ-შეწყვილებული ვერტიკალური ჰაურებითა და კაპიტალური კვერშლაგით, ხოლო შახტის ველის ფლანგებზე გაყავთ შურფები ან სავენტილაციო ჰაურები, საყრდენი ქსელი წარმოადგენს პოლიგონომეტრიულ სვლებს, რომლებიც ქმნიან პოლიგონების სისტემას საკვანძო წერტილებით (ნახ. 2ᵈ). ფენების მიმართებით გრძელი სვეტების სისტემით დამუშავების დროს საყრდენი ქსელის კონსტრუქციაში საკვანძო წერტილების გარდა შედის აგრეთვე შეკრული პოლიგონები (ნახ. 2ᵉ).

4) ციცაბო ფენათა წყების დამუშავების დროს, როდესაც საბადო გახსნილია ცენტრალურ-შეწყვილებული ვერტიკალური ჰაურებითა და კაპიტალური კვერშლაგებით, საყრდენი ქსელის კონსტრუქცია დამოკიდებულია ძირი-

თად ჰორიზონტზე მოსამზადებელი გვირაბების განლაგებაზე. მცირე სისქის ფენათა წყების დამუშავებისას, რომლებსაც არ ახასიათებთ თვითაალება, პოლიგონომეტრიულ სვლებს აგებენ საველე ან ჯგუფურ შტრეკებში, საზიდ შტრეკებსა და საუბნო კვერშლაგებში, რითაც იქმნება ერთიმეორესთან მიჯრილი შეკრული პოლიგონები (ნახ. 2ᶠ). სქელი ციცაბო ფენათა წყების დამუშავების შემთხვევაში, რომლებსაც ახასიათებთ თვითაალება, ამოსაღებ უბნებს შორის ტოვებენ ხანძარსაწინააღმდეგო მთელანებს. ეს გარემოება პოლიგონომეტრიული სვლების შეკვრის საშუალებას არ იძლევა, ამიტომ კონტროლისათვის საჭირო ხდება განმეორებითი სვლები (ნახ, 2ᵍ).

5) მძლავრი მადნეული ბუდობების დამუშავებისას, როდესაც მათი გახსნისას მაღაროს ველის მცირე ზომების შემთხვევაშიც როგორც ცენტრში, ისე ფლანგებზე გაყავთ რამდენიმე ვერტიკალური ჭაური, საყრდენი ქსელი წარმოადგენს კვერშლაგებსა და საველე შტრეკებში აგებულ პოლიგონომეტრიულ სვლებს, რომლებიც ემხრობიან ვერტიკალურ ჭაურებში ჩაშვებულ შვეულებს (ნახ. 2ʰ).

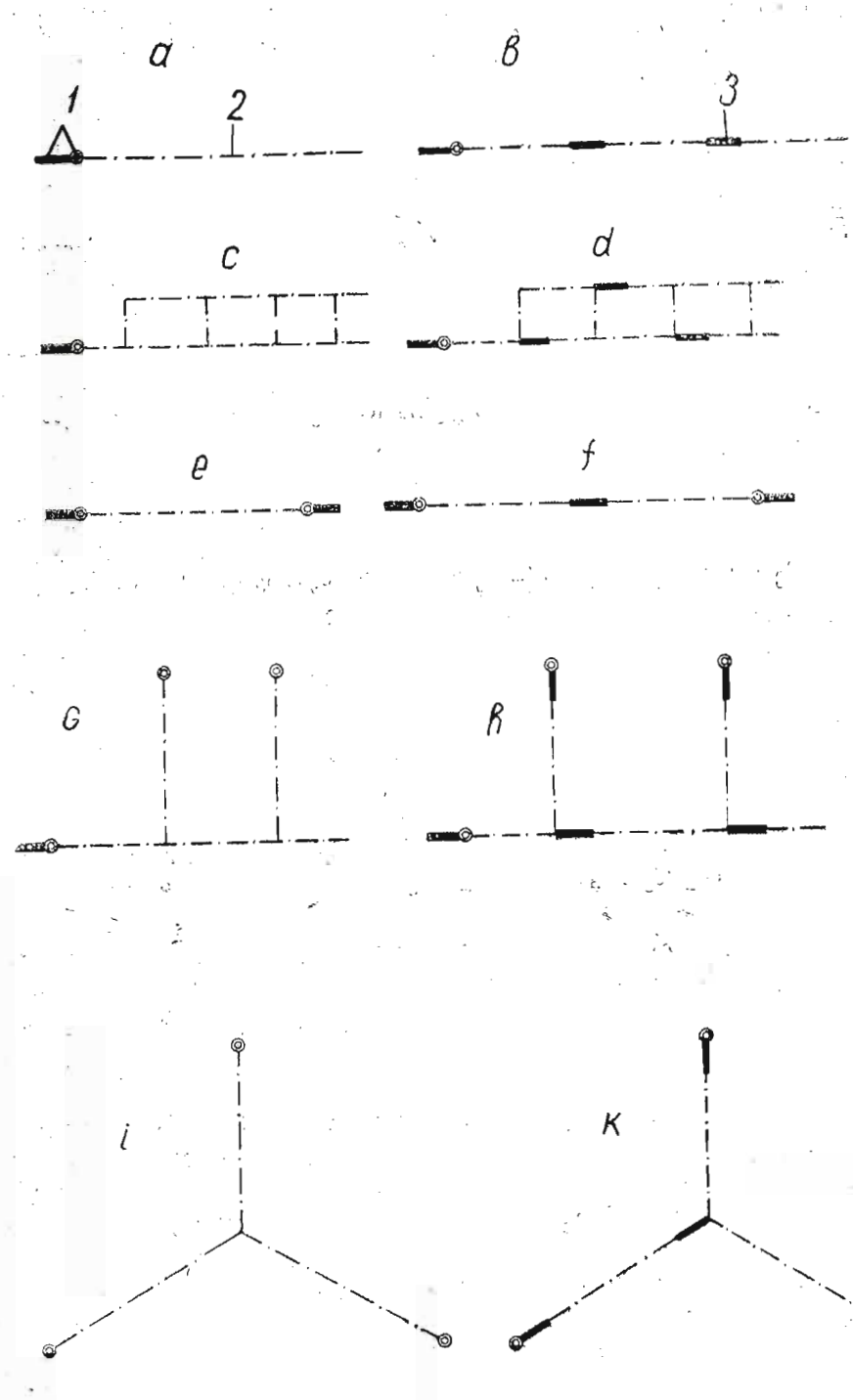
6) მარილის საბადოების მიწისქვეშა მეთოდებით დამუშავებისას, როდესაც საბადოს ხსნიან ცენტრალურ-შეწყვილებული ვერტიკალური ჭაურებით, საყრდენი ქსელი კონსტრუქციულად წარმოადგენს ერთიმეორესთან მიჯრილ ჩაკეტილ პოლიგონომეტრიულ სვლებს (ნახ. 2ⁱ),

როგორც ჩანს, მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელების კონსტრუქცია ძირითადად დამოკიდებულია საბადოების წოლის ფორმასა და მათი გახსნის მეთოდებზე. აღსანიშნავია, რომ საყრდენი ქსელების აგების აღნიშნულ სისტემებს გააჩნია მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებანი:

a) მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელების ორიენტირებას უმეტესად ახდენენ ერთ ადგილზე, დაახლოებით შახტის ველის ცენტრში, რის გამოც ქსელში ჭარბი ხისტი დირექციული კუთხეების რაოდენობა შეზღუდულია ან სულ არ არის; გარდა ამისა, სვლებში ხშირია მოკლე გვერდები. ამის გამო ხდება პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების მდებარეობაში შეცდომების სწრაფი ზრდა, რაც ქსელის მკვეთრ არაერთგვაროვნებას იწვევს. ეს გარემოება მნიშვნელოვან სიძნელეებს ქმნის სამთო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტისას, განსაკუთრებით გვირაბების შემხვედრი სანგრევებით გაყვანის შემთხვევაში;

b) საყრდენ ქსელში ხისტი დირექციული კუთხეებისა და ხისტი კოორდინატების არასაკმარისი რაოდენობა იწვევს დიდი მოცულობის განმეორებითი პოლიგონომეტრიული სვლების შესრულების აუცილებლობას, ხოლო საყრდენი ქსელის პუნქტების ძვრის შემთხვევაში კი — დიდი მოცულობის აღდგენით სამუშაოებს.

საყრდენი ქსელების აგების ძველი წესის აღნიშნული უარყოფითი მხარეები განსაკუთრებით თვალსაჩინო გახდა უკანასკნელ პერიოდში — შახტის ველების ზომებისა და საბადოების დამუშავების სიღრმის გადიდებასთან დაკავშირებით. ამიტომ მარკშეიდერული სამუშაოების წარმოების ახალი ინსტრუქციით რეკომენდებულია მიწისქვეშა საყრდენი ქსელების აგების უფრო სრულყოფილი სისტემები, რომლის მიხედვით მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული ქსელი იყოფა სექციებად; თითოეულ სექციაში გიროსკოპული ხელსაწყოების საშუალებით ავტონომიურად განისაზღვრება ქსელის ერთ-ერთი გვერდის დი-



ნახ. 5. 1. 3. პოლიგონომეტრიულ სვლებში საყრდენი დირექციული კუთხეების განლაგების მაგალითები: 1—გამოსავალი მონაცემები; 2—პოლიგონომეტრიული სვლა; 3—გვერდი, რომლის დირექციული კუთხე განსაზღვრულია გიროსკოპული მეთოდით.

რექციული კუთხე; კუთხური გაზომვებისა და დირექციული კუთხეების ავტონომიური განსაზღვრის შედეგები წონასწორდება ერთობლივ მათი წონების მხედველობაში მიღებით.

სხვადასხვა ტიპის პოლიგონომეტრიულ სვლებში გიროკომპასით ავტონომიურად განსაზღვრული საყრდენი დირექციული კუთხეების ადგილმდებარეობა შეირჩევა ისე, რომ მიღწეულ იქნეს ქსელის ერთგვაროვნება, ხოლო განმეორებითი სვლების საჭიროება კი მინიმუმამდე შემცირდეს.

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში ხშირია თავისუფალი კიდული პოლიგონომეტრიული სვლები, რომლებშიც კონტროლისათვის განმეორებით სვლებს ასრულებენ (ნახ. 3ᵉ). ახალი სქემით განმეორებითი სვლების ასაცილებლად პოლიგონს ყოფენ სექციებად და თვითეულ სექციაში გიროთეოდოლიტით საზღვრავენ ერთი გვერდის დირექციულ კუთხეს (ნახ. 3ᵇ). სექციის სიგრძე, ანუ მანძილი ხისტ გვერდებს შორის, რომელთა დირექციული კუთხეები განსაზღვრულია დამოუკიდებლად, დამოკიდებულია სვლის გვერდების სიგრძესა და კუთხეების გაზომვის სიზუსტეზე. მაგალითად, თუ გვერდების საშუალო სიგრძე 50 მეტრია, ხოლო კუთხეების გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა ±20″, მაშინ უახლოეს ხისტ გვერდებს შორის მანძილი აიღება 1 კმ. კუთხეების გაზომვის სიზუსტის ±10″-მდე გაზრდის შემთხვევაში ეს მანძილი აიღება 2 კმ-მდე. რადგან პოლიგონის სექციებად დაყოფის დროს პოლიგონომეტრიულ სვლას ერთჯერ ასრულებენ, უხეში შეცდომების ასაცილებლად მასში მანძილებს აუცილებლად ზომავენ ორჯერ — პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით.

მნიშვნელოვანი სიგრძის თავისუფალ ურთიერთმიჯრილ პოლიგონომეტრიულ სვლებში (ნახ. 3ᵉ) საყრდენ დირექციულ კუთხეს საზღვრავენ თითოეულ შეკრულ სვლაში (ნახ. 3ᵈ).

ორ ხისტ გვერდს შორის აგებულ არათავისუფალ სვლებში (ნახ. 3ᵉ), როდესაც სვლის სიგრძე 2 კმ ან მეტია, სვლებს ყოფენ 1 კმ სიგრძის სექციებად (ნახ. 3ᶠ).

ორ ხისტ პუნქტს შორის აგებულ პოლიგონომეტრიულ სვლებში (ნახ. 3ᵍ) რომლებშიც კონტროლი მხოლოდ კოორდინატებშია, განმეორებითი სვლების ასაცილებლად საზღვრავენ იმ გვერდების დირექციულ კუთხეებს, რომლებიც ემხრობიან აღნიშნულ პუნქტებს (შვეულებს) ან მათთან ახლოს მდებარეობენ (ნახ. 3ʰ).

ისეთ არათავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლებში (ნახ. 3ᶦ), სადაც კონტროლი ხორციელდება სვლის ჩამკეტის სიგრძის მიხედვით (სვლა ორ შვეულს შორის), ზემოთ აღნიშნული მოსაზრებებით საზღვრავენ იმ გვერდების დირექციულ კუთხეებს, რომლებიც უშუალოდ ემხრობიან ხისტ პუნქტებს (შვეულებს) ან მათთან ახლოს მდებარეობენ (ნახ. 3ᵏ). საკვანძო წერტილიდან ხისტ პუნქტამდე 1 კმ-ზე მეტი სიგრძის სვლები იყოფა სექციებად.

მარკშეიდერული ინსტრუქციის მიხედვით მიწისქვეშა საყრდენი ქსელების აგება გიროსკოპული მეთოდით განსაზღვრული მყარი დირექციული კუთხეების საშუალებით სავალდებულოა ყველგან, სადაც შახტის ველის ფართის ზომა 2 კმ-ს ან მეტს უდრის.

აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლების ქსელი (საყრდენი და სააგეგმვო ქსელები) იქმნება არა ერთბაშად, როგორც ეს ხდება მიწისპირული აგეგმვების შემთხვევაში, არამედ თანდათანობით, სამ-

თო გვირაბების წინწაწევის შესაბამისად. თვეში ერთხელ გვირაბის სანგრევის 30—60 მეტრზე წინსვლის შემდეგ ასრულებენ მის წინასწარ (მიმდინარე, შემვსებ) აგეგმვას, რასაც არსებული საყრდენი ქსელის პუნქტებთან აკავშირებენ. ასეთი პოლიგონომეტრიული სვლის კუთხურ და ხაზოვან ელემენტებს ზომავენ პირველი თანრიგის სააგეგმვო ქსელისათვის გათვალისწინებული მოთხოვნილების დაცვით (იხ. ცხრ. 1. 5. 1.). როდესაც გვირაბის წინსვლა 300 — 500 მეტრს მიაღწევს, მაშინ ასრულებენ მის საკონტროლო აგეგმვას საყრდენი ქსელებისათვის განკუთვნილი სიზუსტის პოლიგონომეტრიული სვლით, რასაც ზოგჯერ საკონტროლო სვლასაც უწოდებენ. იგი წარმოებს როგორც გვირაბების აგეგმვის საკონტროლოდ, ისე შახტის (ან მაღაროს) ველში მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის განვითარებისათვის.

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლები შეიძლება აიგოს თეოდოლიტით (თეოდოლიტური სვლა), კუთხსაზომით (სვლა კუთხსაზომით) და ბუსოლით (სვლა ბუსოლით). ძირითად გვირაბებში პოლიგონომეტრიულ სვლას თეოდოლიტით აწარმოებენ. ასეთი სვლის პუნქტების x, y კოორდინატების განსაზღვრის მიზნით შესრულებული გაზომვებისა და გამოთვლების ერთობლიობას ჰორიზონტულ-თეოდოლიტურ აგეგმვას უწოდებენ.

გავარჩიოთ მიწისქვეშა ჰორიზონტულ-თეოდოლიტური აგეგმვის (პოლიგონომეტრიის) სრული ციკლი, რაც შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება:

1) ასაგეგმი ობიექტის რეკოგნოსცირება, პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების ადგილის შერჩევა და დამაგრება;
2) პოლიგონომეტრიული სვლის კუთხური და ხაზოვანი ელემენტების გაზომვა;
3) წვლილადების აგეგმვა;
4) განაზომთა კამერალური დამუშავება;
5) გამონათვალთა გრაფიკულად გამოსახვა.

5. 2. ასაგეგმი ობიექტის რეკოგნოსცირება. პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების ადგილის შერჩევა და დამაგრება

პოლიგონური აგეგმვის დაწყებამდე ამზადებენ ამონახაზს მიწისქვეშა გვირაბების მარკშეიდერული გეგმიდან, დააქვთ მასზე აგეგმვის ყველა წერტილი მათ შორის ახალი აგეგმვის საყრდენად გათვალისწინებული პუნქტებიც, ამოიწერენ ძველი აგეგმვის უკანასკნელი ჰორიზონტული კუთხის მნიშვნელობას, რის შემდეგ იწყებენ ასაგეგმი უბნის რეკოგნოსცირებას.

რეკოგნოსცირებას ასრულებს მარკშეიდერი ორ დამხმარე მუშასთან ერთად. იგი იწყება წინა აგეგმვის უკანასკნელი ჰორიზონტული კუთხის საკონტროლო გაზომვით. ამ კუთხის საკონტროლო და ადრინდელ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს საყრდენი ქსელის პოლიგონომეტრიულ სვლებში 1′-ს, პირველი თანრიგის სააგეგმვო სვლების ქსელში 2′-ს, მეორე თანრიგის სააგეგმვო სვლებში 8′-ს. აღნიშნული პირობის დაცვის შემთხვევაში შეიძლება ახალი აგეგმვის ძველთან დაკავშირება (მიბმა); წინააღმდეგ შემთხვევაში უნდა მოიძებნოს ადრე განსაზღვრული სხვა პუნქტები, რომლებიც დააკმაყოფილებენ საკონტროლო კუთხის მნიშვნელობის ზემოთ მოყვანილ ნორმებს.

საკონტროლო კუთხის გაზომვის შემდეგ აგრძელებენ გვირაბის დათვალიერებას, ირჩევენ პოლიგონომეტრიული სვლის წერტილების ადგილებს და § 1. 6-ში აღწერილი წესით გვირაბის იატაკის ქვაბულში ან ჭერის შპურებში ამაგრებენ საყრდენი ან სააგეგმვო ქსელის შესაბამის მუდმივ ან დროებით პუნქტებს (იხ. ნახ. 1. 6. 1; 1. 6. 2). როგორც აღვნიშნეთ, მუდმივი პუნქტები მაგრდება ჯგუფებად (3—4 პუნქტი თითოეულ ჯგუფში). ასეთი პუნქტების ჯგუფებს შორის მანძილი აიღება 500 მეტრამდე, ხოლო ცალკეული ჯგუფის პუნქტებს შორის კი — 80 — 100 მ. მუდმივი პუნქტების დამაკავშირებელი სვლის წერტილები აღინიშნება დროებითი ნიშნებით.

გვირაბის იატაკის ქვაბულში მუდმივი პუნქტის დასამაგრებლად იყენებენ 1 : 2 : 4 პროპორციით დამზადებულ ბეტონს (ერთ წილ ცემენტზე იღებენ 2 წილ სილას და 4 წილ ხრეშს ან ღორღს). გაწყლოვანებულ ქანებში პუნქტების დასამაგრებლად ხმარობენ ბეტონს შემდეგი შემადგენლობით: ერთი წილი სწრაფმჭიდი ცემენტი, ერთი წილი სილა და ერთი წილი ხრეში.

გვირაბის ჭერში გაბურღულ შპურებში მუდმივ პუნქტებს ამაგრებენ 1 : 2 პროპორციით დამზადებული ცემენტის ხსნარით (ერთ წილ ცემენტზე იღებენ ორ წილ მშრალ სილას და უმატებენ 0,7 ნაწილ წყალს).

შპურებში პუნქტების დამაგრება შეიძლება აგრეთვე ხის საცობების საშუალებით. ამ შემთხვევაში შპურში ათავსებენ (გაჭედავენ) მშრალი მუხის ან არყის ხის საცობს, ამ უკანასკნელზე კი აჭედებენ (ჩახრახნიან) მარკშეიდერულ ნიშანს.

უნდა შევნიშნოთ, რომ ჩვეულებრივი ბეტონი მაგრდება და 50% სიმტკიცეს იძენს მხოლოდ 2—3 დღე-ღამის შემდეგ, ხოლო ცემენტის ხსნარი კი 1—2 დღე-ღამის შემდეგ. სწრაფმჭიდი ცემენტის გამოყენების შემთხვევაში ბეტონი და ცემენტის ხსნარი 50% სიმტკიცეს იძენს სამი საათის შემდეგ. მაშასადამე, ჩვეულებრივი ცემენტის გამოყენების დროს მუდმივი პუნქტები უნდა დამაგრდეს აგეგმვის დაწყებამდე დაახლოებით ერთი კვირით ადრე.

5. 3. კუთხეების გაზომვა მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში: სამთო თეოდოლიტი; თეოდოლიტისა და სიგნალების დაყენება და დაცენტვრა; თეოდოლიტის შემოწმება, ჰორიზონტული და დახრის კუთხეების გაზომვა

ა) სამთო თეოდოლიტი

მიწისქვეშა პოლიგონებში ჰორიზონტულ და დახრის კუთხეებს ზომავენ სამთო თეოდოლიტით. იგი ზედაპირული აგეგმვისათვის განკუთვნილი ტექნიკური თეოდოლიტების ანალოგიურია, მაგრამ მათგან განსხვავებით მიწისქვეშა სამუშაოების სპეციფიკური პირობების გამო (ვიწრო გვირაბები, ხელოვნური განათება, ჭარბი მტვერი, სინოტივე და სხვა) საჭიროა:

1) იყოს მსუბუქი, ზომით პატარა, დასამოკლებელი სამფეხით; უკანასკნელის ბაქანს უნდა ჰქონდეს დიდი ცენტრალური ამონაჭერი, რომ დაცენტვრისას ადვილად შეიძლებოდეს თეოდოლიტის გადაადგილება სადგარზე;

2) მისი მნიშვნელოვანი კვანძები და ნაწილები (ჰორიზონტული და ვერტიკალური წრედი, თარაზო, ჭოგრი) დაცული იყოს წყლის წვეთებისა და მტვრის მოხვედრისაგან;

3) ჭოგრის ზედაპირზე დატანილი უნდა იყოს 0,5 მმ სიღრმისა და დიამეტრის კერნი ანუ ზედა ცენტრი. ჭოგრის თარაზულ მდგომარეობაში ყოფნის დროს კერნზე უნდა გადიოდეს იარაღის მთავარი ღერძი;

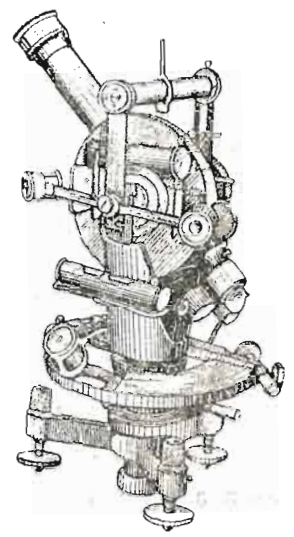
4) ჰქონდეს ცენტრული და ცენტრგარეშე (ექსცენტრული) ჭოგრები (უკანასკნელი გამოიყენება ციცაბო გვირაბებში კუთხეების გაზომვის დროს);

5) შეიძლებოდეს მოკლე მანძილებზე (1,5 — 2 მ) დამზერა; გააჩნდეს დასადგმელი (ზესადები) თარაზო;

6) სასურველია იყოს ელექტრიფიცირებული და ჰქონდეს ოპტიკური მცენტრავი.

ამჟამად ჩვენი ქვეყნის სამთო საწარმოებში უპირატესად იყენებენ საკუთარი გამოშვების ТГ—1, ТГ—5, МГТ—30, ОМТ—30; Т—15, Т—20, ТБ—1, Т—2, ОТС და სხვა მარკის თეოდოლიტებს. უცხოური ხელსაწყოებიდან ყველაზე საინტერესოა გერმანიის დემოკრატიულ რესპუბლიკაში დამზადებული Theo — 020 და საკიდი Theo — 6,1 მარკის ოპტიკური თეოდოლიტები. როგორც სამამულო, ისე უცხოური თეოდოლიტების შესახებ დაწვრილებითი ცნობები ინსტრუმენტმცოდნეობის კურსში განიხილება[1], ამიტომ ქვემოთ მოგვყავს მხოლოდ ზოგადი ცნობები ზოგიერთი მათგანის შესახებ.

1) ТГ-1 მარკის სამთო თეოდოლიტი (ნახ. 1) გამოშვებულია ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხნის მიერ. გამოიყენება ზედაპირული აგეგმვების დროსაც. იგი განმეორებითი ტიპისაა. ჰორიზონტულ წრედზე ვერნიერის სიზუსტე უდრის ± 30″, ვერტიკალურ წრედზე — ± 60″. აქვს დასადგმელი თარაზო და ექსცენტრული (ცენტრგარეშე) ჭოგრი (ЭТ—1), რომლის ვერტიკალურ წრედზე ვერნიერის სიზუსტე 1′-ს უდრის, წონა — 0,9 კგ-ს.



ნახ. 5. 3. 1.

2) ТГ—5 მარკის სამთო თეოდოლიტი (ნახ. 2) განმეორებითი ტიპისაა. უშვებს ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხანა. განკუთვნილია როგორც მიწისქვეშა, ისე ზედაპირული მარკშეიდერული აგეგმვებისათვის, აქვს ექსცენტრული (ЭТ—5) ჭოგრი და დასადგმელი თარაზო (ნახ. 3). ჰორიზონტულ და ვერტიკალურ წრედებზე ვერნიერის სიზუსტე უდრის 30″.

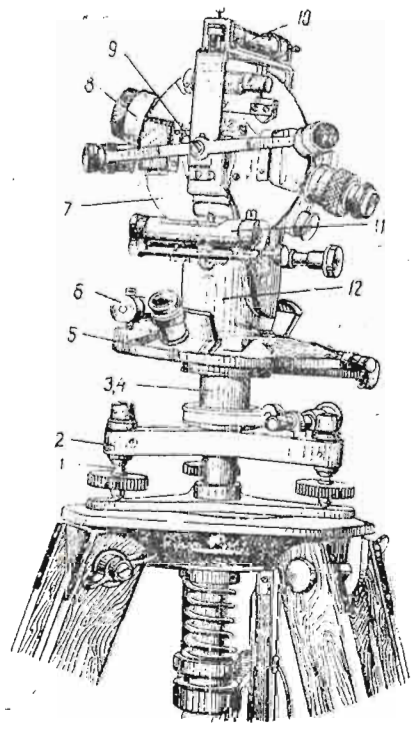
3) МГТ-30 მარკის სამთო თეოდოლიტი (ნახ. 4) მცირე ზომის ელექტრიფიცირებული ინსტრუმენტია. მისი ცენტრული და ექსცენტრული ჭოგრები შიგაფოკუსთაწყობისაა. აქვს ოპტიკური შვეული. ჰორიზონტულ წრედზე ვერნიერის სიზუსტე უდრის 30″, ვერტიკალურზე — 60″.

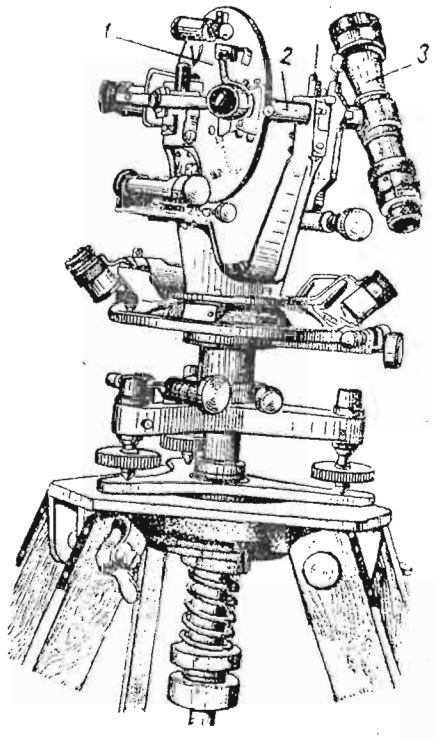
4) ОМТ — 30 სახელწოდების მარკშეიდერულ ოპტიკურ თეოდოლიტს (ნახ. 5[а]) აქვს მოკლე ცენტრული ჭოგრი, რომლის გამადიდებლობა 18-ია, დამზერის დიაპაზონი 1 მ-დან უსასრულობამდე. ელექტრიფიცირებულია. ციცაბო გვირაბებში დამზერა ხორციელდება პრიზმული საცმის საშუალებით, რომელიც უკეთდება ჭოგრს ობიექტივის მხრიდან. იგივე

[1] ჩვენში და საზღვარგარეთ კონსტრუირებული თეოდოლიტების შესახებ დაწვრილებითი ცნობები იხ. ნ. თევზაძე, საინჟინრო გეოდეზია, ნ.

საცმი გამოიყენება აგრეთვე ოპტიკურ შვეულად. პორიზონტული წრედის ალიდადაზე მოთავსებულია მხოლოდ ერთი ცილინდრული თარაზო. ვერტიკალური წრედის ალიდადაზე თარაზო არ არის. სამაგიეროდ მას ეაჩნია ოპტიკურ-მექანიკური ლინზიანი კომპენსატორი, რომლის საშუალებით ვერტიკალური წრედის ნული ადგილი ავტომატურად ისპობა (სტაბილური ხდება). ნული ადგილის ავტომატური სტაბილურობის სიზუსტე ±6''-ია, ამიტომ OMT-30 თეოდოლიტი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე გეომეტრიული ნიველობისათვის.

OMT—30 თეოდოლიტის ორივე წრედი მინისაა და დაყოფილია გრადუსებად. ყოველ გრადუსზეა წარწერა. ორივე წრედისათვის ამთვლელი ხელსაწ-





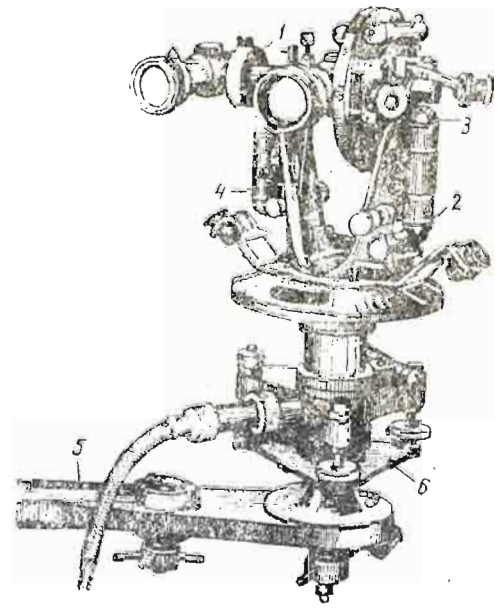
ნახ. 5. 3. 2. სამთო თეოდოლიტი ТГ—5: 1—ამწევი ხრახნი; 2—ზედადგარი; 3, 4—კონუსური ღერძების სისტემა; 5—ლიმბი; 6—ცილინდრული თარაზო; 7—შვეული წრედი; 8—სამიზნე ჭოგრი; 9 — ჭოგრის ბრუნვის ღერძი; 10—დასადგმელი თარაზო: 11—ცილინდრული თარაზო; 12—ჭოგრის ბრუნვის ღერძის სადგარი

ნახ. 5. 3. 3. სამთო თეოდოლიტი ТГ—5 ექსცენტრული ჭოგრით: 1—შვეული წრედი; 2—ექსცენტრული ჭოგრის ღერძი; 3—ექსცენტრული ჭოგრი

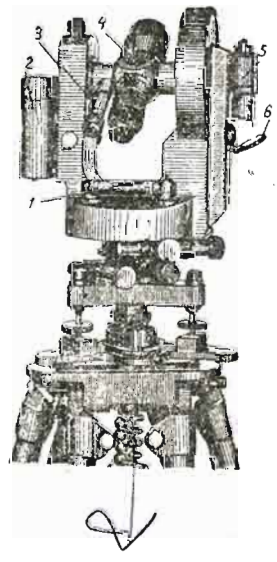
ყოა ერთი (ერთმხრივი) მიკროსკოპი სკალით, რომლის სიგრძე ლიმბის 1°-ის შესაბამისია და დაყოფილია 60 ნაწილად. მასზე ზრდადი ციფრები წარწერილია წრედების წარწერის საწინააღმდეგოდ ყოველ 10 დანაყოფზე 1, 2, 3, 4, 5 და 6, რაც ნიშნავს 10, 20, 30, 40, 50 და 60'-ს. მიკროსკოპის ოკულარი მდებარეობს ინსტრუმენტის სამიზნე ჭოგრის ოკულარის გვერდით, რითაც დამკვირვებელი თანადროულად ხედავს ორ უძრავ სკალასა და ორივე ლიმბის ანათვლებს (ნახ. 5ბ). სკალის ცალი დანაყოფის საფასური 1′ უდრის, იმავე დანაყოფის ხილული ოდენობა 0,7 მმ-ია. თვალით თავისუფლად შეიძლება შე-

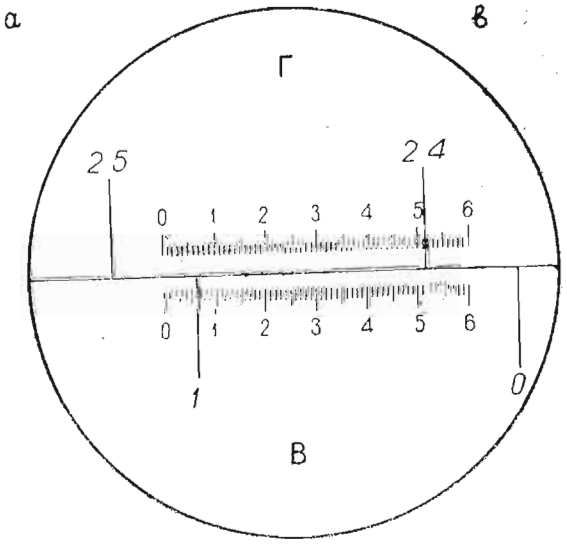
ფასდეს დანაყოფის ნახევარი, ამიტომ ანათვლის აღების შეცდომა ±30''-ს არ გადააჭარბებს. ანათვალი აიღება უშუალოდ სკალაზე ლიმბის გრადუსული დანაყოფის შესაბამისი შტრიხის პირისპირ (5ბ ნახაზზე ჰორიზონტულ წრედზე ანათვალი არის 24°51′30'', ვერტიკალურზე—1° 06′ 30'').

(5) Т—20 სამთო ოპტიკური თეოდოლიტი (ნახ. 6ა) განმეორებითი ტიპისაა. განკუთვნილია ვიწრო სამთო გვირაბებში მარკშეიდერული აგეგმვისათვის. მას დგამენ შტატივზე ან კიდებენ კონსოლზე. მისი წრედები მეორე ტიპისაა (0° — 360°); ყოველ გრადუსზეა წარწერა. დაყენებული აქვს მიკროსკოპი სკალით, რომლის ოკულარი მოთავსებულია ინსტრუმენტის ჰოგრის ოკულარის გვერდით. მიკროსკოპის უძრავი სკალა 30 ნაწილად არის დაყოფილი. თითოეული დანაყოფის საფასური 2′-ია. სკალაზე ანათვლის აღება შეიძლება დანაყოფის 1/5 ნაწილის, ანუ ±24''-ის სიზუსტით. ინდექსად გამოიყენება სკალის ნულ შტრიხთან ახლო უმცირესი გრადუსული წარწერის მქონე კვესური. წრედებზე



ნახ. 5. 3. 4. МГТ—30: 1—ექსცენტრული ჭოგრი; 2, 4 — ჰორიზონტული წრედის ვერნიერის საშუქი ნათურები; 3 — ვერტიკალური წრედის ვერნიერის საშუქი ნათურა; 5—კონსოლი; 6—ზედადგარის სადგარი

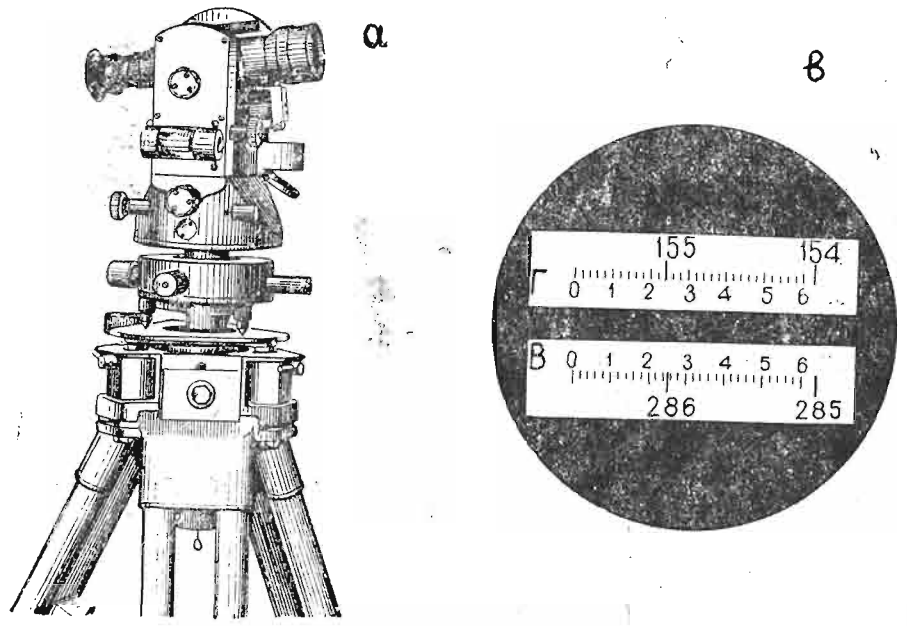




ნახ. 5.3.5. სამარკშეიდერო ოპტიკური თეოდოლიტი OMT—30. *ა*: 1—ცილინდრული თარაზო; 2—ელექტრობატარეა; 3—ამთველი მიკროსკოპი; 4—სამიზნე ჭოგრი; 5—ელექტრონათურის ბალონი; 6—ბრტყელი სარკე; *ბ* — მიკროსკოპის ხედვის არე

და მიკროსკოპის სკალაზე წარწერებია პირდაპირი და შებრუნებული. პირდაპირი წარწერები გამოიყენება მაშინ, როდესაც თეოდოლიტი დაყენებულია შტატივზე, შებრუნებული — როცა ინსტრუმენტი დაკიდებულია. 6ბ ნახაზზე ანათვლებია: ჰორიზონტულ წრედზე (ზედა) 155°24′,0, ვერტიკალურზე — — 286°25′,0.

6) ТБ—1 ოპტიკური თეოდოლიტი (ნახ. 7) განკუთვნილია III და IV კლასის ტრიანგულაციაში კუთხეების გაზომვისათვის. გამოიყენება



ნახ. 5.3 6. სამთო თეოდოლიტი Т—20: 6ა—Т—20 თეოდოლიტის საერთო ხედი; 6ბ—მიკროსკოპის ხედვის არე.

აგრეთვე პოლიგონომეტრიაში, განსაკუთრებით სამშტატივიანი და სამთეოდოლიტიანი გაზომვის მეთოდის შემთხვევაში. ელექტრიფიცირებულია. აქვს ოპტიკური შვეული, გამოიყენება მაღალი სიზუსტის მიწისქვეშა აგეგმვის დროს.

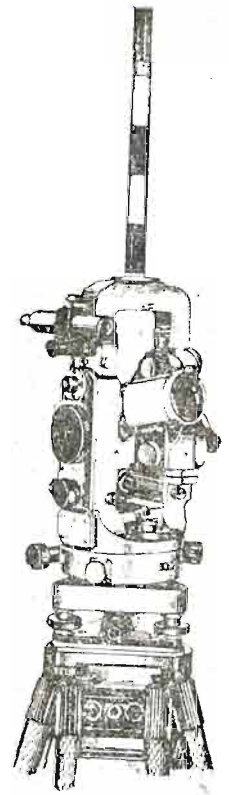
7) ОТС მარკის ოპტიკური თეოდოლიტი საშუალო მოდელის ოპტიკური ინსტრუმენტია. იგი ფართოდ გამოიყენება მეტროპოლიტენების მშენებლობის დროს. ელექტრიფიცირებულია. მისი წრედები დაყოფილია გრადებად და გრადულ მინუტებად. წრედი დაყოფილია 400 გრადად.[1] უმცირესი დანაყოფის საფასური არის 1/5 გრადი, ანუ 20 გრადული მინუტი. ათეული გრადული მინუტების ათვლა ხდება უშუალოდ წრედზე, ერთეული გრადული მინუტებისა და გრადული სეკუნდებისა კი — მიკროსკოპის სკალის საშუალებით (დაახ. 1″-ის სიზუსტით); კონსტრუქციულად ТБ—1-ის ანალოგიურია. სიზუსტითაც მისი ტოლფასია.

8) დასაკიდი თეოდოლიტი Theo—6, 1 (ნახ. 8) მცირე ზომის განმეორებითი ტიპის ოპტიკური ინსტრუმენტია. უშვებს გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკა. განკუთვნილია ვიწრო გვირაბების მარკშეიდერული აგეგმვი-

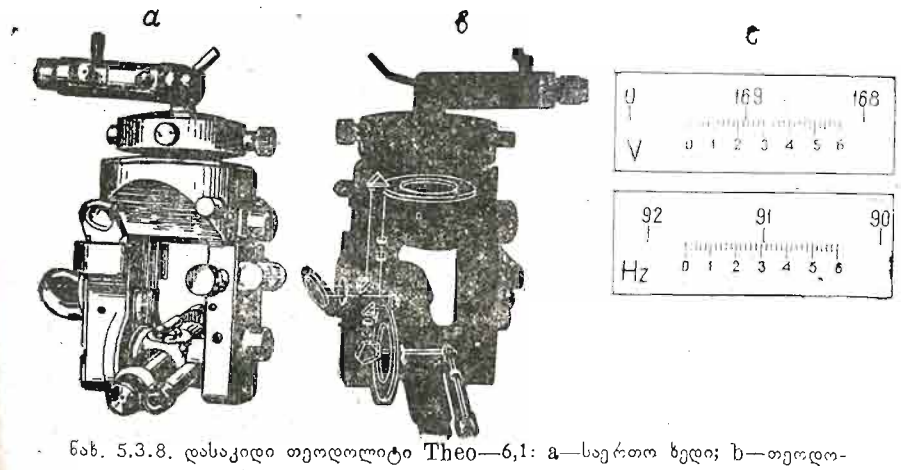
[1] ერთ გრადში 100 გრადული მინუტია, გრადულ მინუტში — 100 გრადული სეკუნდი.

სათვის. მისი დაყენება შეიძლება როგორც შტატივზე, ისე კონსოლზე კიდულ მდგომარეობაში. გააჩნია თვითმცენტრავი მოწყობილობა. ხელსაწყოს ჰორიზონტული და ვერტიკალური წრედები მინისაა და დაყოფილია გრადუსებად. ორივე წრედზე ანათვალი აიღება ჭოგრის გვერდზე მოთავსებული ამთვლელი ცალმხრივი სკალიანი მიკროსკოპის საშუალებით, რომლის უძრავი სკალის ერთი დანაყოფის საფასურია 2′-ია; თვალით შეიძლება შეფასდეს ცალი დანაყოფის მეოთხედი ანუ 30″. ანათვალი აიღება უშუალოდ სკალაზე ლიმბის გრადუსული დანაყოფის შესაბამისი კვესურის გასწვრივ (8ბ ნახაზზე ანათვალი ჰორიზონტულ წრედზე არის 169°23′,0; ვერტიკალურ წრედზე 91°31′,0).

მიწისქვეშა აგეგმვითი სამუშაოების დროს შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე ТТ — 2, ТТ—50 და ТТ — 5 ტიპის თეოდოლიტ-ტაქეომეტრები, Т—2, Т—5, ТОМ, Theo—010, Theo——020 და სხვა ტიპის ოპტიკური თეოდოლიტები (იხ. [54]).



ნახ. 5.3.7.

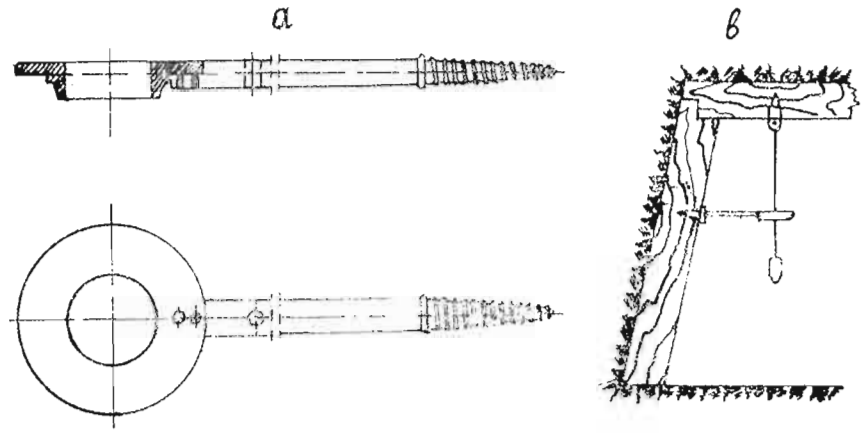


ნახ. 5.3.8. დასაკიდი თეოდოლიტი Theo—6,1: а—საერთო ხედი; ხ—თეოდოლიტის ოპტიკის სქემა; с—ამთვლელი მიკროსკოპის ხედვის არე

ბ. თეოდოლიტისა და სიგნალების დაყენება და დაცენტვრა

ზედაპირული აგეგმვებისას თეოდოლიტის დაყენება ხდება შტატივზე (სამფეხზე). მიწისქვეშა პირობებში კი ჩვეულებრივი დასაკეცი შტატივის გარდა გამოიყენება კონსოლი (ნახ. 9ა). იგი შედგება შუაში წრიულ-

ამონაჭრიანი მრგვალი ბაქნისაგან, რომელიც ხშულად უკავშირდება ლითონის ღეროს. ეს უკანასკნელი თავდება კონუსური ხრახნით. ბაქანზე იდგმება სამკუთხედი, რომელიც წარმოადგენს სადგარს თეოდოლიტისათვის და უკავშირდება მას ჩვეულებრივი ხერხემალა ხრახნით. დაცენტვრის დროს ბაქანზე



ნახ. 5.3.9

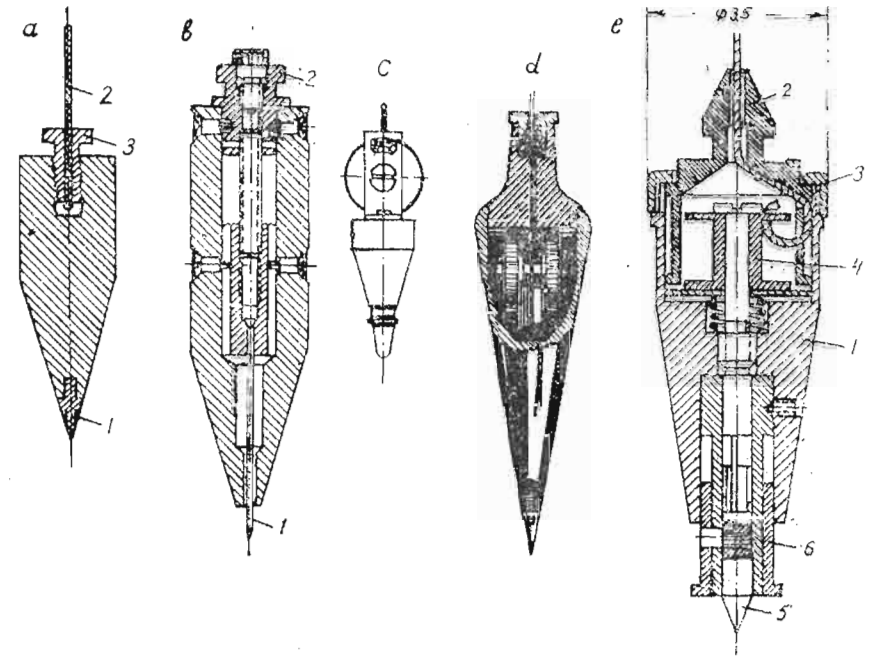
თეოდოლიტის გადაადგილება ხდება სადგართან ერთად ხერხემალა ხრახნის მოშვების შემდეგ. გვირაბის ხით გამაგრებისას კონსოლს საჭირო სიმაღლეზე ჩახრახნიან სამაგრში (ნახ. 9ბ), გაუმაგრებელ ან ბეტონით გამაგრებულ გვირაბებში კი—სპეციალურად გაკეთებულ დროებით ხის სამაგრში. მარკშეიდერულ პრაქტიკაში გვხვდება სხვა ფორმის კონსოლებიც.

მარკშეიდერული ნიშნის ქვეშ (ან ნიშანზე) თეოდოლიტისა და სიგნალების დაცენტვრას აწარმოებენ ზონარი შვეულით, ოპტიკური შვეულით, ოპტიკური მცენტრავითა და ავტომატურად.

ზონარი შვეული რამდენიმე სახისაა. მათ შორის უმარტივესია ხისტი შვეული, რომელიც ბოლოვდება ფოლადის ბუნიკით (ნახ. 10ა). უფრო სრულყოფილია 10ბ ნახაზზე ნაჩვენები ზონარი შვეული, რომელშიც შესაბამისი ქანჩის ბრუნვით მცენტრავი წვეტანა საჭიროებისამებრ შეიძლება გადაადგილდეს ვერტიკალურად მცირე ფარგლებში. გავრცელებულია აგრეთვე ბლოკიანი შვეული გარე და შიგა ბლოკით (ნახ. 10 გ, დ). ასეთი შვეულის უპირატესობა ის არის, რომ მისი კორპუსის ვერტიკალურად გადაადგილება შეიძლება მარკშეიდერულ ნიშანში ზონრის გადაადგილების გარეშე. ამ მხრივ კიდევ უფრო მოხერხებულია OP—2 ტიპის რეგულირებადი შვეული, რომელიც საცენტრავი ნემსის საჭირო სიმაღლეზე სწრაფად დაყენების საშუალებას იძლევა (ნახ. 10ე). ამისათვის ცალი ხელით შვეულის კორპუსს 1 იჭერენ, მეორეთი კი მილისს 2 აბრუნებენ. მილისის ბრუნვის მიმართულების შესაბამისად ზონარი ეხვევა კოჭზე ან იშლება. ზონრის სწრაფად გაშლა შეიძლება მილისის ზედაპირზე დაწოლითა და ზონრის გამოწევით. შვეულში ზონრის გამართვისათვის საჭიროა მოიხრახნოს ქანჩი 3, ამოღებულ იქნეს მილისი, ზონრის ერთი ბოლო გაეყაროს კოჭის კინტის 4 ნასვრეტში და შეიკრას ნასკვი, მეორე ბოლო კი მოთავსდეს მილისის გვერდითი და ცენტრულ ხვრელებში, რის შემდეგ მილისი თავის ადგილზე უნდა ჩაიდგას და ქანჩი ჩაიხრახნოს. კოჭზე, ჩვეულებრივ, 1 მმ დიამეტრისა და 3 მ-ის სიგრძის ზონარს ახვევენ. არამუშა მდგომარეობაში ნემსი 5 სამართით 6 შვეულის კორპუსში თავსდება.

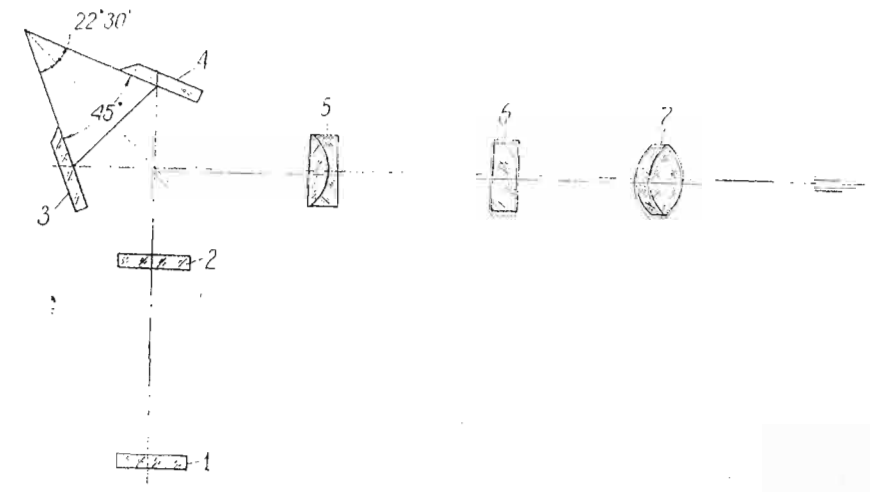
ოპტიკური შვეულები და მცენტრავები გამოიყენება თეოდოლიტისა და სიგნალების მეტი სიზუსტით დაცენტვრისათვის. ოპტიკური მცენტრავი დამოუკიდებელი იარაღია[1], ოპტიკური შვეული კი მოწყობილია ზოგიერთ კუთხსაზომ იარაღში (МГТ—30, ОМТ—30).

МТГ—30 მარკის თეოდოლიტში ოპტიკური შვეული დამონტაჟებულია



ნახ. 5. 3. 10.

ჰოგრის ბრუნვის ღერძზე შვეულის ოპტიკის სქემა მე-11 ნახაზზეა მოყვანილი. მისი საშუალებით ინსტრუმენტის დაცენტვრა შეიძლება როგორც წერტილის ქვეშ, ისე წერტილზე. ამ მიზნით წრედ-ალიდადის ძირითადი ღერძი არის ღრუ და დახურულია დამცავი მინებით (1, 2). სამიზნე ჰოგრის ცენტრში დამონ-

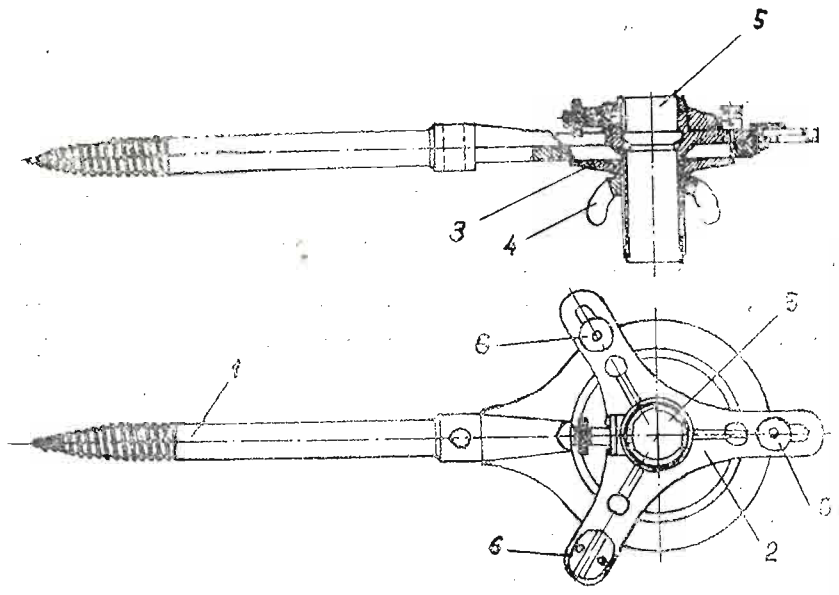


ნახ. 5.3.11.

[1] იხ. [50].

ტაჟებულია ორსარკიანი ეკერი (3, 4). ჰოგრის ბრუნვის ჰორიზონტულ ღერძზე მოთავსებულია ობიექტივი 5, ძაფთა ბადე 6 და ოკულარი 7. ჰოგრის ზედაპირის ერთ-ერთ მხარეზე ხვრელია, რომელიც ლითონის ხუფით არის დახურული. ამ უკანასკნელზე დატანილია ზედა ცენტრი (კერნი). თეოდოლიტის დაცენტვრის დროს ჰოგრზე მოთავსებულ ხვრელს, მარკშეიდერული წერტილის მდებარეობის შესაბამისად, მოაქცევენ ქვევით ან ზევით და ხუფს ახდიან. თუ დაცენტვრა წერტილზე წარმოებს, მაშინ აქედან წამოსული სხივი ჰორიზონტული წრედის ალიდადის ხვრელის გავლის შემდეგ ხვდება ჰოგრის ზედაპირზე მოთავსებულ ნახვრეტში, აქედან კი ორსარკიან ეკერში, საიდანაც არეკვლის შემდეგ მიდის ოპტიკური შვეულის ობიექტივში, გაივლის ძაფთა ბადეს და ოკულარის საშუალებით დამკვირვებლის თვალში მოექცევა. ამის შემდეგ სადგარის თავზე თეოდოლიტის გადაადგილებით მარკშეიდერულ წერტილს შეუთავსებენ ოპტიკური შვეულის ძაფთა ბადის ცენტრს.

თეოდოლიტისა და სიგნალების ავტომატური დაცენტვრა ყველაზე ზუსტ შედეგს იძლევა, მაგრამ საჭიროებს მარკშეიდერული ინსტრუმენტებისა და მოწყობილობების სპეციალურ კომპლექტს, რომელშიც შედის: ერთი თეოდოლიტი, ორი სიგნალი, სამი სადგარი, ერთი ოპტიკური ცენტრირი, სამი კონსოლი (ან შტატივი), ერთი მრგვალი (სფერული) თარაზო და სამი სამიზნე. მთელი მოწყობილობა, ჩვეულებრივ, სამ ყუთში თავსდება: ერთში — თეოდოლიტი, მეორეში — სიგნალები, მესამეში — კონსოლები, სადგარები და ა. შ.

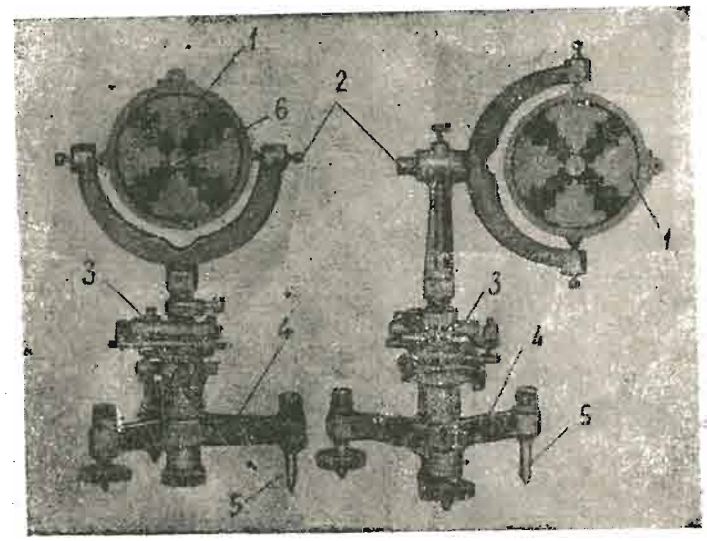


ნახ. 5 3.12.

კომპლექტში შემავალი თეოდოლიტი ჩვეულებრივი აგებულებისაა, მხოლოდ გააჩნია განსაკუთრებული სადგარი, რომელსაც ქვემო ნაწილში, იქ, სადაც ხერხემალა ხრახნი უკეთდება, აქვს სფეროსებრი საცენტრავი მილისი, რომლის ცენტრი იარაღის მთავარი ღერძის გაგრძელებაზე მდებარეობს. თეოდოლიტის სამი დამყენებელი ხრახნიდან ერთ-ერთი ხშულია, რაც უზრუნველყოფს გაზომვის პროცესში თეოდოლიტის ჰოგრის ბრუნვის ღერძის სიმაღლის მუდმივობას.

თითოეული სადგარი 2 (ნახ. 12) ზამბარიანი საყელურითა 3 და მომჭერი ქანჩით 4 მყარად მაგრდება კონსოლის 1 ბაქანზე (ან შტატივზე). სადგარის ცილინდრული ნახვრეტის 5 შიგა დიამეტრი თეოდოლიტის საცენტრავი მილის გარე დიამეტრის შესაბამისია. როდესაც თეოდოლიტი დაყენებულია სადგარზე, მაშინ მისი საცენტრავი მილისი მჭიდროდ შედის სადგარის ცილინდრულ ხვრელში და ავტომატურად იცენტრება. თეოდოლიტისა და სიგნალების ამწე ხრახნებისათვის სადგარს გააჩნია სამი საქუსლე 6.

სიგნალი წარმოადგენს დისკოს 1 (ნახ. 13), რომელიც ბრუნავს ჰორიზონტული ღერძის 2 ირგვლივ. ვერტიკალური ღერძის შვეულ მდგომარეობაში



ნახ. 5.3.13.

თეოდოლიტის ზედადგარის ანალოგიურია. მასაც გააჩნია საცენტრავი მილისი და, გარდა ორი ამწე ხრახნისა, ერთი უძრავი ამწე ხრახნი 5. ეს უკანასკნელი ისეთ დონეზე უნდა იქნეს დამაგრებული, რომ თეოდოლიტისა და სიგნალების დაყენების შემდეგ მათი ბრუნვის ჰორიზონტული ღერძები ტოლ სიმაღლეზე იყოს. კუთხის გაზომვის დროს სიგნალებს აყენებენ დასამზერ წერტილებში და თეოდოლიტის ჰოგრს მიმართავენ სინათლის წყაროთი განათებულ მქრქალი მინის დისკოს ჯვარედინზე 6, რაც მკაფიოდ ჩანს გვირაბში.

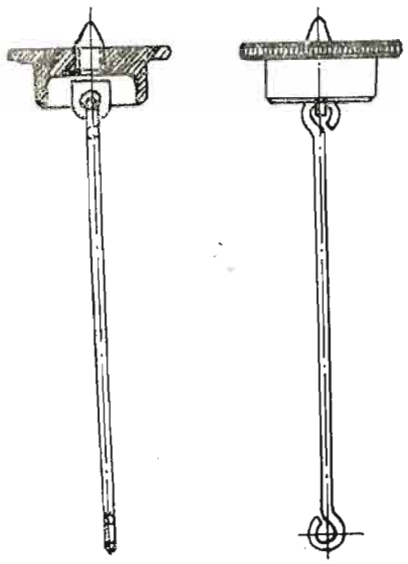
კონსოლის (ან შტატივის) ბაქნის ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოსაყვანად იყენებენ სფერულ თარაზოს, რომელიც საჭიროებისას სადგარის ცილინდრულ ხვრელში თავსდება.

მანძილების გასაზომ სამიზნეს (ცელიკს) აქვს თეოდოლიტის ანალოგიური მილისი წვეტანათი, რომელიც მდებარეობს მის შვეულ ღერძზე (ნახ. 14). დგომის წერტილებს შორის მანძილების გაზომვისას სადგარებზე თეოდოლიტისა და სიგნალების ნაცვლად აყენებენ სამიზნეებს და ზომავენ მანძილებს მათ წვეტანებს შორის.

სადგარის დაცენტვრა მარკშეიდერული ნიშნის ქვეშ შეიძლება ზონარი შვეულით და სამიზნით ან ოპტიკური მცენტრავით. პირველ შემთხვევაში მარ-

კშეიდერული ნიშნიდან ჩამოუშვებენ შვეულს; კონსოლს ჩახრახნიან საჭირო დონეზე ხის გამაგრებაში (ან აყენებენ შტატივს) იმგვარად, რომ შვეულის წვეტი გადიოდეს დაახლოებით კონსოლის (ან შტატივის) წრიული ამონაჭრის შუაში. შემდეგ ბაქანზე დგამენ სადგარს სამიზნით და ამ უკანასკნელს გადაადგილებენ მანამ, სანამ მისი წვეტანა არ შეუთავსდება შვეულის მცენტრავ წვერს. ამ მდგომარეობაში სადგარს დაამაგრებენ ხერხემალა ხრახნით, სამიზნეს ამოიღებენ და მის ნაცვლად ჩადგამენ თეოდოლიტს ან სიგნალს.

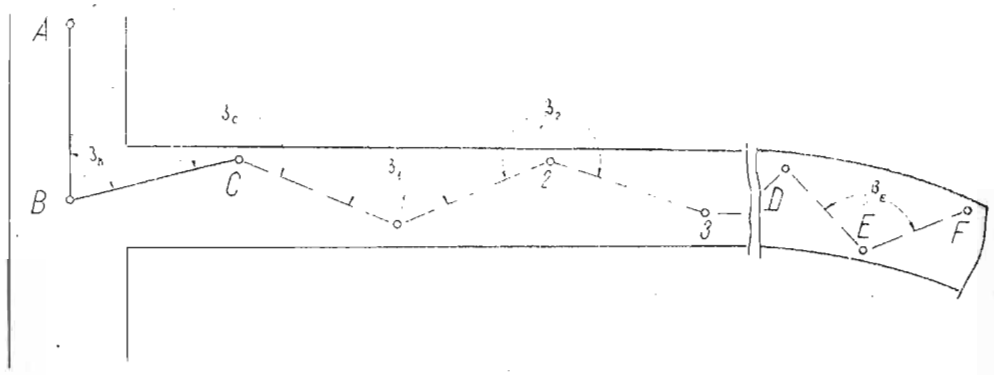
ოპტიკური მცენტრავის გამოყენების შემთხვევაში იგი ჩაიდგმება სადგარში, მოიყვანება ჰორიზონტულ მდგომარეობაში და გადაადგილდება მანამ,



ნახ. 5.3.14.

სანამ ჭოგრის ძაფთა შუაჯვარედინში, არ გაჩოჩნდება მარკშეიდერული პუნქტის ცენტრი.

ამგვარად, შტატივზე ან კონსოლზე სადგარების დაცენტვრისა და დამაგრების შემდეგ თეოდოლიტი, სიგნალი, ოპტიკური ცენტრირი და სამიზნე ურთიერთშენაცვლებადია; შეცვლის დროს თითოეული ინსტრუმენტი იცენტრება ავტომატურად. ამის საილუსტრაციოდ გავარჩიოთ თვითმცენტრავი იარაღებით მუშაობის წესი მე-15 ნახაზზე გამოსახული გვირაბის აგეგმვის მაგალითზე. აქ *A*, *B* და *C* წერტილები ძველი აგეგმვის მუდმივი მარკშეიდერული პუნქტებია. აგეგმვას იწყებენ საკონტროლო β კუთხის გაზომვით. ამისათვის *B* და *C* წერტილების ქვეშ აყენებენ შტატივებს (ან ჩახრახნიან



ნახ. 5.3.15.

კონსოლებს) შტატივებზე კი დგამენ ზემოაღწერილ სადგარებს, რომლებსაც ცენტრავენ აღნიშნული წერტილების ქვეშ სამიზნეებისა და ზონარი შვეულის მეშვეობით. შემდეგ სამიზნეებს ამოიღებენ და მათ ნაცვლად *B*-ში ათავსებენ თეოდოლიტს, *C*-ში —სიგნალს. *A* პუნქტიდან ჩამოუშვებენ ზონარ შვეულს და ზომავენ *ABC* კუთხეს. თუ მის ადრინდელ და საკონტროლო მნიშვნელობებს შორის სხვაობა დასაშვებ ფარგლებშია, მაშინ ირჩევენ აგეგმვის ახალ (1) წერტილს, სადაც დააყენებენ შტატივს ან ჩახრახნიან კონსოლს და მასზე ამაგრებენ სადგარს (დაცენტვრის გარეშე). თეოდოლიტს *B* წერტილიდან გადაიტანენ *C* სადგარზე, ამ უკანასკნელიდან სიგნალს — პირველ წერტილზე. *B* ზედადგარში აყენებენ მეორე სიგნალს. თეოდოლიტისა და სიგნალების ურთიერთშენაცვლებისას სადგარების მდებარეობა არ უნდა შეიცვალოს. ამის შემდეგ ზომავენ β_c კუთხეს.

ირჩევენ აგეგმვის ახალ (2) წერტილს, სადაც დგამენ შტატივს, (1) წერტილზე გადმოიტანენ თეოდოლიტს, ხოლო *C* და (2) პუნქტებზე დააყენებენ სიგნალებს და ზომავენ β_1 კუთხეს. ამგვარი მუშაობა გრძელდება მანამ, სანამ აგეგმვის ბოლოში დამაგრებულ სამ მუდმივ *D*, *E* და *F* პუნქტებზე არ მივლენ. მათ ქვეშ სადგარების დაცენტვრა სრულდება ზონარი შვეულისა და სამიზნეების გამოყენებით.

ასეთი აგეგმვის თავისებურება ის არის, რომ სიგნალებისა და თეოდოლიტის ურთიერთშენაცვლება ხდება დაცენტვრის გარეშე — ავტომატურად. წერტილები 1, 2, 3.... მარკშეიდერული ნიშნებით არ აღინიშნება და აგეგმვის შემდეგ იკარგება. ამიტომ ასეთ აგეგმვას ეწოდება ,,აგეგმვა დაკარგული წერტილებით''.

თეოდოლიტისა და სიგნალების დაცენტვრის განხილული სამი ხერხიდან უპირატესობა ეძლევა ავტომატური დაცენტვრის მეთოდს, როგორც ყველაზე ზუსტ და სწრაფს, მაგრამ მოითხოვს სპეციალურ მოწყობილობებს, ამიტომ პრაქტიკაში ნაკლებად გამოიყენება.

თეოდოლიტის დაცენტვრის ხაზოვანი შეცდომა თვითმცენტრავი იარაღებით მუშაობის დროს 0,2 — 0,5 მმ-ს აღწევს, ოპტიკური მცენტრავის გამოყენებისას — 0,5 — 1,0 მმ-ს, ხოლო ზონარი შვეულით კი — 1,0 —2,0 მმ-ს.

ბ. სამთო თეოდოლიტის შემოწმება

მუშაობის დაწყების წინ სამთო თეოდოლიტი და მისი დამატებითი მოწყობილობანი უნდა შემოწმდეს, რაც გულისხმობს იმის გამორკვევას, თუ რამდენად დაკმაყოფილებულია ინსტრუმენტში განხორციელებული ღერძებისა და სიბრტყეების დამოკიდებულებები გათვალისწინებული გეომეტრიული პირობები.

ლითონისლიმბიანი სამთო თეოდოლიტისათვის ასეთ პირობებს წარმოადგენს:

1) ჰორიზონტული წრედისა და წრედალიდადის ბრუნვის ცენტრები უნდა იყოს შეთავსებული როგორც ურთიერთ, ისე ჰორიზონტული წრედის წრიული სკალის გეომეტრიულ ცენტრთან, ანუ ინსტრუმენტში არ უნდა იყოს როგორც წრედალიდადის, ისე ჰორიზონტული წრედის ექსცენტრობა;

2) ჰორიზონტული წრედის ალიდადაზე დამაგრებული ცილინდრული თარაზოს ღერძი პერპენდიკულარული უნდა იყოს ინსტრუმენტის ბრუნვის მთავარი ღერძის;

3) ძაფთა ბადის ვერტიკალური ძაფი (ძაფების ბისექტორი) უნდა იყოს ჭოგრის ბრუნვის ღერძის მართობი;

4) ჭოგრის სამიზნე ღერძი უნდა იყოს მისი ბრუნვის ღერძის მართობი;

5) ჭოგრის ბრუნვის ღერძი პერპენდიკულარი უნდა იყოს ინსტრუმენტის მთავარი ღერძისა;

6) ჭოგრზე მოთავსებული თარაზოს ღერძი პარალელური უნდა იყოს ჭოგრის სამიზნე ღერძის;

7) ჰოგრის სამიზნე ღერძისა და ვერტიკალური წრედის ალიდადაზე მოთავსებული თარაზოს ღერძის ჰორიზონტული მდგომარეობის შესაბამისი ანათვალი ვერტიკალურ წრედზე უნდი იყოს ნულის ტოლი (ვერტიკალური წრედის ნული ადგილის განსაზღვრა და შესწორება);

8) თეოდოლიტის ჰოგრზე აღნიშნული ზედა ცენტრი (კერნი) უნდა მდებარეობდეს იარაღის ბრუნვის მთავარ ღერძზე;

9) დასადგმელ თარაზოში საჭიროა თარაზოსა და ჰოგრის ბრუნვის ღერძები მდებარეობდეს ერთ სიბრტყეში და იყვნენ პარალელური.

(1)—(7) მუხლში გათვალისწინებული პირობების შემოწმება ცნობილია გეოდეზიიდან. უკანასკნელი ორი პირობა კი დამახასიათებელია მხოლოდ სამთო თეოდოლიტისათვის და სრულდება ქვემოაღწერილი წესით.

ჰოგრზე კერნის სწორად დატანის შემოწმების მიზნით თეოდოლიტს აყენებენ შვეულის ქვეშ, მისი მთავარი ღერძი მოჰყავთ ვერტიკალურ მდგომარეობაში, ჰოგრის სამიზნე ღერძი კი—ჰორიზონტულ მდებარეობაში და ცენტრავენ. შემდეგ თეოდოლიტის ზედა ნაწილს აბრუნებენ მთავარი ღერძის ირგლივ და აკვირდებიან შვეულის მცენტრავი წვეტანის მდებარეობას კერნის მიმართ. თუ ბრუნვის დროს შვეულის წვეტანა 0,5 მმ-ზე მეტად არ სცილდება კერნს, პირობა დაცულია, წინააღმდეგ შემთხვევაში იარაღი გასასწორებლად უნდა გადაეცეს ახელოსნოს.

ჩრაც შეეხება დასადგმელ თარაზოს, იგი უნდა აკმაყოფილებდეს ორ პირობას:

a) მისი ღერძი და ჰოგრის ბრუნვის ღერძი უნდა მდებარეობდეს ერთ სიბრტყეში. ამ მიზნით თარაზოს დგამენ ჰოგრის ბრუნვის ღერძზე, აყენებენ ორი დამყენებელი ხრახნის გასწვრივ და მოყავთ ბუშტულა შუაში. შემდეგ თარაზოს ჰოგრის ღერძიდან აუღებლად ფრთხილად გადასწევენ ჯერ ოკულარის, შემდეგ ობიექტივის მხარეზე და აკვირდებიან ბუშტულას. თუ იგი შუაში რჩება ან იხრება ერთ მხარეს (*a*) პირობა დაკმაყოფილებულია; თუ ბუშტულა იხრება სხვადასხვა მხარეს — პირობა დარღვეულია. შესწორებას აწარმოებენ გვერდითი შემასწორებელი ხრახნებით.

b) თარაზოს ღერძი ჰოგრის ბრუნვის ღერძის პარალელური უნდა იყოს. ამ პირობის შესამოწმებლად თარაზოს აყენებენ ორი დამყენებელი ხრახნის გასწვრივ და ბუშტულა მოყავთ შუაში. შემდეგ თარაზოს გადააადგილებენ ჰოგრის ღერძზე 180°-ით და კვლავ აკვირდებიან ბუშტულას. თუ იგი შუაში დარჩა, მაშინ (*b*) პირობა შესრულებულია, წინააღმდეგ შემთხვევაში გადახრის ნახევარს ასწორებენ თარაზოს ვერტიკალური შემასწორებელი ხრახნებით, მეორე ნახევარს—თეოდოლიტის დამყენებელი ხრახნებით.

ТГ — 1 და ТГ — 5 ტიპის სამთო თეოდოლიტებს აქვს, შესაბამისად, ЭТ—1 და ЭТ—5 ექსცენტრული ჰოგრები. ასეთი ჰოგრის სამიზნე ღერძი მართობული უნდა იყოს მისი ბრუნვის ღერძისა. აღნიშნული პირობის დარღვევა იწვევს კოლიმაციურ შეცდომას. შემოწმების მიზნით ასე იქცევიან:

თეოდოლიტს ექსცენტრული ჰოგრით აყენებენ შენობიდან 20 — 40 მ მანძილზე. ინსტრუმენტის სიმაღლეზე ჰოგრის სამიზნე ღერძის მართობულად კედელზე ამაგრებენ ქაღალდის ფურცელს (ნახ. 16ª). მასზე ,,წრედით მარჯვნივ'' დამზერენ და დანიშნავენ შესაბამის *a* წერტილს. გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე, აბრუნებენ ინსტრუმენტის ზედა ნაწილს 180°-ით და წრედის მარცხენა მდებარეობის დროს ქაღალდზე ანალოგიურად ნიშნავენ *b* წერტილს. მანძილი *a* და *b* წერტილებს შორის უნდა უდრიდეს ჰოგრის ექსცენტრობის ორმაგ სიდიდეს (2*r*). წინააღმდეგ შემთხვევაში *ab* მანძილს ყოფენ შუაზე და მიღებული *k* წერტილიდან ორივე მხრივ მოზომავენ *r*-ის ტოლ *kc* და *kd* მო-

ნაკვეთებს. შემასწორებელი ხრახნების მოქმედებით ძაფთა ბადის ჯვარედინს დაამთხვევენ *d* წერტილს.

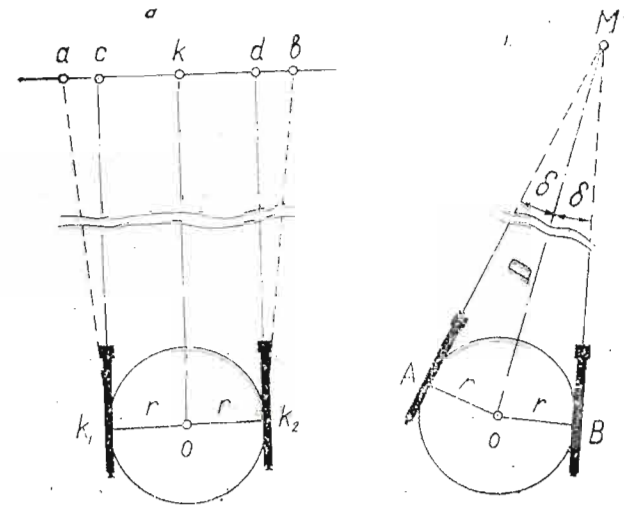
ექსცენტრული ჰოგრის კოლიმაციური შეცდომის გამოკვლევა და შესწორება შეიძლება აგრეთვე შემდეგი ხერხით:

თეოდოლიტს დააყენებენ ღია ადგილზე და დაახლოებით იარაღის ჰორიზონტზე ირჩევენ შორეულ *M* წერტილს. დამზერენ მას ჰოგრის ორ მდებარეობაში და იღებენ შესაბამის *R* და *L* ანათვლებს ჰორიზონტულ წრედზე (ნახ. 16ᵇ).

ჰოგრის ექსცენტრობის გამო თითოეული ანათვალი ყოველთვის შეიცავს *δ* შეცდომას, რაც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\delta = \frac{r\rho''}{D}, \qquad (5.3.1)$$

სადაც *r* არის ჰოგრის ექსცენტრობის ხაზოვანი სიდიდე; $\rho = 206265''$; *D* — მანძილი ინსტრუმენტიდან დამზერილ წერტილამდე. როდესაც *D* მანძილი საკმაოდ დიდია, *δ* ძლიერ მცირე გამოდის და ანათვალთა სხვაობა იქნება ორმაგი კოლიმაციური შეცდომის ტოლი:



ნახ. 5.3.16.

$$2c = R - L,$$

სადაც *c* კოლიმაციური შეცდომაა.

შესწორების მიზნით ჰორიზონტული წრედის ალიდადას მიკრომეტრული ხრახნით დააყენებენ საშუალო

$$\alpha = \frac{R + L \pm 180°}{2}$$

ანათვალზე. ამით ძაფთა ბადის ჯვარედინი მოშორდება დამზერილ *M* წერტილს. მოყავთ იგი პირვანდელ მდგომარეობაში ძაფთა ბადის გვერდით შემასწორებელი ხრახნებით.

ექსცენტრული ჰოგრის დანარჩენი შემოწმება ცენტრალური ჰოგრის შემოწმების ანალოგიურია.

სამთო თეოდოლიტის მოწყობილობაში შედის აგრეთვე ზონარი შვეული, დისკური სიგნალი და ზოგჯერ ოპტიკური შვეული. ისინი უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ პირობებს:

1) ზონარი შვეულის მცენტრავი წვეტი უნდა მდებარეობდეს ზონარის ღერძზე გამავალ ვერტიკალზე;

2) დისკური სიგნალის ცენტრი უნდა ემთხვეოდეს სიგნალის ბრუნვის შვეულ ღერძს;

3) ოპტიკური შვეულის სამიზნე ღერძი უნდა იყოს შეთავსებული ინსტრუმენტის მთავარ ღერძთან.

ზონარი შვეულის შესამოწმებლად მისგან დაახლოებით 10 მ მანძილზე აყენებენ ორ თეოდოლიტს ისე, რომ შესამოწმებელი შვეულისაკენ მიმართული მათი ჰოგრების სამიზნე სხივები ერთიმეორესთან ქმნიდეს დაახლოებით მართ კუთხეს. ჰოგრებით დამზერენ ჯერ შვეულის ზონარს, შემდეგ მცენტრავ წვეტს და ზომავენ მათ შორის შექმნილ კუთხეს, რაც სწორად გამართულ შვეულში ნულს უნდა უდრიდეს. გამოვლინებული დაუმთხვეველობა შეიძლება გასწორდეს მხოლოდ სახელოსნოში.

დისკური სიგნალის შემოწმებისათვის დააყენებენ მას თეოდოლიტიდან რამდენიმე მეტრის მანძილზე და მოყავთ მისი ღერძი ვერტიკალურ მდგომარეობაში. სიგნალის სამიზნე მოწყობილობის საშუალებით დისკოს სიბრტყეს დააყენებენ თეოდოლიტის ჰოგრის სამიზნე ღერძის მართობულად. ამ მდგომარეობაში ჰოგრის ძაფთა ბადის ჯვარედინს დაამთხვევენ დისკოს ცენტრთან (ნახ. 13) და იღებენ α ანათვალს ჰორიზონტულ წრედზე; მოაბრუნებენ დისკოს სიბრტყეს ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ, ხელახლა დამზერენ მის ცენტრს და იღებენ შესაბამის β ანათვალს. ჰორიზონტულ წრედს დააყენებენ საშუალო $\frac{\alpha+\beta}{2}$ ანათვალზე და დისკოს ცენტრს შესაბამისი ხრახნებით გადასწევენ იმდენად, რომ იგი კვლავ აღმოჩნდეს ჰოგრის ძაფთა ბადის ჯვარედინზე.

ოპტიკური შვეულის შემოწმება სრულდება თეოდოლიტის ზედა ცენტრის შემოწმების ანალოგიურად. გამოვლენილ დაუმთხვეველობას ასწორებენ ოპტიკური შვეულის ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნებით.

ოპტიკური თეოდოლიტების შემოწმების არსი არსებითად იგივე რჩება. მხოლოდ მათი შესრულება სპეციფიკური თავისებურებით ხასიათდება, რაც ყოველი ინსტრუმენტის პასპორტში არის აღწერილი.[1]

d. ჰორიზონტული კუთხეების გაზომვა

მიწისქვეშა თეოდოლიტურ სვლებში ზომავენ სვლის მარცხნივ მდებარე ჰორიზონტულ კუთხეებს განმეორებითი ან ილეთების ხერხით. ილეთების ხერხი ცნობილია გეოდეზიიდან, ამიტომ აქ შევეხებით მხოლოდ განმეორებით ხერხს.

ვთქვათ, გასაზომია OA და OB მიმართულებებს შორის β კუთხე (ნახ.17). ამ მიზნით O წერტილზე დაცენტრავენ თეოდოლიტს, A და B წერტილებზე კი — სიგნალებს (შვეულებს) და კუთხის გაზომვას შემდეგი თანამიმდევრობით აწარმოებენ:

1) წრედ-ალიდადის პირველი ვერნიერის ნულს შეათავსებენ წრედის ნულთან 2—5'-ის ფარგლებში და დაამაგრებენ წრედ-ალიდადას; ლიმბის მოძრაობით დამზერენ უკანა A სიგნალს (შვეულს). იღებენ ანათვალს ორივე

[1] იხ [50].

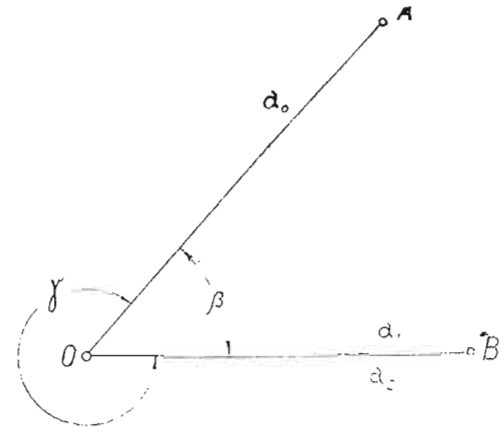
ვერნიერზე, ჩასწერენ მიწისქვეშა თეოდოლიტური აგეგმვის ჟურნალის შესაბამის სვეტში (ცხრ. 5.5.1) და გამოთვლიან მათ საშუალოს (α_0);

2) ათავისუფლებენ ალიდადას, აბრუნებენ მას საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით და დამზერენ წინა B სიგნალს, იღებენ ანათვალს ორივე ვერნიერზე და გამოთვლიან მათ საშუალოს (α_1);

3) ანგარიშობენ ე. წ. საკონტროლო β' კუთხეს ფორმულით

$$\beta' = \alpha_1 - \alpha_0; \qquad (5.3.2)$$

4) გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე, ათავისუფლებენ ლიმბს და მისი წრედ-ალიდადასთან ერთად მარჯვნივ ბრუნვით დამზერენ უკანა A სიგნალს. ანათვლის აღება საჭირო არ არის, რადგან იგი α_1-ის ტოლია;



ნახ. 5.3.17.

5) ათავისუფლებენ ალიდადას, აბრუნებენ მას საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, დამზერენ წინა B სიგნალს. ღებულობენ ანათვლებს ორივე ვერნიერზე, გამოთვლიან მათ საშუალოს (α_2);

6) ანგარიშობენ საძიებელი β კუთხის მნიშვნელობას ფორმულით

$$\beta = \frac{\alpha_2 - \alpha_0}{2}. \qquad (5.3.3)$$

ჩამოთვლილი ოპერაციების ერთობლიობას ეწოდება ჰორიზონტული კუთხის გაზომვა ერთი განმეორებით.

მარკშეიდერული ინსტრუქციის თანახმად, ძირითად საყრდენ და პირველი თანრიგის სააგეგმვო ქსელების თეოდოლიტურ სვლებში კუთხეები იზომება ერთი სრული განმეორებით. სპეციალური დანიშნულების (მაღალი სიზუსტის) პოლიგონური სვლების შემთხვევაში კი საჭირო იქნება კუთხის გაზომვა რამდენიმე განმეორებით. კუთხის გაზომვას n განმეორებით ასრულებენ ასევე შვეული წრედის ორ მდებარეობაში. წრედის პირველი მდებარეობისას ლიმბის მოძრაობით n-ჯერ დამზერენ უკანა სიგნალს და ალიდადას მოძრაობით იმდენჯერვე — წინა სიგნალს. ანათვალს მხოლოდ პირველი და მეორე დამიზნების დროს იღებენ (α_0, α_1) და (2) ფორმულით გამოთვლიან საკონტროლო β' კუთხეს. n დამიზნების შემდეგ გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე და ანალოგიურად ლიმბის მოძრაობით n-ჯერ დამზერენ უკანა სიგნალს, ალიდადის ბრუნვით იმდენჯერვე — წინა სიგნალს. ანათვალს იღებენ მხოლოდ ერთხელ — წინა სიგნალზე უკანასკნელი დამიზნების დროს (α_2).

კუთხის გაზომვის პროცესში ალიდადის ნულმა შეიძლება რამდენჯერმე გაიაროს ლიმბის ნული, ამიტომ კუთხის n განმეორებით გაზომვის შემთხვევაში β კუთხის მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\beta = \frac{(\alpha_2 + K \cdot 360^\circ) - \alpha_0}{2n}. \qquad (5.3.4)$$

K კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება საკონტროლო კუთხის საშუალებით

$$k = \frac{2n\beta' + \alpha_0 - \alpha_2}{360^\circ}. \qquad (5.3.5)$$

კუთხის გაზომვის აღწერილი ხერხი ეკუთვნის გერმანელ მეცნიერს ი. ვეისბახს. სხვა ხერხებთან შედარებით მას აქვს ერთგვარი უპირატესობა, რაზედაც ქვემოთ გვექნება საუბარი, მაგრამ იგი არ გამორიცხავს სისტემატური შეცდომების გავლენასა და დაგროვებას. სისტემატური შეცდომების გამოსარიცხად საჭიროა გაიზომოს აგრეთვე სვლის მარჯვნივ მდებარე γ კუთხეც. ასეთ შემთხვევაში მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს კუთხის გაზომვის გაუსის მეთოდი, რომლის არსი შემდეგში მდგომარეობს:

1) თეოდოლიტს დაცენტრავენ გასაზომი კუთხის O წვეროზე, წრედ-ალიდადის I ვერნიერის ნულს დაახლოებით შეათავსებენ ლიმბის ნულთან, ლიმბის ბრუნვით ჰოგრს უმიზნებენ მარცხენა (უკანა) A სიგნალს და იღებენ α_0 ანათვალს;

2) ათავისუფლებენ ალიდადას, მისი საათის ისრის მიმართულებით ბრუნვით ჰოგრს უმიზნებენ მარჯვენა (წინა) B სიგნალს. იღებენ საკონტროლო α_1 ანათვალს ლიმბზე;

3) ათავისუფლებენ ლიმბს და წრედ-ალიდადასთან ერთად საათის ისრის მიმართულებით ბრუნვით დამზერენ უკანა A სიგნალს;

4) აუშვებენ ალიდადას, იმავე მიმართულებით ბრუნვით დამზერენ წინა B სიგნალს. ასე იმეორებენ დაკვირვებებს n-ჯერ ყოველთვის ლიმბის მოძრაობით მარცხენა სიგნალზე და ალიდადის მოძრაობით მარჯვენა სიგნალზე დამიზნებით. უკანასკნელად, კუთხის n-ჯერ გაზომვის შემდეგ, როდესაც ალიდადა დაყენებულია B სიგნალზე, იღებენ α_2 ანათვალს. კუთხის ოდენობას ანგარიშობენ ფორმულით

$$\beta = \frac{\alpha_2 + k \cdot 360^\circ - \alpha_0}{n}, \qquad (5.3.6)$$

სადაც k არის ალიდადის მიერ ლიმბის 360°-ზე შემოვლის რიცხვი;

n — განმეორებათა რიცხვი.

k რიცხვის დასადგენად გამოიყენება β კუთხის მიახლოებითი β' მნიშვნელობა, გამოთვლილი საკონტროლო α_1 ანათვლით:

$$\beta' = \alpha_1 - \alpha_2,$$

$$k = \frac{n\beta' + \alpha_0 - \alpha_2}{360^\circ}; \qquad (5.3.7)$$

5) გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე, I ვერნიერის ნულს დაახლოებით შეათავსებენ ლიმბის 90°-თან და ზომავენ β კუთხის დამატებას 360°-მდე, ე. ი. γ კუთხეს. წრედის მეორე მდებარეობაშიაც γ კუთხეს ზომავენ β-ს ანალოგიურად, მხოლოდ ახლა წინა B სამიზნე განიხილება საწყის პუნქტად, ხოლო უკანა A—ბოლო პუნქტად. ალიდადისა და ლიმბის ბრუნვა რჩება ისეთივე, როგორც წრედის პირველ მდგომარეობაში. მარჯვენა და მარცხენა კუთხეების ჯამის განსხვავება 360°-იდან დასაშვებია 30″-მდე. შეუკვრელობას აწონასწორებენ თითოეულ გაზომილ კუთხეზე თანაბრად.

პოლიგონომეტრიულ სვლებში კუთხურ და ხაზოვან ელემენტებს ზომავენ მოქმედი მარკშეიდერული ინსტრუქციით გათვალისწინებულ მოთხოვნათა

დაცვით (იხ. ცხრ. 1.5.1). თეოდოლიტისა და სიგნალების დაცენტრვის მეთოდი შეირჩევა თეოდოლიტური სვლის გვერდების სიგრძის მიხედვით (ცხრ. 1).

30°-მდე დახრის გვირაბებში კუთხეები (სვლის მარცხნივ მდებარე) იზომება ერთი სრული განმეორებით. კუთხის საკონტროლო და საბოლოო მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 45″-ს; როდესაც გასაზომი კუთხის ერთი გვერდი ჰორიზონტულია, მეორე — დახრილი, მაშინ ეს სხვაობა დასაშვებია 90″-მდე.

ცხრილი 5.3.1

გვერდის თარაზული პროექცია, მ		
5—10	10—20	>20
თვითმცენტრავი ხელსაწყოების გამოყენებით	თეოდოლიტის განმეორებითი დაცენტრა (თითოეული დაცენტვრისას კუთხის განმეობით გაზომვით)	თეოდოლიტის ერთჯერადი დაცენტრა

გვირაბებში, რომელთა დახრა 30°-ს აღემატება, რეკომენდებულია კუთხეები გაიზომოს ილეთების ხერხით (არანაკლები ორი ილეთით), თანაც გაზომვისას ინსტრუმენტის ბრუნვის მთავარი ღერძის ვერტიკალურ მდგომარეობაში მოსაყვანად გამოყენებული უნდა იქნეს დასადგმელი თარაზო. ამ შემთხვევაში კუთხის ცალკეული ილეთიდან მიღებულ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს (2) ცხრილში მოყვანილ სიდიდეს.

ცხრილი 5.3.2

გვირაბის დახრის კუთხე	დასაშვები სხვაობა კუთხის ცალკეული ილეთებიდან მიღებულ მნიშვნელობებს შორის
31 — 45°	45″
46 — 60	60
61 — 70	90
71 — 75	120

პირველი თანრიგის სააგეგმვო ქსელის თეოდოლიტურ სვლებში კუთხეები უნდა გაიზომოს ± 1′ სიზუსტის თეოდოლიტით, ერთი სრული განმეორებით. კუთხის საკონტროლო და საბოლოო მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 60″-ს. თუ გასაზომი კუთხის ერთი გვერდი ჰორიზონტულია, მეორე კი — დახრილი, მაშინ ეს სხვაობა დასაშვებია 90″-მდე. გვირაბებში, რომელთა დახრა 30°-ს აღემატება, კუთხეები უნდა გაიზომოს ილეთების ხერხით, (2) ცხრილში მოყვანილი მოთხოვნების დაცვით.

მეორე თანრიგის სააგეგმვო ქსელებში კუთხეები შეიძლება გაიზომოს У—3 ან სხვა ტიპის კუთხსაზომებით ან თეოდოლიტით, ერთი განმეორებით ან ერთი ილეთით. სხვაობა კუთხის საკონტროლო და საბოლოო მნიშვნელობებს შორის ან განსხვავება კუთხეებს შორის ნახევარილეთებში დასაშვებია ± 5′-მდე.

ე. ჰორიზონტული კუთხის გაზომვა ექსცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტით

ციცაბო გვირაბებში კუთხეები იზომება ექსცენტრულჰოგრიანი თეოდოლიტით. ამ შემთხვევაში თეოდოლიტი იცენტრება ჩვეულებრივად, მაგრამ სიგნალებზე დამზერა გასაზომი კუთხის წვეროდან არ ხდება (ნახ. 18), რის გა-

მოც ჰორიზონტული წრედის მარჯვენა მდებარეობაში გაიზომება β' კუთხე, მარცხენა მდებარეობაში — β''. ამოცანა მდგომარეობს β' და β'' კუთხეების საშუალებით ცენტრული β კუთხის განსაზღვრაში.

ნახაზიდან

$$\varphi = \beta' + \delta = \beta + \gamma,$$

$$\varphi' = \beta'' + \gamma = \beta + \delta,$$

საიდანაც

$$\beta = \beta' + \delta - \gamma,$$

$$\beta = \beta'' - \delta + \gamma.$$

უკანასკნელ ტოლობათა შეკრება მოგვცემს

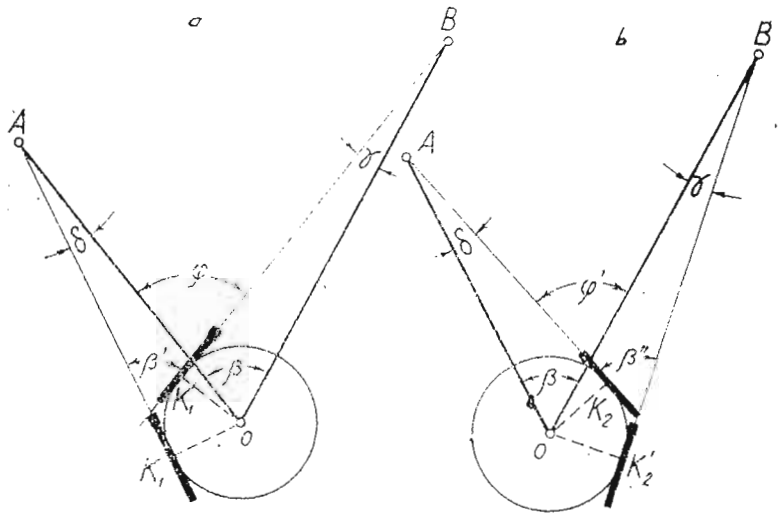
$$2\beta = \beta' + \beta''.$$

აქედან

$$\beta = \frac{\beta' + \beta''}{2}. \qquad (5.3.8)$$

ამ შემთხვევაში საძიებელი β კუთხე თავისუფალია ჰოგრის ექსცენტრობის გავლენისაგან.

მარკშეიდერული ინსტრუქციის თანახმად, ციცაბო გვირაბებში კუთხე-



ნახ. 5.3.18.

ების გაზომვის დროს საჭიროა თეოდოლიტის დაყენება კონსოლზე, თანაც მთავარი ღერძის ვერტიკალურ მდგომარეობაში მოყვანა დასადგმელი თარაზოს საშუალებით.

ვ. დახრის კუთხეების გაზომვა

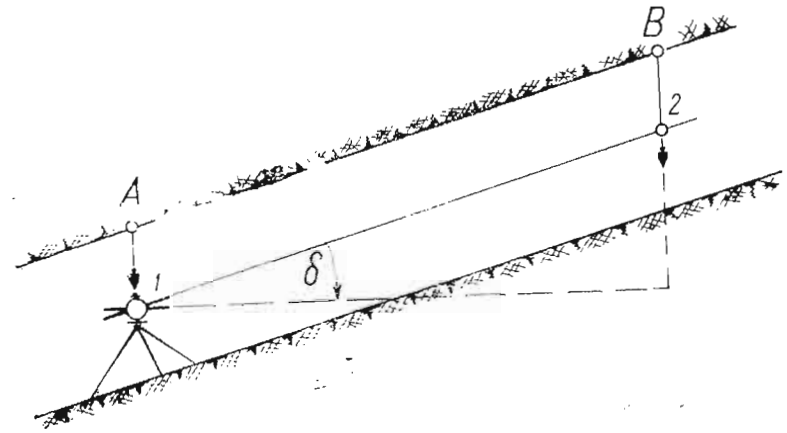
ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მდებარე ორ მიმართულებას შორის მოთავსებულ კუთხეს ვერტიკალური კუთხე ეწოდება. მიწისქვეშა აგეგმვის დროს იზომება მიმართულებების დახრის კუთხეები, რაც ვერტიკალური

კუთხის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს. მოცემული მიმართულების დახრის კუთხე ეწოდება კუთხეს ამ მიმართულებასა და მის ჰორიზონტულ პროექციას შორის.

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში დახრის კუთხეები იზომება სვლის გვერდების ჰორიზონტული პროექციების გამოსათვლელად და ტრიგონომეტრიული ნიველობის დროს წერტილებს შორის აღმატებების განსაზღვრისათვის.

დახრის კუთხის გაზომვის სქემა მოცემულია მე-19 ნახაზზე. დახრილი გვირაბის ჭერში დამაგრებულია A და B პუნქტები. A წერტილის ქვეშ დაცენტრილია თეოდოლიტი, B-დან ჩამოშვებულია შვეული. საჭიროა გაიზომოს იმ სამიზნე სხივის დახრის δ კუთხე ჰორიზონტთან, რომელიც გადის ჰოგრის ბრუნვის ღერძზე 1 და შვეულის ზონარზე დანიშნულ წერტილზე 2. განხილადი ამოცანის გადაწყვეტა სრულდება გეოდეზიიდან ცნობილი წესით, ვერტიკალური წრედის ორ მდებარეობაში, შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) ვერტიკალური წრედის მარჯვენა მდებარეობაში (R) ჰოგრს მიმართა-



ნახ. 5.3.19

ვენ B შვეულისაკენ, ამაგრებენ ლიმბისა და ალიდადის დამტკეც ხრახნებს და ჰოგრის დამყენებელი ხრახნით შეათავსებენ ძაფთა ბადის შუა ჰორიზონტულ ძაფს მე-2 წერტილის გამოსახულებასთან;

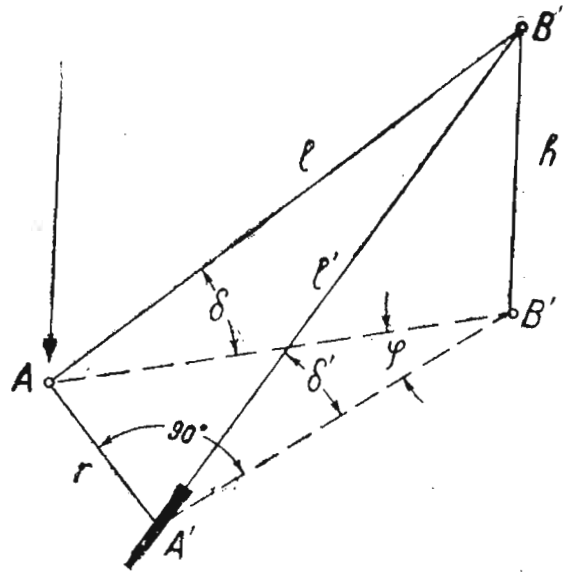
2) მიკრომეტრული ხრახნის მოქმედებით ვერტიკალური წრედის შიმშა-ალიდადაზე მოთავსებული თარაზოს ბუშტულა მოყავთ შუაში, იღებენ ანათვალს ვერტიკალური წრედის ვერნიერებზე და საზღვრავენ მათ საშუალოს — R;

3) გადაყავთ ჰოგრი ზენიტზე, იმეორებენ იგივე ოპერაციებს ვერტიკალური წრედის მარჯვენა მდებარეობისას და საზღვრავენ საშუალო L ანათვალს;

4) გამოითვლიან ვერტიკალური წრედის ნულ ადგილს N-ს და დახრის δ კუთხეს ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} N &= \frac{R+L}{2}, \\ \delta &= \frac{R-L}{2}, \\ \delta &= R-N, \\ \delta &= N-L. \end{aligned}\right\} \qquad (5.3.9)$$

თანამედროვე თეოდოლიტების ვერტიკალური წრედები ისეა გრადუირებული, რომ (9) ფორმულებით სარგებლობისას საჭიროა 90°-ზე ნაკლებ R და L ანათვლებს დაემატოს 360° (დახრის კუთხის გაზომვის ჩაწერის მაგალითი მოცემულია 5.5.1 ცხრილში).



ნახ. 5.3.20.

ციცაბო გვირაბებში დახრის კუთხეები იზომება ექსცენტრული ჯოგრის გამოყენებით. ამის გამო ნაცვლად δ კუთხისა, გაიზომება δ'. საჭიროა გაზომილი δ' კუთხის, l მანძილისა და ჯოგრის ექსცენტრობის ხაზოვანი r ელემენტის საშუალებით განისაზღვროს δ. ამ მიზნით მივმართოთ მე-20 ნახაზს, საიდანაც ABB′ და A′BB′ მართკუთხა სამკუთხედებიდან დავწერთ:

$$h = l'\sin\delta' = l\sin\delta,$$

საიდანაც

$$\sin\delta = \frac{l'}{l}\sin\delta';$$

მაგრამ

$$l' = \sqrt{l^2 - r^2},$$

ამიტომ

$$\sin\delta = \sin\delta'\sqrt{1-\frac{r^2}{l^2}}. \qquad (5.3.10)$$

უკანასკნელი ფორმულით შეიძლება განისაზღვროს დახრის δ კუთხის მნიშვნელობა, მაგრამ უფრო მოხერხებულია $\Delta\delta$ შესწორების გამოთვლა და δ-ს განსაზღვრა გამოსახულებიდან

$$\delta = \delta' - \Delta\delta. \qquad (5.3.11)$$

$\Delta\delta$-ს გამოთვლის მიზნით (10) ტოლობა გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\sin\delta = \sin\delta'\left(1-\frac{r^2}{l^2}\right)^{1/2} \approx \sin\delta'\left(1-\frac{r^2}{2l^2}\right),$$

საიდანაც

$$\sin\delta' - \sin\delta = \sin\delta'\frac{r^2}{2l^2}.$$

რადგან δ და δ' კუთხეები მცირედ განსხვავდება ერთიმეორისაგან, ამიტომ

$$\sin\delta' - \sin\delta = d\sin\delta' = \cos\delta' d\delta' = \cos\delta'\Delta\delta,$$

ე. ი.

$$\cos\delta'\cdot\Delta\delta = \frac{r^2}{2l^2}\sin\delta',$$

$$\Delta\delta'' = \rho''\operatorname{tg}\delta'\frac{r^2}{2l^2}. \qquad (5.3.12)$$

(3) ცხრილში მოცემულია ცენტრგარეშე ჯოგრის გამოყენებით გაზომილი დახრის კუთხეების $\Delta\delta$ შესწორებების მნიშვნელობები სეკუნდებში, როდესაც $r = 0{,}10$ მ.

ცხრილი 5.3.3.

დახრის δ' კუთხე გრადუსებში	დახრილი l სიგრძე მეტრებში				
	5	10	15	20	25
	შესწორებები სეკუნდებში				
40	35	9	4	2	1
50	49	12	5	3	2
60	72	18	8	5	3
70	113	28	13	7	5
80	234	58	26	15	9

ცხრილიდან ჩანს, რომ თუ l მანძილი დიდია, მაშინ $\Delta\delta$ შესწორება უმნიშვნელოა, სამაგიეროდ მოკლე გვერდების შემთხვევაში იგი სწრაფად იზრდება.

G. კუთხის გაზომვის შეცდომების წყაროები

თეოდოლიტით კუთხის გაზომვის სიზუსტეზე მოქმედებს შეცდომების ურთიერთდამოუკიდებელი წყაროები. ისინი გაზომვის კომპონენტების მიხედვით შემდეგნაირად შეიძლება განაწილდეს[1]:

1) სუბიექტისაგან (დამკვირვებლისაგან) გამოწვეული შეცდომები (ანათვლების დამრგვალების, დამიზნების, გაზომვის მეთოდით გამოწვეული);

2) ინსტრუმენტისაგან გამოწვეული შეცდომები (ლიმბისა და ვერნიერის დანაყოფების შეცდომები, წრედ-ალიდადის ექსცენტრობა, მთავარი ღერძის არავერტიკალობა, კოლიმაციური შეცდომა და სხვ.);

3) გარემო პირობებით გამოწვეული შეცდომები (სამიზნე საგნების გრე-

[1] იხ. ნ. თევზაძე. განაზომთა შეცდომების თეორია, I.

ხა, თეოდოლიტის მდგრადობის ცვალებადობა, შვეული და გვერდითი რეფრაქცია და სხვ.);

4) ობიექტისაგან გამოწვეული შეცდომები (რედუქციის, ანუ სამიზნე საგნებისა და თეოდოლიტის დაცენტრვის შეცდომები).

თანამედროვე ინსტრუმენტების შეცდომები სხვა შეცდომებთან შედარებით უმნიშვნელო სიდიდეებია. გარდა ამისა, კუთხეების გაზომვის სათანადო მეთოდის გამოყენებით ისინი თითქმის ისპობა. იმავე გზით გარემოს გავლენის შეცდომებიც უგულებელსაყოფ ოდენობამდე დაიყვანება. ამიტომ ინსტრუმენტალური და გარემო პირობებით გამოწვეული შეცდომები გამოყენებული გაზომვის მეთოდის შეცდომების შემადგენლად მიიჩნევა, შეიტანება პირადი შეცდომების ჯგუფში და ეწოდება კუთხის საკუთრივ გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა.

მაშასადამე, კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის დამოუკიდებელ წყაროებად შეიძლება მივიღოთ: კუთხის საკუთრივ გაზომვის, სიგნალებისა და თეოდოლიტის დაცენტრვის შეცდომები. ამის შესაბამისად β კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა იქნება

$$m_\beta = \pm\sqrt{m_i^2 + m_{r_A}^2 + m_{r_B}^2 + m_C^2}, \qquad (5.3.13)$$

სადაც m_i არის კუთხის საკუთრივ გაზომვის საშ. კვ. შეცდომა;

m_{r_A} — A წერტილზე სამიზნე საგნის დასმის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

m_{r_B} — B წერტილზე სამიზნე საგნის დასმის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

m_C — C წერტილზე თეოდოლიტის დაცენტვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა.

m_i-ს განსაზღვრა. კუთხის საკუთრივ გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის ოდენობა გარკვეული ინსტრუმენტისა და პირობებისათვის ძირითადად დამოკიდებულია კუთხის გაზომვის ხერხზე.

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში გამოიყენება კუთხის გაზომვის ილეთებისა და განმეორების ხერხები. განაზომთა შეცდომების თეორია იძლევა ამ ორი ხერხით კუთხის საკუთრივ გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის გამოსათვლელ შემდეგ ფორმულებს:

ილეთების ხერხისათვის

$$m_i = \pm\sqrt{\frac{m_{\text{ა. დ.}}^2}{n} + \frac{m_\varrho^2}{n}}, \qquad (5.3.14)$$

განმეორებითი ხერხისათვის

$$m_i = \pm\sqrt{\frac{m_{\text{ა. დ.}}^2}{2n^2} + \frac{m_\varrho^2}{n}}, \qquad (5.3.15)$$

სადაც $m_{\text{ა. დ.}}$ არის ორი ვერნიერის ან მიკროსკოპის ანათვალთა დამრგვალების საშუალო კვადრატული შეცდომა;

m_ϱ — ჰოგრით საგანზე დამიზნების საშუალო კვადრატული შეცდომა;

n — ილეთების ან განმეორების რიცხვი,

როგორც (14) და (15) ფორმულებიდან ჩანს, m_i-ის განსაზღვრისათვის აუცილებელია დამიზნებისა და ანათვლების დამრგვალების საშუალო კვადრატული შეცდომების ცოდნა.

ჰოგრით საგანზე დამიზნების შეცდომა დამოკიდებულია მის გამადიდებლობაზე, ძაფთა ბადის კონსტრუქციასა და სამიზნე საგნის ნათელობაზე. ხშირად m_ϱ-ს გამოსათვლელად იყენებენ ფორმულას

$$m_\varrho = \pm\frac{60''}{G}, \qquad (5.3.16)$$

სადაც 60'' არის შეუიარაღებელი თვალით მზერის საშუალო კრიტიკული კუთხის მნიშვნელობა (იგი სხვადასხვა ადამიანებში მერყეობს 50—124'' ფარგლებში); G — ჰოგრის გამადიდებლობა.

ბისექტორით დამიზნების საშუალო კვადრატულ შეცდომას ანგარიშობენ ფორმულით:

$$m_\varrho = \pm\frac{d''}{12}, \qquad (5.3.17)$$

სადაც d არის ბისექტორის ძაფებს შორის კუთხური მანძილი სეკუნდებში (ТГ—5 და Т—20 სამთო თეოდოლიტებში $d \approx 40—50''$).

(16) და (17) ფორმულები დაახლოებით ერთნაირ შედეგს იძლევა.

ორი ვერნიერით ანათვალთა საშუალო არითმეტიკულის დამრგვალების საშუალო კვადრატული შეცდომა გამოითვლება ფორმულით

$$m_{\text{ა. დ.}} = \pm\frac{0{,}3\,t}{\sqrt{2}}, \qquad (5.3.18)$$

სადაც t ვერნიერის სიზუსტეა.

(14) და (15) ფორმულების ურთიერთშედარებიდან ჩანს, რომ განმეორებითი ხერხი უფრო ზუსტია, ვიდრე ილეთების ხერხი. ეს გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ განმეორებითი ხერხის გამოყენების დროს ანათვლის აღება ხდება ორჯერ, ილეთების ხერხისას კი — $4n$-ჯერ. დამიზნების რაოდენობა ორივე მეთოდში ერთნაირია და უდრის $4n$-ს. აქედან გამომდინარე განმეორებითი ხერხი უფრო ჩქარიც არის, რაც განსაკუთრებით სასარგებლოა მიწისქვეშა აგეგმვის ძნელ პირობებში. მაგრამ ამ ხერხის უპირატესობა მცირდება მაღალი (20''-ზე მეტი) სიზუსტის თეოდოლიტების გამოყენების შემთხვევაში. ამის გარდა, განმეორებითი ტიპის თეოდოლიტები, რომლებითაც იზომება კუთხეები განმეორებითი ხერხით, მთელი რიგი ნაკლოვანებებით ხასიათდება 50]. საერთოდ უნდა აღვნიშნოთ, რომ განმეორებითი ხერხი საკმარის სიზუსტეს იძლევა იმ შემთხვევაში, როდესაც ანათვლის აღების შეცდომა ჭარბობს დამიზნების შეცდომას.

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში უმეტესად იყენებენ სამთო თეოდოლიტებს, რომელთა ჰორიზონტული წრედის ალიდადაზე ანათვლის აღების სიზუსტე 20, 30 ან 60'' შეადგენს, ამიტომ ასეთი სიზუსტის ინსტრუმენტებით ცალკეული კუთხეები უნდა გაიზომოს განმეორებითი ხერხით. თუ პუნქტზე გასაზომ კუთხეთა რაოდენობა ერთზე მეტია, მაშინ გამოყენებული უნდა იქნეს ილეთების ხერხი.

m_{r_A} და m_{r_B}-ს განსაზღვრა. როგორც აღვნიშნეთ, m_{r_A} და m_{r_B} არის A და B სამიზნე საგნების (სიგნალების) დაცენტვრის საშუალო კვადრატული შე-

ცდომები (ნახ. 21). მარკშეიდერული პრაქტიკის უმრავლეს შემთხვევაში შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ორივე სიგნალი ერთი და იმავე ხაზოვანი სიზუსტით არის დაცენტრილი. ამის შესაბამისად განაზომთა შეცდომების თეორია იძლევა სიგნალების ექსცენტრობის ერთობლივი გავლენის საშუალო კვადრატული შეცდომების გამოსათვლელ ფორმულას [50]

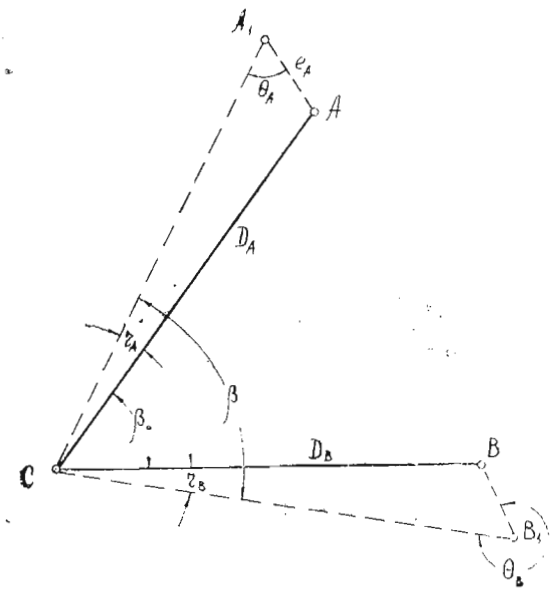
$$m_r^2 = \frac{\rho^2 e_r^2}{2D_A^2 D_B^2}(D_A^2 + D_B^2), \qquad (5.3.19)$$

სადაც m_r არის A და B სიგნალების რედუქციის ერთობლივი გავლენის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

$e_r = e_A = e_B$ — გასაზომი კუთხის რედუქციის (სიგნალების დაცენტვრის ხაზოვანი ელემენტი;

D_A და D_B — გასაზომი კუთხის გვერდების სიგრძეები.

უკანასკნელი ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ კუთხის გაზომვის შეცდომაზე მით ნაკლები იქნება სიგნალების ექსცენტრობის გავლენა, რაც უფრო გრძელია გვერდები.



ნახ. 5.3.21.

თუ გასაზომი კუთხის გვერდები ერთიმეორის ტოლია, ე. ი. $D_A = D_B = D$, მაშინ

$$m_r = \pm \frac{\rho e_r}{D} \qquad (5.3.20)$$

და თითოეულ მიმართულებაზე რედუქციის გავლენის საშუალო კვადრატული შეცდომა იქნება

$$m_{r_A} = m_{r_B} = \pm \frac{\rho e_r}{\sqrt{2}D}. \qquad (5.3.21)$$

m_C-ს განსაზღვრა. გაზომილ კუთხეზე თეოდოლიტის დაცენტვრის შეცდომის გავლენის საშუალო კვადრატული შეცდომა (ნახ. 22) გამოითვლება ფორმულით [50]

$$m_C^2 = \frac{\rho^2 e_c^2}{2D_A^2 D_B^2}(D_A^2 + D_B^2 - 2D_A D_B \cos M), \qquad (5.3.22)$$

სადაც e_C არის თეოდოლიტის დაცენტვრის შეცდომის ხაზოვანი ელემენტი;

M — გასაზომი β კუთხის გაზომილი მნიშვნელობა.

(22) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ გაზომილ კუთხეზე დაცენტვრის შეცდომის ნაკლები გავლენისათვის საჭიროა e_C ხაზოვანი ელემენტი რაც შეიძლება იყოს მცირე, აგრეთვე გვერდების სიგრძე დიდი და შეძლებისამებრ ტოლები, იგი დამოკიდებულია აგრეთვე გასაზომ β კუთხის ოდენობაზე.

მართლაც, როცა გაზომილი M კუთხე მახვილია, მაშინ m_C მცირეა. m_C მაქსიმალურ მნიშვნელობას ღებულობს როცა $M = 180°$.

თუ დავუშვებთ, რომ $D_A = D_B = D$ და $M = 180°$-ს, მაშინ (22) ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$m_C = \pm \frac{\rho e_C}{D}\sqrt{2}. \qquad (5.3.23)$$

თუ (13) ფორმულაში შევიტანთ (19) და (22) ფორმულებიდან m_{r_A}, m_{r_B} და m_C-ის მნიშვნელობებს, მივიღებთ კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის გამოსათვლელ შემდეგ ზოგად ფორმულას:

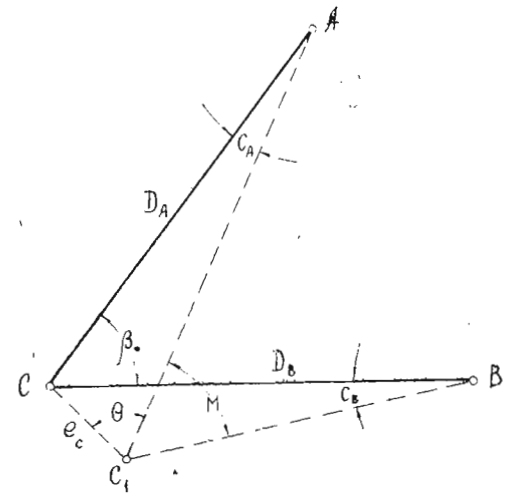
$$m_\beta = \pm \sqrt{m_i^2 + \frac{\rho^2}{2D_A^2 D_B^2}[e_r^2(D_A^2 + D_B^2) + e_C^2(D_A^2 + D_B^2 - 2D_A D_B \cos M)}. \qquad (5.3.24)$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს შემდეგი დასკვნები:

1) სიგნალების ექსცენტრობის (რედუქციის) გავლენა უკუპროპორციულია გასაზომი კუთხის შემქმნელი გვერდებისა და არ არის დამოკიდებული კუთხის სიდიდეზე;

2) თეოდოლიტის დაცენტვრის გავლენა კუთხის შემქმნელი გვერდების სიგრძის უკუპროპორციულია;

3) თეოდოლიტის დაცენტვრის გავლენა გასაზომი კუთხის ზრდასთან ერთად იზრდება და აღწევს მაქსიმუმს მაშინ, როდესაც $M = 180°$. ეს გარემოება იმაზე მიუთითებს, რომ ძიწისქვეშა აგეგმვის პირობებში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს თეოდოლიტისა და სიგნალების რაც შეიძლება ზუსტად დაცენტვრას, რადგან აქ ძლიერ ხშირია გაშლილი პოლიგონები 180° კუთხეებით.



ნახ. 5.3.22

ელემენტარული შეცდომების განსაზღვრა. (24) ფორმულაში შემავალი m_i, e_r და e_C ელემენტარული შეცდომების მნიშვნელობებს განსაზღვრავენ ექსპერიმენტული გზით. მათი ოდენობა დამოკიდებულია კუთხის გაზომვის ხერხსა და გარემო პირობებზე.

ელემენტარული შეცდომების განსაზღვრის მრავალი ხერხია ცნობილი (პროფ. ი. ბაუმანის, დოც. მ. გუსევის, ბელოლიკოვის და სხვ.). გავარჩიოთ პროფ. ი. ბაუმანის ხერხი.

შეარჩევენ სამთო გამონამუშევარს და დაახლოებით ისეთ გარემო პირობებს, როგორსაც მოელიან დაპროექტებული მარკშეიდერული სამუშაოების განხორციელების დროს და დაამაგრებენ კუთხეს დაახლოებით ტოლი გვერდებით. ზომავენ ამ კუთხეს სამ სერიად.

პირველ სერიაში მრავალჯერ ზომავენ კუთხეს სიგნალებისა და ინსტრუმენტების დაცენტვრის შეუცვლელად. კუთხის მრავალი განაზომიდან გამოითვლიან მის უალბათეს სიდიდეს, შემდეგ ერთი განაზომის (m_{β_1}), ანუ კუთხის საკუთრივ გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის m_i მნიშვნელობას.

მეორე სერიაში იმავე წესით აწარმოებენ კუთხის მრავალჯერ გაზომვას, მხოლოდ კუთხის ცალკეული გაზომვის დამთავრებისას უძრავად ტოვებენ თეოდოლიტს და ერთ-ერთ სიგნალს, მეორე სიგნალს კი ხელახლა ცენტრავენ. პირველი სერიის მსგავსად გამოითვლიან ერთი განაზომის საშუალო კვადრატულ შეცდომას. მასში, ცხადია, შევა კუთხის საკუთრივ გაზომვის საშუალო კვადრატული m_i შეცდომა და ერთ წერტილში სიგნალის ექსცენტრობით გამოწვეული m_{r_A} შეცდომა, ე. ი.

$$m_{\beta_2} = \pm\sqrt{m_i^2 + m^2_{r_A}}, \tag{5.3.52}$$

საიდანაც სიგნალის დაცენტვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა იქნება

$$m_{r_A} = \pm\sqrt{m^2_{\beta_2} - m_i^2}. \tag{5.3.26}$$

როგორც ვიცით, სიგნალის დაცენტვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა გამოითვლება (21) ფორმულით

$$m_{r_A} = \pm\frac{\rho e_r}{D\sqrt{2}},$$

საიდანაც სიგნალის დაცენტვრის ხაზოვანი ელემენტი იქნება

$$e_r = \frac{m_{r_A} D\sqrt{2}}{\rho}. \tag{5.3.27}$$

მესამე სერიაში იმავე წესით აწარმოებენ კუთხის მრავალჯერ გაზომვას მხოლოდ ყოველი გაზომვის წინ სიგნალებს უძრავად ტოვებენ და თეოდოლიტს კი ხელახლა ცენტრავენ. ასეთ პირობებში განსაზღვრული ყოველი ცალკეული განაზომის საშუალო კვადრატული შეცდომა შეიცავს თეოდოლიტის დაცენტვრის m_C საშუალო კვადრატულ შეცდომას და უკვე ცნობილ m_i-ს, მაშასადამე,

$$m_{\beta_2} = \pm\sqrt{m_i^2 + m_C^2}, \tag{5.3.28}$$

აქედან

$$m_C = \pm\sqrt{m_i^2 - m^2_{\beta_2}}, \tag{5.3.29}$$

ამავე დროს (22) ფორმულის ძალით

$$m_C^2 = \frac{\rho^2 e^2_C}{2D_A^2 D_B^2}(D^2_A + D^2_B - 2D_A D_B \cos M).$$

რადგან, პირობის თანახმად, $D_A = D_B = D$, ამიტომ უკანასკნელი ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$m_C^2 = \frac{\rho^2 e^2_C}{D^2}(1 - \cos M),$$

საიდანაც თეოდოლიტის დაცენტვრის ხაზოვანი ელემენტი იქნება

$$e_C = \frac{m_C D}{\rho\sqrt{2}\sin\frac{M}{2}}. \tag{5.3.30}$$

ელემენტარული შეცდომების ოდენობის დადგენაზე მრავალი მკვლევარი მუშაობდა, მაგრამ მათ მიერ მიღებული შედეგების განზოგადება ვერ მოხერხდა, რადგან ექსპერიმენტები ტარდებოდა სხვადასხვა გარემო პირობებში. მაგალითად, პროფ. ბაუმანმა მიწისქვეშ ერთმინუტიანი სიზუსტის თეოდოლიტის ზონარი შვეულით დაცენტვრისა და კუთხის ერთი ვანმეორებით გაზომვისას მიიღო

$$m_i = \pm 26''; \quad e_r = 1{,}5 \text{ მმ}; \quad e_C = 1{,}3 \text{ მმ}.$$

პროფ ი. ბახურინმა, იკვლევდა რა მარკშეიდერულ გაზომვებში დასაშვები შეცდომების ნორმების საკითხს, დაამუშავა მიწისქვეშა პოლიგონების გაზომილი კუთხეების შედეგები და მიიღო

$$m_i = \pm 25''; \quad e_r = 1{,}5 \text{ მმ}; \quad e_C = 1{,}1 \text{ მმ}.$$

პროფ. ფოქსის გამოკვლევით თვითმცენტრავი იარაღების გამოყენების შემთხვევაში კუთხის გაზომვის ელემენტარული შეცდომები

$$m_i = \pm 9''{,}6; \quad e_r = 0{,}76 \text{ მმ}; \quad e_C = 0{,}5 \text{ მმ}.$$

ს. ფილატოვმა ТГ—1 და ТГ—3 თეოდოლიტებით კუთხეების 838 ორმაგი განაზომების დამუშავების შედეგად მიიღო ინსტრუმენტული შეცდომის შემდეგი მნიშვნელობა:

$$m_i = \pm 14''{,}4.$$

ჰოგრის ბრუნვის ღერძის დახრილობის გავლენა გაზომილ ჰორიზონტულ კუთხეზე. ჰოგრის ბრუნვის ღერძის დახრილობას იწვევს ჰოგრის სადგარების უტოლობა, პოჰოჰიკების უტოლობა და თეოდოლიტის მთავარი ღერძის გადახრა ვერტიკალური მდებარეობიდან.

ინსტრუმენტთმცოდნეობაში მტკიცდება[1], რომ კუთხის გაზომვის შეცდომა, გამოწვეული სადგარებისა და პოჰოჰიკების უტოლობით, ბათილდება, თუ იგი გაზომილია ჰოგრის ორ მდებარეობაში. რაც შეეხება ინსტრუმენტის მთავარი ღერძის დახრილობით გამოწვეულ ჰორიზონტული კუთხის გაზომვის შეცდომას, იგი არ ბათილდება ჰოგრის ორ სხვადასხვა მდებარეობაში გაზომილი ჰორიზონტული კუთხის საშუალო მნიშვნელობით.

აღნიშნული შეცდომა ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს გაზომილ კუთხეზე ციცაბო გვირაბებში ავეგმვის დროს.

შესწორება ჰოგრის ბრუნვის ღერძის დახრილობისათვის წრედის ორ მდებარეობით გაზომილ მიმართულებაში განისაზღვრება ფორმულით

$$U = i\,\mathrm{tg}\,\delta, \tag{5.3.31}$$

სადაც i არის ჰოგრის ბრუნვის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან;

δ — ჰოგრის სამიზნე ღერძის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან.

Δi შესწორება გაზომილ კუთხეში იქნება

$$\Delta i = U_{\text{მ}} - U_{\text{უ}}, \tag{5.3.32}$$

აქ $U_{\text{მ}}$ არის შესწორება წინა მიმართულებაში,

[1] იხ. [54]

U_y — შესწორება უკანა მიმართულებაში.

ჰოგრის ბრუნვის ღერძის დახრის i კუთხე ჰორიზონტთან განისაზღვრება დასადგმელი თარაზოთი. თუ თარაზოს სკალაზე ნული დასმულია შუაში და წარწერები 0-დან ორივე მიმართულებით იზრდება, მაშინ ღერძის დახრა თარაზოს დანაყოფებში იქნება

$$m = \pm \frac{l + r}{2},$$

სადაც l და r არის ბუშტულის მარცხენა და მარჯვენა კიდურა ბოლოების შესაბამისი ანათვლები სკალაზე. l და r ანათვლებს აქვთ პლუსი ნიშანი, თუ ისინი ათვლილია თარაზოს ნულოვანი კვესურის მარცხენა ნაწილში, წინააღმდეგ შემთხვევაში — მინუსი. ამის შესაბამისად m-ის ნიშანი განისაზღვრება $l+r$ ალგებრული ჯამის ნიშნით.

m-ის განსაზღვრა ყოველ მიმართულებაზე სრულდება ორჯერ თარაზოს გადადებით პოჭოჭიკებში. ამ დროს ჰოგრის ღერძის დახრა თარაზოს დანაყოფებში

$$m = \frac{m_1 + m_2}{2},$$

ხოლო ღერძის დახრა სეკუნდებში

$$i = m\tau, \tag{5.3.33}$$

სადაც τ — დასადგმელი თარაზოს ცალი დანაყოფის საფასურია.

შესწორების გამოთვლის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული აგრეთვე დახრის კუთხის ნიშანიც. თუ დამიზნების ხაზი ჰორიზონტზე დაბლაა მიმართული, მაშინ tg δ-ს ეძლევა მინუსი ნიშანი, წინააღმდეგ შემთხვევაში — —პლუსი.

მე-4 ცხრილში მოყვანილია ჰორიზონტულ კუთხეში ჰოგრის ბრუნვის ღერძის დახრილობისათვის შესწორების გამოთვლის მაგალითი [33].

ცხრილი 5.3.4

Δi შესწორების გამოთვლის მაგალითი

დგომის წერტილები	დამზერილი წერტილები	ანათვლები თარაზოზე l	r	$m_{1,2}$	m	δ	tg δ	$i=m\tau$	$U=i$ tg δ	Δi
47	46	+6	−1	2,5	+2,8	+65°17′	+2,17	+56″	+122″	−10,1″
		+7	−1	3,0						
	48	−4	+2	1,0	−0,5	−64°38′	−2,11	−10″	+21″	
		−3	+3	0,0						

შენიშვნა: თარაზოს ცალი დანაყოფის საფასური $\tau=20''$.

მოყვანილი მაგალითიდან ჩანს, რომ დახრილ გვირაბებში ჰოგრის ბრუნვის ღერძის დახრილობით გამოწვეული ჰორიზონტული კუთხის გაზომვის შეცდომა საგრძნობ ოდენობას აღწევს. იგი შეიძლება გამორიცხულ იქნეს განაზომებიდან სათანადო შესწორების შეტანით. მაგრამ უფრო მოხერხებული და მარტივია მისი მოსპობა თვით გაზომვის პროცესში. ამისათვის საკმარისია გაზომვის დროს ჰოგრის ბრუნვის ღერძის ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოყვანა დასადგმელი თარაზოთი.

ჰ. პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების დახრის კუთხის გაზომვის საჭირო სიზუსტის შესახებ

პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების დახრის კუთხეები, გაზომილი ერთი ილეთით, გამოითვლება ფორმულით

$$\delta = \frac{R - L}{2},$$

რომლის საფუძველზედაც განაზომთა შეცდომების თეორია იძლევა დახრის კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის გამოსათვლელ შემდეგ ფორმულას:

$$m_\delta = \pm \sqrt{\frac{m^2_{\text{ა. ე.}} + m^2_{\text{ე}}}{2}}, \tag{5.3.34}$$

სადაც $m_{\text{ა. ე.}}$ და $m_{\text{ე}}$ სიდიდეები იგივეა, რაც (14) და (15) ფორმულებში.

თუ დახრის კუთხე გაზომილია n ილეთით, მაშინ უკანასკნელი ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$m_\delta = \pm \sqrt{\frac{m^2_{\text{ა. ე}} + m^2_{\text{ე}}}{2n}}. \tag{5.3.35}$$

პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების დახრის კუთხეები იზომება ორი მიზნით: 1) გაზომილი ხაზის ჰორიზონტული პროექციების გამოსათვლელად და 2) გაზომილი ხაზის ბოლო წერტილებს შორის აღმატების განსაზღვრისათვის.

ხაზების ჰორიზონტული პროექციების გამოთვლას აწარმოებენ ფორმულით

$$d = L\cos\delta, \tag{5.3.36}$$

სადაც L არის გაზომილი მანძილი, δ — მისი დახრის კუთხე.

თუ ხაზის დახრის კუთხე გაზომილია $\pm m_\delta$ საშუალო კვადრატული შეცდომით, მაშინ ამ მიზეზით მისი ჰორიზონტული პროექციის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$m_d = \frac{\partial (d)}{\partial \delta} \cdot m_\delta'',$$

ანუ

$$m_d = L \sin\delta \frac{m''_\delta}{\rho''}. \tag{5.3.37}$$

აღნიშნული შეცდომის ფარდობითი ოდენობა იქნება

$$\frac{m_d}{L} = \sin\delta \frac{m''_\delta}{\rho''}, \tag{5.3.38}$$

საიდანაც დახრის კუთხის გაზომვის საჭირო სიზუსტე

$$m_\delta'' = \frac{m_d}{L} \cdot \frac{\rho''}{\sin\delta}. \tag{5.3.39}$$

ამრიგად, დახრის კუთხის გაზომვის სიზუსტე დამოკიდებულია ჰორიზონტული პროექციის განსაზღვრის მოცემულ ფარდობით შეცდომასა და დახრის კუთხის ოდენობაზე.

ჰორიზონტული პროექციის განსაზღვრის სიზუსტეზე მოქმედებს აგრეთვე მთელი რიგი სხვა ფაქტორებიც. მათზე შევჩერდებით მანძილების გაზომვის შეცდომათა წყაროების გარჩევის დროს. როგორც ქვემოთ დავინახავთ, მანძილების გაზომვის დროს შეცდომების წყაროების რაოდენობა დაახლოებით 9-ს უდრის. თუ ჩავთვლით, რომ მანძილების გაზომვის ფარდობითმა შეცდომამ მიწისქვეშა საყრდენი ქსელის პოლიგონომეტრიულ სვლებში არ უნდა გადააჭარბოს $\frac{1}{5000}$-ს და გამოვიყენებთ შეცდომათა წყაროების თანაბარი გავლენის პრინციპს, დავადგენთ, რომ შეცდომის თითოეული წყარო არ უნდა გადასცილდეს ზღვარს

$$\Delta l_{\text{ზღვ}} = \frac{1}{\sqrt{9}} \cdot \frac{1}{5000} \approx \frac{1}{15000}.$$

(39) ფორმულაში ნაცვლად $\frac{m_L}{L}$-სა შევიტანოთ $\frac{1}{15000}$, მივიღებთ

$$m''_\delta \leqslant \frac{14''}{\sin\delta}. \qquad (5.3.40)$$

გაზომილი ხაზის ბოლო წერტილებს შორის აღმატება, განსაზღვრული ტრიგონომეტრიული ნიველობით, შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$h = L \cdot \sin\delta + i - v, \qquad (5.3.41)$$

სადაც L არის ხაზის სიგრძე,

δ — მისი დახრის კუთხე,

i — ინსტრუმენტის სიმაღლე,

v — სიგნალის სიმაღლე.

თუ L, δ, i და v ოდენობის გაზომვის საშუალო კვადრატულ შეცდომებს აღვნიშნავთ, შესაბამისად, m_L, m_δ, m_i და m_v ასოებით, მაშინ აღმატების განსაზღვრის m_h საშუალო კვადრატული შეცდომა (41) ფორმულის მიხედვით იქნება

$$m_h = \pm\sqrt{L^2 \cdot \cos^2\delta \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + m_L^2 \sin^2\delta + m_i^2 + m_v^2}, \qquad (5.3.42)$$

სადაც ფესვქვეშა გამოსახულების პირველი წევრი გამოსახავს აღმატების განსაზღვრის m'_h შეცდომას, გამოწვეულს დახრის კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომით, ე. ი.

$$m'_h = L \cos\delta \frac{m''_\delta}{\rho''},$$

საიდანაც ფარდობითი შეცდომა

$$\frac{m'_h}{L} = \cos\delta \frac{m''_\delta}{\rho''}. \qquad (5.3.43)$$

(43) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ აღმატების განსაზღვრის ფარ-

დობითი შეცდომა დახრის კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის პირდაპირპროპორციულია და იზრდება დახრის კუთხის შემცირებასთან ერთად. დახრის კუთხის გაზომვის საჭირო სიზუსტე კი იქნება

$$m''_\delta = \frac{m'_h \rho''}{L\cos\delta}. \qquad (5.3.44)$$

თუ დავუშვებთ, რომ აღმატება უნდა განისაზღვროს 1 : 5000 ფარდობითი შეცდომით და გავითვალისწინებთ მის სიზუსტეზე მოქმედ ოთხ დამოუკიდებელ წყაროს, თანაბარი გავლენის პრინციპის გამოყენებით მივიღებთ

$$\frac{m'_h}{L} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{5000} = \frac{1}{10000}.$$

ამის შესაბამისად (44) ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$m''_\delta \leqslant \frac{21''}{\cos\delta}. \qquad (5.3.45)$$

(45) ფორმულიდან დავასკვნით, რომ აღმატების საჭირო სიზუსტით განსაზღვრისათვის დახრის კუთხე რაც უფრო მცირეა, მით უფრო ზუსტად უნდა გაიზომოს.

(40) და (45) გამოსახულებების მიხედვით სხვადასხვა დახრის კუთხეებისათვის m_δ-ს მნიშვნელობების ცვალებადობა მოცემულია (5) ცხრილში. აქ მეოთხე სვეტში ნაჩვენებია m_δ-ს ზღვრული მნიშვნელობები, რაც დააკმაყოფილებს როგორც ჰორიზონტული პროექციების, ისე აღმატებების განსაზღვრის მოთხოვნილ სიზუსტეს. ასეთი სიზუსტის მისაღწევად საკმარისია დახრის კუთხეები გაიზომოს 30″ სიზუსტით, ერთი ილეთით.

ცხრილი 5.3.5

დახრის კუთხე δ გრადუსებში	ჰორიზონტული პროექციების განსაზღვრისათვის $m_\delta \leqslant \frac{14''}{\sin\delta}$	აღმატებების განსაზღვრისათვის $m''_\delta \leqslant \frac{21''}{\cos\delta}$	დახრის კუთხის გაზომვის დასაშვები ზღვრული შეცდომა, სეკ
1	800	21	21
2	401	21	21
5	161	21	21
10	81	21	21
20	41	22	22
30	28	24	24
40	22	27	22
50	18	32	18
60	16	42	16
70	15	61	15
80	14	121	14

5.4. მანძილების გაზომვა

a. ზოგადი ცნობები

გეოდეზიიდან ცნობილია ხაზების გაზომვის უშუალო (პირდაპირი) და მეშვეობითი (არაპირდაპირი) ხერხები. პირველი სრულდება მექანიკური საზომი ხელსაწყოების საშუალებით — ლითონის ან კვარცის კვერთხებით, ფოლადის ან ინვარის მავთულებით, შტრიხებიანი ბაფთებით, სიგრძის საზომებით და სამიწათმზომო ბაფთებითა და რულეტებით, მეორე კი ფიზიკურ-ოპტიკური ხელსაწყოებით — ოპტიკური, ელექტროოპტიკური და რადიომანძილმზომებით.

ლითონისა და კვარცის კვერთხები გამოიყენება მექანიკური საზომი ხელსაწყოების კომპარირებისათვის, ფოლადის ან ინვარის მავთულები, შტრიხიანი ბაფთები და სიგრძის საზომები — მაღალი სიზუსტის საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების დროს მანძილების გასაზომად, ხოლო სამიწათმზომო ბაფთები და რულეტები კი — ზედაპირულ და მიწისქვეშა თეოდოლიტურ სვლებში, ტახეომეტრიული აგეგმვის დროს, საინჟინრო ნაგებობათა ადგილზე დაკვალვისას და ა. შ.

ოპტიკური მანძილმზომები (ძაფებიანი, ორმაგგამოსახულებიანი) აგებულია გეომეტრიული ოპტიკის პრინციპებზე. ისინი უმთავრესად იხმარება მანძილების გასაზომად დაბალი კლასის პოლიგონომეტრიულ სვლებში, ტახეომეტრიულ და მენზულით აგეგმვისას, დიდი საინჟინრო ნაგებობათა პროექტების ადგილზე დაკვალვის დროს და სხვა [51].

ელექტროოპტიკური და რადიომანძილმზომები დამყარებულია სინათლის ტალღებისა და რადიოტალღების გავრცელების სიჩქარეებზე და გამოიყენება სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელის განვითარების დროს, ადგილობრივი მნიშვნელობის ქსელებში ხაზობრივი გაზომვების წარმოებისათვის, მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის შესაქმნელად და სხვ. აღნიშნული ტალღების გავრცელების იდენტურობის გამო ორ წერტილს შორის მანძილის განსაზღვრისათვის იზომება დროის მცირე შუალედი (t) სინათლის სიგნალის ან ელექტრული სიგნალის გადაცემასა და მიღებას შორის. რადგან t შესაბამისია წერტილებს შორის ორმაგი მანძილისა ($2S$), ამიტომ

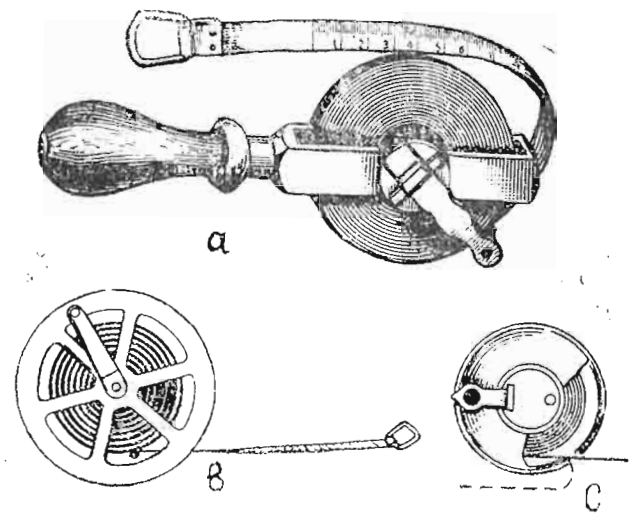
$$s = \frac{vt}{2}, \qquad (5.4.1)$$

სადაც v არის ატმოსფეროში სინათლის ან რადიოტალღის გავრცელების სიჩქარე.

ელექტროოპტიკური და რადიომანძილმზომების საშუალებით მანძილების გაზომვა სრულდება სწრაფად და მაღალი — 1 : 5 000-დან 1 : 400 000-მდე სიზუსტით. იგი საგრძნობლად ადიდებს შრომის ნაყოფიერებას მექანიკურ საზომ ხელსაწყოებთან შედარებით. ამიტომ მანძილების გაზომვის ამ ახალ მეთოდებს გეოდეზიურ-მარკშეიდერულ აგეგმვებში ფართო გამოყენების პერსპექტივა აქვს.

b. მანძილების უშუალოდ გაზომვა

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლებში გვერდების სიგრძეები უმეტესად იზომება უშუალოდ. ძირითად საზომ იარაღად 20, 30 ან 50 მ სიგრძის ფოლადის რულეტი გამოიყენება. იგი 10 მმ სიგანისა და 0,22—0,25 მმ სისქის ფოლადის თხელ ზოლს წარმოადგენს და დახვეულია ორთითაზე, კოჭაზე ან მოწყობილია დახურულ ბუდეში (ნახ. 1 ა, ბ, გ). სახმარად უმჯობესია რულეტი ორთითაზე, რადგან დახურულ ბუდეში გროვდება ტალახი, რომლის მოშორება ძნელია. ორთითაზე დახვეულ საზომს კი მუშაობის შემდეგ წმენ-

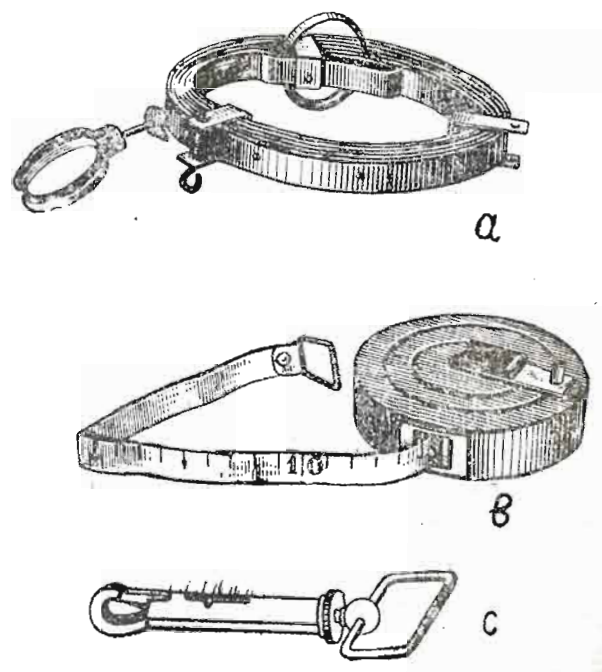


ნახ 5.4.1.

დენ ჩვრით, ზეთავენ და ინახავენ. თანამედროვე ფოლადის რულეტები მთელ სიგრძეზე დაყოფილია სანტიმეტრებად, ხოლო პირველი დეციმეტრის ფარგლებში — მილიმეტრებად.

მანძილების გაზომვა მიწისქვეშ შეიძლება აგრეთვე გეოდეზიიდან ცნობილი 20 მ სიგრძის ფოლადის ბაფთით (ნახ. 2ა). მისი გამოყენება მიზანშეწონილია მაშინ, როდესაც ხაზი იზომება გვირაბის იატაკზე.

დეტალური აგეგმვისათვის მეტად მოხერხებულია 5 — 10 მ სიგრძის ტილოს ხვეულას გამოყენება (ნახ. 2ბ).



ნახ. 5.4.2.

გაზომვის სიზუსტეზე დიდ გავლენას ახდენს საზომი ხელსაწყოს თანაბარი დაჭიმვა. საამისოდ გამოიყენება ზამბარიანი დინამომეტრი (ნახ. 2გ).

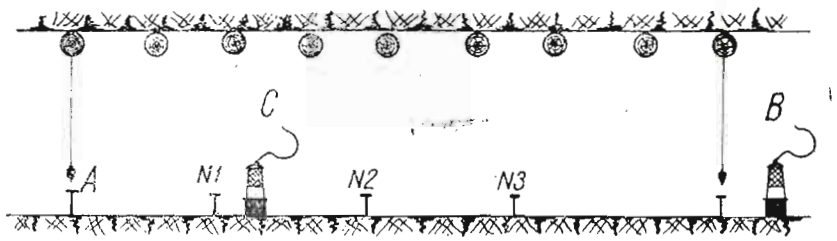
c. საზომი ხელსაწყოს სიგრძის შემოწმება (კომპარირება)

მანძილების გაზომვის წინ ყოველი საზომი ხელსაწყო უნდა შემოწმდეს, რაც გულისხმობს მის შედარებას ნორმული ფოლადის რულეტთან. ეს უკანასკნელი დროგამოშვებით შედარებული უნდა იქნეს აგრეთვე ნორმულ მეტრთან.

საზომი ხელსაწყოს სიგრძის შემოწმების, ანუ კომპარირების საკითხი განხილულია გეოდეზიის კურსში. აქ შევნიშნავთ მხოლოდ, რომ ყოველ სამთო საწარმოში (ტრესტში, კომბინატში) აუცილებლად უნდა იყოს უბრალო კომპარატორი, რომლის საშუალებით შესაძლებელი იქნება საზომი ხელსაწყოს სიგრძის შემოწმება 1 : 20000 ფარდობითი სიზუსტით. მარკშეიდერულ პრაქტიკაში გავრცელებულია ოთახის, პროფ. ფ. პავლოვის, მიწისქვეშა და სავველე კომპარატორები [31].

d. ჰერის ხაზების გაზომვა გვირაბის იატაკზე

დავუშვათ, რომ გასაზომია მანძილი გვირაბის ჭერში დამაგრებული A და B პუნქტებს შორის (ნახ. 3). ზონარი შვეულების საშუალებით აღნიშნული პუნქტების ცენტრებს აგეგმილებენ გვირაბის იატაკზე და შესაბამის წერტილებს აღნიშნავენ ლურსმნით (ან სხვა ნიშნებით). B პუნქტის უკან ათავსებენ სინათლის წყაროს (აკუმულატორის ნათურას) და საზომ ხელსაწყოს (ბაფთას)



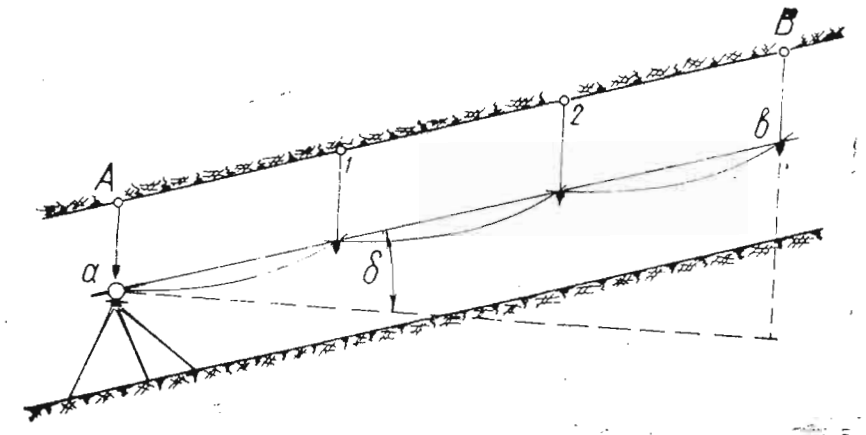
ნახ. 5.4.3.

გაჭიმავენ AB ხაზის გასწვრივ ისე, რომ დანაყოფები იზრდებოდეს A-დან B-კენ. ბაფთის საწყის ნულოვან შტრიხს შეუთავსებენ A წერტილის გეგმილს, ხოლო წინა ბოლოს C და B ნათურების საშუალებით აყენებენ AB ხაზის გასწვრივ. ჭიმავენ ბაფთას და ფოლადის ჩხირის საშუალებით ნიშნავენ მისი ბოლო შტრიხის შესაბამის 1-ლ წერტილს. შემდეგ ბაფთას გადააადგილებენ წინ ისე, რომ მისი უკანა ნულოვანი შტრიხი დაემთხვეს №1 წერტილს, ხოლო წინა ნაწილს ასწორებენ ნათურების დახმარებით AB-ს გასწვრივ, ხელახლა ჭიმავენ მას საჭირო ძალით და აღნიშნავენ მისი ბოლო შტრიხის პირდაპირ № 2 წერტილს და ა. შ. როდესაც უკანასკნელ ჩხირსა და B პუნქტს შორის დარჩება ბაფთის სიგრძეზე ნაკლები მანძილი, მაშინ B პუნქტის პირდაპირ ბაფთაზე იღებენ ანათვალს, რაც მოგვცემს ნაშთის მნიშვნელობას. თუ გვირაბი დამრეცია და მშრალი, მაშინ გაზომვის აღწერილი ხერხი სწრაფია და საკმაოდ ზუსტი. მაგრამ დახრილ და სველ გვირაბებში მისი სიზუსტე სწრაფად მცირდება.

e. მანძილების გაზომვა ფოლადის რულეტით კიდულად

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლებში რეკომენდებულია მანძილები გაიზომოს რულეტით კიდულად, მუდმივი დაჭიმვით, დინამომეტრის გამოყენებით. გაზომვას აწარმოებენ მე-4 ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით.

დავუშვათ, რომ გასაზომია მანძილი A და B პუნქტებს შორის. ამისათვის A წერტილზე პოლიგონის კუთხური ელემენტების გაზომვის შემდეგ ინსტრუმენტის ჰოგრის სამიზნე ღერძს აყენებენ ab ხაზის მიმართულებით, რომლის დახრის კუთხეც იყო გაზომილი, და დაამაგრებენ. AB-ს გასწვრივ ჩამოკიდებენ შუალედ 1-ლ, მე-2, ... შვეულებს იმ ვარაუდით, რომ მათ შორის მანძილი ოდნავ ნაკლები იყოს საზომის სიგრძეზე, თანაც შვეულების ტვირთის ფუძე დაახლოებით ჰოგრის მზერის სხივზე მდებარეობდეს. ცხადია, როცა გვირაბი ჰორიზონტულია, მაშინ შუალედი წერტილების დანიშვნისას ჰოგრს ჰორიზონტულად აყენებენ. ცალკეული ინტერვალების გაზომვისათვის



ნახ. 5.4.4.

დინამომეტრის საშუალებით რულეტს დაჭიმავენ მისი კომპარირების დროს გამოყენებული (10 კგ) ძალით. წინა დამკვირვებელი ათავსებს შვეულის ზონართან რულეტის სანტიმეტრულ ან დეციმეტრულ დანაყოფს და იძახის „არის“. ამ მომენტში უკანა დამკვირვებელი რულეტის ნულოვან ბოლოზე იღებს ანათვალს სანტიმეტრებსა და მილიმეტრებში. კონტროლის მიზნით თითოეულ ინტერვალს ზომავენ 2 — 3 ჯერ. ყოველი ათვლის წინ რულეტს გადაადგილებენ 2—3 სმ-ის ფარგლებში. ანათვალი აიღება ± 1 მმ-ის შეცდომით.

პოლიგონომეტრიული სვლის თითოეული გვერდის სიგრძე უნდა გაიზომოს ორჯერ — წინ და შებრუნებული მიმართულებით. შებრუნებული გაზომვა რეკომენდებულია შესრულდეს თეოდოლიტის B პუნქტზე გადატანის შემდეგ და თან შუალედი წერტილები დაინიშნოს ხელახლა ძველიდან 2—3 მ-ის დაშორებით. ასეთი გზით აცილებული იქნება მიწისქვეშა აგეგმვის ძნელ პირობებში მოსალოდნელი უხეში შეცდომები.

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლებში მანძილების გაზომვებს აწარმოებენ კუთხური გაზომვების თანადროულად. საზომად შეიძლება გამოყენებული იყოს ზემოხსენებული კომპარირებული ფოლადის რულეტები, DA—2 სიგრძესაზომი, საზომი მავთულები, ელექტროოპტიკური მანძილმზომები და

სხვა ხელსაწყოები, რომლებიც საჭირო სიზუსტისაა. საზომს ჰიმავენ კომპარირებისას გამოყენებული ძალით, დინამომეტრის გამოყენებით; ტემპერატურა შეიძლება გაიზომოს $\pm 5°$-ის შეცდომით.

პირველი თანრიგის სააგეგმვო ქსელის სვლებში მანძილები იზომება კომპარირებული ფოლადის რულეტით (ან ბაფთით) პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით; საზომის დაჭიმვა შეიძლება დინამომეტრის გარეშე. მეორე თანრიგის სააკეგმვო ქსელებში მანძილების გაზომვა შეიძლება ფოლადის ან ტილოს რულეტით პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით; ანათვლის აღება საკმარისია ± 1 სმ-ის შეცდომით.

პოლიგონომეტრიულ და სააგეგმვო ქსელებში მანძილების გაზომვისას ერთი და იმავე ხაზის ორ განაზომს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს (1.5.1) ცხრილში მოყვანილ ოდენობას.

ვ. უშუალოდ გაზომილი ხაზის შესწორებების განსაზღვრა

გაზომილ მანძილში საჭიროა შეტანილ იქნეს შესწორებები: 1) ხაზის დახრილობის, 2) ტემპერატურული, 3) კომპარირების, 4) ჩაკიდულობის, 5) დაჭიმულობის.

1) შესწორება ხაზის დახრილობის გამო გამოითვლება ფორმულებით

$$\Delta L = \frac{h^2}{2L} + \frac{h^4}{8L^3} \qquad (5.4.2)$$

ან

$$\Delta L = 2L \sin^2 \frac{\delta}{2}, \qquad (5.4.3)$$

გაზომილი ხაზის ჰორიზონტული პროექცია კი

$$d = L - \Delta L, \qquad (5.4.4)$$

სადაც L არის გაზომილი ხაზის სიგრძე;

δ — მისი დახრის კუთხე;

h — აღმატება.

(2) ფორმულაში მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი სიმცირის გამო პრაქტიკის ბევრ შემთხვევაში შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ

2) ტემპერატურული შესწორება. თუ საზომი ხელსაწყო კომპარირებულია t_0 ტემპერატურის დროს, მანძილების გაზომვა კი წარმოებს t ტემპერატურისას, მაშინ გაზომილ მანძილში უნდა შეტანილ იქნეს შესწორება რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta L_t = \alpha L (t - t_0), \qquad (5.4.5)$$

აქ L გაზომილი მანძილია,

α—საზომი ხელსაწყოს ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი (ფოლადის რულეტისათვის $\alpha = 0{,}0000115$).

სამთო გვირაბებში ტემპერატურის მკვეთრი ცვალებადობა არ ხდება, ამიტომ (5) ფორმულაში $\alpha(t - t_0) = K$ ნამრავლი მუდმივი იქნება და ტემპერატურული შესწორება გამოითვლება ტოლობით

$$\Delta L_t = kL. \qquad (5.4.6)$$

ΔL_t შესწორების ნიშანი განისაზღვრება $t - t_0$ სხვაობის ნიშნით.

3) შესწორება საზომი ხელსაწყოს კომპარირებისათვის შეიტანება კომპარირების მონაცემების საფუძველზე, რაც აღნიშნული უნდა იყოს საზომი ხელსაწყოს პასპორტში.

ყურადღების ღირსია ინჟ. პ. სკიბას წინადადება [70] ტემპერატურული და კომპარირების შესწორებების ერთ ტემპერატურულ შესწორებაში გაერთიანების შესახებ. პრაქტიკის მრავალი ფაქტით დასტურდება, რომ საზომი ხელსაწყოს შესწორება, გამოვლინებული კომპარირების საფუძველზე, უმრავლეს შემთხვევაში ნაწილდება თანაბრად საზომის მთელ სიგრძეზე. ამ გარემოებას თუ მივიღებთ მხედველობაში, შეგვიძლია გავამარტივოთ ტემპერატურული და კომპარირების შესწორებათა გამოთვლა, რისთვისაც საკმარისია განვსაზღვროთ შემოწმებულ (კომპარირებულ) საზომს რა ტემპერატურის დროს ექნება ნომინალური სიგრძე, ხოლო ტემპერატურული შესწორება კი ვიანგარიშოთ ფორმულით

$$\Delta L_t = L\alpha(t - t_0).$$

აქ L არის გაზომილი მანძილი,

t — ჰაერის ტემპერატურა მანძილის გაზომვის დროს,

t_0 — საზომის ის ტემპერატურა, რომლის დროს მას აქვს ნომინალური სიგრძე.

მაგალითი. კომპარირებიო დადგენილია, რომ 20 მ ნომინალური სიგრძის ბაფთას $18°C$ ტემპერატურის დროს აქვს 19,995 მ სიგრძე, ე. ი. საზომის სიგრძე მოკლეა ნომინალურთან შედარებით 5 მმ-ით, რაც ფარდობითს შეცდომაზე გადაყვანით შეადგენს 0,00025-ს. ცხადია, მას ნომინალური სიგრძე ექნება $18° + x$ ტემპერატურის დროს. x გამოითვლება ფორმულით

$$x = \frac{0{,}00025}{\alpha} \cong 23°; \quad (\alpha = 0{,}0000115).$$

მაშასადამე, ბაფთას ნომინალური, ე. ი. 20 მ, სიგრძე ექნება $(18° + 23°) = 41°$ ტემპერატურის დროს, ე. ი. $t_0 = 41°$.

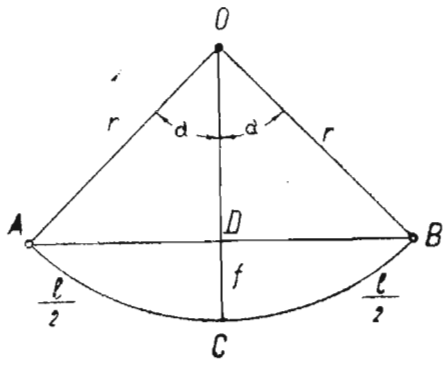
ტემპერატურული და კომპარირების შესწორებების გამოთვლის აღწერილი მეთოდი ჩვენ გამოვიყენეთ პრაქტიკაში ქ. ჭიათურის მიდამოებში შესრულებული ხაზობრივი განაზომების დამუშავების დროს. იგი საკმაოდ ზუსტია და იძლევა დროის საგრძნობ ეკონომიას [22].

4) შესწორება საზომი ხელსაწყოს ჩაკიდულობაზე. ასეთი შესწორების შეტანა საჭირო ხდება იმ შემთხვევაში, როდესაც საზომი ხელსაწყო კომპარირებულია სიბრტყეზე, გაზომვა კი სრულდება კიდულად.

კიდულ მდგომარეობაში საზომი ხელსაწყო ქმნის ე. წ. ჯაჭვურ ხაზს. იგი პარაბოლური მრუდის სახისაა, მაგრამ დაახლოებით შეიძლება განხილულ იქნეს r რადიუსის წრის მონაკვეთად. გაზომვის მომენტისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ჯაჭვური ხაზის ქორდის სიგრძე (ნახ. 5).

ჯერ განვიხილოთ სიმეტრიული ჯაჭვური ხაზის შემთხვევა. ჩვენი მიზ-

ნისათვის საკმარისია ვიგულისხმოთ, რომ საზომი ხელსაწყო წონასწორობის მდგომარეობაშია ერთ სიმაღლეზე მდებარე ბოლოებში მოდებული თანაბარი ძალებით. ამ შემთხვევაში საზომის ACB მრუდი r რადიუსის წრიული რკალია და მას შეესაბამება $AOB=2\alpha$ ცენტრალური კუთხე. აღნიშნული რკალი ხასიათდება ე. წ. ჩაკიდულობის (ჩაღუნვის) f ისრით.



ნახ. 5.4.5.

თუ შესწორებას საზომის ჩაკიდულობაზე აღვნიშნავთ Δl-ით, საძიებელი AB ქორდის სიგრძე იქნება

$$\overline{AB} = l - \Delta l$$

და

$$\Delta l = l - \overline{AB}.$$

მე-5 ნახაზიდან

$$l = 2r\alpha, \qquad (a)$$

$$\overline{AB} = 2r\sin\alpha, \qquad (b)$$

მაშასადამე,

$$\Delta l = 2r(\alpha - \sin\alpha).$$

თუ დავშლით $\sin\alpha$-ს მწკრივად და მხედველობაში მივიღებთ მხოლოდ დაშლის პირველ ორ წევრს, მაშინ

$$\Delta l = 2r\left(\alpha - \alpha + \frac{\alpha^3}{3!}\right),$$

$$\Delta l = \frac{r\alpha^3}{3}, \qquad (c)$$

იმავე ნახაზიდან ჩაკიდულობის f ისარი

$$f = OC - OD = r - r\cos\alpha = r(1 - \cos\alpha),$$

მაგრამ α კუთხის სიმცირის გამო

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2} + \cdots,$$

ამიტომ

$$f = \frac{r\alpha^2}{2}. \qquad (d)$$

(c) გამოსახულება გარდაიქმნება შემდეგნაირად:

$$\Delta l = \frac{r\alpha^3}{3} = \frac{r\alpha\cdot r\alpha^2}{3\cdot r\alpha} = \frac{(r\alpha^2)^2}{3r\alpha}.$$

(a) და (d) ფორმულების მხედველობაში მიღების შემდეგ უკანასკნელი გამოსახულება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\Delta l = \frac{(r\alpha^2)^2}{3r\alpha} = \frac{(2f)^2}{3\dfrac{l}{2}},$$

$$\Delta l = \frac{8f^2}{3l}. \qquad (5.4.7)$$

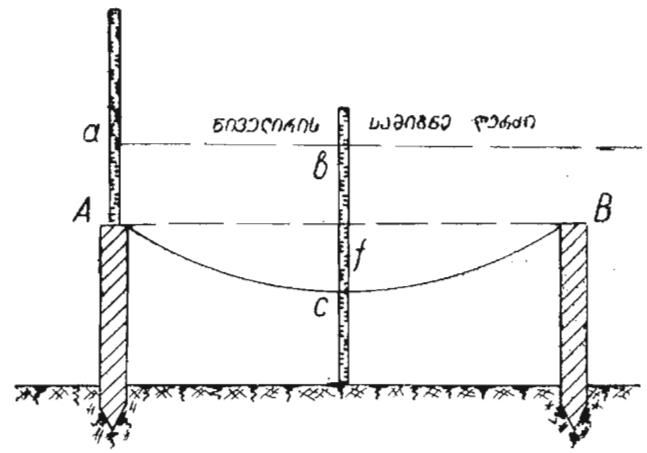
(7) ფორმულით საზომის ჩაკიდულობის შესწორების გამოსათვლელად საჭიროა ჩაღუნვის f ისრის ცოდნა. ამ მიზნით ზედაპირზე ერთ დონეზე ამაგრებენ A და B პალოებს. მანძილი მათ შორის უნდა იყოს საზომი ხელსაწყოს სიგრძის ტოლი (ნახ. 6). პალოებს შორის გაჭიმავენ საზომს დინამომეტრის საშუალებით. ჩაკიდულობის ისარი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$f = b - (a + c), \qquad (5.4.8)$$

სადაც a და b არის ლარტყაზე ნიველირით აღებული ანათვლები;

c — ანათვალი საზომის შუა ადგილზე დაყენებულ ლარტყაზე,

ხშირად საზომის მთელი l სიგრძე არ არის საჭირო გაზომვისას. ასეთ შემთხვევებში უნდა ვიცოდეთ შესწორება გაზომვაში მონაწილე საზომის l_0 მონაკვეთისათვის. საამისო ფორმულის გამოყვანის მიზნით ვისარგებლოთ ჩაკიდულობის ისრის გამოთვლის მექანიკიდან ცნობილი ფორმულით



ნახ. 5.4.6.

$$f = \frac{ql^2}{8p}, \qquad (5.4.9)$$

სადაც q არის საზომის ერთი გრძივი მეტრის წონა;

p — საზომის დაჭიმვის ძალა;

l — საზომის მთელი სიგრძე.

(9) ფორმულის მხედველობაში მიღების შემდეგ (7) გამოსახულებიდან საძიებელი Δl შესწორება საზომის მთელი სიგრძისათვის იქნება

$$\Delta l = \frac{q^2 l^3}{24 p^2}. \qquad (5.4.10)$$

თუ გაზომვაში მონაწილეობს იმავე საზომის l_0 მონაკვეთი, მაშინ

$$\Delta l_0 = \frac{b^2 l_0^3}{24 p^2}.$$

ავიღოთ ფარდობა $\Delta l_0 : \Delta l$, მივიღებთ

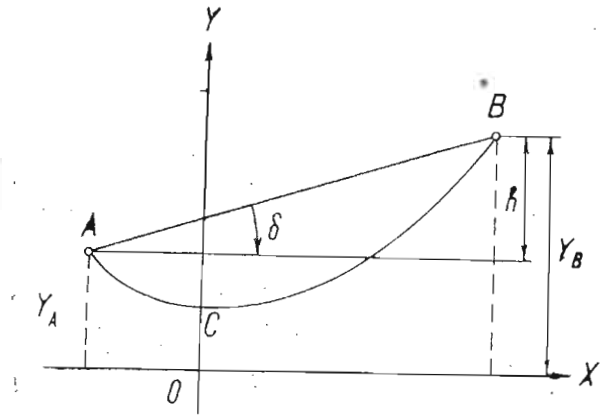
$$\Delta l_0 : \Delta l = \frac{q^2 l_0^3}{24 p^2} : \frac{q^2 l^3}{24 p^2},$$

საიდანაც

$$\Delta l_0 = \Delta l \frac{l_0^3}{l^3}. \qquad (5.4.11)$$

(11) ფორმულით გამოითვლება შესწორება საზომის ცალკეული ნაწილისათვის. თუ საზომი კომპარირებულია კიდულად, P ძალის გამოყენებით, და გაზომვა სრულდება აგრეთვე კიდულად იმავე ძალის გამოყენებით, მაშინ აღნიშნული შესწორების შეტანა საჭირო აღარ არის.

(7), (9) და (11) ფორმულების გამოყვანის დროს ჩვენ ვგულისხმობდით, რომ გასაზომი ხაზი ჰორიზონტულია. დახრილ გვირაბებში საჭიროა იმავე მეთოდით დახრილი ხაზის გაზომვაც. ასეთ შემთხვევაში ჯაჭვური ხაზი ასიმეტრიული ფორმისაა და საჭირო ხდება შესაბამისი შესწორების შეტანაც. თავისი ნიშნით ეს შესწორება ყოველთვის დადებითია. ასეთ პირობებში ჯაჭვური ხაზი მიიღებს ყველაზე უმდაბლესი C წერტილის მიმართ ასიმეტრიულ ფორმას (ნახ. 7). შესწორება ჯაჭვური ხაზის ასიმეტრიულობისათვის გამოითვლება ფორმულით [31]



ნახ. 5,4.7

$$\Delta l_{\text{ასიმ}} = \Delta l \sin^2 \delta \cos \delta. \qquad (5.4.12)$$

აქ Δl არის შესწორება ჩაკიდულობისათვის, როცა საზომი ჰორიზონტულ მდებარეობაშია. იგი გამოითვლება (7) ან (9) ფორმულით;

δ — გასაზომი ხაზის დახრის კუთხე.

მაგალითი. ვთქვათ, გაზომილია $L=40{,}000$ მ მანძილი $l=50$ მ სიგრძის ფოლადის რულეტით, კიდულად. ნორმალური დაჭიმვის დროს $f=0{,}580$ მ, $\delta=30°00'$. განვსაზღვროთ შესწორებები საზომის ჩაკიდულობასა და ასიმეტრიულობაზე.

ამოხსნა. (7) ფორმულის თანახმად, მთელი საზომის შესწორება ჩაკიდულობაზე იქნება

$$\Delta l = \frac{8}{3} \cdot \frac{0{,}580^2}{50} \approx 18 \text{ მმ}.$$

შესწორება $L=40{,}000$ მ მანძილისათვის გამოითვლება (11) ფორმულით

$$\Delta l_0 = \Delta l \frac{40^2}{50^3} \approx 9 \text{ მმ}.$$

შესწორება ჯაჭვური ხაზის ასიმეტრიულობისათვის იქნება

$$\Delta l_{\text{ასიმ}} = 9 \sin^2 30° \cos 30° \approx 2{,}0 \text{ მმ}.$$

ამგვარად, ჯამური შესწორება იქნება

$$(-9+2) = -7 \text{ მმ},$$

ხოლო შესწორებული სიგრძე $L=40{,}000 - 0{,}007 = 39{,}993$ მ.

თუ $L=17{,}000$ მ, საზომის სიგრძე $l=20$ მ, $\delta=30°00'$ და $f=0{,}076$ მ, მაშინ

$$\Delta l = \frac{8}{3} \cdot \frac{0{,}076^2}{20} \approx 0{,}8 \text{ მმ},$$

$$\Delta l_0 = 0{,}8 \frac{17^3}{20^3} \approx 0{,}7 \text{ მმ},$$

$$\Delta l_{\text{ასიმ}} = 0{,}7 \cdot (0{,}5)^2 \cdot 0{,}866 \approx 0{,}2 \text{ მმ}.$$

ჯამური შესწორება იქნება $(-0{,}7+0{,}2) = -0{,}5$ მმ.

მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს, რომ შესწორება ჯაჭვური ხაზის ასიმეტრიულობაზე საგრძნობია მხოლოდ გრძელი საზომის გამოყენების დროს ($l=50$ მ). 20 მ სიგრძის საზომის გამოყენებისას შეიძლება იგი უგულებელვყოთ.

5) შესწორება საზომი ხელსაწყოს დაჭიმულობაზე შეაქვთ გაზომვის შედეგში მაშინ, როდესაც საზომის კომპარირებისას გამოყენებული P_0 დაჭიმვის ძალა განსხვავდება გაზომვის პროცესში გამოყენებული p ძალისაგან. ამ დროს საზომი სიგრძის ცვლილება გამოიანგარიშება ჰუკის ფორმულით

$$\Delta l_e = \frac{l(p-p_0)}{ES}, \qquad (5.4.13)$$

სადაც E არის იუნგის მოდული და ფოლადის რულეტისათვის $=2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²;

S — საზომის განივკვეთის ფართობი, სმ²-ში;

l — საზომის სიგრძე, მ-ში.

ინსტრუქციის თანახმად, საზომის დაჭიმვა გაზომვის პროცესში უნდა მოხდეს იმავე ძალით, რა ძალაც იყო გამოყენებული მისი კომპარირების დროს.

G. მანძილების გაზომვის შეცდომების წყაროები

მიწისქვეშა პოლიგონებში ხაზობრივი გაზომვები ძირითადად წარმოებს ორი ხერხით: რულეტით კიდულად ან ბაფთით გვირაბის იატაკზე. გაზომვებს თან ახლავს უცილობელი შეცდომები; 1) საზომი ხელსაწყოს სიგრძის, ანუ კომპარირებისა; 2) საზომის ტემპერატურის არაზუსტად გაზომვის; 3) საზომის ჩაკიდულობის გაზომვის; 4) საზომის დაჭიმვის; 5) ხაზის დასარვის; 6) გასაზომი ხაზის დახრის კუთხის ან მისი ბოლო წერტილებს შორის აღმატების განსაზღვრის; 7) გასაზომი ხაზის ბოლო წერტილების ჭერიდან იატაკზე დაგეგმილების; 8) ანათვლის აღების და სხვა (იატაკის უსწორმასწოროება, წყლის წვეთვა, ჰაერის ნაკადის გავლენა).

შეცდომათა ჩამოთვლილი წყაროები თავიანთი ბუნებით შეიძლება სამ ძირითად ჯგუფად დაიყოს:

1) შემთხვევითი შეცდომები (მაგ., ანათვლის აღების, ტემპერატურის არაზუსტად გაზომვის, წერტილების საზომზე დაგეგმილების შეცდომა);

2) სისტემატური შეცდომები (მაგ., კომპარირების შეცდომა);

3) შეცდომები შემთხვევითი ოდენობით, მაგრამ, სისტემატური ნიშნით (დასარვის შეცდომა, იატაკის უსწორმასწოროების გავლენა).

ცალკეული შეცდომების ოდენობა და ხასიათი დამოკიდებულია გაზომვის პირობებზე. ერთ შემთხვევაში შეცდომა შეიძლება ატარებდეს სისტემა-

ტურ ხასიათს, სხვა პირობებში კი იგი შემთხვევითი ხასიათისა იყოს. მაგალითად, თუ გაზომვის პროცესში საზომის დაჭიმვა სრულდება კომპარირების დროს ნახმარი დაჭიმვისაგან განსხვავებული, მაგრამ მუდმივი ძალით, მაშინ ამ მიზეზით გამოწვეული შეცდომა იქნება სისტემატური ხასიათის, მაგრამ თუ საზომის დაჭიმვის ძალა ხან მეტია და ხან ნაკლები კომპარირებისას ხმარებულ დაჭიმვაზე, მაშინ ასეთი შეცდომა შემთხვევითი ხასიათის იქნება.

როგორც წინა პარაგრაფიდან დავინახეთ, შეცდომების ნაწილი გამოირიცხება სათანადო შესწორებების შეტანით (კომპარირება, დაჭიმულობა, ტემპერატურა, ჩაკიდულობა). გაზომვის შედეგში შესწორების შეტანით გარკვეულ ზღვრამდე ვამცირებთ ამა თუ იმ შეცდომის წყაროს, მაგრამ მთლიანად ვერ გამოვრიცხავთ. ზოგიერთი პრაქტიკული საკითხების გადაწყვეტის დროს საჭიროა ვიცოდეთ, დაახლოებით მაინც, რა სიდიდეს არ უნდა აღემატებოდეს ამა თუ იმ შეცდომის ოდენობა. ასეთი სავარაუდო გამოთვლისათვის თუ გავითვალისწინებთ, რომ მიწისქვეშა საყრდენი ქსელის პოლიგონურ სვლებში ხაზები უნდა გაიზომოს 1 : 5000 ფარდობითი შეცდომით და გამოვიყენებთ შეცდომათა ტოლი გავლენის პრინციპს, მივიღებთ

$$\Delta L_{\text{ბლგრ}} = \frac{1}{\sqrt{9}} \cdot \frac{1}{5000} = \frac{1}{15000}.$$

ამრიგად, თითოეული შეცდომის ოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს გასაზომი ხაზის $\frac{1}{15000}$-დს.

განვიხილოთ შეცდომების თითოეული წყარო.

1) საზომი ხელსაწყოს სიგრძის განსაზღვრის, ანუ კომპარირების შეცდომა სისტემატური ხასიათისაა, ამიტომ მისი გავლენა გაზომილ მანძილზე

$$M_{ს} = m_{ს} \frac{L}{l}, \qquad (5.4.14)$$

სადაც l არის საზომის ნომინალური სიგრძე;

L — გაზომილი მანძილი,

$m_{ს}$ — საზომის კომპარირების შეცდომა.

მარკშეიდერული ინსტრუქციის მიხედვით საზომის კომპარირება უნდა შესრულდეს მისი სიგრძის 1/20 000 ფარდობითი სიზუსტით.

2) საზომის ტემპერატურის არაზუსტად გაზომვის შეცდომა. საზომის ტემპერატურის გაზომვის შეცდომის გავლენა გაზომილ მანძილზე გამოითვლება (5) ფორმულით

$$\Delta L_t = \alpha L (t - t_0),$$

საიდანაც მანძილის გაზომვის M_t შეცდომა, გამოწვეული ტემპერატურის გაზომვის m_t შეცდომით,

$$M_t = \alpha L m_t, \qquad (5.4.15)$$

ხოლო ფარდობითი შეცდომა კი იქნება

$$\frac{M_t}{L} = \alpha m_t.$$

ჩვენს მიერ მიღებული პირობის თანახმად, $\frac{M_t}{L} \leqslant \frac{1}{15\,000}$, ე. ი.

$$0{,}0000115 m_t \leqslant \frac{1}{15\,000},$$

$$m_t \leqslant \pm 5°{,}8\ C.$$

მაშასადამე, მიწისქვეშა აგეგმვისას საზომის ტემპერატურა საკმარისია განისაზღვროს $\pm 5°$-ის სიზუსტით.

3) საზომის ჩაკიდულობის გაზომვის შეცდომა. შესწორება საზომის ჩაკიდულობაზე გამოითვლება (7) ფორმულით

$$\Delta l = \frac{8 f^2}{3 l},$$

საიდანაც ჩაკიდულობის f ისრის m_f შეცდომით განსაზღვრის შემთხვევაში Δl შესწორების გამოთვლის შეცდომა

$$M_{\text{ჩაკ}} = \frac{16 f}{3 l} m_f, \qquad (5.4.16)$$

ხოლო ფარდობითი შეცდომა კი იქნება

$$\frac{M_{\text{ჩაკ}}}{l} = \frac{16 f}{3 l^2} m_f.$$

მაგრამ მიღებული პირობის თანახმად,

$$\frac{M_{\text{ჩაკ}}}{l} \leqslant \frac{1}{15\,000},$$

ამიტომ

$$\frac{16 f}{3 l^2} m_f \leqslant \frac{1}{15\,000},$$

საიდანაც

$$m_f \leqslant \frac{1{,}25 \cdot 10^{-5} l^2}{f}.$$

მაგალითად, თუ $l = 20$ მ-ს და $f = 0{,}080$ მ-ს, მივიღებთ

$$m_f = \pm 6{,}3 \text{ სმ-ს},$$

ე. ი. მოცემულ შემთხვევაში ჩაკიდულობის f ისრის განსაზღვრა საკმარისია ± 6 სმ-ის სიზუსტით.

4) საზომის დაჭიმვის განსაზღვრის შეცდომა. მანძილების გაზომვისას საჭიროა საზომი ხელსაწყო დაიჭიმოს მისი კომპარირებისას გამოყენებული p_0 ძალით. მაგრამ ზოგჯერ $p \neq p_0$, რაც იწვევს საზომის სიგრძის ცვლილებას. დავადგინოთ, რა ზღვრული შეცდომით უნდა განვსაზღვროთ საზომის დაჭიმვის p ძალა გაზომვის პროცესში, რომ სიგრძის შეცდომამ არ გადააჭარბოს დადგენილ ზღვარს. ამისათვის გამოვიყენოთ (13) ფორმულა

$$\Delta l_{\text{დაჭ}} = \frac{l(p - p_0)}{ES} = \frac{l}{ES}\Delta p,$$

საიდანაც საზომის დაჭიმვის P ძალის m_p საშუალო კვადრატული შეცდომით განსაზღვრისას $\Delta l_{\text{დაჭ}}$ შესწორების გამოთვლის შეცდომა

$$M_{\text{დაჭ}} = \frac{l}{ES} m_p, \qquad (5.4.17)$$

ხოლო ფარდობითი შეცდომა კი იქნება

$$\frac{M_{\text{დაჭ}}}{l} = \frac{m_p}{ES}.$$

პირობის თანახმად, $\frac{M_{\text{დაჭ}}}{l} \leqslant \frac{1}{15\,000}$, ამიტომ

$$\frac{m_p}{ES} \leqslant \frac{1}{15\,000}.$$

მაგალითად, თუ $S=4$ მმ²-ს, მაშინ

$$m_p \leqslant 2{,}7 \text{ კგ},$$

ე. ი. საზომის დაჭიმვის ძალა გაზომვის პროცესში არ უნდა განსხვავდებოდეს მისი კომპარირებისას გამოყენებული ძალისაგან 2,5 კგ-ზე მეტად.

გაზომვის პროცესში საზომის დაჭიმვის p ძალის m_p საშუალო შეცდომით გაზომვა იწვევს აგრეთვე ჩაკიდულობის შესწორების არასწორად განსაზღვრას. მაგრამ შესწორება საზომის ჩაკიდულობისათვის მისი დაჭიმვის p ძალისაგან დამოკიდებულებით გამოითვლება (10) ფორმულით

$$\Delta l_{\text{ჩაკ}} = \frac{q^2 l^3}{24 p^2},$$

საიდანაც

$$M_{\text{ჩაკ}} = -\frac{q^2 l^3}{12 p^3} m_p, \qquad (5.4.18)$$

ხოლო ფარდობითი შეცდომა, თუ წილადის წინ მინუს ნიშანს გამოვტოვებთ, იქნება

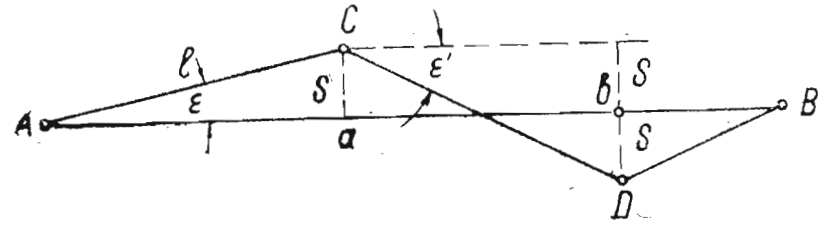
$$\frac{M_{\text{ჩაკ}}}{l} = \frac{q^2 l^3}{12 p^3} m_p.$$

მაგალითად, როდესაც $q=0{,}03$ კგ-ს, $l=20$ მ-ს, $p=10$ კგ-ს და $\frac{M_{\text{ჩაკ}}}{l} \leqslant \frac{1}{15000}$, ვღებულობთ $m_p \leqslant 2{,}2$ კგ-ს. ე. ი. განხილული თვალსაზრისით გაზომვის p ძალა არ უნდა განსხვავდებოდეს საზომის კომპარირების p_0 ძალისაგან 2 კგ-ზე მეტად.

მანძილის გაზომვის სიზუსტეზე საზომის დაჭიმვის შეცდომის მნიშვნელოვანი გავლენის გამო ინსტრუქცია მოითხოვს, რათა მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლებში საზომის დაჭიმვა განხორციელდეს დინამომეტრის გამოყენებით კომპარირებისას ნახმარი p_0 ძალით.

5) ხაზის დასარვის შეცდომა. როდესაც ხაზის სიგრძე საზომი ხელსაწყოს სიგრძეზე რამდენიმეჯერ მეტია, მაშინ საჭირო ხდება გასაზომი AB ხაზის გასწვრივ შუალედი C და D წერტილების დანიშვნა (ნახ. 8).

პირველი AC მონაკვეთის გაზომვის დროს საზომის საწყისი ზუსტად



ნახ. 5.4.8

დევს AB ხაზზე, მეორე ბოლო კი გადახრილია ამ ხაზიდან s მანძილით, ე. ი. ნაცვლად Aa მონაკვეთისა გაიზომება AC. გაზომვის შეცდომა იქნება

$$\Delta l = AC - Aa = l(1 - \cos\varepsilon),$$

$$\Delta l = 2l\sin^2\frac{\varepsilon}{2}.$$

ε კუთხის სიმცირის გამო შეგვიძლია დავწეროთ

$$\Delta l = 2l\frac{\varepsilon^2}{4} = \frac{\varepsilon^2 l}{2}.$$

ε კუთხის რადიანული ზომა იქნება $\frac{\varepsilon}{l}$, ამიტომ

$$\Delta l = \frac{s^2}{2l}. \qquad (5.4.19)$$

როდესაც საზომის ორივე ბოლო გადახრილია AB ხაზიდან სხვადასხვა მხარეს, მაშინ Δl შეცდომა იქნება მაქსიმალური. ამ შემთხვევაში ab ხაზის ნაცვლად გაიზომება CD და გაზომვის შეცდომა

$$\Delta l_1 = CD - ab = l - l\cos\varepsilon_1 = l(1 - \cos\varepsilon_1);$$

$$\Delta l_1 = 2l\sin^2\frac{\varepsilon_1}{2} = 2l\frac{\varepsilon_1^2}{4} = \frac{\varepsilon_1^2}{2}l,$$

$$\varepsilon_1 = \frac{2s}{l},$$

$$\Delta l_1 = \frac{2s^2}{l}. \qquad (5.4.20)$$

ფარდობითი შეცდომა კი იქნება $\frac{\Delta l_1}{l} = \frac{2s^2}{l^2}$. რადგან $\frac{\Delta l_1}{l} \leqslant \frac{1}{15\,000}$, ამიტომ

$$\frac{2s^2}{l^2} \leqslant \frac{1}{15\,000},$$

საიდანაც

$$\frac{s}{l} \leqslant \frac{1}{200}.$$

თუ $l=50$ მ, მაშინ $s=25$ სმ; $l=20$ მ-ის შემთხვევაში კი $s=10$ სმ.

(19) და (20) ფორმულებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მცირეა გასაზომი მონაკვეთის სიგრძე, მით უფრო ზუსტად უნდა მოხდეს მისი დასარვა, თანაც დასარვის შეცდომის გავლენის შესამცირებლად ხელსაყრელია გრძელი საზომის გამოყენება. საყრდენი ქსელის პოლიგონომეტრიულ სვლებში საჭიროა შუალედი წერტილები დაინიშნოს თეოდოლიტის საშუალებით,

მარკშეიდერული ინსტრუქციის თანახმად, დასარვის ხაზობრივი შეცდომა არ უნდა აღემატებოდეს $\pm$ 10 სმ-ს.

6) გასაზომი ხაზის დახრის კუთხისა ან მისი ბოლო წერტილებს შორის აღმატების არაზუსტად განსაზღვრის შეცდომა. თუ როგორ გავლენას ახდენს დახრის კუთხის გაზომვის შეცდომა ჰორიზონტული პროექციისა და აღმატების განსაზღვრის სიზუსტეზე, წინა პარაგრაფში გვქონდა გარჩეული [იხ. (5.3.40) და (5.3.44) ფორმულები]. ხშირად ხაზის ჰორიზონტული პროექციის განსაზღვრისათვის ზომავენ არა დახრის კუთხეს, არამედ აღმატებას მის ბოლო წერტილებს შორის და შესწორებას ხაზის დახრილობისათვის ანგარიშობენ ფორმულით

$$\Delta L = \frac{h^2}{2L}, \qquad (5.4.21)$$

ხოლო ჰორიზონტულ პროექციას კი გამოსახულებიდან

$$d = L - \Delta L, \qquad (5.4.22)$$

სადაც h არის გაზომილი ხაზის ბოლო წერტილებს შორის აღმატება,

L — გაზომილი მანძილი.

თუ m_h-ით აღვნიშნავთ აღმატების განსაზღვრის საშუალო კვადრატულ შეცდომას, მაშინ ამ მიზეზით ჰორიზონტული პროექციის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა იქნება

$$m_d = \frac{h}{L} m_h, \qquad (5.4.23)$$

ხოლო მისი ფარდობითი ოდენობა

$$\frac{m_d}{L} = \frac{h}{L^2} m_h.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\frac{m_d}{L}$ არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ ზღვარს, მაშინ $L=20$ მ სიგრძის შემთხვევისათვის მივიღებთ

$$m_h \leqslant \frac{L^2}{15000h} \leqslant \frac{27}{h} \text{ მმ} \qquad (5.4.24)$$

(აქ h მეტრების რაოდენობაა).

(1) ცხრილში მოცემულია m_h-ის ზღვრული მნიშვნელობები, გამოთვლილი (24) ფორმულით, როდესაც $L=20$ მ-ს.

ცხრილი 5.4.1

h, მ	m_h, მმ	h, მ	m_h, მმ	h, მ	m_h, მმ
0,5	54	2,0	13	3,5	7
1,0	27	2,5	11	4,0	6
1,5	18	3	9	5	5

როგორც (1) ცხრილიდან ჩანს, რაც უფრო მეტია წერტილებს შორის აღმატება, მით მეტი სიზუსტით უნდა მოხდეს მისი განსაზღვრა.

7) ხაზის ბოლო წერტილების არაზუსტად დაგეგმილება საზომზე. პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების სიგრძის გაზომვისას გვირაბის ჭერზე დამაგრებული პუნქტების საზომზე დაგეგმილება უმეტესად წარმოებს ზონარი შვეულით. მაგრამ შვეულის ზონარის ღერძი არ ემთხვევა ხოლმე მარკშეიდერული ნიშნის ცენტრს; საზომის ზონართან შეხება იწვევს შვეულის რხევას; ჰაერის ნაკადის დაწოლით შვეული იხრება ვერტიკალურიდან და სხვ. აღნიშნული მიზეზების გამო გაზომილ მანძილში დაშვებული შეცდომები უმთავრესად შემთხვევითი ხასიათისაა. მათი ოდენობა დამოკიდებულია გაზომვის პირობებზე და პრაქტიკის მონაცემების მიხედვით იცვლება 1 მმ-დან 2—3 მმ-მდე.

განხილული შეცდომის წყაროს შესამცირებლად რეკომენდებულია: 1) მარკშეიდერული ნიშნის ნასვრეტის შემცირება; 2) ოპტიკური შვეულის გამოყენება; 3) გრძელი (30—50 მ) საზომის გამოყენება; 4) მანძილების გაზომვა შტატივებზე დაყენებულ სამიზნეებს შორის; 5) გაზომვის პროცესში ვენტილატორის დროებით გამორთვა.

8) შეთავსების ან ანათვლის აღების შეცდომები შემთხვევითია როგორც სიდიდით, ასევე ნიშნით, ამიტომ მათი გავლენა იმდენად საგრძნობი არ არის. ანათვლის აღების საშუალო კვადრატული შეცდომის ოდენობა დამოკიდებულია საზომის ცალი დანაყოფის საფასურზე და მისი გავლენა გაზომილ მანძილზე გამოისახება ფორმულით [50]:

$$M_0 = \frac{m_{ა.ღ}\sqrt{2n}}{\sqrt{K}}, \qquad (5.4.25)$$

სადაც $m_{ა.ღ}$ არის ანათვლის დამრგვალების ან შეთავსების შეცდომა,

K — ანათვლების რაოდენობა,

n — ინტერვალების რიცხვი.

ანათვლის დამრგვალების ან შეთავსების შეცდომა საზომის სანტიმეტრებიანი დანაყოფების შემთხვევაში დაახლოებით უდრის 0,2—0,3 სმ-ს.

ანათვლის დამრგვალებისა და შეთავსების შეცდომები შეიძლება შემცირდეს გრძელი საზომის გამოყენებით ან შტატივებზე მოწყობილ სამიზნეებს შორის გაზომვით. იგი ავრეთვე საგრძნობლად მცირდება საზომის ბოლოებზე ანათვლების განმეორებით აღების შემთხვევაში.

ხაზების გაზომვის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს აგრეთვე წყლის წვეთვა,

საზომის გაჭუჭყიანება, ცუდი განათება, იატაკის უსწორმასწორობა და სხვა მიზეზები. მათი გავლენის შესამცირებლად საჭიროა გრძელი საზომის გამოყენება და მანძილების გაზომვა სამიზნეებს შორის შტატივებზე კიდულად.

h. ნებისმიერი ხაზის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის ზოგადი ფორმულა. ხაზობრივი განაზომების დამუშავება

წინა პარაგრაფში დავადგინეთ, რომ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში მანძილების გაზომვის შეცდომების ნაწილი შემთხვევითი ხასიათისაა როგორც ოდენობით, ისე ნიშნით. ზოგი შემთხვევითია ოდენობით, მაგრამ ნიშნით მუდმივია, ზოგი კი სისტემატურ ხასიათს ატარებს. გამოვიყენოთ განაზომთა შეცდომების თეორიის დებულებები და დავადგინოთ ხაზების გაზომვის დროს შეცდომების დაგროვების ზოგადი კანონი [50].

L-ით აღვნიშნოთ გასაზომი ხაზის სიგრძე;

l — საზომი ხელსაწყოს სიგრძე;

n — გასაზომ ხაზზე საზომით მოზომვათა რიცხვი;

m_e — საზომი ხელსაწყოს ერთჯერ გადადების შემთხვევითი შეცდომა;

m_L —მანძილის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა.

ხაზის სიგრძე გამოითვლება ფორმულით

$$L=l+l+\cdots+l=nl, \qquad (a)$$

საიდანაც

$$m_L = \pm m_l\sqrt{n}. \qquad (b)$$

(*a*) ტოლობიდან

$$n=\frac{L}{l},$$

ამიტომ

$$m_L = \pm \frac{m_l}{\sqrt{l}}\sqrt{L}. \qquad (c)$$

აღვნიშნოთ

$$\pm \frac{m_l}{\sqrt{l}} = \pm \mu, \qquad (5.4.26)$$

მივიღებთ

$$m_L = \pm\mu\sqrt{L}. \qquad (5.4.27)$$

როგორც ვხედავთ, ხაზების გაზომვის შემთხვევითი შეცდომები იზრდება მათი სიგრძეებიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულად.

თუ მივიღებთ, რომ L უდრის ერთს, მაშინ

$$m_L = \pm \mu,$$

ე. ი. μ არის გამოყენებული საზომი ხელსაწყოსა და გაზომვის პირობებისათვის საზომის ერთეულზე მოსალოდნელი შემთხვევითი ხასიათის გავლენის საშუალო კვადრატული შეცდომა. მას შემთხვევითი გავლენის კოეფიციენტს უწოდებენ. μ-ს სიდიდე დამოკიდებულია საზომის სახეობასა და

სიგრძეზე, გარემო პირობებზე, გაზომვათა რაოდენობაზე, გაზომვის მეთოდსა და მზომავის გამოცდილებაზე. იგი განისაზღვრება ექსპერიმენტულად და მიღება როგორც კრიტერიუმი ხაზოვანი გაზომვების შეფასების დროს [50].

განვიხილოთ სისტემატური შეცდომების გავლენა ხაზის გაზომვის სიზუსტეზე.

დავუშვათ, რომ σ არის საზომის ყოველი გადადების სისტემატური შეცდომა, ხოლო m'_L — გასაზომი ხაზის სისტემატური შეცდომა. რადგან

$$L=l+l+\cdots+l=nl,$$

ამიტომ

$$m'_L=\sigma+\sigma+\cdots+\sigma=n\sigma.$$

თუ უკანასკნელ გამოსახულებაში შევიტანთ n-ის მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$m'_L=\frac{\sigma}{l}L \qquad (5.4.28)$$

აღვნიშნოთ

$$\frac{\sigma}{l}=\lambda, \qquad (5.4.29)$$

მივიღებთ

$$m'_L=\lambda L. \qquad (5.4.30)$$

ამრიგად, სისტემატური შეცდომის გავლენა გაზომილი ხაზის სიგრძის პირდაპირპროპორციულია.

λ არის გამოყენებული საზომისა და პირობებისათვის ზომის ერთეულზე მოსალოდნელი სისტემატური ხასიათის გავლენის საშუალო კვადრატული შეცდომა. მას სისტემატური გავლენის კოეფიციენტს უწოდებენ.

შემთხვევითი და სისტემატური გავლენის μ და λ კოეფიციენტები განისაზღვრება ექსპერიმენტული გზით და გამოიყენება ცალკეულ პირობებში სხვადასხვა საზომი ხელსაწყოთი ხაზების გაზომვის დროს დასაშვები შეცდომის ნორმების დასადგენად.

ხაზის გაზომვის ჯამური შეცდომა, გამოწვეული შემთხვევითი და სისტემატური შეცდომების ერთობლივი გავლენით, (27) და (30) ფორმულების საფუძველზე იქნება

$$M_L = \pm \sqrt{\mu^2L+\lambda^2L^2}. \qquad (5.4.31)$$

(31) ფორმულაში გათვალისწინებულია გასაზომი ხაზის სიგრძეზე დამოკიდებული შეცდომები, მაგრამ არის შეცდომები, რომლებიც არ არიან დამოკიდებული ხაზის სიგრძეზე (ანათვლის აღებისა და წერტილების საზომზე დაგეგმილების შეცდომები). ასეთი შეცდომების მხედველობაში მისაღებად (31) ფორმულაში შეყავთ მესამე წევრი r, რომელიც წარმოადგენს გაზომვის საშუალო კვადრატულ შეცდომას, დამოუკიდებელს გასაზომი ხაზის სიგრძისაგან. ამ გარემოების მხედველობაში მიღების შემდეგ (31) ფორმულა დაიწერება შემდეგნაირად:

$$M_L = \pm \sqrt{\mu^2L+\lambda^2L^2+r^2}. \qquad (5.4.32)$$

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ ქსელებში მარკშეიდერული ინსტრუქციით რეკომენდებული μ და λ კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოცემულია (2) ცხრილში.

ცხრილი 5.4.2

გვირაბები 15°-ზე ნაკლები დახრით		გვირაბები 15°-ზე მეტი დახრით	
μ	λ	μ	λ
0,0005	0,00005	0,0015	0,00010

ზოგჯერ (31) და (32) ფორმულებს შემდეგი სახით წერენ:

$$M_L = a\sqrt{L} + bL, \tag{5.4.33}$$

$$M_L = a\sqrt{L} + bL + c. \tag{5.4.34}$$

აქაც a, b და c კოეფიციენტები შინაარსით იგივეა, რაც μ, λ და r.

ხაზობრივი განაზომების დამუშავება. როგორც გავეცანით გაზომილ მანძილში შეიტანება შესწორებები კომპარირების, ტემპერატურის, ჩაკიდულობის, რის შემდეგ გამოითვლება მისი ჰორიზონტული პროექცია. მიწისქვეშა საყრდენი ქსელის პოლიგონომეტრიული სვლების გვერდების ჰორიზონტულ d პროექციებში შეტანილი უნდა იქნეს აგრეთვე შესწორებები: 1) საშუალო დონებრივ ზედაპირსა და 2) გაუსის პროექციაზე დაყვანისათვის,

შესწორება ხაზების საშუალო დონებრივ ზედაპირზე დაყვანისათვის გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta l_1 = -\frac{H}{R}d, \tag{5.4.35}$$

სადაც H არის გაზომილი ხაზის **აბსოლუტური** სიმაღლე ბალტიის ზღვის დონიდან,

R — დედამიწის საშუალო რადიუსი.

საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის ფარგლებში Δl_1 შესწორება შეიძლება გამოთვლილ იქნეს შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$\Delta l_1 = -0{,}000157Hd. \tag{5.4.36}$$

Δl_1 შესწორება შეაქვთ მაშინ, როდესაც $H > \pm 600$ მ-ზე; დადებითი H-ის შემთხვევაში Δl_1 შესწორებას აქვს მინუსი ნიშანი, წინააღმდეგ შემთხვევაში (ღრმა შახტების პირობებში) კი პლუსი.

შესწორება გაუსის პროექციაზე დაყვანისათვის საკმარისი სიზუსტით გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta l_2 = \frac{Y_m^2}{2R^2}d, \tag{5.4.37}$$

სადაც Y_m გაზომილი გვერდის საშუალო ორდინატია, კმ-ში,

R — დედამიწის საშუალო სიმრუდის რადიუსი, კმ-ში.

Δl_2 შესწორება შეიტანება პლუსი ნიშნით მხოლოდ მაშინ, როდესაც $Y_m > 90$ კმ-ზე. ხაზობრივი განაზომების დამუშავების შედეგები შეაქვთ სპეციალური ფორმის ჟურნალში, რომლის ნიმუშია (3) ცხრილი.

ცხრილი 5.4.3

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში ხაზობრივი განაზომების დამუშავების ჟურნალის ნიმუში

გვერდების ნუმერაცია	გვერდის ზომიერი აზიმუტი L, გ; დალილი აზიმუტი L, გ; ჰორიზონტი	შესწორებები, მმ-ში								გვერდის ჰორიზონტული პროექცია d, გ	შენიშვნა
		$t°$	ტემპერატურის	ჩაკიდულობის	ორდინატის	აზიმუტის	ნულოვანი ხაზის	ორდინატის	აზიმუტის		
1—2	42,465 30°00′	+10°	+5	—11	—5	+2	—9			36,776	

შენიშვნა: 1. რულეტი 50 +0,006 მ სიგრძისაა, სანტიმეტრული დანაყოფებით, $\alpha = 0{,}0000115$;

2. ტემპერატურა კომპარირებისას $t_0 = +20°$;

3. მთელი რულეტის ჩაკიდულობის ისარი $f = 0{,}580$ მ;

4. აგებვის ჰორიზონტის საშუალო სიმაღლე $H = +650$ მ;

6. აგებვის უბნის საშუალო ორდინატი $Y_m = 100$ კმ.

5.5. პოლიგონომეტრიული ხვლებში კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის ჟურნალი

ტექნიკოსი სტუდენტი ალექსეევის მიერ ნაწილობრივ შევსებული ჟურნალის ნიმუში მოცემულია ცხრილში 5.5.1. ამ ნიმუშის მიხედვით ჟურნალის შევსების წესი ასეთია.

ჟურნალის ზედა ნაწილში ჩაიწერება ინფორმაცია ხვლის ადგილის, ნომრის, თარიღის, ინსტრუმენტის ტიპისა და ნომრის, დამკვირვებლის გვარის შესახებ.

ჟურნალის ძირითად ნაწილში ჩაიწერება ხვლის ელემენტების გაზომვის შედეგები. ჟურნალის ეს ნაწილი ორ ნაწილად იყოფა: მარცხენა ნაწილში ჩაიწერება ანათვლები ჰორიზონტულ წრეზე, მარჯვენა ნაწილში — ანათვლები ვერტიკალურ წრეზე, გაზომილი მანძილები და გვირაბის ზომები.

ანათვლები ჰორიზონტულ წრეზე ჩაიწერება ორ ნახევარტურში. ჯერ ერთ ნახევარტურში ანათვლები ხორციელდება მარცხენა ვერტიკალური ღერძის მიმართულებით (L), შემდეგ მეორე ნახევარტურში — მარჯვენა ვერტიკალური ღერძის მიმართულებით (R). ორივე ნახევარტურში ანათვლები ხორციელდება ჯერ უკანა მიმართულებით, შემდეგ წინა მიმართულებით.

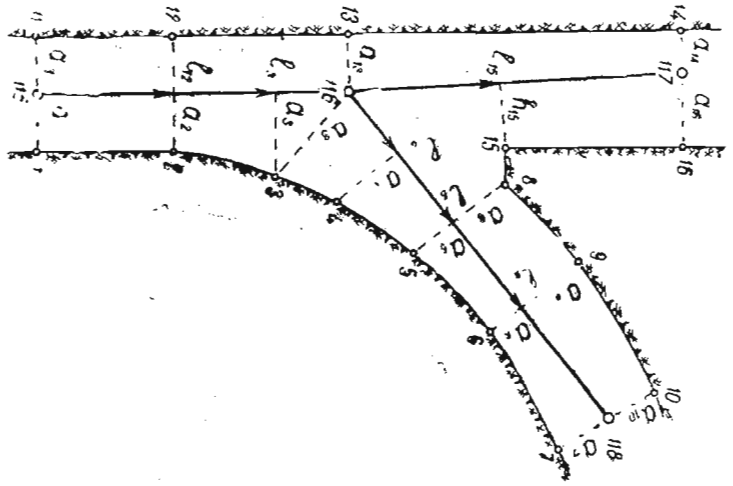
ანათვლები ვერტიკალურ წრეზე ჩაიწერება ერთ ნახევარტურში, ანათვლების ხორციელდება ჯერ ზენიტური მანძილის მიმართულებით, შემდეგ ნადირის მიმართულებით.

ანათვლების ჩაწერის შემდეგ ხორციელდება ანათვლების დამუშავება. ანათვლების დამუშავების ნიმუში მოცემულია ცხრილში 5.5.1.

ანათვლების დამუშავების დროს ჯერ გამოითვლება ნახევარტურებში მიღებული ანათვლების სხვაობა. ეს სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს ინსტრუმენტის სიზუსტის ორმაგ მნიშვნელობას. ამის შემდეგ გამოითვლება ნახევარტურებში მიღებული ანათვლების საშუალო არითმეტიკული. ამ საშუალო არითმეტიკულის გამოთვლისას ანათვლების სხვაობა 180°-ის ტოლი ან მისგან განსხვავებული 180°-ის ჯერადი სიდიდით ითვლება ერთნაირად.

ანათვლების დამუშავების შემდეგ გამოითვლება ჰორიზონტული კუთხეები. ამ კუთხეების გამოთვლა ხორციელდება ანათვლების სხვაობის მიხედვით. ანათვლების სხვაობა ორ ნახევარტურში ერთნაირია, თუ ის ტოლია ან განსხვავებულია 180°-ის ჯერადი სიდიდით. ანათვლების სხვაობა ორ ნახევარტურში განსხვავებულია, თუ ის განსხვავებულია 180°-ის ჯერადი სიდიდით.

ანათვლების სხვაობა ორ ნახევარტურში ერთნაირია, თუ ის ტოლია ან განსხვავებულია 180°-ის ჯერადი სიდიდით. ანათვლების სხვაობა ორ ნახევარტურში განსხვავებულია, თუ ის განსხვავებულია 180°-ის ჯერადი სიდიდით.



ნახ 5.5.1.

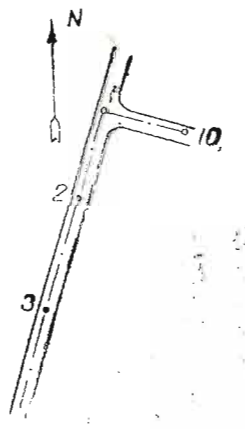
5.6. პოლიგონომეტრიის მასალების კამერული დამუშავება

პოლიგონომეტრიის მასალების კამერული დამუშავება ხდება შემდეგი თანამიმდევრობით: 1) გაზომილ კუთხეთა გაწონასწორება; 2) მანძილების გაანგარიშება დაშვებებზე; 3) პოლიგონომეტრიული სვლის ფარდობითი ცდომილების დაშვებული მნიშვნელობის შერჩევა; 4) კოორდინატთა ნაზრდების გამოთვლა; 5) პოლიგონომეტრიული სვლის ფარდობითი ზომების გაანგარიშება და დასაშვები ზომების შედარება გაანგარიშებულ ფარდობით ზომებთან.

შახტა №5
მუშაობის ადგილი — კაპიტალური კვერშლაგი

ცხრილი 5.5.1
2 თებერვალი, 1975 წ.
დამკვირვებელი გ. კიკაჩეიშვილი
თეოდოლიტი ТТ—5, № 54

წერტილების დგომის	წერტილების დაზვერის	ანათვლები ჰორიზონტულ წრეზე L I	L II	L საშუალო	R I	R II	R საშუალო	კუთხე β	ანათვლები ვერტიკალურ წრეზე I	II	საშუალო	კუთხე δ	გაზომილი მანძილი, მ	გვირაბის ზომები, მ მარცხ. ზევით / ქვევით / მარჯვ.	შენიშვნა და ესკიზი
1	10	00 02 30	02 00	00 02 15									63,150		
								90 04 15					63,151	0,75 0,60 / 1,70 1,50	
	2	90 06 00	06 30	90 06 15	180 10 30	11 30	180 10 45						63,149		
			$\beta' =$	90 04 00					358 30 00 / 1 30 00	31 00 / 30 00	351 30 30 / 1 30 00	+1 29 45	63,150		
2	1	00 03 00	03 00	00 03 00					1 31 00 / 358 30 00	31 00 / 29 00	1 31 00 / 358 29 30	−1 30 45	61,404		
								179 07 22,5					61,403		
	3	179 10 30	11 00	179 10 45	358 18 00	17 30	358 17 45						61,402	0,70 0,50 / 1,65 1,55	
													61,403		
			$\beta' =$	179 07 45					358 45 00 / 1 15 00	45 00 / 16 00	358 45 00 / 1 15 30	+1 15 15			



$\delta_{\text{ა}} = 360°00'15''$

დინატთა ნაზრდებზე; 6) პოლიგონომეტრიის პუნქტების კოორდინატების გამოთვლა; 7) გამონათვალთა გრაფიკულად გამოსახვა.

1) გაზომილ კუთხეთა გაწონასწორების დროს ამოწმებენ საველე ჟურნალებს, ასრულებენ გაზომილ კუთხეთა საშუალო მნიშვნელობების საკონტროლო გამოთვლას და შესაძლო შეცდომების გასწორების შემდეგ ანგარიშობენ თეოდოლიტური სვლის კუთხურ W_β შეუკვრელობას ქვემომოყვანილი ერთ-ერთი ფორმულით:

a) შეკრულ პოლიგონში, რომლის გვერდები არ იკვეთება ან წყვილ რიცხვჯერ იკვეთება

$$W_\beta = \Sigma\beta_{\text{მიგა}} - 180^\circ\ (n-2); \qquad (5.6.1)$$

$$W_\beta = \Sigma\beta_{\text{გარე}} - 180^\circ\ (n+2); \qquad (5.6.2)$$

b) შეკრულ პოლიგონში, რომლის გვერდები კენტ რიცხვჯერ იკვეთება

$$W_\beta = \Sigma\beta - 180^\circ n; \qquad (5.6.3)$$

c) არათავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლაში, რომელიც საწყისსა და ბოლოში ცნობილ (α_A, α_B) დირექციულ კუთხეებს ეყრდნობა

$$W_\beta = \sum_1^n \beta_{\text{გარეც.}} - n180^\circ - (\alpha_B - \alpha_A) - K\cdot 360^\circ \qquad (5.6.4)$$

$$W_\beta = n180^\circ - \sum_1^n \beta_{\text{მარჯვ.}} + -(\alpha_B - \alpha_A) - K\cdot 360^\circ, \qquad (5.6.5)$$

სადაც n არის გაზომილ კუთხეთა რაოდენობა;

$\Sigma\beta$ — გაზომილი (სვლის მარჯვენა ან მარცხენა) კუთხეების ჯამი;

k — მთელი რიცხვი ან ნული.

პოლიგონომეტრიული სვლის კუთხური W_β შეუკვრელობა არ უნდა აღემატებოდეს (1.5.1) ცხრილში მოცემულ დასაშვებ ოდენობას. დასაშვები შეუკვრელობა წონასწორდება სვლის ყველა გაზომილ კუთხეზე თანაბრად და შებრუნებული ნიშნით.

2) მანძილების განაზომების დამუშავებისას გამოითვლიან გაზომილი გვერდის შესწორებულ დახრილ სიგრძეს, რისთვისაც განაზომებში შეიტანენ შესწორებებს საზომის კომპარირებაზე, ტემპერატურაზე, დაჭიმულობასა და ჩაკიდულობაზე. ამის შემდეგ ანგარიშობენ გვერდის ჰორიზონტულ პროექციას (5.3.36) ან (5.4.4) ფორმულებით.

აღნიშნულის გარდა, მაღალი სიზუსტის პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების ჰორიზონტულ პროექციებში შეაქვთ შესწორებები საშუალო დონებრივ ზედაპირსა და გაუსის პროექციაზე დაყვანისათვის [იხ. (5.4.35) და (5.4.37) ფორმულები].

3) დირექციული კუთხეებისა და რუმბების გამოთვლა. პოლიგონის ერთ-ერთი გვერდის დირექციული კუთხითა და შესწორებული β კუთხეებით გამოითვლიან დანარჩენი გვერდების დირექციულ კუთხეებს ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned}\alpha_2 &= \alpha_1 + \beta_{\text{მარცხ.}} - 180^\circ,\\ \alpha_2 &= \alpha_1 + 180^\circ - \beta_{\text{მარჯვ.}}.\end{aligned}\right\} \qquad (5.6.6)$$

გამოთვლილი დირექციული კუთხეები მიწისქვეშა საყრდენ პოლიგონომეტრიულ სვლებში შეიძლება დამრგვალდეს $\pm 10''$ ფარგლებში. რადგან ტრიგონომეტრიულ ფუნქციათა ნატურალური მნიშვნელობანი ან მათი ლოგარითმები ცხრილებში მოცემულია პირველი მეოთხედის კუთხეებისათვის, ამიტომ გამოთვლილი დირექციული კუთხეები გამოსახული უნდა იქნეს შესაბამისი ცხრილური r კუთხით (რუმბით) გეოდეზიიდან ცნობილი წესით.

4) კოორდინატთა ნაზრდების გამოთვლა წარმოებს გეოდეზიიდან ცნობილი ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned}\Delta x &= d\cos r,\\ \Delta y &= d\sin r,\end{aligned}\right\} \qquad (5.6.7)$$

სადაც r არის მოცემული ხაზის დირექციული რუმბი.

კოორდინატთა ნაზრდების გამოთვლას აწარმოებენ ლოგარითმების ან ტრიგონომეტრიულ ფუნქციათა ნატურალური მნიშვნელობების ცხრილებით არითმომეტრის ან სხვა გამომთვლელი მანქანების გამოყენებით.

კოორდინატთა ნაზრდების გამოთვლის საკონტროლოდ გამოიყენება ფორმულები

$$\left.\begin{aligned}\Delta y &= \Delta x \operatorname{tg}\alpha,\\ \Delta x &= \Delta y \operatorname{ctg}\alpha,\end{aligned}\right\} \qquad (5.6.8)$$

სადაც Δx და Δy არის კოორდინატთა ნაზრდები, გამოთვლილი (7) ფორმულებით.

5) პოლიგონომეტრიული სვლის ფარდობითი ხაზოვანი შეუკვრელობის განსაზღვრა. დასაშვები ხაზოვანი შეუკვრელობის განაწილება. შეკრულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში ადგილი უნდა ჰქონდეს ტოლობას:

$$\Sigma\Delta x = 0; \qquad \Sigma\Delta y = 0.$$

მაგრამ ფაქტობრივად, უცილობელ შეცდომათა გამო ვღებულობთ შეუკვრელობებს

$$\Sigma\Delta x = W_x; \qquad \Sigma\Delta y = W_y.$$

თუ პოლიგონომეტრიული სვლა შეკრული არ არის, მაგრამ ორივე მხრივ ეყრდნობა ცნობილ პუნქტებს, მაშინ გამოთვლიან მეორე (მოცემული) პუნქტის კოორდინატებს პირველი (მოცემული) პუნქტის კოორდინატებისა და გამოთვლილი ნაზრდების საშუალებით

$$x_2 = x_1 + \Sigma\Delta x,$$
$$y_2 = y_1 + \Sigma\Delta y..$$

აქაც მივიღებთ შეუკვრელობებს

$$x_2 - (x_1 + \Sigma\Delta x) = W'_x,$$

$$y_2 - (y_1 + \Sigma\Delta y) = W'_y.$$

სვლის აბსოლუტური ხაზოვანი შეუკვრელობა განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$W_s = \pm\sqrt{W^2_x + W^2_y}. \qquad (5.6.9)$$

პოლიგონომეტრიული სვლის ფარდობითი ხაზოვანი Δp შეუკვრელობა უდრის ხაზოვანი შეუკვრელობის ფარდობას სვლის p პერიმეტრთან, ე. ი.

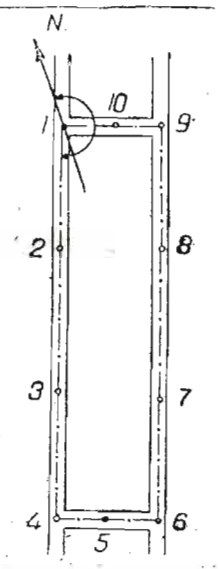
$$\Delta p = \frac{W_s}{p}. \qquad (5.6.10)$$

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების კოორდინატების გამოთვლის უწერნალი

გაზომილი კუთხეები ___ ჟურნალი №_____, გვ_____
ხაზობრივი განაზომების დამუშავება _____ჟურნალი№_____
გამოკ.საველი მონაცემები _____ ჟურნალი №_____

გამომთვლელი_____
თარიღი _____

წერტილების დასახელება	გაზომილი ჰორიზონტული კუთხეები β ° ′ ″	დირექციული კუთხეები, $\alpha_{i+1}=\alpha_i+\beta_i\mp180^\circ$ ° ′ ″	გვერდების ჰორიზონტული პროექციები, d	ნატურალური მნიშვნელობა sin α	cos α	tg α ან ctg α	კოორდინატთა ნაზრდები ± ΔY	± ΔX	ΔX ან ΔY (კონტროლი)	კოორდინატები Y	X	წერტილების №№	შენიშვნა და ესკიზი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10	90 04 −8 15	200 00 00	63,150	0,34202	0,93969	0,36397	— +14 21,599	— −10 59,341	21,598	18300,000	85300,000	1	
	2										278,415	240,649	2	
2	1	179 07 −8 22	199 07 14	61,403	0,32754	0,94484	0,34666	— +14 20,112	— −10 58,016	20,112				
	3										258,317	182,623	3	
3	2	180 10 00 −8	199 17 06	72,010	0,33029	0,94388	0,34992	— +17 23,784	— −12 67,969	23,784				
	4										234,550	114,642	4	
4	3	89 16 −8 00	108 32 58	48,112	0,94805	0,31813	0,33557	+ +11 45,613	− −8 15,306	15,306				
	5										280,174	99,328	5	
5	4	181 17 −8 15	109 50 05	40,180	0,94068	0,33928	0,36068	+ +9 37,797	— −7 13,632	13,633				
	6										317,980	85,689	6	
6	5	89 23 −8 00	19 12 57	58,240	0,32914	0,94428	0,34856	+ +13 19,169	+ −9 54,995	19,169				
	7										337,162	140,675	7	
7	6	180 11 −8 45	19 24 34	67,164	0,33230	0,94317	0,35232	+ +15 22,319	+ −11 63,347	22,318				
	8										359,496	204,011	8	
8	7	179 07 −8 52	18 52 18	70,105	0,31795	0,94811	0,33535	+ +16 22,290	+ −12 66,467	22,290				
	9										381,802	270,466	9	
9	8	91 15 −8 00	289 47 10	44,312	0,94096	0,33851	0,35975	— +10 41,696	+ −8 15,000	15,000				
	10										340,116	285,458	10	
10	9	180 08 −9 52	289 55 53	42,681	0,94011	0,34088	0,36260	— +9 40,125	+ −7 14,549	14,549				
	11										118 300,000	85 500,000	1	
			$p=$	567,357				$\Sigma\Delta y=+147,188$ $-147,316$ $W_y=-0,128$	$\Sigma\Delta x=+214,358$ $-214,264$ $W_x=+0,094$					



$\Sigma\beta_{\text{ა.ა}}=1440^\circ01'21''$
$\Sigma\beta_{\text{თ}}=1440^\circ00'00''$
$\Delta\beta=\Sigma\beta_{\text{ა}}-\Sigma\beta_{\text{თ}}=+1'21''$
$\Delta\beta_{\text{დას}}=\pm45''\sqrt{n}\cong\pm2'20''$
$\frac{\Delta\beta}{10}=-\frac{81''}{10}=-8'',1$

$$W_s=\pm\sqrt{W_x^2+W_y^2}=\pm\sqrt{(0,128)^2+(0,094)^2}=\pm\sqrt{0,0164+0,0058}=\pm\sqrt{0,0252}$$
$$W_s=\pm0,159$$
$$\Delta p=\frac{W_s}{p}=\frac{0,159}{567,357}\leqslant\frac{1}{3500}$$
$$\frac{W_y}{p}=+0,00023;\qquad\frac{W_x}{p}=-0,00017.$$

Δp-ს ზღვრული მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს (1.5.1) ცხრილში მოცემულ ოდენობებს. თუ Δp დასაშვებია, მაშინ კოორდინატთა ნაზრდებში W_x და W_y (W'_x, W'_y) შეუკვრელობები უნდა გაწონასწორდეს ყველა ნაზრდზე შებრუნებული ნიშნით, გვერდების სიგრძის პროპორციულად, ე. ი.

$$\delta_{x_i} = -\frac{W_x}{p} d_i, \qquad \delta_{y_i} = -\frac{W_y}{p} d_i. \tag{5 6.11}$$

შესწორებულ Δx_0, Δy_0 კოორდინატთა ნაზრდებს საზღვრავენ ფორმულებით

$$\Delta x_0 = \Delta x_i + \delta_{x_i},$$
$$\Delta y_0 = \Delta y_i + \delta_{y_i}.$$

6) პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების კოორდინატებს ანგარიშობენ შესწორებული ნაზრდების გამოყენებით გამოსახულებიდან:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x'_{i-1}, \qquad y_i = y_{i-1} + \Delta y'_{i-1}. \tag{5.6.12}$$

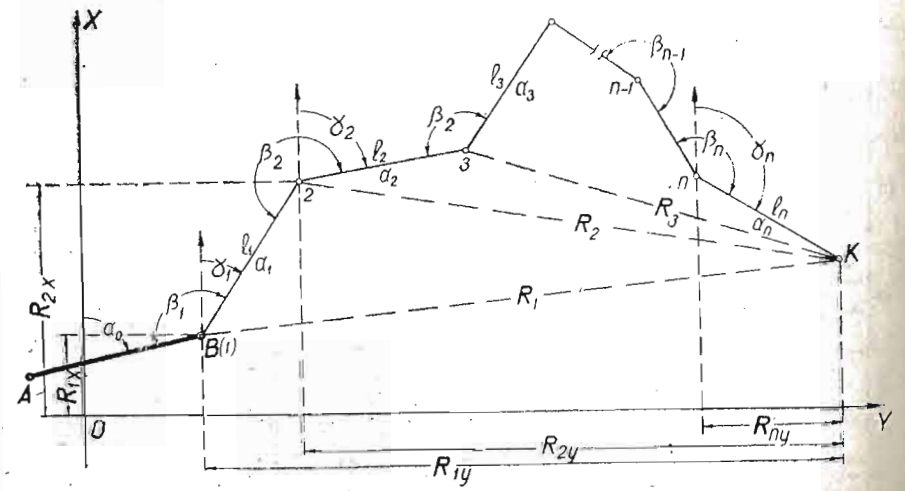
კოორდინატების გამოთვლის შედეგები შეაქვთ სპეციალური ფორმის უწყისში, რომლის ნიმუშია (1) ცხრილი.

7) კოორდინატების გამოთვლის შემდეგ ადგენენ მიწისქვეშა გვირაბების გეგმას მოცემულ მასშტაბში.

5.7. შეცდომების დაგროვება მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში

ა. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის კოორდინატების განსაზღვრის შეცდომა

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება თავისუფალი (კიდული) პოლიგონომეტრიული სვლები. ასეთი სვლები შედარებით ნაკლებად საიმედოა, რადგან არ არის უშუალოდ გაზომილ კუთხეთა და კოორდინატთა ნაზრდების



ნახ. 5,7.1.

გაწონასწორებისა და კონტროლის განხორციელების შესაძლებლობა. მიუხედავად ამისა სხვადასხვა სახის მარკშეიდერული ამოცანების გადაწყვეტის დროს ხშირია თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტებით სარგებლობის შემთხვევები, ამიტომ მარკშეიდერს უნდა შეეძლოს კოორდინატებით განსაზღვრული ნებისმიერი პუნქტის სიზუსტის შეფასება.

სანიმუშოდ ავიღოთ თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლა (ნახ. 1), რომელიც დაყრდნობილია მაღალი სიზუსტით განსაზღვრულ B პუნქტსა და AB გვერდის α_0 დირექციულ კუთხეზე და რომელშიც მოცემულია n რაოდენობის ჰორიზონტული კუთხე (β_1, $\beta_2 \cdots \beta_n$) და იმავე რაოდენობის გვერდების ჰორიზონტული პროექცია (l_1, $l_2 \cdots l_n$). ასეთი სვლის ბოლო K პუნქტის x_K y_K კოორდინატების განსაზღვრის Mx_K, My_K საშუალო კვადრატული შეცდომების გამოსათვლელი ფორმულების გამოსაყვანად ვისარგებლოთ გეოდეზიიდან ცნობილი გამოსახულებით

$$x_K = x_B + l_1 \cos\alpha_1 + l_2 \cos\alpha_2 + \cdots + l_n \cos\alpha_n, \tag{5.7.1}$$

$$y_K = y_B + l_1 \sin\alpha_1 + l_2 \sin\alpha_2 + \cdots + l_n \sin\alpha_n, \tag{5.7.2}$$

სადაც α_1, α_2, $\cdots$, α_n დირექციული კუთხეები ფუნქციებია უშუალოდ გაზომილი β_1, β_2, $\cdots$, β_n კუთხეებისა და გამოითვლება ფორმულით

$$\alpha_i = \alpha_0 + \beta_1 + \beta_2 + \cdots + \beta_i \pm i \cdot 180^\circ. \tag{5.7.3}$$

β_i და l_i არგუმენტის გაზომვის საშუალო კვადრატულ შეცდომებს თუ შესაბამისად m_{β_i} და m_{l_i}-ით აღვნიშნავთ, ხოლო გამოსავალ x_B, y_B და α_0 მონაცემებს, როგორც β_i და l_i თან შედარებით მაღალი სიზუსტის სიდიდეებს, უშეცდომოდ ჩავთვლით, K წერტილის კოორდინატების M_{x_K} და M_{y_K} საშუალო კვადრატული შეცდომები განაზომთა შეცდომების თეორიის ცნობილი ფორმულით[1], (1) და (2) გამოსახულების მიხედვით

$$M^2_{x_K} = \sum_1^n \left(\frac{\partial x_K}{\partial \beta_i}\right)^2 m^2_{\beta_i} + \sum_1^n \left(\frac{\partial x_K}{\partial l_i}\right)^2 m^2_{l_i}, \tag{5.7.4}$$

$$M^2_{y_K} = \sum_1^n \left(\frac{\partial y_K}{\partial \beta_i}\right)^2 m^2_{\beta_i} + \sum_1^n \left(\frac{\partial y_K}{\partial l_i}\right)^2 m^2_{l_i}, \tag{5.7.5}$$

ხოლო K პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის M_K საერთო შეცდომა კი გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$M^2_K = M^2_{x_K} + M^2_{y_K}. \tag{5.7.6}$$

K წერტილის კოორდინატების განსაზღვრის საშუალო კვადრატულ შეცდომებს, გამოწვეულს კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომებისაგან, თუ აღვნიშნავთ, შესაბამისად, M_{x_β}, M_{y_β}, M_{x_l} M_{y_l}-ით, (4) და (5) ფორმულები შემდეგი სახით გადაიწერება:

$$M^2_{x_K} = M^2_{x_\beta} + M^2_{x_l}, \tag{5.7.7}$$

$$M^2_{y_K} = M^2_{y_\beta} + M^2_{y_l}. \tag{5.7.8}$$

განვსაზღვროთ (7) და (8) ფორმულებში შემავალი წევრები.

1) M_{x_β} და M_{y_β}-ს განსაზღვრა. M_{x_β} წარმოადგენს (4) ტოლობის პირველ შესაკრებს, ე. ი.

[1] იხ. [50], გვ. 116.

$$M^2x_\beta=\left(\frac{\partial x_K}{\partial\beta_1}\right)^2 m^2{}_{\beta_1}+\left(\frac{\partial x_K}{\partial\beta_2}\right)^2 m^2{}_{\beta_2}+\cdots+\left(\frac{\partial x_K}{\partial\beta_n}\right)^2 m^2{}_{\beta_n}. \qquad (5.7.9)$$

(9) გამოსახულებაში შემავალი $\frac{\partial x_K}{\partial\beta_i}$ კერძო წარმოებულების მოსაძებნად გამოვიყენოთ (1) ფორმულა, საიდანაც

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\partial x_K}{\partial\beta_1}&=-\left(l_1\sin\alpha_1\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_1}+l_2\sin\alpha_2\frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta_1}+\cdots+l_n\sin\alpha_n\frac{\partial\alpha_n}{\partial\beta_1}\right),\\
\frac{\partial x_K}{\partial\beta_2}&=-\left(l_1\sin\alpha_1\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_2}+l_2\sin\alpha_2\frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta_2}+\cdots+l_n\sin\alpha_n\frac{\partial\alpha_n}{\partial\beta_2}\right),\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
\frac{\partial x_K}{\partial\beta_n}&=-\left(l_1\sin\alpha_1\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_n}+l_2\sin\alpha_2\frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta_n}+\cdots+l_n\sin\alpha_n\frac{\partial\alpha_n}{\partial\beta_n}\right),
\end{aligned}\right\} \qquad (5.7.10)$$

$\frac{\partial\alpha}{\partial\beta}$ წარმოებულები (3) ტოლობის მიხედვით უდრის

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_1}=\frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta_1}=\cdots=\frac{\partial\alpha_n}{\partial\beta_1}=1,\\
&\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_2}=0;\ \frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta_2}=\frac{\partial\alpha_3}{\partial\beta_2}=\cdots=\frac{\partial\alpha_n}{\partial\beta_2}=1,\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\frac{\partial\alpha_1}{\partial\beta_n}=\frac{\partial\alpha_2}{\partial\beta_n}=\cdots=\frac{\partial\alpha_{n-1}}{\partial\beta_n}=0;\ \frac{\partial\alpha_n}{\partial\beta_n}=1.
\end{aligned}\right\} \qquad (5.7.11)$$

კერძო წარმოებულების მნიშვნელობები შევიტანოთ (10) გამოსახულებაში

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\partial x_K}{\partial\beta_1}&=-(l_1\sin\alpha_1+l_2\sin\alpha_2+\cdots+l_n\sin\alpha_n)=-(y_K-y_1),\\
\frac{\partial x_K}{\partial\beta_2}&=-(l_2\sin\alpha_2+\cdots+l_n\sin\alpha_n)=-(y_K-y_2),\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
\frac{\partial x_K}{\partial\beta_n}&=-l_n\sin\alpha_n=-(y_K-y_n).
\end{aligned}\right\} \qquad (5.7.12)$$

$\frac{\partial x_K}{\partial\beta_i}$ მნიშვნელობების ჩასმა (9) ფორმულაში გვაძლევს

$$M^2{}_{x_\beta}=\frac{1}{\rho^2}\sum_1^n(y_K-y_i)^2m^2{}_{\beta_i} \qquad (5.7.13)$$

სავსებით ანალოგიურად მივიღებთ

$$M^2{}_{y_\beta}=\frac{1}{\rho^2}\sum_1^n(x_K-x_i)^2m^2{}_{\beta_i}. \qquad (5.7.14)$$

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში $i=1, 2, 3, \ldots n$. როდესაც β_i კუთხეები გაზომილია ტოლზუსტად, ე. ი. როცა

$$m_{\beta_1}=m_{\beta_2}=\cdots=m_{\beta_n}=m_\beta,$$

ვღებულობთ

$$M^2x_\beta=\frac{m^2{}_\beta}{\rho^2}\sum_1^n(y_K-y_i)^2, \qquad (5.7.15)$$

$$M^2{}_{y\beta}=\frac{m^2_\beta}{\rho^2}\sum_1^n(x_K-x_i)^2. \qquad (5.7.16)$$

პოლიგონომეტრიული სვლის 1, 2, 3, . . ., n წერტილებიდან K პუნქტამდე უმოკლეს მანძილებს თუ აღვნიშნავთ R_1,, R_2, R_3, . . ., R_n ასოებით ხოლო ამ მიმართებების დირექციულ კუთხეებს კი γ_1 γ_2, γ_3, . . ., γ_n-ით, მაშინ (15) და (16) ფორმულები შემდეგი სახით გადაიწერება:

$$M^2{}_{x\beta}=\frac{m^2{}_\beta}{\rho^2}\sum_1^n R^2{}_{i_y}, \qquad (5.7.17)$$

$$M^2_{y_\beta}=\frac{m^2{}_\beta}{\rho^2}\sum_1^n R^2{}_{i_x}, \qquad (5.7.18)$$

სადაც R_{i_y} და R_{i_x} წარმოადგენს R_i მანძილების პროექციებს შესაბამის კოორდინატთა ღერძებზე.

K პუნქტის მდებარეობის საშუალო კვადრატული შეცდომა, გამოწვეული კუთხეების გაზომვის შეცდომებისაგან

$$M^2{}_\beta=M^2{}_{x\beta}+M^2{}_{y\beta}$$

ანუ

$$M^2{}_\beta=\frac{m^2{}_\beta}{\rho^2}\sum_1^n R^2{}_i. \qquad (5.7.19)$$

2) M_{x_l} და M_{y_l}-ის განსაზღვრა. M_{x_l} წარმოადგენს (4) გამოსახულების მეორე შესაკრებს, ე. ი.

$$M^2{}_{x_l}=\left(\frac{\partial x_K}{\partial l_1}\right)^2 m^2{}_{l_1}+\left(\frac{\partial x_K}{\partial l_2}\right)^2 m^2{}_{l_2}+\cdots+\left(\frac{\partial x_K}{\partial l_n}\right)^2 m^2{}_{l_n}. \qquad (5.7.20)$$

$\frac{\partial x_K}{\partial l_i}$ კერძო წარმოებულების მოსაძებნად გამოვიყენოთ (1) ტოლობა, საიდანაც

$$\frac{\partial x_K}{\partial l_1}=\cos\alpha_1,\quad \frac{\partial x_K}{\partial l_2}=\cos\alpha_2,\cdots,\frac{\partial x_K}{\partial l_n}=\cos\alpha_n.$$

$\frac{\partial x_K}{\partial l_i}$ მნიშვნელობების (20) ტოლობაში ჩასმით ვღებულობთ

$$M^2_{x_l} = \sum_1^n m^2_{l_i} \cos^2 \alpha_i. \qquad (5.7.21)$$

ანალოგიურად მიიღება M_{y_l}-ის მნიშვნელობაც

$$M^2_{y_l} = \sum_1^n m^2_{l_i} \sin^2 \alpha_i. \qquad (5.7.22)$$

(21) და (22) ფორმულები გამოსახავს გვერდის გაზომვის მხოლოდ შემთხვევითი m_{l_i} საშუალო კვადრატული შეცდომის გავლენას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$m_{l_i} = \mu\sqrt{l_i}.$$

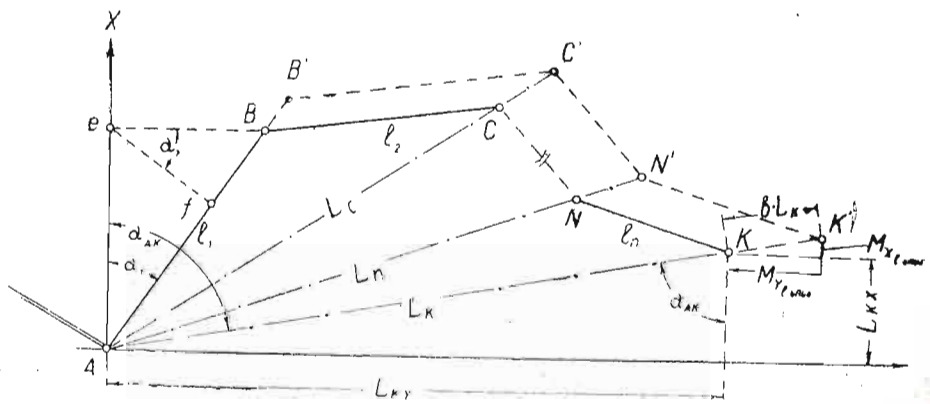
m_{l_i}-ს მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (21) და (22) გამოსახულებებში, მივიღებთ

$$M^2_{x_l} = \mu^2 \sum_1^n l_i \cos^2 \alpha_i, \qquad (5.7.23)$$

$$M^2_{y_l} = \mu^2 \sum_1^n l_i \sin^2 \alpha_i. \qquad (5.7.24)$$

უკანასკნელ ფორმულებში $l_i \cos^2 \alpha_i$ და $l_i \sin^2 \alpha_i$ ოდენობები შეიძლება განისაზღვროს გრაფიკულად გეგმიდან (ნახ. 2). მაგალითად, l_1-სათვის $l_1 \cos^2 \alpha_1 = A f$, $l_1 \sin^2 \alpha_1 = B f$.

გვერდების გაზომვის შემთხვევითი შეცდომების გარდა მხედველობაში



ნახ. 5.7.2

უნდა მივიღოთ სისტემატური შეცდომების გავლენაც. სისტემატური შეცდომების გავლენით $A—B—C—\cdots—N—K$ პოლიგონომეტრიული სვლის თითოეული წვერო გადაადგილდება ამ წვეროების საწყის A წერტილთან შემაერთებელ სწორზე λL_i ოდენობით, სადაც λ სისტემატური გავლენის კოეფიციენტია, ხოლო L_i — უმოკლესი მანძილი სვლის i-ური პუნქტიდან საწყის A პუნქტამდე. პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო K პუნქტიც გადაადგილდება AK ჩამკეტის მიმართულებით $KK' = \lambda L_K$ ოდენობით, ამიტომ სისტემატური შეცდომების გავლენა ბოლო პუნქტის მდებარეობაზე კოორდინატთა ღერძების გასწვრივ იქნება

$$M'_{x_l} = \lambda L_K \cos \alpha_{AK} = \lambda L_{K_x}, \qquad (5.7.25)$$

$$M'_{y_l} = \lambda L_K \sin \alpha_{AK} = \lambda L_{K_y}. \qquad (5.7,26)$$

შემთხვევითი და სისტემატური შეცდომების საერთო გავლენა ბოლო პუნქტის მდებარეობაზე იანგარიშება გამოსახულებიდან

$$M_l^2 = M^2_{x_l} + M^2_{y_l} + M'^2_{x_l} + M'^2_{y_l},$$

ანუ

$$M_l^2 = \mu^2 \sum_1^n l_i + \lambda^2 L^2_K. \qquad (5.7.27)$$

თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის მდებარეობაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე გამოსავალი AB გვერდის α_0 დირექციული კუთხის განსაზღვრის (ორიენტირების) სიზუსტე. აღვნიშნოთ ეს გავლენა კოორდინატთა ღერძების გასწვრივ M'_{x_K} და M'_{y_K}-ით, ირიბი მიმართულებით — M'_K-ით. თუ m_{α_0} იქნება α_0 დირექციული კუთხის საშუალო კვადრატული შეცდომა, მაშინ

$$M'_{x_K} = \frac{\partial x_K}{\partial \alpha_0} \cdot \frac{m_{\alpha_0}}{\rho},$$

$$M'_{y_K} = \frac{\partial y_K}{\partial \alpha_0} \cdot \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}.$$

(1), (2) და (3) გამოსახულებათა გამოყენებით განვსაზღვრავთ რა $\frac{\partial x_K}{\partial \alpha_0}$ და $\frac{\partial y_K}{\partial \alpha_0}$ კერძო წარმოებულებს, მცირეოდენი გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ

$$M'_{x_K} = -\frac{m_{\alpha_0}}{\rho}(y_K - y_1) = -\frac{m_{\alpha_0}}{\rho} R_{1y}, \qquad (5.7.28)$$

$$M'_{y_K} = \frac{m_{\alpha_0}}{\rho}(x_K - x_1) = \frac{m_{\alpha_0}}{\rho} R_{1x}, \qquad (5.7.29)$$

$$M'_K = \sqrt{M'^2_{x_K} + M'^2_{y_K}} = \frac{m_{\alpha_0}}{\rho} R_1. \qquad (5.7.30)$$

როგორც ვხედავთ, თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტეზე მოქმედებს შეცდომათა ოთხი დამოუკიდებელი წყარო: გვერდების გაზომვის შემთხვევითი და სისტემატუ-

რი გავლენის, კუთხეების გაზომვის და გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის შეცდომები. ამის გამო განაზომთა შეცდომების თეორიის საფუძველზე (17), (18), (23), (24), (25), (26), (28) და (29) ტოლობათა შესაბამისად

$$M^2{}_{x_K} = \mu^2 \sum_1^n l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2{}_{Kx} + \frac{m^2{}_\beta}{\rho^2} \sum_1^n R^2{}_{i_y} + \frac{m^2{}_{\alpha_0}}{\rho^2} R^2{}_{1y}, \quad (5.7.31)$$

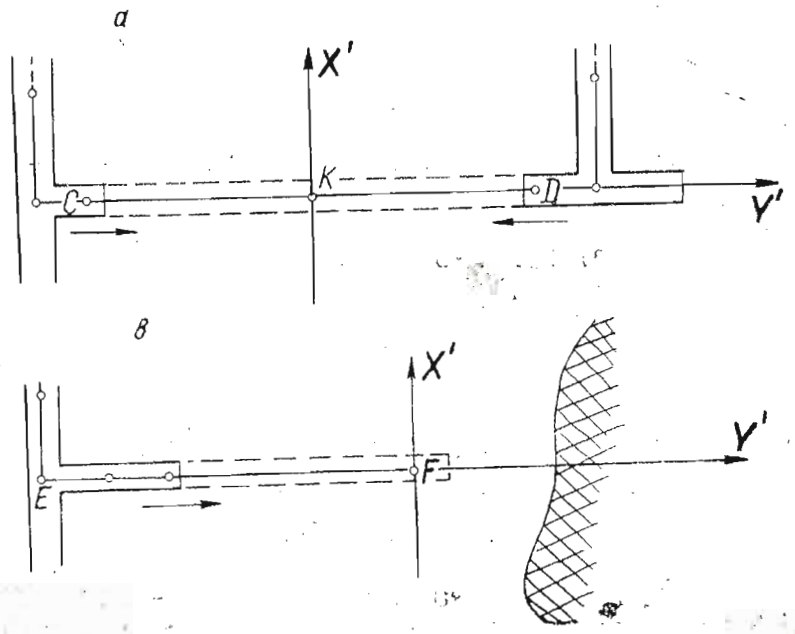
$$M^2{}_{y_K} = \mu^2 \sum_1^n l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2{}_{Ky} + \frac{m^2{}_\beta}{\rho^2} \sum_1^n R^2{}_{i_x} + \frac{m^2{}_{\alpha_0}}{\rho^2} R^2{}_{1x}, \quad (5.7.32)$$

$$M^2{}_K = M^2{}_{x_K} + M^2{}_{y_K} = \mu^2 \sum_1^n l_i + \lambda^2 L^2{}_K + \frac{m^2{}_\beta}{\rho^2} \sum_1^n R^2{}_i + \frac{M^2{}_{\alpha_0}}{\rho^2} R_1{}^2. \quad (5.7.33)$$

აქ L_K—მთელი სვლის ჩამკეტი ხაზია; $i = 1, 2, 3, \cdots, n$. (33) ფორმულით შეიძლება თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი პუნქტის მდებარეობის საშუალო კვადრატული შეცდომის განსაზღვრა.

b. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი პუნქტის მდებარეობის შეცდომა მოცემული მიმართულებით

მარკშეიდერულ პრაქტიკაში ხშირია შემთხვევები, როდესაც საჭიროა განისაზღვროს წერტილის მდებარეობის შეცდომა მოცემული მიმართულებით. მაგალითად, CD გვირაბის შემხვედრი სანგრევებით გაყვანისას (ნახ. 3ª) წინასწარ გაანგარიშებული უნდა იქნეს სანგრევების ურთიერთაცდენის ზღვრული ოდენობა



ნახ. 5.7.3

გვირაბის CD ღერძის მართობული მიმართულებით; როდესაც EF შტრეკი გაყავთ ძველი სამთო სამუშაოების უბნის მიმართულებით, მაშინ საჭიროა განისაზღვროს სანგრევის მდებარეობის შეცდომა EF-ის გასწვრივ (ნახ. 3ᵇ). ასეთი ამოცანების გადაწყვეტისას ხელმძღვანელობენ (31) ან (32) ფორმულით: მხოლოდ წინასწარ ააგებენ ხოლმე კოორდინატთა პირობითს სისტემას, რომლის ერთ-ერთ ღერძს, მაგალითად x'-ს, დაამთხვევენ მოცემულ (საბასუხისმგებლო) მიმართულებას, მის მართობულად გაატარებენ y'-ს. x' მიმართულებით წერტილის მდებარეობის $M_{x'}$ საშუალო კვადრატული შეცდომის გამოსათვლელი ფორმულა, (31) ფორმულის შესაბამისად, ასე დაიწერება:

$$M^2{}_{x'} = \mu^2 \sum_1^n l_i \cos^2 \alpha_i' + \lambda^2 L^2{}_{Kx'} + \frac{m^2{}_\beta}{\rho^2} \sum_1^n R^2{}_{i_{y'}} + \frac{m^2{}_{\alpha_0}}{\rho^2} R^2{}_{1y'}. \quad (5.7.34)$$

K წერტილიდან პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტებამდე R_i მანძილი გეგმილდება არჩეული სისტემის y' ღერძზე, L_K მანძილი x' ღერძზე, ხოლო პირობითი α' აზიმუტი განისაზღვრება x' ღერძის მიმართებიდან გრაფიკულად.

c. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის შეცდომა

პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხე გამოითვლება (3) ფორმულით, საიდანაც

$$m^2{}_{\alpha_i} = \left(\frac{\partial \alpha_i}{\partial \alpha_0}\right)^2 m^2{}_{\alpha_0} + \left(\frac{\partial \alpha_i}{\partial \beta_1}\right)^2 m^2{}_{\beta_1} + \cdots + \left(\frac{\partial \alpha_i}{\partial \beta_i}\right)^2 m^2{}_{\beta_i},$$

მაგრამ

$$\frac{\partial \alpha_i}{\partial \alpha_0} = 1; \quad \frac{\partial \alpha_i}{\partial \beta_1} = \frac{\partial \alpha_i}{\partial \beta_2} = \cdots = \frac{\partial \alpha_i}{\partial \beta_i} = 1,$$

ამიტომ

$$m^2{}_{\alpha_i} = m^2{}_{\alpha_i} + \sum_1^n m^2{}_{\beta_i}, \quad (5.7.35)$$

კუთხეების ტოლზუსტად გაზომვის შემთხვევაში

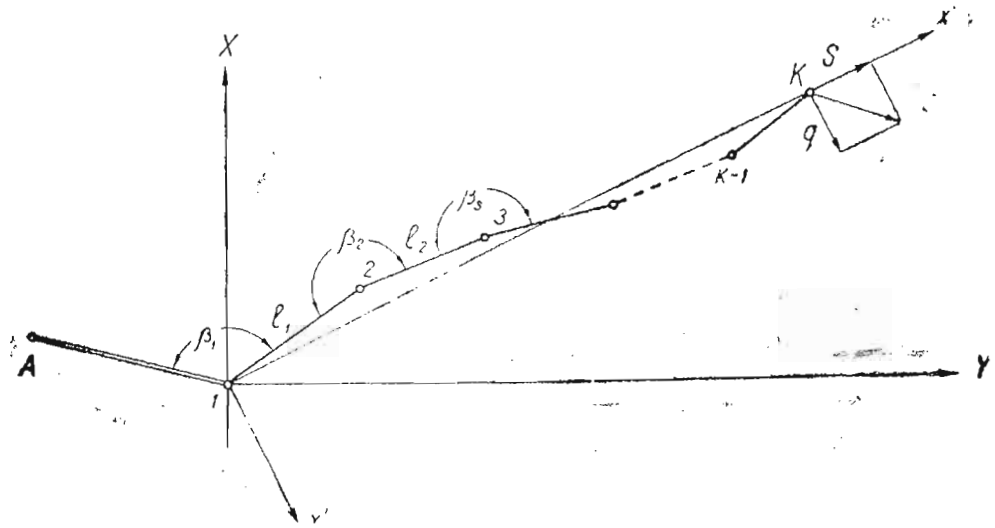
$$m^2{}_{\alpha_i} = m^2{}_{\alpha_0} + i \cdot m^2_\beta, \quad (5.7.36)$$

სადაც i არის α_i-ს გამოთვლაში მონაწილე კუთხეების რიცხვი.

d. შეცდომების დაგროვება გაჭიმულ ტოლგვერდა თავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლაში

ზე-4 ნახაზზე გამოსახულია α_0 დირექციულ კუთხესა და 1-ლ პუნქტზე დაყრდნობილი გაჭიმული $1 — 2 — \cdots — n — K$ პოლიგონომეტრიული სვლა. ასეთი სვლის პუნქტებისათვის დამახასიათებელია განივი და გრძივი შეცდო-

მები (გადაადგილებები). განივი q შეცდომა უმთავრესად კუთხეების შეცდომების, ხოლო გრძივი s შეცდომა გვერდების გაზომვის შეცდომების შედეგია. q და s ოდენობების განსაზღვრა შეიძლება (18), (23) და (24) ფორმულების მი-



ნახ. 5.7.4

ხედვით, თუ მართკუთხა კოორდინატთა პირობითი სისტემის x' ღერძს დავამთხვევთ პოლიგონომეტრიული სვლის მიმართებას. ასეთი გაჭიმული სვლის შემთხვევაში აღნიშნული ფორმულები შემდეგი სახით გადაიწერება:

$$q^2 = M^2 y'_\beta = \frac{m^2_\beta}{\rho^2} \sum_1^n R^2_{ix'}, \tag{5.7.37}$$

$$s^2 = M^2 y'_l + M^2 x'_l = \mu^2 \sum_1^n l_i + \lambda^2 L^2. \tag{5.7.38}$$

გაჭიმული ტოლგვერდა პოლიგონომეტრიული სვლის დროს, როდესაც $l_1 = l_2 = \cdots = l_n = l$, (37) და (38) ფორმულები მარტივდება:

$$q^2 = \frac{m^2_\beta}{\rho^2} [R^2_{1x'} + R^2_{2x'} + \cdots + R^2_{nx'}] =$$

$$= \frac{m^2_\beta}{\rho^2} [n^2 l^2 + (n-1)^2 l^2 + \cdots + 2^2 l^2 + l^2] =$$

$$= \frac{m^2_\beta}{\rho^2} l^2 \ [n^2 + (n-1)^2 + \cdots + 2^2 + 1^2].$$

მაგრამ

$$1^2 + 2^2 + \cdots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} = \frac{n^3 (n+1{,}5)}{3},$$

ამიტომ

$$q^2 = \frac{m^2_\beta}{\rho^2} l^2 n^2 \frac{n+1{,}5}{3} = \frac{m^2_\beta}{\rho^2} L^2 \frac{n+1{,}5}{3}, \tag{5.7.39}$$

სადაც

$$L = nl.$$

გრძივი გადაადგილების გამოსათვლელი (38) ფორმულა ტოლგვერდა გაჭიმული სვლის შემთხვევაში შემდეგ სახეს მიიღებს:

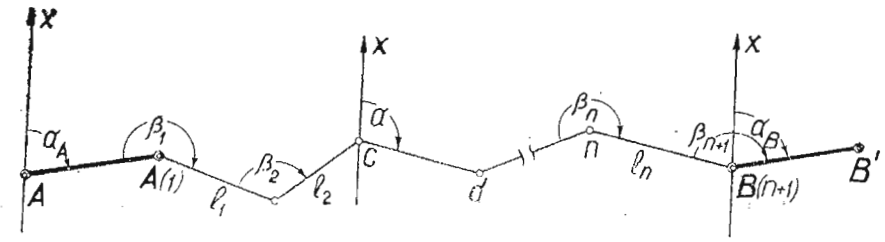
$$s^2 = \mu^2 n l + \lambda^2 n^2 l^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2. \tag{5.7.40}$$

(39) და (40) ფორმულები მიახლოებითია. პრაქტიკაში ზუსტად გაჭიმული, ტოლგვერდა პოლიგონომეტრიული სვლები იშვიათად გვხვდება, მაგრამ როგორც კვლევებით დადასტურდა, ამ ფორმულებით სარგებლობა მაინც შეიძლება, თუ სვლის გვერდებისა და L ჩამკეტის მიმართულებები ერთმანეთისაგან არ განსხვავდება 24°-ზე მეტად. გვერდების სიგრძის უთანაბრობა საგრძნობ გავლენას არ ახდენს პუნქტების გრძივ გადაადგილებაზე [63].

ე. ზოგადი ცნობები მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის გაწონასწორების შესახებ

მიწისქვეშა გვირაბებში პოლიგონომეტრიულ სვლებს აგებენ თანდათანობით სამთო სამუშაოების შესაბამისად. პოლიგონების შეკვრა, სისტემებად გაერთიანება და საყრდენ პუნქტებთან დაკავშირება ხორციელდება ხანგრძლივი დროის გავლის შემდეგ. ზოგჯერ ცალკეული პოლიგონომეტრიული სვლა რჩება თავიუფალი (კიდული)შახტის არსებობის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

5.1 პარაგრაფში აღნიშნული იყო, რომ თავისუფალ შეკრულ და არათავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლებს აქვს ჭარბი გამოსავალი მონაცემები,



ნახ. 5.7.5

მაგალითად, ხისტ A და B პუნქტებსა და ხისტ α_A და α_B დირექციულ კუთხეებს შორის აგებულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში (ნახ. 5) გაზომილია $n+1$ რაოდენობის მარცხენა კუთხე ($\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_{n+1}$) და n რაოდენობის გვერდი ($l_1 l_2, \cdots, l_n$). აღნიშნული სვლის პუნქტების კოორდინატების კონტროლის გარეშე გამოსათვლელად საკმარისია $n-1$ რაოდენობის კუთხისა და $n-1$ რაოდენობის გვერდის გაზომვა. სინამდვილეში გაზომილია ორი ჭარბი კუთხე და ერთი ჭარბი გვერდი, სულ სამი ჭარბი მონაცემი. ჭარბი განაზომების რიცხვის შესაბამისად წარმოიშობა სამი პირობა: ერთი დირექციული კუთხისა და ორი კოორდინატების (აბსცისებისა და ორდინატების).

1) დირექციული კუთხეების პირობა. პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო BB' გვერდის α_B დირექციული კუთხე შეიძლება გამოთვლილ

იქნეს საწყისი AA' გვერდის ხისტი α_A დირექციული კუთხისა და პოლიგონის β' კუთხეებით, გამოსახულებიდან

$$\alpha_B = \alpha_A + \sum_1^{n+1} \beta' - (n+1)\,180^\circ. \tag{5.6.41}$$

პრაქტიკულად, (41) გამოსახულების მარჯვენა ნაწილში თუ შევიტანთ გაზომილ β კუთხეებს, (41) ტოლობა არ დაკმაყოფილდება და წარმოიშობა კუთხური W_β შეუკვრელობა

$$W_\beta = \sum_1^{n+1} \beta - (n+1)\,180^\circ - (\alpha_B - \alpha_A). \tag{5.7.42}$$

2) კ ო ო რ დ ი ნ ა ტ ე ბ ი ს პ ი რ ო ბ ა. უშეცდომო კუთხეებითა და გვერდებით გამოთვლილი კოორდინატთა ნაზრდები უშეცდომო იქნება და აღნიშნულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში დაცული იქნება კოორდინატების შემდეგი პირობები:

$$\left.\begin{aligned} \Sigma\Delta x' &= x_B - x_A, \\ \Sigma\Delta y' &= y_B - y_A. \end{aligned}\right\} \tag{5.7.43}$$

თუ კოორდინატთა ნაზრდებს გამოვთვლით გაზომილი კუთხეებითა (ჩვეულებრივ, კუთხურ შეუკვრელობაზე შესწორებული კუთხეებით) და გაზომილი გვერდებით, (43) პირობა დაირღვევა და წარმოიშობა W_x და W_y შეუკვრელობები

$$\left.\begin{aligned} W_x &= \Sigma\Delta x - (x_B - x_A), \\ W_y &= \Sigma\Delta y - (y_B - y_A). \end{aligned}\right\} \tag{5.7.44}$$

თავისუფალი ჩაკეტილი პოლიგონომეტრიული სვლის შემთხვევაში (ნახ. 5.1.1[ბ]) გვექნება სამი ჭარბი მონაცემი და შესაბამისად, სამი პირობა:

$$\left.\begin{aligned} \Sigma\beta' - (n-2)\,180^\circ &= 0, \\ \Sigma\Delta x' &= 0, \\ \Sigma\Delta y' &= 0, \end{aligned}\right\} \tag{5.7.45}$$

ხოლო შეუკვრელობები

$$\left.\begin{aligned} W_\beta &= \Sigma\beta - (n-2)\,180^\circ, \\ W_x &= \Sigma\Delta x, \\ W_y &= \Sigma\Delta y. \end{aligned}\right\} \tag{5.7.46}$$

როდესაც პოლიგონომეტრიული სვლა აგებულია ორ ხისტ პუნქტს შორის ერთი გამოსავალი დირექციული კუთხით (ნახ. 5.1.1[გ]), გვექნება ორი ჭარბი უანაზომი და, შესაბამისად, კოორდინატების ორი პირობა. თუ სვლა აგებულია ხისტ დირექციულ კუთხეებს შორის ერთი წერტილის გამოსავალი კოორდინატებით, გვექნება მხოლოდ ერთი ჭარბი განაზომი და წარმოიშობა ერთი დირექციული კუთხის პირობა (ნახ. 5.1.1[დ]). ორი ჭაურით ორიენტირებისას ორ ხისტ პუნქტს (შვეულებს) შორის დამაკავშირებელ პოლიგონში არის მხოლოდ ერთი ჭარბი განაზომი (სვლის ჩამკეტის სიგრძე, ნახ. 5.1.1[ე]).

პოლიგონომეტრიული სვლების გაწონასწორების მიზანია მოიძებნოს ისეთი შესწორებები კუთხეების სიდიდისა და გვერდების სიგრძეში ან შესწორებები კოორდინატთა ნაზრდებში, რომ W_β, W_x და W_y შეუკვრელობები გათიღდებოდეს.

არჩევენ პოლიგონომეტრიული სვლების გაწონასწორების მკაცრ და მიახლოებით ხერხებს.

მკაცრი ხერხით გაწონასწორება დაფუძნებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდზე[1] და სრულდება პირობითი გაზომვების მეთოდით. ტეხილ პოლიგონომეტრიულ სვლებს მეტწილად აწონასწორებენ პირობითი განტოლებების ორ ჯგუფად დაყოფით. ჯერ აწონასწორებენ სვლის კუთხურ შეუკვრელობას გაზომილ კუთხეებში პირველადი შესწორებების შეტანით, რომელსაც ანგარიშობენ ფორმულით

$$\delta\beta' = -\frac{W_\beta}{n+1}; \tag{5.7.47}$$

შემდეგ გამოითვლიან გვერდების დირექციულ კუთხეებს და კოორდინატთა ნაზრდებს, საზღვრავენ W_x და W_y შეუკვრელობებს კოორდინატთა ღერძების მიმართულებით, ადგენენ ორ პირობით განტოლებას მეორე ჯგუფის პირობითი განტოლებების გარდაქმნილი კოეფიციენტებით, რომელთა ამოხსნის შედეგად პოულობენ k_2 და k_3 კორელატებს, ხოლო მათი საშუალებით კი კუთხეების მეორეულ $\delta\beta''$ შესწორებებს და δl_i შესწორებებს გვერდების სიგრძეებში.

უნდა შევნიშნოთ, რომ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის მკაცრი ხერხით გაწონასწორებისათვის საჭირო გაზომილ კუთხეთა და გვერდთა p_β და p_e წონების საიმედოდ განსაზღვრა მთელ რიგ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული, ამიტომ იკარგება კუთხეებისა და გვერდების შესწორებების საიმედოდ განსაზღვრის იმედი. ამის გამო აღნიშნული პოლიგონომეტრიული სვლის მკაცრი ხერხით გაწონასწორება არ არის მიზანშეწონილი და პრაქტიკაში თითქმის არც გამოიყენება. იგი შეიძლება რეკომენდებულ იქნეს მხოლოდ გაჭიმული პოლიგონომეტრიული სვლის გაწონასწორებისათვის.

პრაქტიკაში მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლებს, როგორც წესი, აწონასწორებენ მიახლოებითი ხერხებით: კუთხური W_β შეუკვრელობა წონასწორდება შებრუნებული ნიშნით და თანაბრად ყველა კუთხეზე, ხოლო W_x და W_y შეუკვრელობები — ყველა ნაზრდებზე, შებრუნებული ნიშნით, გვერდების სიგრძის პროპორციულად. წონასწორდება მხოლოდ ისეთი სვლები, რომლებშიც W_β, W_x და W_y შეუკვრელობები არ აღემატება ინსტრუქციით გათვალისწინებულ ნორმებს (იხ. §5.6).

ვ. პ ო ლ ი გ ო ნ ო მ ე ტ რ ი უ ლ ი ს ვ ლ ი ს პ უ ნ ქ ტ ე ბ ი ს შ ე ც დ ო მ ა გ ა წ ო ნ ა ს წ ო რ ე ბ ი ს შ ე მ დ ე გ

1) პ უ ნ ქ ტ ე ბ ი ს კ ო ო რ დ ი ნ ა ტ ე ბ ი ს შ ე ც დ ო მ ა კ უ თ ხ უ რ ი შ ე უ კ ვ რ ე ლ ო ბ ი ს გ ა წ ო ნ ა ს წ ო რ ე ბ ი ს შ ე მ დ ე გ. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის კოორდინატების შეცდომები შეიძლება

[1] იხ. [52].

გამოთვლილ იქნეს (31) და (32) ფორმულებით. დირექციულ კუთხეებში სვლის ჩაკეტვისა და კუთხური შეუკვრელობის ყველა კუთხეზე გაწონასწორების შემდეგ შეიცვლება სვლის პუნქტების კოორდინატები და შემცირდება მათი საშუალო კვადრატული შეცდომები. ასეთი პოლიგონომეტრიული სვლის უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ორ ჯგუფად გაწონასწორების თეორიიდან ცნობილია, რომ წინასწარ შესწორებული კუთხეებით გამოთვლილი ბოლო პუნქტის აბსცისისა და ორდინატის კერძო წარმოებულები β კუთხით

$$\frac{\partial x_k}{\partial \beta_i} = \eta_i,$$

$$\frac{\partial y_k}{\partial \beta_i} = -\xi_i, \tag{5.7.48}$$

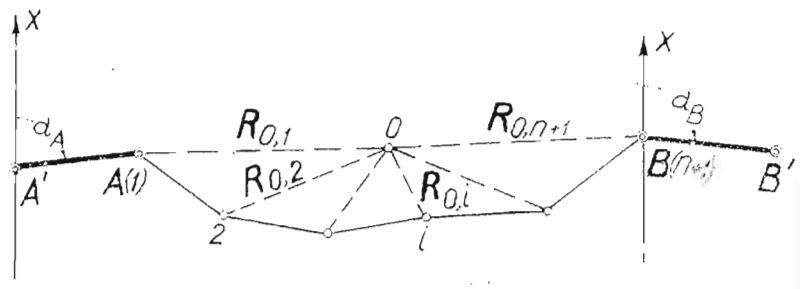
სადაც η_i და ξ_i ოდენობები წარმოადგენს პოლიგონომეტრიული სვლის სიმძიმის o ცენტრიდან i პუნქტამდე R_{oi} მანძილების პროექციებს კოორდინატთა ღერძებზე და ეწოდება ამ პუნქტის ცენტრალური კოორდინატები, ე. ი.

$$\left.\begin{aligned} \eta_i &= y_i - y_0, \\ \xi_i &= x_i - x_0. \end{aligned}\right\} \tag{5.7.49}$$

სვლის სიმძიმის ცენტრის x_0, y_0 კოორდინატები განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \frac{\sum_1^{n+1} x_i}{n+1}, \\ y_0 &= \frac{\sum_1^{n+1} y_i}{n+1}. \end{aligned}\right\} \tag{5.7.50}$$

(50) ფორმულებში 1-ლი და $n+1$ ნომრის პუნქტები, შესაბამისად, სვლის საწყისი A და ბოლო B პუნქტებია (ნახ. 6), რომელთა კოორდინატები სვლის



ნახ. 5,7.6.

დანარჩენი პუნქტების კოორდინატებთან ერთად გამოიყენება x_0, y_0 კოორდინატების დასადგენად.

გარდა აღნიშნულისა, კვლევებით დადასტურებულია, რომ კუთხური შე-

უკვრელობის წინასწარი გაწონასწორების შემდეგ სვლის საწყისი და ბოლო გვერდების დირექციული კუთხეების შეცდომების გავლენა ვრცელდება სიმძიმის O ცენტრამდე მდებარე, ამ გვერდების მოსაზღვრე სვლის ნაწილზე. რაც შეეხება გვერდების გაზომვის შემთხვევითი და სისტემატური შეცდომების გავლენას, ისინი არ იცვლებიან კუთხური შეუკვრელობის გაწონასწორების შედეგად. ამგვარად, თუ (31) და (32) ფორმულებში R_{iy} და R_{ix}-ის ნაცვლად შევიტანთ η_i და ξ_i ოდენობებს, ხოლო R^2_{1y} და R^2_{1x}-ის ნაცვლად $\eta^2_1 + \eta^2_{n+1}$ და $\xi^2_1 + \xi^2_{n+1}$, მივიღებთ კუთხურ შეუკვრელობაზე შესწორებული პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო B პუნქტის კოორდინატების საშუალო კვადრატული შეცდომის გამოსათვლელ შემდეგ ფორმულებს:

$$M^2 x_B = \mu^2 \sum_1^n l_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 x_k + \frac{m^2 \beta}{\rho^2} \sum_1^{n+1} \eta_i^2 + \frac{m^2 \alpha_0}{\rho^2} (\eta^2_1 + \eta^2_{n+1}), \tag{5.7.51}$$

$$M^2 y_B = \mu^2 \sum_1^n l_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 L^2 y_k + \frac{m^2 \beta}{\rho^2} \sum_1^{n+1} \xi_i^2 + \frac{m^2 \alpha_0}{\rho^2} (\xi_1^2 + \xi^2_{n+1}). \tag{5.7.52}$$

პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის საერთო შეცდომა გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$M^2_B = M^2_{x_B} + M^2_{y_B} = \mu^2 \sum_1^n l_i + \lambda^2 L^2 + \frac{m^2 \beta}{\rho^2} \sum_1^{n+1} R^2_{i,0} + \frac{m^2 \alpha_0}{\rho^2} (R^2_{0,1} + R^2_{0,n+1}), \tag{5.7.53}$$

სადაც

$$R^2_{i,0} = \eta_i^2 + \xi_i^2,$$

$$R^2_{1,0} = \eta_1^2 + \xi_1^2,$$

$$R^2_{0,n+1} = \eta^2_{n+1} + \xi^2_{n+1},$$

შეკრულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში $L = 0$, ამიტომ

$$M^2_B = \mu^2 \sum_1^n l_i + \frac{m^2 \beta}{\rho^2} - \sum_1^{n+1} R^2_{0,i}. \tag{5.7.54}$$

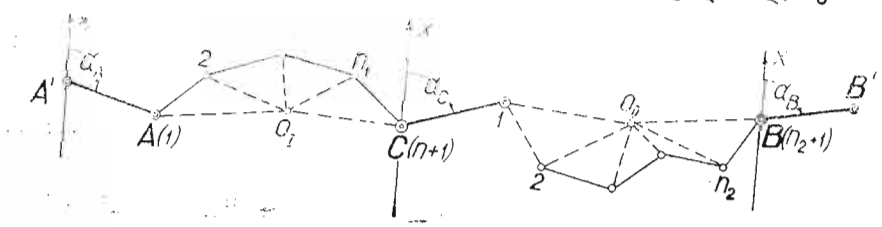
გაჭიმული ტოლგვერდა პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის განივი q' გადაადგილდება კუთხური შეუკვრელობის გაწონასწორების შემდეგ, როდესაც $l_1 = l_2 = \cdots = l_n = l$ და n წყვილი რიცხვია,

$$q'^2 = \frac{m^2 \beta}{\rho^2} - 2l^2 \left[1^2 + 2^2 + \cdots + \left(\frac{n}{2}\right)^2 \right] \approx \frac{m^2 \beta}{\rho^2} - L^2 \frac{n+3}{12}. \tag{5.7.55}$$

(39) და (55) ფორმულების ურთიერთშედარებით დავასკვნით, რომ გაჭიმული პოლიგონომეტრიული სვლის კუთხეების წინასწარი გაწონასწორება ამცირებს სვლის ბოლო პუნქტის განივ გადაადგილებას დაახლოებით ორჯერ. მარკშეიდერულ პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება მნიშვნელოვანი სიგრძის თავი-

სუფთა პოლიგონომეტრიული სვლები, ამიტომ ასეთი სვლების პუნქტების მდებარეობის განსაზღვრის შეცდომების შემცირების მიზნით საჭიროა გიროსკოპული მეთოდით განისაზღვროს სვლის ბოლო (ან შუალედი) გვერდის დირექციული კუთხე, გაწონასწორდეს მიღებული კუთხური შეუკვრელობა და მხოლოდ ამის შემდეგ გამოთვლილ იქნეს კოორდინატთა ნაზრდები და პუნქტების კოორდინატები.

როდესაც პოლიგონომეტრიულ სვლაში ავტონომიურად გიროსკოპული მეთოდით არის განსაზღვრული სვლის ერთი ან რამდენიმე შუალედი გვერდის დირექციული კუთხე, მაშინ სვლა იყოფა სექციებად. თითოეულ სექციაში კუთხეების წინასწარი გაწონასწორების შემდეგ სვლის ბოლო პუნქტის კოორდინატების საშუალო კვადრატული შეცდომები იანგარიშება (51) და (52) ფორმულების ანალოგიური გამოსახულებით, მხოლოდ თითოეული სექციისათვის განისაზღვრება თავისი სიმძიმის ცენტრი, მათ მიმართ კი — სვლის შესაბამისი პუნქტების ცენტრალური კოორდინატები. მაგალითად, მე-7 ნახაზზე



ნახ. 5.7.7

წარმოდგენილ პოლიგონომეტრიულ სვლაში, გარდა საწყისი და ბოლო გვერდების α_A და α_B ხისტი დირექციული კუთხეებისა, ცნობილია შუალედი CD გვერდის ხისტი α_c დირექციული კუთხე, რითაც სვლა იყოფა ორ სექციად (I, II). ანალოგიურად, როდესაც პოლიგონომეტრიულ სვლაში ცნობილია $k-1$ რაოდენობის შუალედი ხისტი დირექციული კუთხე, სვლა დაიყოფა k სექციად. თითოეულ სექციაში თუ გვერდების რიცხვი (ხისტი გვერდების ჩაუთვლელად) იქნება $n_1, n_2, \cdots, n_k$, მაშინ სვლის ბოლო პუნქტის მდებარეობის საშუალო კვადრატული შეცდომა იანგარიშება ფორმულით

$$M^2_B = \mu^2 \sum_1^n l_i + \lambda^2 L^2 + \frac{m^2_\beta}{\rho^2}\left\{\sum_1^{n_1+1} R^2_{o_I, i} + \sum_1^{n_2+1} R^2_{o_{II}, i} + \cdots + \right.$$

$$\left. + \sum_1^{n_k+1} R^2_{o_k, i} + \frac{m^2_{\alpha_0}}{\rho^2}\left(R^2_{1, o_I} + R^2_{o_I, o_{II}} + \cdots + R^2_{o_k, n_k+1}\right)\right. . \quad (5.7.56)$$

გაჭიმული ტოლგვერდა პოლიგონომეტრიული სვლის შემთხვევაში სარგებლობენ გამოსახულებით

$$M^2_B = \mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \frac{m^2_\beta}{\rho^2} L^2 \frac{n^2 + 3nk + 2k^2}{12nk^2} + \frac{m^2_{\alpha_0}}{\rho^2} L^2 \frac{2k-1}{2k^2}, \quad (5.7.57)$$

სადაც $R_{o_I, i}$, $R_{o_{II}, i}$ — არის ცალკეული სექციის სიმძიმის ცენტრიდან ამ სექციის შესაბამის პუნქტებამდე მანძილი;

n — გვერდების რიცხვი;
L — სვლის ჩამკეტის სიგრძე;
k — სექციების რაოდენობა სვლაში.

2) კუთხეებსა და კოორდინატებში გაწონასწორებული პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი პუნქტის კოორდინატების საშუალო კვადრატული შეცდომა. დავუშვათ, რომ მე-5 ნახაზზე გამოსახულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში შესრულებულია კუთხეებისა და კოორდინატთა ნაზრდების გაწონასწორება. საჭიროა განისაზღვროს C პუნქტის კოორდინატების საშუალო კვადრატული შეცდომა—M_{x_c}, M_{y_c}.

განხილადი ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება მკაცრი და მიახლოებითი ხერხებით. გაწონასწორებული პოლიგონომეტრიული სვლის კოორდინატების შეცდომის მკაცრი ხერხით განსაზღვრა სირთულის გამო მარკშეიდერულ პრაქტიკაში არ გამოიყენება, ამიტომ განვიხილოთ მიახლოებითი მეთოდი.

მიახლოებითი ანგარიშის დროს თვლიან, რომ გაწონასწორების შემდეგ C პუნქტის x_c, y_c კოორდინატებს მნიშვნელობები AC და BC სვლებიდან წონითი საშუალო არითმეტიკულის წესით გამონათვლის ტოლია, ე. ი.

$$\left.\begin{aligned} x_c &= \frac{x_1 p_{x_1} + x_2 p_{x_2}}{p_{x_1} + p_{x_2}}, \\ y_c &= \frac{y_1 p_{y_1} + y_2 p_{y_2}}{p_{y_1} + p_{y_2}}, \end{aligned}\right\} \quad (5.7.58)$$

სადაც x_1, y_1 არის C პუნქტის კოორდინატები, გამოთვლილი AC სვლიდან;
x_2, y_2 — C პუნქტის კოორდინატები, გამოთვლილი BC სვლიდან;
p_{x_1}, p_{y_1}; p_{x_2}, p_{y_2} —x_1, y_1, x_2 y_2 კოორდინატების წონა და იანგარიშება ფორმულებით

$$\left.\begin{aligned} p_{x_1} &= \frac{1}{M^2_{x_1}}; & p_{y_1} &= \frac{1}{M^2_{y_1}}, \\ p_{x_2} &= \frac{1}{M^2_{x_2}}; & p_{y_2} &= \frac{1}{M^2_{y_2}}, \end{aligned}\right\} \quad (5.7.59)$$

აქ M_{x_1}, M_{y_1}; M_{x_2}, M_{y_2} — C პუნქტის კოორდინატების განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომებია და გამოითვლება (51) და (52) ფორმულებით, მხოლოდ საჭიროა განისაზღვროს AC და BC სვლების სიმძიმის ცენტრები და გამოთვლილ იქნეს ξ და η ცენტრალური კოორდინატები.

AC და BC სვლებიდან C პუნქტის კოორდინატების განსაზღვრის წონები

$$\left.\begin{aligned} p_{x_c} &= p_{x_1} + p_{x_2} = \frac{1}{M^2_{x_1}} + \frac{1}{M^2_{x_2}} = \frac{M^2_{x_1} + M^2_{x_2}}{M^2_{x_1} M^2_{x_2}}, \\ p_{y_c} &= p_{y_1} + p_{y_2} = \frac{1}{M^2_{y_1}} + \frac{1}{M^2_{y_2}} = \frac{M^2_{y_1} + M^2_{y_2}}{M^2_{y_1} M^2_{y_2}}. \end{aligned}\right\} \quad (5.7.60)$$

აქედან გაწონასწორებული პოლიგონომეტრიული სვლის C პუნქტის კოორდინატების საძიებელი საშუალო კვადრატული შეცდომები

$$M^2_{x_c} = \frac{1}{p_{x_c}} = \frac{M^2_{x_1} M^2_{x_2}}{M^2_{x_1} + M^2_{x_2}},$$

$$M^2_{y_c} = \frac{1}{p_{y_c}} = \frac{M^2_{y_1} M^2_{y_2}}{M^2_{y_1} + M^2_{y_2}}. \qquad (5.7.61)$$

C პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის საერთო საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$M_c^2 = M^2_{x_c} + M^2_{y_c}. \qquad (5.7.62)$$

3) გაწონასწორებული პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხის საშუალო კვადრატული შეცდომა. მე-5 ნახაზზე მოცემული პოლიგონომეტრიული სვლის cd გვერდის α დირექციული კუთხე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ორჯერ — გამოსავალი AA' და ბოლო BB' გვერდებიდან. ეს გამონათვლები და მათი წონები აღვნიშნოთ, შესაბამისად, α_1, p_1 და α_2, p_2-თი. თუ AC სვლაში კუთხეთა რაოდენობა იქნება k, ხოლო მთელ AB სვლაში კი $n+1$, მაშინ α_1 და α_2 გამონათვალთა საშუალო კვადრატული შეცდომები (36) ფორმულის მიხედვით (გამოსავალი დირექციული კუთხეების შეცდომების ჩაუთვლელად) იქნება

$$m_{\alpha_1} = \pm m_\beta \sqrt{k};$$

$$m_{\alpha_2} = \pm m_\beta \sqrt{(n+1) - k}.$$

აქედან α_1 და α_2 დირექციულ კუთხეთა წონები

$$p_1 = \frac{1}{k}; \quad p_2 = \frac{1}{(n+1) - k}.$$

cd გვერდის α დირექციული კუთხის საბოლოო მნიშვნელობა განისაზღვრება როგორც წონითი საშუალო

$$\alpha = \frac{p_1 \alpha_1 + p_2 \alpha_2}{p_1 + p_2},$$

ამიტომ მისი გაწონასწორებული მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$m_\alpha = \pm \frac{m_\beta}{\sqrt{p_\alpha}},$$

მაგრამ α დირექციული კუთხის განსაზღვრის p_α წონა

$$p_\alpha = p_1 + p_2 = \frac{1}{k} + \frac{1}{(n+1) - k} = \frac{n+1}{k[(n+1) - k]},$$

ამიტომ საბოლოოდ ვღებულობთ

$$m_\alpha = \pm m_\beta \sqrt{\frac{k[(n+1) - k]}{n+1}}. \qquad (5.7.63)$$

უკანასკნელი ტოლობიდან ჩანს, რომ პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების დირექციული კუთხეების გაწონასწორებული მნიშვნელობები სხვადასხვა შეცდომით განისაზღვრება. მაქსიმალური შეცდომით იქნება განსაზღვრული იმ გვერდის დირექციული კუთხე, რომლისთვისაც ფესქვეშა

$$y = \frac{k[(n+1) - k]}{n+1} = k - \frac{k^2}{n+1}$$

წევრს აქვს მაქსიმუმი მნიშვნელობა. ამის დასადგენად მოვძებნოთ y-ის პირველი წარმოებული და გავუტოლოთ ნულს:

$$\frac{\partial y}{\partial k} = 1 - \frac{2k}{n+1} = 0.$$

საიდანაც

$$k = \frac{n+1}{2}.$$

ამგვარად, ყველაზე მეტი შეცდომით განისაზღვრება სვლის შუათანა გვერდის დირექციული კუთხის გაწონასწორებული მნიშვნელობა.

G. მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემის გაწონასწორების შესახებ

აღნიშნული იყო, რომ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლები ვითარდება თანდათანობით, სამთო სამუშაოების განვითარების შესაბამისად. ასევე თანდათანობით ხდება ღია პოლიგონების შეკვრა და სისტემებად გაერთიანება. ყოველი ახალი პოლიგონომეტრიული სვლა უკავშირდება ძველს, როგორც საყრდენს. ცალკეული შეკრული პოლიგონების წარმოქმნისთანავე წარმოეს მათი გაწონასწორება, რაც წინასწარ გაწონასწორებად უნდა ჩაითვალოს. შემდგომში, როცა შეიქმნება ურთიერთმიჯრილი პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემა, საჭიროა მათი ერთობლივი გაწონასწორება და პუნქტების საბოლოო მნიშვნელობების დადგენა.

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემის გაწონასწორება შეიძლება მკაცრი და მიახლოებითი ხერხებით. ამჟამად მარკშეიდერულ პრაქტიკაში გავრცელებულია პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემის გაწონასწორების მიახლოებითი (გამარტივებული) ხერხები: ჯერ აწონასწორებენ მთელი სისტემის კუთხეებს, შემდეგ შესწორებული კუთხეებით ანგარიშობენ გვერდების დირექციულ კუთხეებს და კოორდინატთა ნაზრდებს, ბოლოს აწონასწორებენ კოორდინატთა ნაზრდებს ცალ-ცალკე (ერთიმეორისგან დამოუკიდებლად).

ცნობილია პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემის ცალ-ცალკე გაწონასწორების პოლიგონების, კვანძების, ეკვივალენტური შეცვლის და თანდათანობით მიახლოების ხერხები. პირველი ორი ეკუთვნის პროფ. ვ. პოპოვს, ხოლო ეკვივალენტური შეცვლის ხერხი კი — პროფ. ა. ჩებოტარევს (იხ. [63], [48], [52]).

თავი VI

დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების აგებმვა

6. 1. ზოგადი ცნობები

ამ თავში განსახილველი სამუშაოების ციკლში შედის დაპროექტებული დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების გეომეტრიული ელემენტების ადგილზე დაკვალვა და შემდგომში, სამთო სამუშაოების განვითარების შესაბამისად, მათი დროული აგეგმვა და მარკშეიდერულ გეგმებსა და ჭრილებზე გამოსახვა.

საბადოს ცალკეული უბნის დამუშავებისა და გვირაბების გაყვანის ტექნიკურ პროექტში, რაც ყოველ სამთო საწარმოზე წინასწარ მუშავდება, გათვალისწინებულია საპროექტო და არსებული გვირაბების ურთიერთგანლაგება, დამუშავების სისტემის ცალკეული ელემენტის ზომები, გვირაბის კვეთი, ქანობი და სხვ. სათანადო შესწავლისა და შემოწმების შემდეგ მარკშეიდერს პროექტის მონაცემები გადააქვს სამთო სამუშაოების გეგმებზე, რის შემდეგ განსაზღვრავს დაპროექტებული გვირაბების გაყვანის ადგილს, აძლევს მათ მიმართულებას, სისტემატურ ზედამხედველობას უწევს გვირაბების სწორად გაყვანას და დამუშავების სისტემის ცალკეული ელემენტების ზომების დაცვას.

დაჭრითი და წმენდითი სამთო გვირაბების აგეგმვასთან დაკავშირებული მარკშეიდერული სამუშაოების ხასიათი, მოცულობა და განხორციელების მეთოდები დამოკიდებულია მარგი წიაღისეულის წოლის ფორმასა და დამუშავების შერჩეულ სისტემაზე. რაც უფრო რთულია წიაღისეულის წოლის ფორმა, მით უფრო რთულია დამუშავების სისტემა და გვირაბების ქსელი, ამიტომ მით უფრო რთული და შრომატევადი ხდება დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების მარკშეიდერული აგეგმვები.

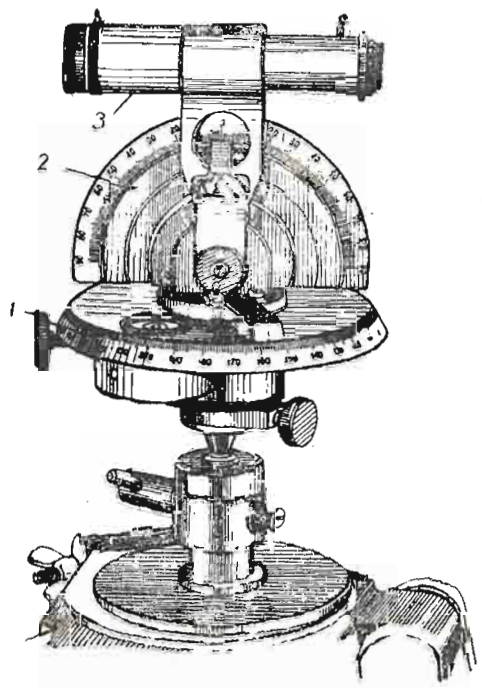
ძირითადი მოსამზადებელი გვირაბების სიგრძესთან შედარებით დაჭრითი და წმენდითი სამთო სამუშაოების ფრონტის სიგრძე არ არის დიდი და უმეტესად იცვლება 50—200 მ ფარგლებში. ეს გარემოება საშუალებას იძლევა მათი აგეგმვა შესრულდეს ძირითადი გვირაბების აგეგმვასთან შედარებით ნაკლები სიზუსტით, მაგრამ სამაგიეროდ ძლიერ არახელსაყრელ გარემო პირობებში და დროის მცირე მონაკვეთში. ამიტომ დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების აგეგმვისათვის იყენებენ მცირე ზომის ინსტრუმენტებსა და გამარტივებული კონსტრუქციის მოწყობილობებს—მარტივ კუთხსაზომებს და საკიდ იარაღებს (საკიდი ბუსოლი და ნახევარწრედი).

6.2. კუთხსაზომები

კუთხსაზომი თეოდეოლიტის პრინციპზე კონსტრუირებული უმარტივესი სახის კუთხის საზომი ინსტრუმენტია. ამჟამად სამთო საწარმოებში უმეტესად გავრცელებულია სამამულო წარმოების კუთხსაზომები: У-3, УТГ, УТБ-3 და სხვ.

У-3 უმარტივესი კუთხსაზომი იარაღია (ნახ. 1). მისი ჰორიზონტული წრედი 1 დაყოფილია 360°-ად (0-დან 360°-მდე) ხოლო ვერტიკალური ნახევარწრედი 2 კი 90—90°-ად (0-დან 90°-მდე). ანათვლები წრედებზე აიღება ინდექსების პირისპირ ლუპის საშუალებით, დაახლოებით ±15′-ის სიზუსტით.

სამიზნე ჰოგრი 3 აღჭურვილია მუდმივი ფოკუსირების ოპტიკური სისტემით, ხშულად არის დამაგრებული კრონშტეინთან, რომელიც, თავის მხრივ, ბრუნავს ჰორიზონტული ღერძის ირგვლივ. ჰოგრის დამაგრება ხდება სათანადო დამტკეცი ხრახნით. კუთხსაზომის დაყენება შეიძლება როგორც კონსოლზე, ისე პატარა დასაკეც სამფეხზე. ამ მიზნით კონსოლზე ან შტატივზე მაგრდება სახსრიანი სამაგრი, რომელსაც აქვს სახსარსადგარზე მბრუნავი ღერძი. უკანასკნელზე შეიძლება მოერგოს მრგვალი თარაზო ან დაყენებულ იქნეს კუთხსაზომი. ამ ღერძის ზედა სიბრტყეზე არის ცენტრი, ქვევით კი ჩვეულებრივი ხერხემალა ხრახნი, რაც საშუალებას იძლევა დაიცენტროს იარაღი როგორც წერტილზე, ისე მის ქვეშ.



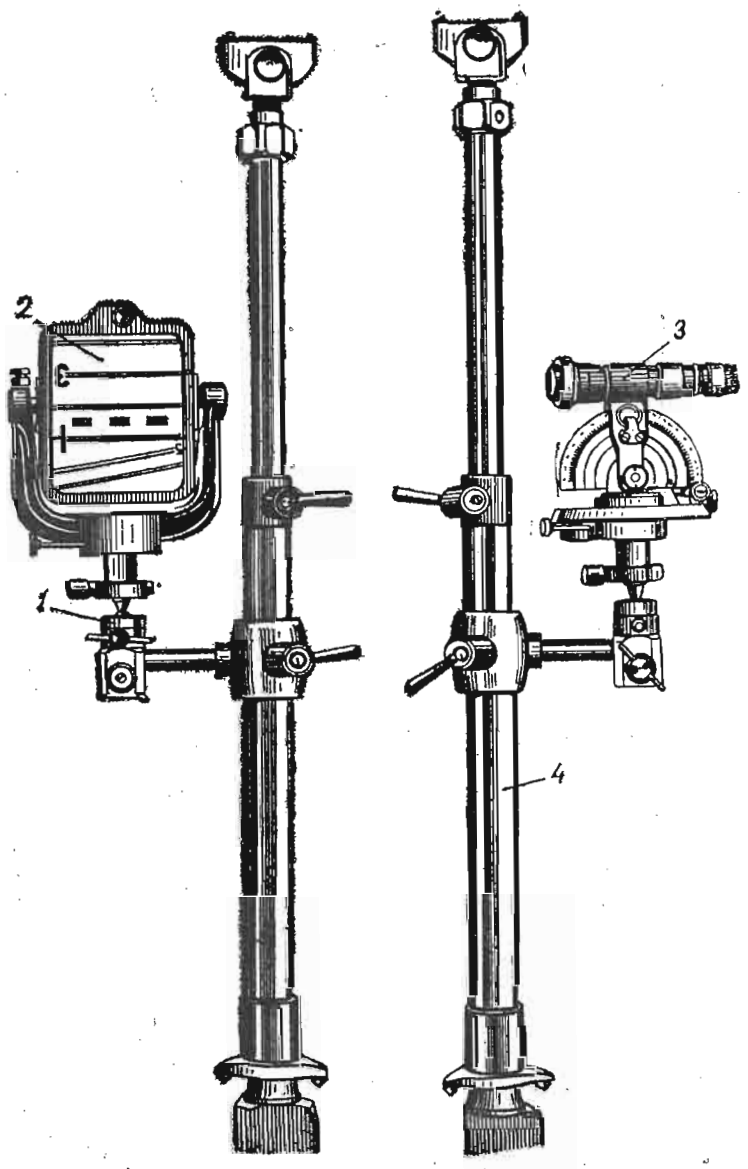
ნახ. 6.2 1.

У-3 კუთხსაზომის კომპლექტში შედის ოთხი სახსრიანი სამაგრი, ერთი შვეული, ოთხი კონსოლი, სამი დასადგმელი თარაზო, ერთი შტატივი და ერთი ლუპა

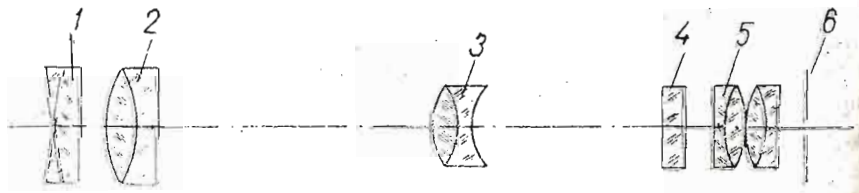
სამთო კუთხსაზომი ტახეომეტრი УТГ, ისე როგორც У-3, განკუთვნილია თხელი ფენების წმენდითი სანგრევების აგეგმვისათვის (ნახ. 2). იგი У-3 კუთხსაზომის უფრო სრულყოფილი კონტრუქციაა. УТГ-ს კომპლექტში, გარდა საკუთრივ ინსტრუმენტისა 3, შედის განმბრჯენი დგარები 4, ფიქსატორი 1 და სიგნალი 2, რომელიც ამავე დროს სამანძილმზომო ლარტყას წარმოადგენს.

კუთხსაზომის სამზერი ჰოგრი შიგა ფოკუსგაწყობისაა და აქვს ორმაგგამოსახულებიანი მანძილმზომი. მისი ოპტიკა (ნახ. 3) შედგება ობიექტივის 2, მაფოკუსირებელი ლინზის 3, ოკულარის 5, ბიპრიზმის 4, დიაფრაგმისა 6 და ტოლი გარდატეხის კუთხის მქონე ორი ოპტიკური სოლისაგან 1. თითოეული სოლი ფარავს ობიექტივის ნახევარს და გადახრის მზერის სხივს სხვადასხვა მხარეზე (ზევით და ქვევით) ტოლი ოდენობით, რითაც ჰოგრის მხედველობის არეში ქმნის ლარტყის ორ (მარჯვენა და მარცხენა) გამოსახულებას, რაც ბიპრიზმის წიბოთი ვერტიკალურად არის გაყოფილი.

ლარტყა წარმოადგენს მინის ფირფიტას, რომლის ზედაპირზე ფოტოგრაფიული მეთოდით დატანილია შტრიხები და წარწერები. ლარტყის ვერტიკალურ სკალაზე ოთხი ჰორიზონტული შტრიხია (ნახ. 4), რომლითაც ათეულ მეტრებს ითვლიან. ლარტყის ცენტრში განლაგებულია ჰორიზონტული სკალა ხუთი დანაყოფით, რომელთაგან თითოეული ერთი მეტრის შესაბამისია. ლარტყაზე ანათვლის აღება წარმოებს დახრილი შტრიხების მეშვეობით, შემდეგნაირად: სამზერ ჰოგრს აყენებენ საწყის მდგომარეობაში, რისთვისაც მას გადაადგილებენ ვერტიკალურ სიბრტყეში მანამ, სანამ ლარტყის მარცხენა გამოსახულების

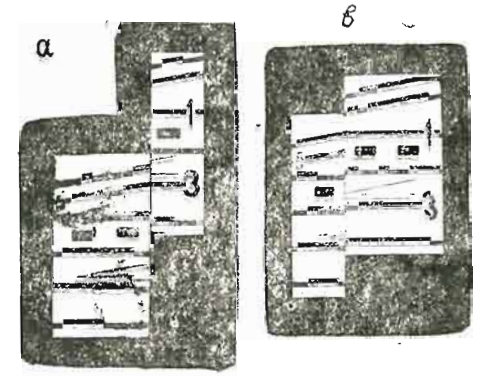


ნახ. 6.2.2.



ნახ. 6.2.3.

ერთ-ერთი დახრილი შტრიხი მარჯვენა გამოსახულების ჰორიზონტულ შტრიხს არ შეუთავსდება. ამ უკანასკნელზე დასმული ციფრის მიხედვით განისაზღვრება გასაზომ მანძილში ათეული მეტრების რაოდენობა. მეტრებსა და დეციმეტრებს აითვლიან ჰორიზონტულ სკალაზე (დეციმეტრებს თვალზომით აფასებენ) — დაწყებული მარცხენა შავი შტრიხიდან ბიპრიზმის წიბომდე მოთავსებული დანაყოფების რაოდენობის მიხედით. იმ შემთხვევაში, როდესაც მარჯვენა ჰორიზონტულ შტრიხს უთავსდება დახრილი შტრიხი წარწერით—„5“, ლარტყაზე ანათვალი მცირდება 5 მ-ით. მაგალითად, 4ა ნახაზზე მარჯვენა მხარის ჰორიზონტულ შტრიხს 3 უთავსდება დახრილი შტრიხი 5 და ჭოგრის მზერის არის მარცხენა ნახევარში ჩანს ჰორიზონტული სკალის სამი სრული დანაყოფი და ნაპირა დანაყოფის 0,6-დი, ამიტომ საძიებელი მანძილი იქნება



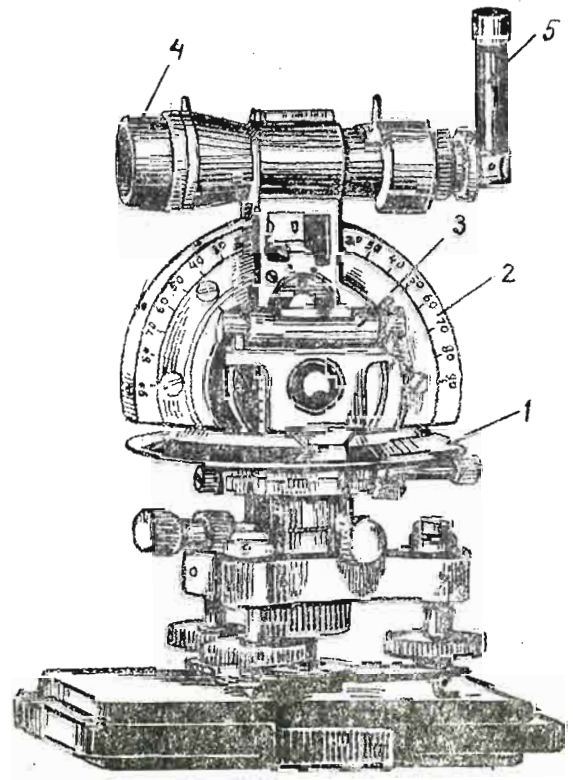
ნახ. 6.2.4.

$$30 - 5 + 3{,}6 = 28{,}6 \text{ მ.}$$

4ბ ნახაზზე გამოსახული შემთხვევის დროს ჰორიზონტულ 1-ლ შტრიხს უთავსდება დახრილი შტრიხი, რომელსაც წარწერა არა აქვს, ხოლო ჰორიზონტულ სკალაზე კი 1,5 დანაყოფია, ამიტომ საძიებელი მანძილი ამ შემთხვევაში უდრის:

$$10 + 1{,}5 = 11{,}5 \text{ მ-ს.}$$

მანძილმზომით შეიძლება გაიზომოს 45 მეტრამდე მანძილი 1 : 200 სიზუსტით. კუთხსაზომი და ლარტყა შეიძლება დაყენებულ იქნეს კონსოლზე ან სპეციალურ განბრჯენ დგარზე.

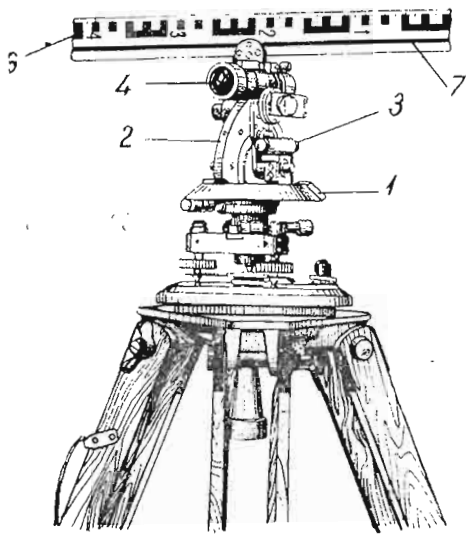


ნახ. 6.2.5.

კუთხსაზომი ტაxეომეტრი УТБ-3 (ნახ. 5) განკუთვნილია ნებისმიერი დახრის გვირაბის აგეგმვისა და ორიენტირებისათვის. მისი ჰორიზონტული წრედი 1 და ვერტიკალური ნახევარწრედი 2, У-3 და УТГ კუთხსაზომების ანალოგიურად, დაყოფილია გრადუსებად. ანათვლის აღების სიზუსტეა—0°,1.

ჰორიზონტული წრედის ალიდადაზე დამაგრებულია ცილინდრული თარაზო 3, რომლის ცალი დანაყოფის საფასური 60″-ს უდრის. კუთხსაზომის კომპლექტში შედის აგრეთვე დასადგმელი თარაზო, რომლის დანაყოფის საფასური 30″-ია.

УТБ-3 კუთხსაზომის ჰოგრი 4, ისე როგორც **У-3** და **УТГ** კუთხსაზომებში, ბრუნვის ღერძის მიმართ ექსცენტრულად არის განლაგებული, რაც დამატებითი ოკულარის მილით 5 შვეულად ქვემოთ და ზემოთ დამზერის საშუალებას იძლევა. სამზერი ჰოგრი შიგა ფოკუსთგაწყობისაა და აქვს ორი წყვილი ჰორიზონტული და ვერტიკალური სამანძილმზომო ძაფები (ვერტიკალურ და ჰორიზონტულ ლარტყებზე მანძილების ასათვლელად). მანძილმზომის სიზუსტეა 1 : 200 — 1 : 300. კუთხსაზომის ჰოგრზე, მზერის ღერძის მართობულად, მაგრდება სანტიმეტრულდანაყოფებიანი საორიენტირო-სამანძილმზომო ლარტყა 6. ლარტყის ქვემო კიდეზე ჰორიზონტული ხაზია 7 დატანილი, რაც



ნახ. 6.2 6.

კუთხსაზომის ორი კომპლექტით ერთდროულად მუშაობის შემთხვევაში ორიენტირების მიზნისათვის არის განკუთვნილი (ნახ. 6).

УТБ-3 კუთხსაზომით დამხმარე გვირაბების აგეგმვა შეიძლება ჩვეულებრივი მეთოდით, მაგრამ მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს ერთდროულად ხელსაწყოს ორი კომპლექტი ორი საორიენტირო-სამანძილმზომო ლარტყით. ამ შემთხვევაში აგეგმვა შეიძლება უწყვეტი პოლიგონური სვლით—დამრეციდან ციცაბო და შვეულ გვირაბებში გადასვლით. ასეთი სქემით მუშაობის დროს წერტილიდან წერტილზე ჩვეულებრივი დამზერის ნაცვლად გამოყენებულია ერთი კუთხსაზომის ალიდადის ოპტიკური ორიენტირება მეორე ინსტრუმენტის ჰოგრზე მოთავსებული ლარტყის მიხედვით. ასეთი ორიენტირება შემდეგი სქემის მიხედვით წარმოებს (ნახ. 7): ერთ-ერთ კუთხსაზომს საორიენტირო-სამანძილმზომო ლარტყით აყენებენ *A* წერტილზე, მეორეს *B*-ზე, დასადგმელი თარაზოს საშუალებით ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოყავთ როგორც ჰოგრის ბრუნვის ღერძი, ისე ლარტყა. *A* წერტილიდან კუთხსაზომის ჰოგრით დამზერენ *B* წერტილს, *B* წერტილიდან კი ჰოგრს მიმართავენ *A* წერტილისაკენ ისე, რომ მისი ძაფთა ბადის შუა თარაზული ძაფი ლარტყის ჰორიზონტულ საორიენტირო ხაზს შეუთავსდეს. რადგან *A* კუთხსაზომზე მოთავსებული ლარტყა მართობულია ჰოგრის სამიზნე ღერძისა, ამიტომ ზემოთ მიღწეული შეთავსების დროს ორივე კუთხსაზომის სამიზნე ღერძები ურთიერთპარალელურ ვერტიკალურ სიბრტყეში აღმოჩნდება. **УТБ-3**-ით ორიენტირების სიზუსტე $\pm 7'$-ს უდრის. ზემოაღწერილი კუთხსაზომების ტექნიკური დახასიათება მოყვანილია (1) ცხრილში.

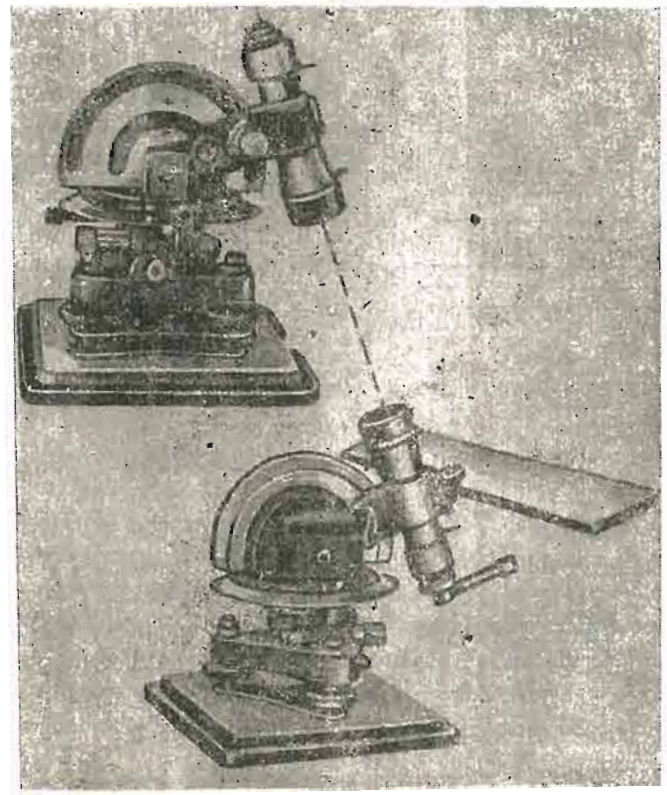
ა გ ე გ მ ვ ა უ მ ა რ ტ ი ვ ე ს ი კ უ თ ხ ს ა ზ ო მ ი თ. დაჭრითი და წმენდითი

ცხრილი 6.2.1.

მაჩვენებლები	ხელსაწყოს დასახელება		
	У-3	УТГ	УТБ-3
ანათვალის აღების სიზუსტე;			
ჰორიზონტულ წრედზე	30′	12′	6′
ვერტიკალურ ნახევარწრედზე	30′	12′	6′
ჰოგრი'ს გამადიდებლობა	2×	21×	20×
მხედველობის არე	8°00′	2°30′	2°00′
ფოკუსირების უმცირესი ზღვარი, მ	0,5	2,0	0,7
მანძილმზომის მუდმივი	—	k=510; c=5 სმ	100
მანძილმზომით შესაძლო გასაზომი მაქსიმალური მანძილი, მ	—	45	100
დახრის კუთხეების გაზომვის ზღვრები	70	70°	90°

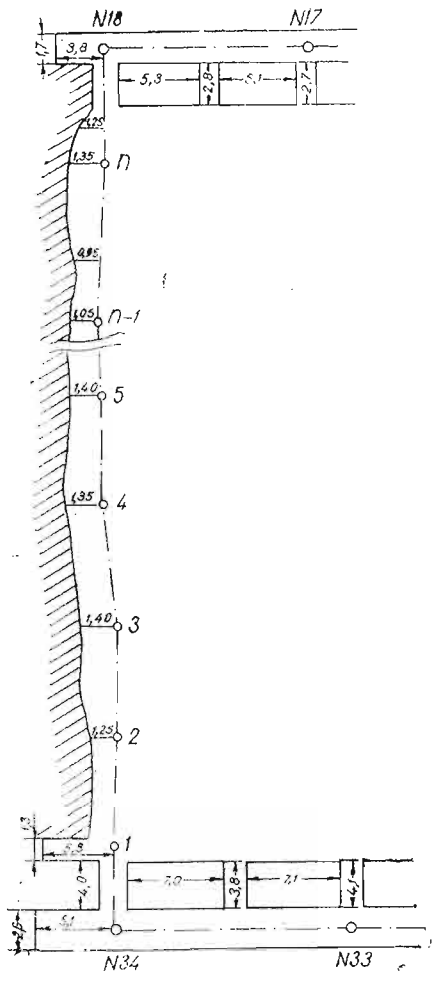
გვირაბების აგეგმვა უმარტივესი კუთხსაზომით თეოდოლიტური აგეგმვის ანალოგიურად წარმოებს, მაგრამ განსხვავდება უფრო ნაკლები სიზუსტით.

ვთქვათ, ასაგეგმია ლავა (ნახ. 8). ამ მიზნით საზიდ და სავენტილაციო შტრეკებში არსებულ თეოდოლიტური სვლის №34 და №18 პუნქტებს შორის, ლავის გასწვრივ, აიგება 1, 2,...,*n* სვლა კუთხზომით. მისი წერტილები შეძლებისდაგვარად არჩეული უნდა იქნეს სანგრევთან ახლოს. გვერდების სიგრ-



ნახ. 6,2.7.

ძეები უნდა იყოს დაახლოებით ერთმანეთის ტოლი და არანაკლები 20 მეტრისა. აგეგმვა შეიძლება როგორც დროებით დამაგრებული წერტილებით, ისე



ნახ. 6.2.8.

„დაკარგული“ წერტილების ხერხით. ჯუთხეები იზომება ნახევარი ილეთით ჰორიზონტული და ვერტიკალური კუთხეების გაზომვის პარალელურად წარმოებს გვერდების სიგრძის გაზომვა. თითოეული გვერდი იზომება ორჯერ—პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით; ორ განაზომს შორის სხვაობა. არ უნდა აღემატებოდეს გასაზომი ხაზის სიგრძის 1 : 200-დს.

წმენდითი გვირაბების წვლილადებისა და სანგრევის ხაზის აგეგმვა წარმოებს მართობების, პოლარული ან პირდაპირი გადაკვეთის ხერხებით. უნდა აიგეგმოს წმენდითი სივრცის ყველა სამთო-ტექნიკური და გეოლოგიური ელემენტი: ლავის სანგრევის ხაზი, საყორე შტრეკები, ლავის გამაგრების პასპორტის ელემენტები, ფენის წოლის ელემენტები (სტრუქტურის ჩახაზვით), ტექტონიკური აშლილობები და სხვ. დეტალების აგეგმვა ფორმდება ესკიზური ჩანახაზებით, სადაც ნაჩვენები უნდა იყოს სამთო გვირაბების გეგმის შევსებისათვის საჭირო ზომები.

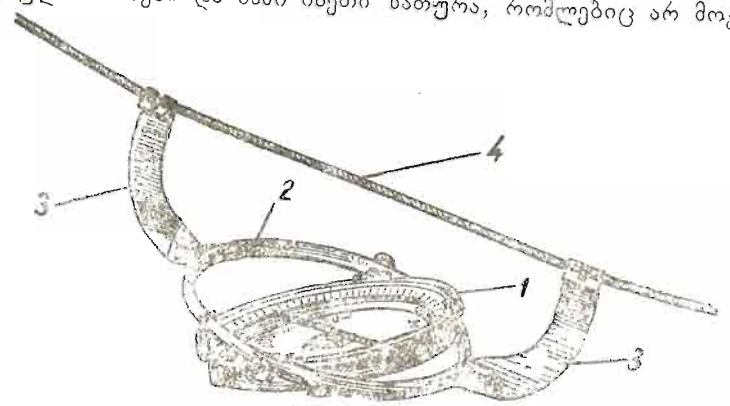
ლავის აგეგმვის შედეგები დაიტანება სამთო გვირაბების გეგმაზე გრაფიკულად სვლის გვერდების ჰორიზონტული პროექციებისა და დირექციული კუთხეების საშუალებით.

6.3. საკიდი (კიდული) იარაღები

მიწისქვეშა აგეგმვების წარმოებისათვის თეოდოლიტი პირველად შემოვიდა ხმარებაში XIX საუკუნის პირველი ნახევრის მიწურულში. მანამდე და ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში შემდეგაც მარკშეიდერული აგეგმვა უმთავრესად საკიდი ბუსოლისა (ყიბლანის) და ნახევარწრედის საშუალებით ხდებოდა. თუმცა სიზუსტის მხრივ ასეთი ხელსაწყოებით აგეგმვა მნიშვნელოვნად ჩამორჩება თეოდოლიტურს, მაგრამ ისინი დღესაც სასარგებლო ინსტრუმენტებია და გამოიყენება უმთავრესად წმენდითი და ზოგიერთი მეორეხარისხოვანი მცირე სიგრძის გვირაბების აგეგმვის დროს.

საკიდი იარაღებით აგეგმვისათვის საჭიროა შემდეგი ხელსაწყო-მოწყობილობანი: საკიდი ბუსოლი, საკიდი ნახევარწრედი, ფოლადის რულეტი, ტილოს

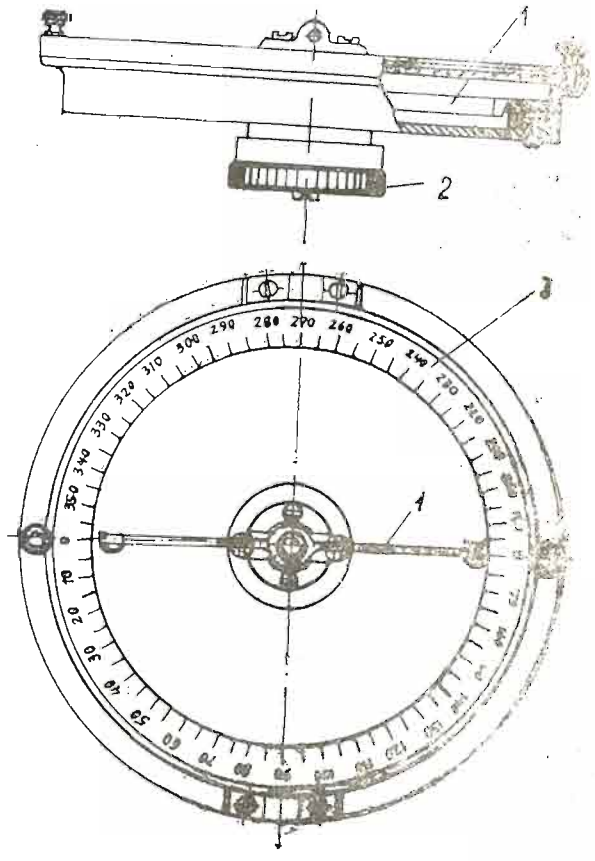
რულეტი, ზონარი (ბუსოლისა და ნახევარწრედის ჩამოსაკიდებლად), ჩაქუჩი, მარკშეიდერული ნიშნები და სამი ისეთი ნათურა, რომლებიც არ მოქმედებენ



ნახ. 6.3.1.

მაგნიტურ ისარზე.

საკიდი ბუსოლი. იგი შედგება თითბრის მრგვალი კოლოფისა 1 და ჩარჩოსაგან 2. ჩარჩოს აქვს ორი ქიმი 3 კაუჭებით (ნახ. 1), რომელთა საშუალებით ხდება ბუსოლის კოლოფის ჩამოკიდება ზონარზე 4. კოლოფი ისეა დაკავშირებული ჩარჩოსთან, რომ შეუძლია თავისუფლად ბრუნვა ჰორიზონტული ღერძის ირგვლივ. ამის გამო ზონარზე დაკიდებული ბუსოლის კოლოფი, დახრის კუთხის მიუხედავად, მუდამ ჰორიზონტულ მდგომარეობაში იმყოფება. კოლოფის ცენტრში შვეულად ამაროთულ ფოლადის წვრილ წვეტზე მოძრაობს მაგნიტური ისარი 1 (ნახ. 2). ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ისრის ჩრდილო ბოლო იწევს ნიადაგისაკენ, ამიტომ წონასწორობის შენარჩუნების მიზნით მის სამხრეთ ბოლოზე მოთავსებულია საპირწონე (გამაწონასწორებელი). ისრის დაზიანებისაგან დასაცავად ბუსოლს აქვს საგანგებო გამჭერებელი 2. აზომუტებისა და რუმბების უშუალოდ გასაზომად ბუსოლში, მაგნიტური ისრის ზედაპირის სიბრტყეში, მოთავსებულია გრადუ-



ნახ. 6.3.2.

სებად არ ნახევარგრადუსებად დაყოფილი ვიწრო რგოლი 3. თანამედროვე საკიდ ბუსოლში წარწერები დალაგებულია 0°-დან 360°-მდე საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ამიტომ ისრის ჩრდილო ბოლოსთან აღებული ანათვალი უშუალოდ გვაძლევს მაგნიტური აზიმუტის მნიშვნელობას.

საკიდი ბუსოლი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

1) ბუსოლის კოლოფი და მისი ჩამოსაკიდებელი მოწყობილობა არ უნდა შეიცავდეს რკინეულს;

2) გრადუსული რგოლის სიბრტყე მაგნიტური აზიმუტის გაზომვის დროს ჰორიზონტულ მდგომარეობაში უნდა იყოს;

3) ბუსოლის გრადუსული რგოლის ნულოვანი დიამეტრი ზონარზე გამავალ ვერტიკალურ სიბრტყეში უნდა მდებარეობდეს;

4) მაგნიტური ისარი უნდა იმყოფებოდეს წონასწორობაში; იყოს საკმარისად მგრძნობიარე; მისი ბრუნვის ღერძი უნდა გადიოდეს გრადუსული რგოლის ცენტრში, ე. ი. ისარი არ უნდა იყოს ექსცენტრულად; ისრის მაგნიტური ღერძი უნდა იყოს შეთავსებული მის გეომეტრიულ ღერძთან.

აღნიშნული პირობების შესახებ ვრცელი ცნობები მოცემულია საინჟინრო გეოდეზიის სახელმძღვანელოში (იხ. [54], ტ. მე-7).

მაგნიტური აზიმუტის განსაზღვრა საკიდი ბუსოლის საშუალებით შემდეგნაირად წარმოებს: გასაგნები გვერდის ორ წერტილს შორის დაჭიმავენ ზონარს. ზონრის ერთ ბოლოსთან კიდებენ ბუსოლს ისე, რომ მისი წრედის წარწერა „0“ იყოს წინ—გვერდის მიმართებით. როცა ისარი დამშვიდდება, მისი ორივე ბოლოთი ღებულობენ ანათვალს რგოლზე (α_1', α_2'). მათი საშუალო ოდენობა

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_1' + \alpha_2' \pm 180^\circ}{2}.$$

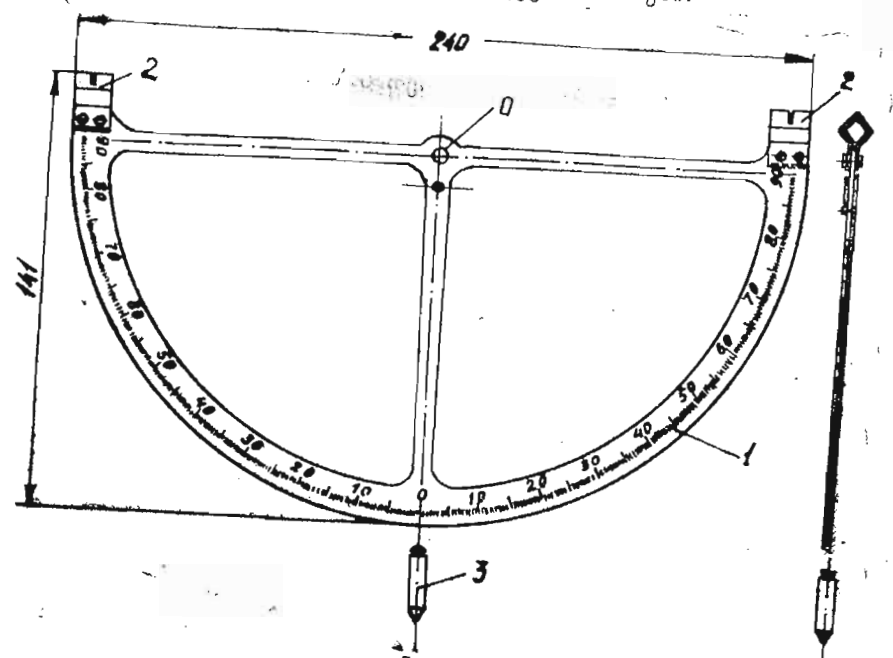
ამის შემდეგ ბუსოლს დაკიდებენ ზონრის მეორე ბოლოსთან და ანალოგიურად საზღვრავენ იმავე მიმართების α_2 მაგნიტურ აზიმუტს. თუ სხვაობა $\alpha_2 - \alpha_1$ არ აღემატება $\pm 30'$, მაშინ მოცემული ხაზის მაგნიტური აზიმუტი ორი განაზომის საშუალო არითმეტიკულს უდრის, ე. ი.

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2},$$

თუ $\alpha_2 - \alpha_1$ სხვაობა მეტია $\pm 30'$-ზე, ეს იმას ნიშნავს, რომ მაგნიტურ ისარზე მოქმედებს მაგნიტური მასები. ამ შემთხვევაში უნდა შეიცვალოს აგეგმვის წესი (იხ. ქვემოთ).

საკიდი ნახევარწრედი (ნახ. 3) განკუთვნილია გვერდების დახრის კუთხეების გასაზომად და წარმოადგენს მსუბუქი ლითონის ნახევარ წრედს 1, დაყოფილს გრადუსებად. ნულოვანი დანაყოფი მდებარეობს ნახევარწრედის შუაში, მის 0 ცენტრში გამავალ, დიამეტრის მართობულ რადიუსზე. წარწერები იზრდება ორივე მიმართულებით 0°-დან 90°-მდე. დიამეტრის ბოლოებზე განლაგებულია კაუჭები 2, რომლითაც ხდება ინსტრუმენტის ჩამოკიდება ზონარზე. ნახევარწრედის ცენტრში არის ნასვრეტი, რომელშიც გაყრილ წვრილ ძაფზე ჰკიდია პატარა შვეული 3. ზონარზე ჩამოკიდებული ნახევარწრედის შვეულის ძაფი ზონარის დახრის მიუხედავად მუდამ ვერტიკალურ მდგომარეო-

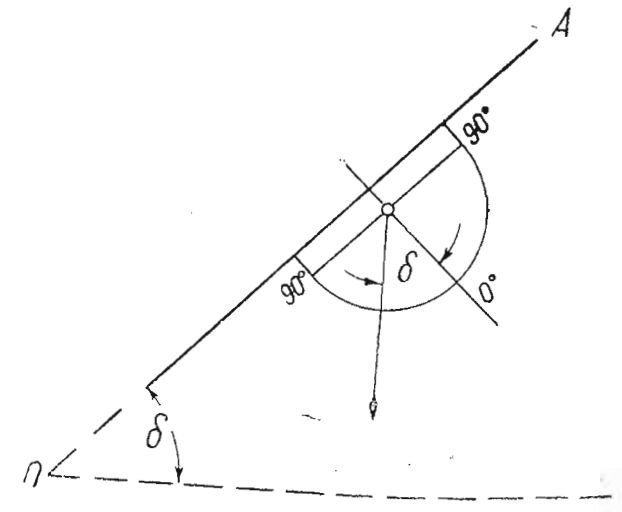
ბაშია, ამიტომ მის პირისპირ წრედზე აღებული ანათვალი ზონრის დახრის კუთხეს უდრის, თუ დაცული იქნება შემდეგი პირობები:



ნახ. 6.3.3.

1) შვეულის დაკიდების წერტილი უნდა ემთხვეოდეს ნახევარწრედის ცენტრს (ამ პირობის დაცვა გარანტირებულია ქარხნის მიერ);

2) ნახევარწრედის 90—90° დიამეტრი უნდა იყოს ზონრის ხაზის პარალელური. თუ ეს პირობა დაცული არ არის, მაშინ დახრის კუთხე გაზომილი ნახევარწრედის ერთ მდებარეობაში მეტი იქნება ჰეშმარიტზე, მეორე მდებარეობაში კი—ნაკლები. მათი საშუალო არითმეტიკული თავისუფალია ამ შეცდომისაგან (ნახ. 4);



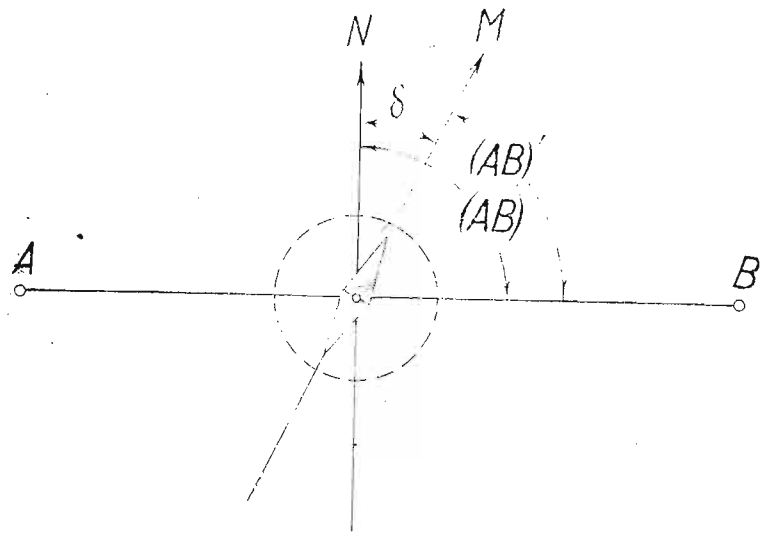
ნახ. 6.3.4.

3) ზონარი, რომელზედაც დაკიდებულია ნახევარწრედი, უნდა წარმოადგენდეს სწორ ხაზს, ე. ი. არ იზნიქებოდეს ნახევარწრედის წონის გავლენით. ფაქტობრივად ეს პირობა ზუსტად არასდროს არ არის დაცული, ვინაიდან რამდენადაც არ უნდა დავჭიმოთ ზონარი, იგი საკუთარი წონის

გავლენითაც კი ღებულობს ასიმეტრიულ ფორმას. მისი უდიდესი ჩაღუნვის ისარი მდებარეობს ქვედა ბოლოს მახლობლად. ზონრის ქვედა ბოლოზე დახრის კუთხე ჰეშმარიტზე ნაკლებია, ზემო ბოლოზე კი—მეტი. ამ შეცდომის შემცირების მიზნით საჭიროა ზონარი დაიჭიმოს რაც შეიძლება მაგრად, ხოლო ნახევარწრედი დავკიდოთ გასაზომი მონაკვეთის შუა ადგილზე.

საკიდი იარაღებით აგეგმვა. საკიდი იარაღებით აგეგმვა შეიძლება პარალელურ შტრეკებში, სასვლელში და სხვა მეორე ხარისხოვან გვირაბებში, აგრეთვე წმენდითს სანგრევებში. იგი აუცილებლად უნდა იწყებოდეს თეოდოლიტური აგეგმვის ცნობილი პუნქტებიდან და იყოს შეკრული პოლიგონის ფორმის ან საწყისსა და ბოლოში ეყრდნობოდეს ცნობილ წერტილებს.

აგეგმვის დაწყების წინ უნდა განისაზღვროს მაგნიტური მიხრილობის ოდენობა. ამ მიზნით თეოდოლიტური აგეგმვის მოსაზღვრე ცნობილ A და B



ნახ. 6 3.5.

პუნქტებს შორის დაჭიმავენ ზონარს (ნახ. 5). წინა პარაგრაფში აღწერილი მეთოდით განსაზღვრავენ AB ხაზის მაგნიტურ $(AB)'$ აზიმუტს სხვადასხვა წერტილში. თუ გაზომვის შედეგები არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან $\pm 30'$-ზე მეტად, მაშინ გამოთვლიან მიხრილობის ოდენობას ფორმულით:

$$\delta = (AB) - (AB)', \qquad (6.3.1)$$

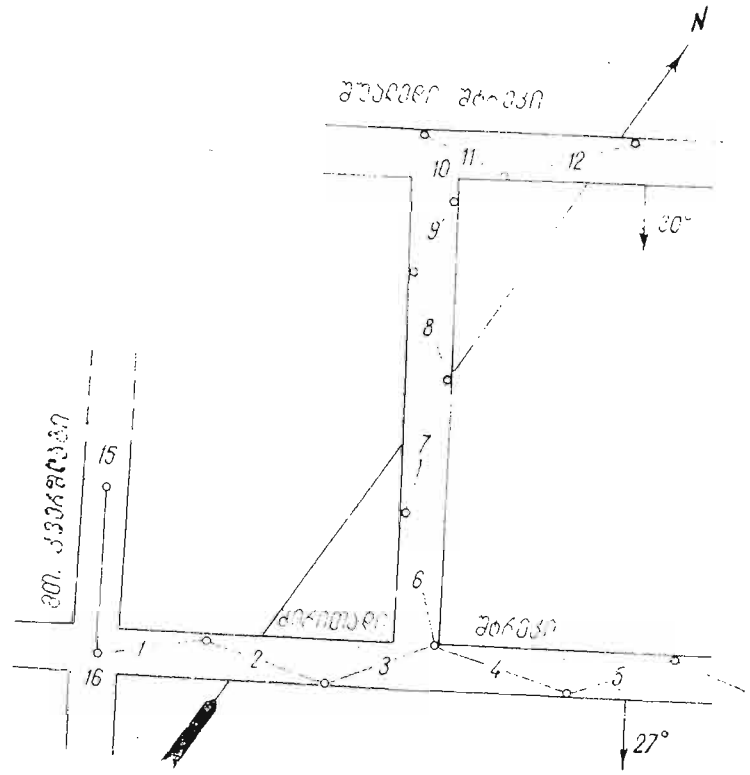
წინააღმდეგ შემთხვევაში ირჩევენ თეოდოლიტური აგეგმვის სხვა გვერდს, სადაც ისარზე მაგნიტური მასა გავლენას არ ახდენს.

ასაგეგმი უბანი როდესაც თავისუფალია მაგნიტური მასის გავლენისაგან, საკიდი იარაღებით აგეგმვას აწარმოებენ შემდეგნაირად: გვირაბის ხის სამაგრში ერთიმეორისაგან 15—20 მ-ის დაშორებით მიაჭედავენ ლურსმნებს და მათ შორის დაჭიმავენ 2—3 მმ დიამეტრის ზონარს, რითაც ადგილზე შეიქმნება ტეხილი ხაზების სისტემა 1—2—3..., ანუ სვლა ბუსოლით (ნახ. 6). ზომავენ ამ სვლის თითოეული გვერდის მაგნიტურ აზიმუტს საკიდი ბუსოლით, დახრის კუთხეს—საკიდი ნახევარწრედით, დახრილ სიგრძეს—ფოლადის ან ტილოს რულეტით. ამავე დროს ადგენენ ესკიზსს, სადაც უჩვენებენ მანძილებს

პოლიგონის წერტილებიდან გვირაბის კედლებამდე, ჭერამდე, იატაკამდე და სხვა წვლილადებამდე.

საკიდი იარაღებით აგეგმვის მასალის კამერული დამუშავებისას გამოითვლიან სვლის გვერდების მაგნიტური აზიმუტების საშუალო მნიშვნელობებს, დირექციულ კუთხეებს და ჰორიზონტულ პროექციებს. ამის შემდეგ აგეგმვის შედეგები გეგმაზე დააქვთ გრაფიკულად, სვლის გვერდების ჰორიზონტული პროექციებისა და დირექციული კუთხეების საშუალებით.

გაზომვებს ყოველთვის თან ახლავს უცილობელი შეცდომები, ამიტომ თუ



ნახ. 6.3.6.

სვლა ბუსოლით ჩაკეტილია ან საწყისსა და ბოლოში ცნობილ A და B პუნქტებს ეყრდნობა, მაშინ მისი ბოლო B_1 წერტილი შეიძლება არ დაემთხვეს თეოდოლიტური აგეგმვის B წერტილს (ნახ. 7). $f_s = BB_1$ მანძილს პოლიგონის ხაზოვანი შეუკვრელობა ეწოდება. იგი ითვლება დასაშვებად, თუ არ აღემატება სვლის პერიმეტრის 1 : 200-ს. შეუკვრელობის გაწონასწორება სრულდება გრაფიკულად, პარალელური ხაზების მეთოდით. ამ მიზნით სვლის ყველა წვეროზე გაავლებენ BB_1 ხაზის პარალელურ წრფეებს და მათზე ხაზოვანი შეუკვრელობის საწინააღმდეგო მხარეზე მოზომავენ 1—1′, 2—2′, 3—3′ და 4—4′ მონაკვეთებს, რომლებიც განისაზღვრება ფორმულებით

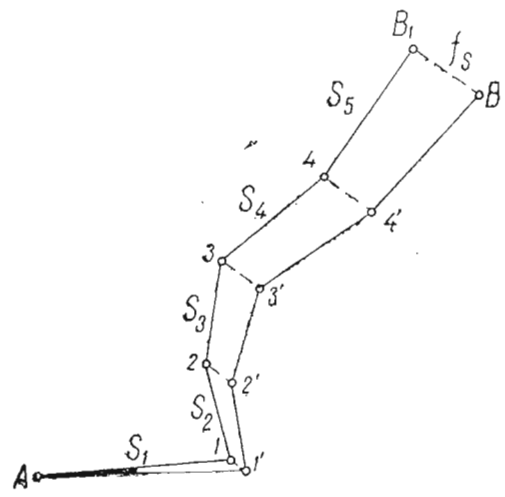
$$1 - 1' = ms_1,$$
$$2 - 2 = m(s_1 + s_2),$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$4 - 4' = m(s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5),$$

სადაც

$$m = \frac{BB_1}{s_1+s_2+s_3+s_4+s_5}.$$

1′, 2′, 3′, 4′, წერტილების შეერთებით მიიღებენ თეოდოლიტური სვლის A და B პუნქტებზე დაყრდნობილ გაწონასწორებულ სვლას ბუსოლით.

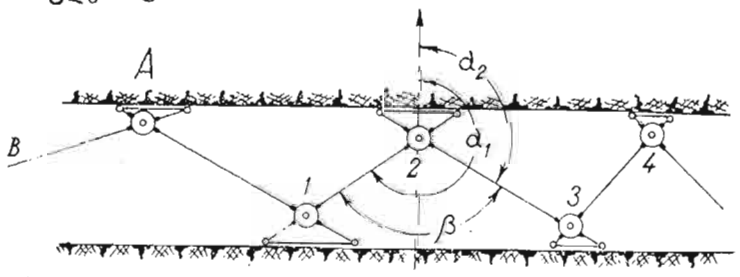
საკიდი იარაღებით აგეგმვა შეიძლება აგრეთვე ისარზე მაგნიტური მასის გავლენისაგან არათავისუფალ გარემოშიც. ამისათვის ასაგეგმ გვირაბში (ან წმენდითი სანგრევის გასწვრივ) ბუსოლით სვლას აგებენ ისე, რომ მისი მოსაზღვრე გვერდები (ზონრები) გვირაბის კედლიდან მცირე მანძილზე გადაიკვეთოს (ნახ. 8). ამ შემთხვევაში სვლის წვეროები იქნება ზონრების გადაჯვარედინების A, 1, 2, 3... წერტილები. მათ ქვეშ რიგრიგობით კიდებენ ბუსოლს და ზომავენ მოსაზღვრე $(A-B)-(A-1)$, $(1-A)-(1-2)$, $(2-1)-(2-3)$ გვერდების მაგნიტურ აზიმუტებს. მაგალითად, მე-2 წერტილზე ჯერ გაიზომება 2—1 გვერდის α_1 მაგნიტური აზიმუტი, შემდეგ იგივე წერტილის ირგვლივ ბუსოლის მობრუნებითა და 2—3 ხაზზე გადადებით—ამ ხაზის α_2 მაგნიტური აზიმუტი. α_1 და α_2 მაგნიტურ აზიმუტებში შევა მაგნიტური მასის გავლენა, მაგრამ ტოლი ოდენობით, ამიტომ პოლიგონის β კუთხე, გამოთვლილი ფორმულით



ნახ.6.3.7.

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2,$$

თავისუფალი იქნება მაგნიტური მასის გავლენისაგან. ამ შემთხვევაში საკიდი ბუსოლი ასრულებს უმარტივესი კუთხსაზომი ინსტრუმენტის როლს.



ნახ. 6.3.8.

გარდა მაგნიტური აზიმუტებისა, იზომება აგრეთვე თითოეული გვერდის დახრის კუთხე კიდული ნახევარწრედით და დახრილი სიგრძე—რულეტით.

აგეგმვის მასალის კამერული დამუშავების დროს გამოსავალი გვერდის

დირექციული კუთხითა და გამოთვლილი ჰორიზონტული კუთხეებით გამოითვლიან სვლის ყველა გვერდის დირექციულ კუთხეებს, გაზომილი მანძილებითა და დახრის კუთხეებით ანგარიშობენ გვერდების ჰორიზონტულ პროექციებს, რის შემდეგ გეგმის შედგენა წარმოებს გრაფიკულად, წინა შემთხვევის ანალოგიურად.

6.4. თხელი და საშუალო სისქის დამრეცი და დახრილი ფენების წმენდითი გვირაბების აგეგმვა და მასთან დაკავშირებული ამოცანები

ა) წმენდითი გვირაბის (ლავის) აგეგმვა. ლავის აგეგმვა უმეტესად წარმოებს თვეში ერთხელ და სრულდება სამთო სამუშაოების გეგმის შესავსებად, წმენდითი სანგრევის სწორხაზოვნების საკონტროლოდ, შესრულებული სამთო სამუშაოების მოცულობის გამოსათვლელად და მარგი წიაღისეულის ამოღებისა და დანაკარგების აღსარიცხავად. ამ დროს წმენდითი სანგრევის ხაზის აგეგმვასთან ერთად აღნიშნავენ გამაგრების ხასიათსა და ხარისხს, საზღვრავენ საყორე ზოლებისა და შტრეკების სიგანეს, ფენის წოლის ელემენტებს, ტექტონიკური აშლილობის მახასიათებელ ელემენტებს, ადგენენ ფენისა და გვერდითი ქანების სტრუქტურის ჩანახაზს და ა. შ.

დიდი მნიშვნელობა აქვს წმენდითი სანგრევის ხაზის სწორხაზოვნობის დაცვას. ლავის სანგრევის ხაზის გამრუდება არასასურველი მოვლენაა. იგი ართულებს ჭერის მართვას, არღვევს ციკლურობის გრაფიკს, ამცირებს შრომის ნაყოფიერებას. ლავის გამრუდებას იწვევს სავენტილაციო, შუალედი ან საზიდი შტრეკის ჩამორჩენა, ექსპლოატაციის წესებისა და საყელავი მანქანის ან კომბაინის მუშაობის რეჟიმის დარღვევა, სანგრევში შპურების უთანაბრო განლაგება, გეოლოგიური აშლილობები და სხვ. მარკშეიდერის ერთ-ერთი ძირითადი მოვალეობაა კონტროლი გაუწიოს ლავის სწორხაზოვნობის დაცვას, აგეგმვის მასალის საფუძველზე შეადგინოს გამრუდებული ლავის გასწორების გრაფიკი და სათანადო მითითება მისცეს უბნის უფროსს.

წმენდითი სანგრევის აგეგმვა წარმოებს მარტივი კუთხსაზომი ან საკიდი იარაღებით, 6.3 პარაგრაფში აღწერილი წესით.

ბ) გამომუშავებული სივრცის ფართობის განსაზღვრის სიზუსტე. წმენდითი სივრციდან მოპოვებული მარგი წიაღისეულის მოცულობის გამოსათვლელად საჭიროა საკმარისი სიზუსტით განისაზღვროს გამომუშავებული უბნის ფართობი და ფენის საშუალო სისქე მოცემული კონტურის ფარგლებში.

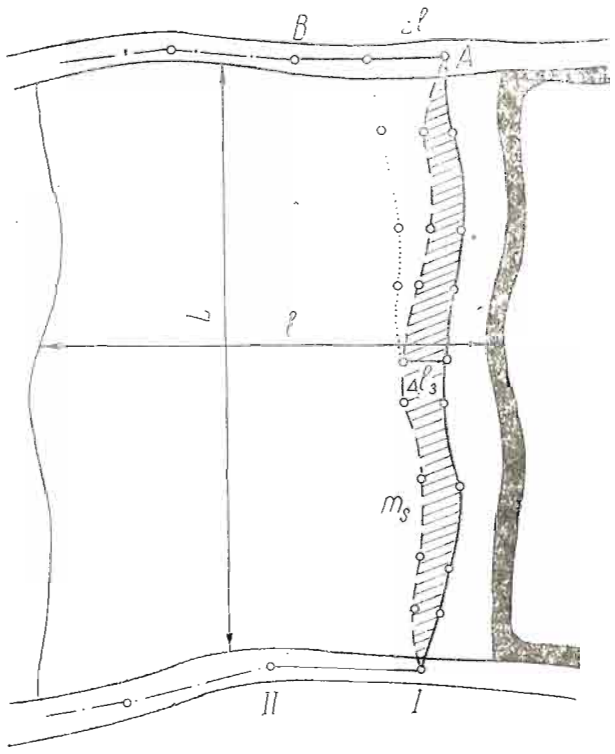
ფართობის განსაზღვრის სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებულია წმენდითი სანგრევის გასწვრივ კუთხზომითი (ან ბუსოლით) სვლის (m_{s_1}), აგეგმვის მასალის გეგმაზე დატანის (m_{s_2}) და გეგმაზე ფართობის გაზომვის (m_{s_3}) შეცდომებზე.

ფართობის განსაზღვრის საერთო შეცდომაში შევა აგრეთვე კუთხზომითი სვლის მიმართ სანგრევის ხაზის მდებარეობის განსაზღვრის შეცდომები (ორდინატების გაზომვის შეცდომები), მაგრამ მათი გავლენა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ შეიძლება უგულებელყოფილ იქნეს, ამიტომ გამომუშავებული სივრცის ფართობის განსაზღვრის საერთო შეცდომა იქნება [17]

$$m_s = \pm\sqrt{m_{s_1}^2 + m_{s_2}^2 + m_{s_3}^2}. \qquad (6.4.1)$$

განვიხილოთ თუ რა გავლენას ახდენს შეცდომების თითოეული წყარო გამომუშავებული სივრცის ფართობის განსაზღვრის საერთო შეცდომაზე.

m_{s_1}-ის განსაზღვრა. პრაქტიკაში გვხვდება წმენდით სანგრევში კუთხზომითი სვლის სამი ძირითადი სახე:



ნახ. 6.4.1.

1) თავისუფალი, კიდული სვლა, რომელიც იწყება ხისტი (I—II) მიმართებიდან და I წერტილიდან (ნახ. 1);

2) არათავისუფალი სვლა ორ ხისტ (I—II) და (AB) მიმართებასა და ერთ ხისტ I გამოსავალ წერტილს შორის;

3) არათავისუფალი სვლა ორ ხისტ (I—II) და (AB) მიმართებასა და ხისტ I და A წერტილებს შორის.

პირველი სახის კუთხზომითი სვლის ბოლო წერტილის მდებარეობის შეცდომა ხასიათდება მისი განივი Δl_1 გადაადგილებით და გამოითვლება შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$\Delta l_1 = L \frac{m'_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n}{3}}, \tag{6.4.2}$$

სადაც L არის სვლის საერთო სიგრძე, მ-ში,

m_β — კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა,

n — კუთხეების რიცხვი; $\rho = 3438'$.

მეორე სახის კუთხზომით სვლაში ბოლო წერტილის მდებარეობის განსაზღვრის შეცდომა (განივი გადაადგილება) გაზომილი კუთხეების გაწონასწორების გამო მცირდება ორჯერ და გამოითვლება შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$\Delta l_2 = L \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n}{12}}. \tag{6.4.3}$$

რაც შეეხება მესამე სახის კუთხზომით სვლას, აქ წონასწორდება როგორც კუთხეები, ისე კოორდინატები, რის გამოც მაქსიმალური განივი

გადაადგილება იქნება სვლის შუაში და განისაზღვრება შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$\Delta l_3 = L \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n}{192}}. \tag{6.4.4}$$

როგორც (2), (3) და (4) ფორმულებიდან ჩანს, კიდული თავისუფალი კუთხზომითი სვლა ნაკლებად საიმედოა. ამიტომ წმენდითი სანგრევის აგეგმვისას კუთხზომითი სვლის საწყისი და ბოლო წერტილები უნდა იყოს დაყრდნობილი თეოდოლიტური აგეგმვის პუნქტებზე.

გამომუშავებული სივრცის ფართობის განსაზღვრის m_s შეცდომა, გამოწვეული განივი გადაადგილებით, შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$m_s = L \frac{\Delta l}{2}, \tag{6.4.5}$$

მაგრამ გამომუშავებული სივრცე მიმართებით მოქცეულია ყოველი თავის საწყისსა და ბოლოში კუთხზომითი აგეგმვის საფუძველზე განსაზღვრულ ორ საზღვარს შორის, ამიტომ საძიებელი შეცდომა

$$m_{s_1} = m_s \sqrt{2} = L \frac{\Delta l}{2} \sqrt{2}. \tag{6.4.6}$$

მეორე სახის კუთხზომითი სვლის შემთხვევაში განივი Δl გადაადგილება გამოითვლება (3) ფორმულით, რომლის მხედველობაში მიღების შემდეგ (6) გამოსახულება შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$m_{s_1} = \frac{L^2 m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n}{24}}. \tag{6.4.7}$$

მაგალითად, თუ $L = 200$ მ-ს, $m_\beta = \pm 10'$ და $n = 10$, მივიღებთ

$$m_{s_1} = \frac{200^2 \cdot 10'}{3438'} \sqrt{\frac{10}{24}} = 75 \text{ მ}^2.$$

m_{s_2}-ის განსაზღვრა. გამომუშავებული სივრცის ფართობის განსაზღვრის სიზუსტეზე კუთხზომითი სვლის გეგმაზე დატანის შეცდომის გავლენა შეიძლება განისაზღვროს m_{s_1}-ის მსგავსად, (7) ფორმულის ანალოგიური გამოსახულებიდან

$$m_{s_2} = \frac{L^2 m_\alpha}{\rho} \sqrt{\frac{n}{24}}, \tag{6.4.8}$$

სადაც m_α არის კუთხზომითი სვლის გეგმაზე ტრანსპორტირით დატანის შეცდომა;

L — სვლის საერთო სიგრძე, გეგმის მასშტაბში.

მაგალითად, როდესაც გეგმის შედგენა ხდება 1 : 1000 მასშტაბში, $L = 200$ მ-ს და $m_\alpha = \pm 15'$-ს, ვღებულობთ

$$m_{s_2} = \frac{20^2 \cdot 15'}{3438'} \sqrt{\frac{10}{24}} = 1{,}13 \text{ სმ}^2,$$

ანუ

$$m_{s_2} = 113 \text{ მ}^2.$$

m_{s_3}-ის განსაზღვრა. გამომუშავებული წმენდითი სივრცის ფართობი განისაზღვრება წმენდითი სანგრევის საშუალო L სიგრძისა და საშუალო l წინწაწევის ნამრავლით. თუ სანგრევის ხაზის სიგრძე 20—30 მეტრია, მაშინ მას ზომავენ უშუალოდ. დიდი სიგრძის გამრუდებული ლავის შემთხვევაში სანგრევის სიგრძე განისაზღვრება მარკშეიდერული აგეგმვის საფუძველზე შედგენილი გეგმის მიხედვით, გრაფიკულად $\pm 0{,}2$ მმ-ის სიზუსტით. ფართობის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომა ამ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით

$$m_{s_3} = \pm\sqrt{L^2 m_l^2 + l^2 m_L^2}, \qquad (6.4.9)$$

სადაც L არის ლავის საშუალო სიგრძე, მეტრებში;

l — ლავის საშუალო წინწაწევა საანგარიშო პერიოდში, მეტრებში

m_L — L-ის საშუალო კვადრატული შეცდომა;

m_l — l-ის „ „ „ ;

როდესაც $L = 200$ მ-ს, $l = 40$ მ-ს, $m_l = m_L = \pm 0{,}2$ მმ-ს, ვღებულობთ

$$m_{s_3} = \pm\sqrt{200^2 \cdot (0{,}2)^2 + 40^2 (0{,}2)^2} = \pm 40 \text{ მ}^2.$$

ფართობის განსაზღვრის საერთო საშუალო კვ. შეცდომა კი იქნება

$$m_s = \pm\sqrt{75^2 + 112^2 + 40^2} = \pm 141 \text{ მ}^2,$$

რაც თვის განმავლობაში გამომუშავებული 8000 მ ფართობის 1,8 %-ს შეადგენს.

c) ფენის სისქის განსაზღვრის სიზუსტე. წმენდითი სივრციდან მოპოვებული მარგი წიაღისეულის მოცულობის გამოთვლის სიზუსტეზე დიდ გავლენას ახდენს ფენის სისქის გაზომვის შეცდომა. გაზომვის მცდარი მეთოდის გამოყენება იწვევს კონტურის ფარგლებში სისქის საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრის შეცდომას 10 %-მდე, ნაცვლად დასაშვები 2 %-ისა [19].

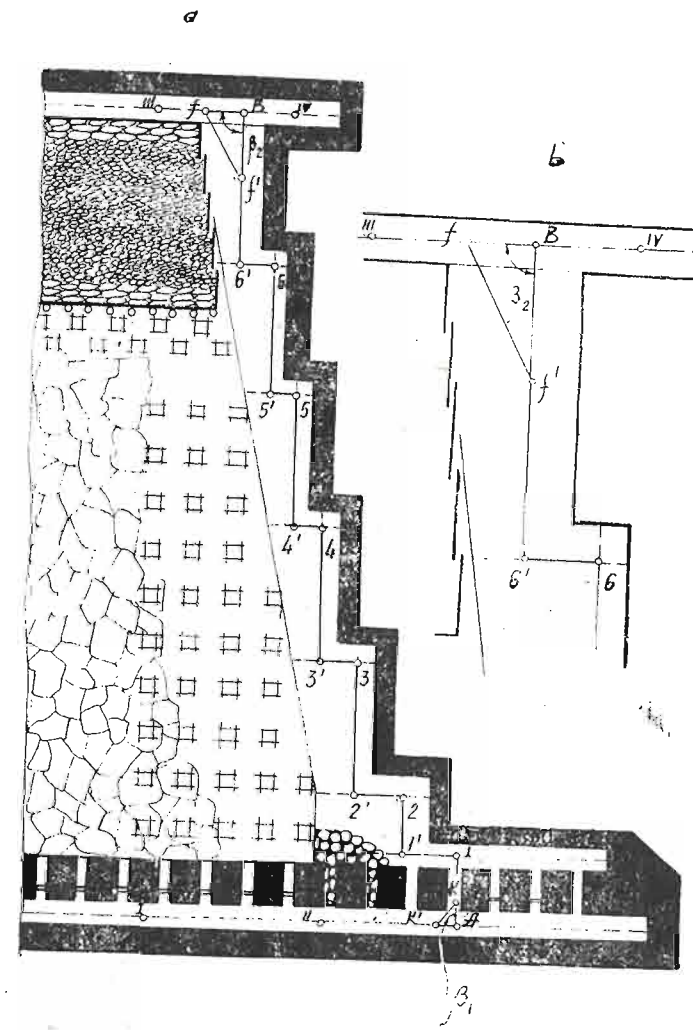
ფენის საშუალო სისქის საჭირო სიზუსტით განსაზღვრის უზრუნველსაყოფად საჭიროა (თუ სისქე მკვეთრად არ ცვალებადობს) გაზომვები შესრულდეს სანგრევის ხაზის გასწვრივ 15—20 მეტრის ინტერვალით ათ დღეში ერთხელ. თუ ფენის სახურავში ან საგებში რჩება მარგი წიაღისეულის დასტა, მაშინ სისქის გაზომვა აუცილებელია ხუთ დღეში ერთხელ 5 მეტრის ინტერვალით. დანაკარგების აღრიცხვის მიზნით დატოვებული დასტის სისქეც იზომება.

6.5. თხელი და საშუალო სიხქის ციცაბო ფენების წმენდითი სანგრევის აგეგმვა

ციცაბო ფენების დამუშავების დროს მარკშეიდერის ამოცანები ისეთივეა, როგორც დახრილი ფენების შემთხვევაში. რამდენადმე განსხვავებულია მხოლოდ წმენდითი სანგრევის აგეგმვა. თუ 40—45°-მდე დახრის შემთხვევაში ლავის აგეგმვა უმეტესად წარმოებს მარტივი კუთხსაზომით ან ბუსოლით, უფრო მეტი დაქანების ფენებში იგი სრულდება რულეტის ან ზონარის საშუალებით, შემდეგნაირად:

საზიდ შტრეკში, თეოდოლიტური აგეგმვის I—II პუნქტების გასწვრივ,

ამაგრებენ A წერტილს (ნახ. 1*). ამ უკანასკნელიდან აღმავალი მიმართულებით სანგრევის პირველი საფეხურის ძირამდე გაჭიმავენ რულეტს (ზონარს) და აღნიშნავენ 1-ლ წერტილს. შემდეგ სამთო კომპასის საშუალებით რულეტს ჭიმავენ ფენის მიმართებით (1—1′); 1′ წერტილში რულეტს ჭიმავენ კვლავ ფენის აღმავლობის (1′—2) მიმართულებით და ასე აგრძელებენ მანამ, სანამ არ



ნახ. 6.5.1.

გავლენ სავენტილაციო შტრეკში. აქ კი უკავშირდებიან თეოდოლიტური აგეგმვის III—IV პუნქტების გასწვრივ დამაგრებულ B წერტილს. რულეტის საჭირო მიმართებით დაჭიმვასთან ერთად ასრულებენ სანგრევის ხაზისა და წმენდითი გვირაბების სხვა ელემენტების აგეგმვას მართობების (ორდინატების) ხერხით.

როდესაც A და B წერტილებში β_1 და β_2 მიმხრობი კუთხეები მართი

არ არის, მათ ზომავენ კუთხსაზომით ან გამოთვლიან ამ მიზნით აგებულ AKK' და Bff' სამკუთხედებიდან, ფორმულით (ნახ. 1ბ)

$$\operatorname{tg}\frac{\beta_1}{2}=\sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}, \qquad (6.5.1)$$

სადაც $p=\dfrac{a+b+c}{2}$.

A—1—1′—2—...—B სვლას გვერდების ჰორიზონტული პროექციებითა და კუთხეებით დაიტანენ კალკაზე. შემდეგ კალკაზე დატანილ I, II და A წერტილებს შეათავსებენ გეგმის ანალოგიურ წერტილებთან, რითაც განისაზღვრება სვლის შეუკვრელობა ხისტი III და IV წერტილების მიმართ. თუ იგი არ აღემატება სვლის 1 : 100-დს, აწონასწორებენ გრაფიკულად, გვერდების სიგრძის პროპორციულად 6-3 პარაგრაფში აღწერილი წესით.

კალკაზე სვლის გაწონასწორების შემდეგ ნახაზი გადააქვთ გეგმაზე, სადაც გამოისახება სანგრევის ხაზი და წმენდითი სივრცის სხვა დეტალი. ზოგჯერ, მარგი წიაღისეულის ამოღებისა და დანაკარგების აღრიცხვის მიზნით, ადგენენ აგრეთვე. 1 : 500—1 : 1000 მასშტაბში ლავის გეგმას ფენის სიბრტყეში. ამ შემთხვევაში სარგებლობენ გვერდების დახრილი სიგრძეებით.

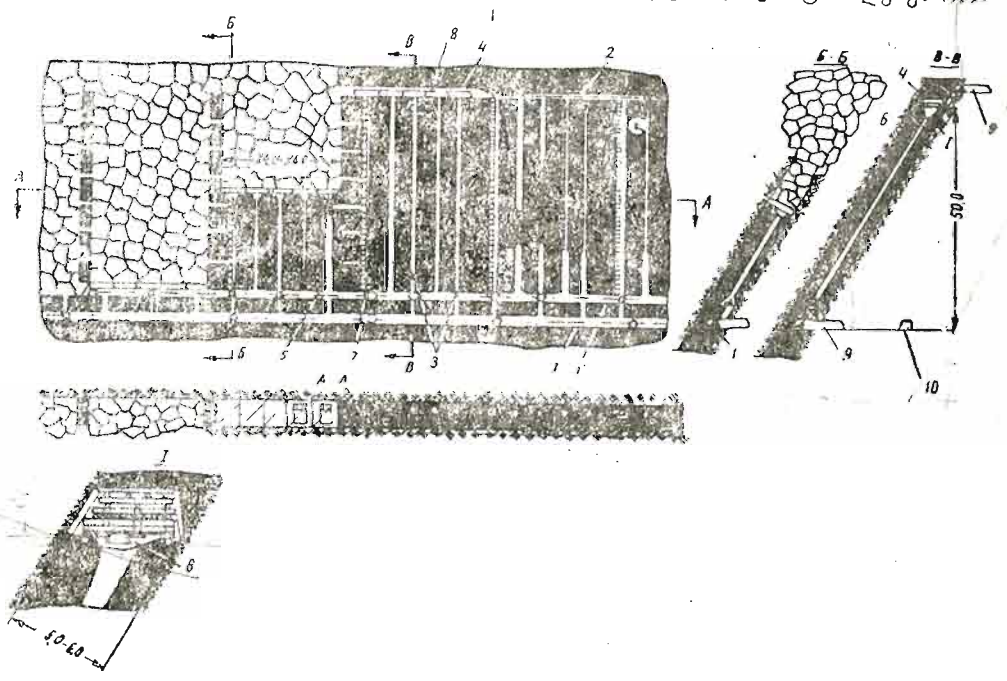
6.6. მარკშეიდერული სამუშაოები ციცაბო სქელი ფენების ფარებით დამუშავების დროს

ხშირად ქვანახშირის ციცაბო სქელ ფენებს ამუშავებენ მთელ სისქეზე ფარების გამოყენებით. ამ შემთხვევაში ამოსაღები ველის მოსამზადებლად გაყავთ: 1) ძირითადი 1, პარალელური 1′ და სავენტილაციო 2 შტრეკები; 2) სავენტილაციო სასულეები 5, 7 (შუროები); ნახშირსაშვები სასულეები 3 ფარის თითოეული სექციის ქვეშ; 4) ფარის სამონტაჟო კამერები 4 (გამკვეთები); 5) ფარისქვეშა ქვაბული 6 და გრძივი ტრანშეა. აღნიშნული გვირაბების შეჭრის ადგილის განსაზღვრა, მათი მიმართულებათა დაკვალვა და სწორად გაყვანის კონტროლი მარკშეიდერის ერთ-ერთი ძირითადი მოვალეობაა.

მოსამზადებელი და დაჭრითი გვირაბების გაყვანა ბლოკის ამოღების პროექტის შესაბამისად სრულდება. მარკშეიდერმა უნდა მიიღოს და შეისწავლოს ეს პროექტი, გვირაბების საპროექტო მდებარეობები გადაიტანოს სამთო სამუშაოების მარკშეიდერულ გეგმაზე და განსაზღვროს ადგილზე მათი დაკვალვისათვის საჭირო მონაცემები.

შორისული კვერშლაგებიდან 9 ფენის საგებში ან სახურავში, ამოსაღები ველის მთელ სიგრძეზე, გაყავთ ძირითადი და პარალელური შტრეკები 1, 1′ (ნახ. 1). რადგან ორივე შტრეკი ფენის საგებს ან სახურავს (მეგზურს) მიყვება, არ არის საჭირო ჰორიზონტულ სიბრტყეში მათი მიმართულების ზუსტად დაკვალვა, სამაგიეროდ სისტემატურად უნდა შემოწმდეს ქანობი და განივკვეთი. როდესაც შტრეკები უმეგზუროდ გაყავთ, მარკშეიდერმა განსაკუთრებული გულმოდგინებით უნდა გაუწიოს ზედამხედველობა მათი საპროექტო მიმართულების დაცვას. აღნიშნულ ძირითად მოსამზადებელ გვირაბებში თეოდოლიტური სვლით ქმნიან უბნის მომზადებისა და დამუშავების მთელი პერიოდის განმავლობაში აუცილებელი მარკშეიდერული აგეგმვისათვის საჭირო საყრდენი პუნქტების სისტემას.

სავენტილაციო შტრეკი 2 ემსახურება ფარის მონტაჟისათვის საჭირო მასალების მიწოდებას. შემდგომში იგი მრავალი დამჭრელი გვირაბით ძირითად ან პარალელურ შტრეკს უერთდება, ამის გამო სავენტილაციო შტრეკის საპროექტო ნიშნულზე შეჭრას, აგრეთვე მისი საპროექტო მიმართულების დაცვასა და აგეგმვას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს. ამ მიზნით ძირითად საზიდ შტრეკში არსებული მარკშეიდერული აგეგმვის საყრდენი პუნქტებიდან სავენტილაციო სასვლელში აკეთებენ თეოდოლიტურ ან კუთხსაზომით სვლას, განსაზღვრავენ შტრეკის შეჭრის ადგილს, აძლევენ მას მიმართულებას, რომელსაც გაყვანის პროცესში სისტემატურად აკონტროლებენ რო-



ნახ. 6.6.1.

გორც ჰორიზონტულ, ისე ვერტიკალურ სიბრტყეში. ამავე დროს თეოდოლიტით ან კუთხსაზომით აწარმოებენ შტრეკის ისეთ სიზუსტით აგეგმვას, რომ მისი ყველაზე შორეული წერტილის შეცდომა 0,5 მ-ს არ გადასცილდეს. ასეთი სიზუსტის მისაღწევად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მარტივი კუთხსაზომი, რომლის წრედზე ანათვლის აღების სიზუსტე 5—6′ იქნება. ამის დასადასტურებლად შეიძლება ვიხელმძღვანელოთ გაშლილი პოლიგონის ბოლო პუნქტის განივი q გადაადგილების გამოსათვლელი (5.7.39) ფორმულით, საიდანაც

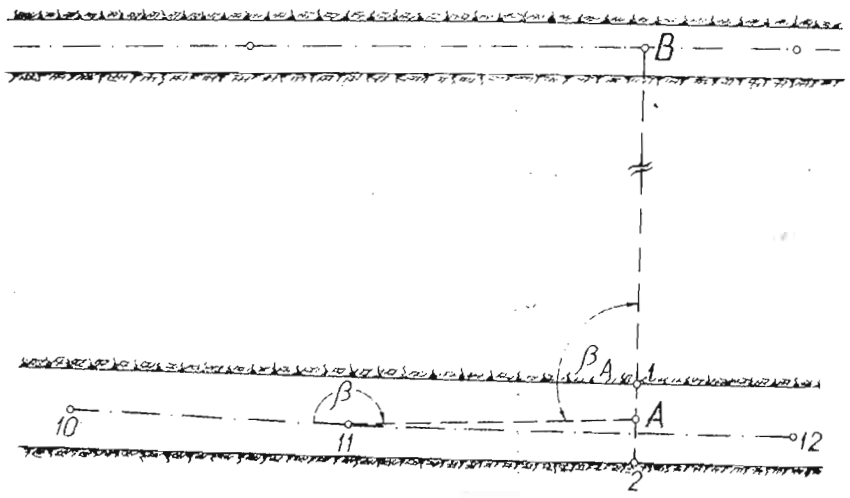
$$m_\beta=\frac{q\rho}{L\sqrt{\dfrac{n}{3}}}. \qquad (6.6.1)$$

თუ დავუშვებთ, რომ $q=\pm 0{,}5$ მ, $L=250$ მ, $n=6$, მივიღებთ

$$m_\beta=\frac{0{,}5\cdot 3438'}{250\cdot\sqrt{\dfrac{6}{3}}}\cong\pm 5'.$$

სავენტილაციო შტრეკის თეოდოლიტით აგეგმვის შემთხვევაში კუთხეების გაზომვა წარმოებს ნახევარი იღეთით. კონტროლის მიზნით თეოდოლიტური სვლები ძირითადი და სავენტილაციო შტრეკებში პერიოდულად უნდა შეიკრას სვეტების სასვლელი სასულეების ან სხვა სავენტილაციო გვირაბების გამოყენებით.

სავენტილაციო სასულეები 5,7 გაყავთ თითოეული სვეტის საზღვარზე, ხოლო ნახშირსაშვები 3 კი—ფარის თითოეული სექციის ქვეშ. სანგრევების განიავების გაადვილების მიზნით მათ ღერძზე წინასწარ, ქვედა შტრეკიდან ზევით, სპეციალურ საბურღ-საკვეთი მანქანით გაყავთ მეწინავე ჭაბურღილი. ამ შემთხვევაში მარკშეიდერს ევალება: a) სასულეების ღერძების დაკვალვა საზიდ ჰორიზონტზე პროექტის შესაბამისად; b) ჭაბურღილების მიმართულებათა დაკვალვა დახრისა და დირექციული კუთხეების მიხედვით, ისეთი სიზუსტით, რომ სავენტილაციო ჰორიზონტზე სასულეების საპროექტო მიმართულებიდან გადახრამ 0,5—1,0 მ ს არ გადააჭარბოს. წინააღმდეგ შემთხვევაში მოსალოდნელია სასულეს წუნი, ფარის ავარია, ნახშირის დანაკარგების ზრდა და სხვ.



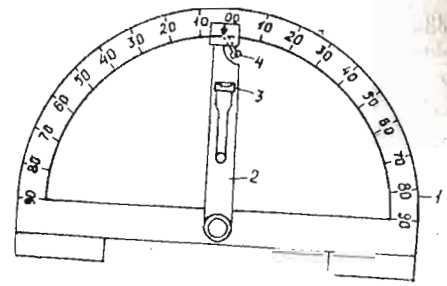
ნახ. 6.6.2.

ფარის წესიერი მუშაობის უზრუნველყოფისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს უბნის სამთო-გეოლოგიური პირობების გათვალისწინებას. ამ მიზნით სხვადასხვა ჰორიზონტზე გაყავთ მცირე ზომის ორტები და მათი საშუალებით ამოსაღები სვეტის სხვადასხვა ადგილას საზღვრავენ ფენის სისქეს, სტრუქტურასა და წოლის ელემენტებს, აგრეთვე გამოვლინებულ ტექტონიკურ აშლილობათა ხასიათს. სავენტილაციო სასულეებისა და ორტების გაყვანის დოკუმენტაციისა და აგეგმვის მონაცემებით ადგენენ დაჭრითი გვირაბების გეგმა-სქემასა და ვერტიკალურ ჭრილებს ფენის მთელ სისქეზე. ამდაგვარი ნახაზებიდან საზღვრავენ ფენის საშუალო დაქანების, ჭაბურღილის (ან შუროს) დახრის და თითოეულ სვეტში ფენის საშუალო მიმართების კუთხეებს.

საზიდ ჰორიზონტზე სასულეს შეჭრის *A* წერტილის განსაზღვრისათვის იყენებენ პროექტის მონაცემებსა და მარკშეიდერული აგეგმვის საყრდენ (10) და (11) პუნქტებს (ნახ. 2), გეგმა-სქემიდან გრაფიკულად ან ანალიზურად

საზღვრავენ სასულეს *AB* ღერძის დირექციულ კუთხეს, აგრეთვე ამ ღერძსა და მარკშეიდერული აგეგმვის უახლოეს (11) პუნქტზე მიმართების β_A კუთხეს.

A წერტილზე β_A კუთხის აგებით განისაზღვრება სასულეს ღერძის მიმართულება ჰორიზონტულ სიბრტყეში, რასაც ამაგრებენ (1) შვეულით ან აღნიშნავენ შტრეკის კედელზე. ბურღვის პროცესში ჭაბურღილის მიმართულების საკონტროლოდ (1—*A*)-ს გასწვრივ შტრეკში მოპირდაპირე კედელზეც ნიშნავენ (2) წერტილს. ამის შემდეგ საბურღ-საკვეთ მანქანას აყენებენ შტრეკში ისე, რომ მისი ცენტრი დაახლოებით სასულეს ღერძზე მდებარე *A* წერტილის ქვეშ მოექცეს, ხოლო საბურღი იარაღი კი მიმართული იყოს (1) შვეულისაკენ. მანქანის ამწე მექანიზმის სექტორის საშუალებით საბურღ ინსტრუმენტს წინასწარ აყენებენ სასულეს საპროექტო დახრის კუთხეზე, შემდეგ კი შვეულ სიბრტყეში მის მიმართულებას აზუსტებენ საკიდი ნახევარწრედის, ტრანსპორტირის ან დახრის საზომის საშუალებით (ნახ. 3).



ნახ. 6.6 3.

დახრის საზომი, რომელიც მარკშეიდერ ვ. ფაკეევის მიერ არის კონსტრუირებული, 30—30′-ად დაყოფილ ნახევარწრედს 1 წარმოადგენს და გააჩნია ცილინდრული თარაზო 3, სამაგრი ხრახნი 4 და მოძრავი სახაზავი 2. მიმართულების მიცემის დროს ხელსაწყოს მოძრავი სახაზავი თარაზოთურთ მაგრდება ჭაბურღილის დახრის δ კუთხის შესაბამის ანათვალზე და უკეთდება საბურღ-საკვეთი მანქანის შპინდელს. საბურღი ინსტრუმენტი ამწე მოწყობილობით აიწევა ან დაიწევა მანამ, სანამ დახრისსაზომის სახაზავზე მოთავსებული თარაზოს ბუშტულა ამპულის შუაში არ დადგება.

ვ. ფაკეევის ხელსაწყო მარტივი, მოხერხებული და საკმარისად ზუსტია. მისი საშუალებით საბურღი ინსტრუმენტის საპროექტო დახრის კუთხეზე დაყენება შეიძლება $\pm 10'$-ის სიზუსტით. უფრო მეტი სიზუსტის მიღწევა შეიძლება კუთხსაზომის საშუალებით.

აღნიშნული გვქონდა, რომ სავენტილაციო შტრეკზე ჭაბურღილის საპროექტო მდებარეობიდან გადახრამ 0,5—1,0 მ-ს არ უნდა გადააჭარბოს. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ ჭაბურღილის მიმართულება შვეულ სიბრტყეში მიცემული უნდა იყოს საკმარისად ზუსტად. მართლაც, თუ ჭაბურღილის დახრილი სიგრძე 120 მ უდრის, ხოლო მისი საპროექტო მიმართულებიდან გადახრა $\pm 0{,}5$ მ-ს, მაშინ დახრის კუთხის დასაშვები შეცდომა

$$m_\delta = \frac{0{,}5}{120}\,\rho' \cong \pm 15'.$$

მაგრამ ჭაბურღილის საპროექტო მდებარეობიდან გადახრა m_δ-ს გარდა სხვა ფაქტორებზედაც არის დამოკიდებული, ამიტომ მისთვის შვეულ სიბრტყეში მიმართულების მიცემა 15′-ზე უფრო ზუსტად უნდა შესრულდეს. მარკშეიდერი პირადად უნდა დაესწროს ჭაბურღილის შებურღვას, შეამოწმოს საბურღი ინსტრუმენტისათვის მიცემული მიმართულება და შემდგომში პერიოდული ზედამხედველობა გაუწიოს პროექტის შესაბამისად მის გაყვანას.

ბურღვის დამთავრების შემდეგ ჭაბურღილს აფართოებენ სასულეს საპროექტო კვეთამდე. გაფართოებას აწარმოებენ ზევიდან ქვევით. ამ დროს მარკშეიდერმა კონტროლი უნდა გაუწიოს სასულეს სწორხაზოვანი მიმართულებასა და განივკვეთის დაცვას, განსაკუთრებით ფეთქებადი სამუშაოებით მისი გაფართოების შემთხვევაში. თუ ნახშირსაშვები სასულე არასწორად არის გაყვანილი, შეიძლება ნახშირის ჩამოშვებისას იგი გაგანიერდეს, რაც საყრდენი მთელანების შესუსტებასა და ფარის ავარიას გამოიწვევს. სრული კვეთით სასულეს გაყვანის დამთავრების შემდეგ აწარმოებენ მის აგეგმვას კუთხსაზომით ან კიდული იარაღებით და დააქვთ სამთო სამუშაოების გეგმაზე ან ვერტიკალურ პროექციაზე.

მოსამზადებელი გვირაბების სპეციფიკურ სახეს, რაც დამახასიათებელია მხოლოდ ფარებით დამუშავების სისტემისათვის, წარმოადგენს სავენტილაციო შტრეკიდან გაყვანილი ჰორიზონტული გვირაბები—ორტები, რომლებსაც გამკვეთებს უწოდებენ. გამაგრების შემდეგ გამკვეთს აღრმავებენ ფარის თითოეული სექციის ქვეშ და ქმნიან ფართო ქვაბულს, რომელსაც ნახშირსაშვებ სასულესთან შეერთების ადგილზე ძაბრისებრი ფორმა აქვს. იგი აადვილებს ფარის მონტაჟს და საჭიროა საექსპლოატაციო სამუშაოების განვითარებისათვის. ქვაბულებს ერთიმეორესთან აერთებენ გრძივი ტრანშეით, რითაც ფარის ქვეშ მთელ სიგრძეზე, იქმნება გამჭოლი გასასვლელი.

ფარს ჰორიზონტულად ამონტაჟებენ. მის გაშვებას იწყებენ ჰორიზონტული მდებარეობიდან დახრილში გადაყვანით. ამისათვის ფენის საგების მხრის საყრდენ მთელანას ნაწილ-ნაწილ აფეთქებენ და ფარი საკუთარი წონის გავლენით ცალი მხრით დაბლა ეშვება, მუშა მდგომარეობაში ფარს ფენის სახურავი და საგები გვერდების მიმართ უჭირავს ნორმალური მდებარეობა. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ ფარი ყველაზე კარგად მოძრაობს β კუთხით დახრის დროს, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\beta = (90° - \delta) + 10°, \qquad (6.6.2)$$

სადაც δ ფენის დაქანების კუთხეა.

ფენის საგებზე ფარის დაცურების ასაცილებლად ფენის სახურავსა და საგებში ტოვებენ, შესაბამისად, 0,5 და 1,0 მეტრამდე სისქის ნახშირის დამცავ მთელანებს.

სამთო სამუშაოების ამ ეტაპზე მარკშეიდერი გეგმაზე და ადგილზე ნახშირსაშვები სასულეების ფაქტობრივი მდებარეობის მიხედვით აწარმოებს მთელი ამოსაღები სვეტის საფარო სექციების ღერძების დაკვალვას, განსაზღვრავს დამცავი მთელანების საზღვრებს, მიმართულებას აძლევს გამკვეთებს, ზედამხედველობას უწევს ქვაბულისა და ტრანშეის საპროექტო კვეთების დაცვას.

მარკშეიდერული აგეგმვის მონაცემებით 1 : 500 — 1 : 1000 მასშტაბში აგებენ წმენდითი ბლოკის პროექციას შეუღ სიბრტყეზე, ვერტიკალურ ჭრილებს და ავსებენ სამთო სამუშაოების ძირითად გეგმებს.

6.7. მარკშეიდერული სამუშაოები მადნის საბადოების მიწისქვეშა დამუშავების დროს

მადნის საბადოების მიწისქვეშა დამუშავების დროს შახტის ველს ყოფენ ამოსაღებ უბნებად—წმენდით ბლოკებად. ცალკეული ასეთი ბლოკი შემოსაზღვრულია სიმაღლეზე—ძირითადი საზიდი ჰორიზონტებით, მიმართებით ერთი-

მეორისაგან 20—80 მეტრ მანძილზე გაყვანილი აღმავლებით, ხოლო მიმართების ჯვარედინად—ბუდობის სახურავი და საგები გვერდებით.

ამოსაღებად მომზადების დროს ბლოკში გაყავთ სხვადასხვა საწარმოო დანიშნულებისა და ერთიმეორესთან ერთიანი ტექნოლოგიური სქემით დაკავშირებული მრავალი გვირაბი: შტრეკები, ორტები, აღმავლები, მადანსაშვებები, ჭაბურღილები (ფეთქებადი ნივთიერების მუხტის მოსათავსებლად) და სხვ. ჩამოთვლილი გვირაბები უმეტესად უმეგზუროდ გაყავთ მადნის სხეულში ან გვერდით ქანებში. ბლოკში მათი შეფარდებითი მდებარეობა განისაზღვრება დამუშავების სისტემის ტექნიკური პროექტის მიხედვით, რომელიც განმარტებითი ბარათისა და ნახაზებისაგან შედგება.

ტექნიკური პროექტის განმარტებით ბარათში მოცემული უნდა იყოს ცნობები მადნის სხეულის ფორმისა და განლაგების პირობების, მადნისა და შემცველი ქანების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების, ბლოკის მომზადებისა და დაჭრის თანამიმდევრობის, წმენდითი სამუშაოების წარმოების წესისა და მეთოდის, ბლოკში მადნის მარაგის, გეგმიური დანაკარგების და სხვა ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებებისა და მაჩვენებლების შესახებ.

საპროექტო ნახაზებზე (ბლოკის ძირითადი და საქვესართულე ჰორიზონტების გეგმები, გრძივი და განივი ჭრილები) დატანილი უნდა იყოს ბლოკისა და მისი ელემენტების საზღვრები, ბლოკსა და მის მოსაზღვრე უბნებზე არსებული გვირაბების ფაქტობრივი მდებარეობა, მადნის სხეულის კონტური, საპროექტო მოსამზადებელი და დაჭრითი გვირაბები, ამოღების ცალკეული დეტალები, კოორდინატთა ბადე.

ბლოკში სამუშაოების დაწყებამდე მარკშეიდერი მოკალეა დეტალურად გაეცნოს საპროექტო ნახაზებსა და განმარტებით ბარათს, გაერკვეს დაპროექტებული გვარაბების მთელ კომპლექსში, დაადგინოს თითოეული მათგანის დანიშნულება და გაყვანის თანამიმდევრობა, გამოავლინოს პროექტში დაშვებული შესაძლო შეცდომები. ამ მიზნით საპროექტო ნახაზებიდან ძირითად მარკშეიდერულ გეგმებზე უნდა გადატანილ იქნეს (ფანქრით) ყველა მოსამზადებელი და დაჭრითი გვირაბი და გაირკვეს ბუდობის ფაქტობრივ კონტურთან მათი შესაბამისობა. საჭიროების შემთხვევაში პროექტი უნდა შესწორდეს. საპროექტო ნახაზების მხოლოდ ასეთი შესწავლა-შემოწმების შემდეგ მარკშეიდერი ასრულებს იმ ძირითად მარკშეიდერულ სამუშაოებს, რაც საჭიროა ბლოკის მომზადებისათვის, სახელდობრ:

1) განსაზღვრავს დაპროექტებული გვირაბების შეჭრის ადგილს, აძლევს მათ მიმართულებას და სისტემატურ ზედამხედველობას უწევს პროექტის შესაბამისად მათ გაყვანას;

2) აწარმოებს თითოეული ქვესართულის ორიენტირებასა და მათში ნიშნულის გადაცემას;

3) ახდენს გვირაბის გაყვანილი ნაწილის ჰორიზონტულ და ვერტიკალურ აგეგმვას და ადგენს შესაბამის ნახაზს. ბლოკის მომზადებისათვის განკუთვნილი გვირაბების შეჭრის ადგილის განსაზღვრა, მათი სწორხაზოვანი თუ მრუდხაზოვანი უბნების მიმართულების დაკვალვა და გაყვანის პროცესში ზედამხედველობა სრულდება II თავში აღწერილი წესის მიხედვით. აქ მხოლოდ შევნიშნავთ, რომ საპროექტო გვირაბების შედარებით მცირე სიგრძის გამო მათი ადგილზე დაკვალვისათვის საჭირო გამოსავალი მონაცემები (გვირაბის ღერძის დირექციული კუთხე, ქანობი, მოხვევის რადიუსი) განისაზღვრება გრაფიკუ-

ლად საპროექტო ნახაზებიდან. ცალკეული ქვესართულების ორიენტირება და მათში ნიშნულის გადაცემა შეიძლება განხორციელდეს III და IV თავში მოყვანილი ერთ-ერთი, მოცემულ პირობებში ყველაზე მიზანშეწონილი მეთოდით.

წმენდითი ბლოკის მოსამზადებელი და დაჭრითი გვირაბების მარკშეიდერული აგეგმვა სრულდება თეოდოლიტური ან კუთხზომითი სვლით. აგეგმვის სიზუსტე დამოკიდებულია გაყვანის პროცესში საპროექტო მიმართულებიდან გვირაბის გადახრის დასაშვებ ოდენობაზე. კრივოიროგის აუზის შახტებში მარკშეიდერული სამუშაოების წარმოების ტექნიკური ინსტრუქციით რეკომენდებული ასეთი გადახრები (1) ცხრილშია მოყვანილი.

ცხრილი 6.7 1

გვირაბები	დასაშვები გადახრა, მ (*m*)	
	ჰორიზონტულ სიბრტყეში	ვერტიკალურ სიბრტყეში
1. სკრეპერის საქვესართულე გვირაბები (შემხვედრი სანგრევებით გაყვანისას)	სანგრევების შეხვედრის ადგილზე	
	0,5	0,25
2. სხვა დანიშნულების საქვესართულე გვირაბები	სანგრევების შეხვედრის ადგილზე ან საწყისი მიმართულებიდან ყველაზე შორეულ წერტილში	
	1,0	0,25
3. საქვესართულე ორტები (ამოსაღები კამერის მიმართების ჯვარედინად განლაგების შემთხვევაში)	0,25	0,25
4. საექსპლოატაციო ჭაბურღილები საართულე ან საქვესართულე ჩამოქცევის სისტემის შემთხვევაში	ჭაბურღილის სანგრევში	
	0,5	0,25
5. ბლოკური აღმავლები	საქვესართულე გვირაბებთან შეუღლების ადგილზე	
	0,5—1,0	—

საქვესართულე გვირაბების საპროექტო მიმართულებიდან დასაშვები გადახრის ზემომოყვანილი ნორმის დასაცავად საჭიროა აგეგმვები შესრულდეს შემდეგი სიზუსტით:

1) ქვესართულის სააგეგმვო ქსელის ორიენტირება უნდა მოხდეს იმგვარად, რომ მიწისქვეშა მარკშეიდერული საყრდენი ქსელის მიმართ ორიენტირების შეცდომამ არ გადააჭარბოს ±10′-ს. ორიენტირება უნდა შესრულდეს დამოუკიდებლად ორჯერ. ორ შედეგს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს ± 14′-ს, ჰორიზონტების თანამიმდევრობით ორიენტირების შემთხვევაში კი — $\frac{14'}{\sqrt{n}}$-ს, სადაც *n* ჰორიზონტების რიცხვია.

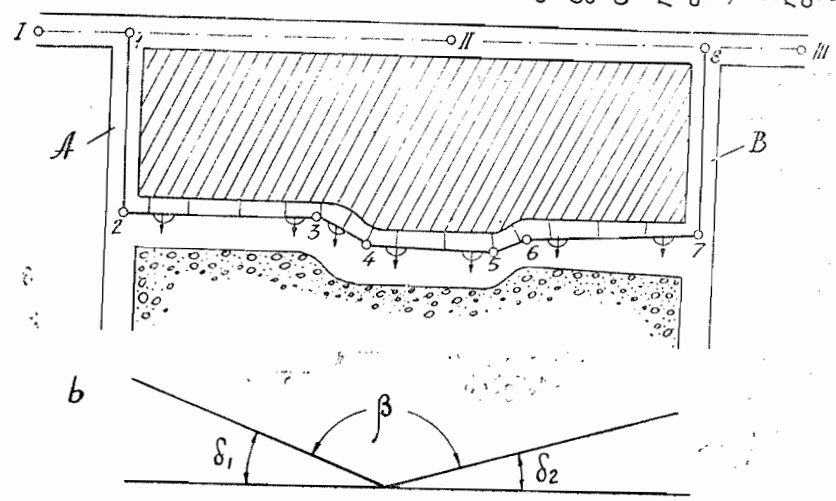
2) საქვესართულე გვირაბებში ნიშნულის გადაცემა საჭიროა შესრულდეს 0,15 მ სიზუსტით.

3) ჰორიზონტული და დახრის კუთხეები შეიძლება გაიზომოს ნებისმიერი კუთხმზომი იარაღით, რომლის ჰორიზონტულ წრედზე ანათვლის აღების სიზუსტე 10′-ს აღემატება, ხოლო ვერტიკალურ წრედზე—30′-ს.

4) ხაზები უნდა გაიზომოს ფოლადის რულეტით, ორ-ორჯერ. განსხვავება ორ განაზომს შორის არ უნდა აღემატებოდეს გასაზომი ხაზის 1/200-ს.

ბლოკში წმენდითი სამუშაოების წარმოების მთელი პერიოდის განმავლობაში მარკშეიდერმა უნდა აგეგმოს წმენდითი სანგრევის საზღვრები, განახორციელოს ბლოკის ცალკეული ელემენტების ზომების დაცვისა და მარგი წიაღისეულის სრულად ამოღების კონტროლი, სისტემატურად შეავსოს გრაფიკული მასალები—საქვესართულე გეგმები, ბუდობის მიმართების ჯვარედინი ჭრილები, ბლოკის პროექცია შვეულ სიბრტყეზე; გრაფიკული დოკუმენტაციისა და გვირაბების დამატებითი აზომვის მონაცემებით განსაზღვროს მოპოვებული წიაღისეულის რაოდენობა, დანაკარგები, გაღარიბება და ა. შ.

წმენდითი სივრცის მარკშეიდერული აგეგმვა განსხვავდება გვირაბების ჩვეულებრივი აგეგმვისაგან. ერთ შემთხვევაში წმენდითი სივრცე მისაწვდომია და შეიძლება აიგეგმვოს ჩვეულებრივი მეთოდებით, სხვა შემთხვევაში მათში ხალხის ყოფნა აკრძალულია და, მაშასადამე, მიუწვდომელია უშუალოდ აგეგმვის წარმოებისათვის; ზოგჯერ კი წმენდითი სივრცე უხილავია, რადგან სავსეა ჩამონგრეული მადნითა და ფუჭი ქანით. მაშასადამე, წმენდითი სივრცის აგეგმვის მეთოდიკა ბევრად არის დამოკიდებული მიღებული დამუშავების სისტემაზე.



ნახ. 6.7·1.

განვიხილოთ მარკშეიდერული სამუშაოები, რომლებიც დამახასიათებელია მადნის საბადოების დამუშავების ზოგიერთი სისტემისათვის.

1. ცაკიბური სანგრევით დამუშავების სისტემების შემთხვევაში სანგრევის გადაადგილება ხდება აღმავალი მიმართულებით საზიდიდან სავენტილაციო შტრეკისაკენ. ამოსაღები უბნის (ბლოკის) ზომები, ჩვეულებრივ, შეადგენს მიმართებით 60 მ-ს, აღმავლობით 40 მ. ძირითადი მოსამზადებელი გვირაბებია საზიდი და სავენტილაციო შტრეკები. ბლოკის დაჭრა წარმოებს საზიდი შტრეკიდან სავენტილაციო შტრეკისაკენ აღმავლების გაყვანით (ნახ. 1ა). აღმავლები, ჩვეულებრივ, ბუდობის (ძარღვის) საგებში გაყავთ, რაც აადვილებს მათი მიმართულებისა და სწორხაზოვნობის დაცვას. დამუშავების ასეთი სისტემის დროს ბლოკის დამჭრელი აღმავლების აგეგმვა წარმოებს მარტივი კუთხსაზომებით ან საკიდი იარაღებით, წმენდითი სანგრევისა კი—რულეტის საშუალებით ან ზონრისა და საკიდი ნახევარწრედის გამოყენებით.

პირველ შემთხვევაში წმენდითი სანგრევის აგეგმვას აწარმოებენ 6.5 პარაგრაფში აღწერილი წესით. ზონრისა და ნახევარწრედის გამოყენების შემთხვევაში კი იქცევიან შემდეგნაირად:

A და *B* აღმავლებში, სავენტილაციო (ან საზიდ) შტრეკში თეოდოლიტური სვლის გვერდების მართობულად დაჭიმავენ 1—2 და 8—7 ზონრებს (ან რულეტს) და ზომავენ წმენდით სანგრევამდე მანძილებს. შემდეგ სანგრევის ხაზს ყოფენ ცალკეულ მონაკვეთებად და შერჩეულ 2, 3, 4,...7 წერტილებს შორის დაჭიმავენ ზონრებს და ზომავენ მათ სიგრძეს რულეტით, დახრის კუთხეს—საკიდი ნახევარწრედით. ზონრების დაჭიმვისას ცდილობენ, რომ ისინი ბუდობის მიმართებით ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში დალაგდნენ. ამ შემთხვევაში მოსაზღვრე ზონრებს შორის β კუთხე მოთავსებული იქნება ვერტიკალურ სიბრტყეში და განისაზღვრება გამოსახულებიდან (ნახ. 1ბ)

$$\beta = 180^\circ - (\delta_1 + \delta_2), \qquad (6.7.1)$$

სადაც δ_1, δ_2 არის მოსაზღვრე ზონრების დახრის კუთხე ჰორიზონტთან.

ამ ხერხის გამოყენება დახრის კუთხისათვის შესწორების შეუტანლად შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ ბუდობის დაქანების კუთხე 70°-ს აღემატება.

წმენდითი სივრცის ელემენტების, მათ შორის სანგრევის ხაზის აგეგმვას აწარმოებენ ზონრის მიმართ მართობების ხერხით. ძარღვის სისქეს ზომავენ როგორც მახასიათებელ ადგილებში, ისე პოლიგონის ყველა კუთხურ წერტილში. ზომავენ აგრეთვე ძარღვის დაქანების კუთხეს და ჩახატავენ მის სტრუქტურას. აგეგმვის შედეგებს გამოხაზავენ ვერტიკალურ გეგმილთ სიბრტყეზე ან ძარღვის სიბრტყეში.

როდესაც ძარღვის დაქანების კუთხე 70°-ზე ნაკლებია, წმენდითი სივრცის აგეგმვას აწარმოებენ მარტივი კუთხსაზომებით ან საკიდი ნარაღებით (იხ. § 6.5).

2) საქვესართულე ჩამოქცევის სისტემით დამუშავების დროს 60—80 მ სიმაღლის სართულს მიმართებით წინასწარ დაჭრიან ცალკეულ ამოსაღებ ბლოკებად, ბლოკში სართულს ყოფენ ქვესართულებად, ქვესართულებს კი—პანელებად.

დამუშავების ვარიანტისა და მონგრევის ხერხის მიხედვით ქვესართულის სიმაღლეს ღებულობენ 10—12 მეტრიდან 30—40 მეტრამდე. ქვესართული მუშავდება ზევიდან ქვევით მიმართებით ან მიმართების ჯვარედინად განლაგებული 7—10 მეტრი სიგანის პანელებით.

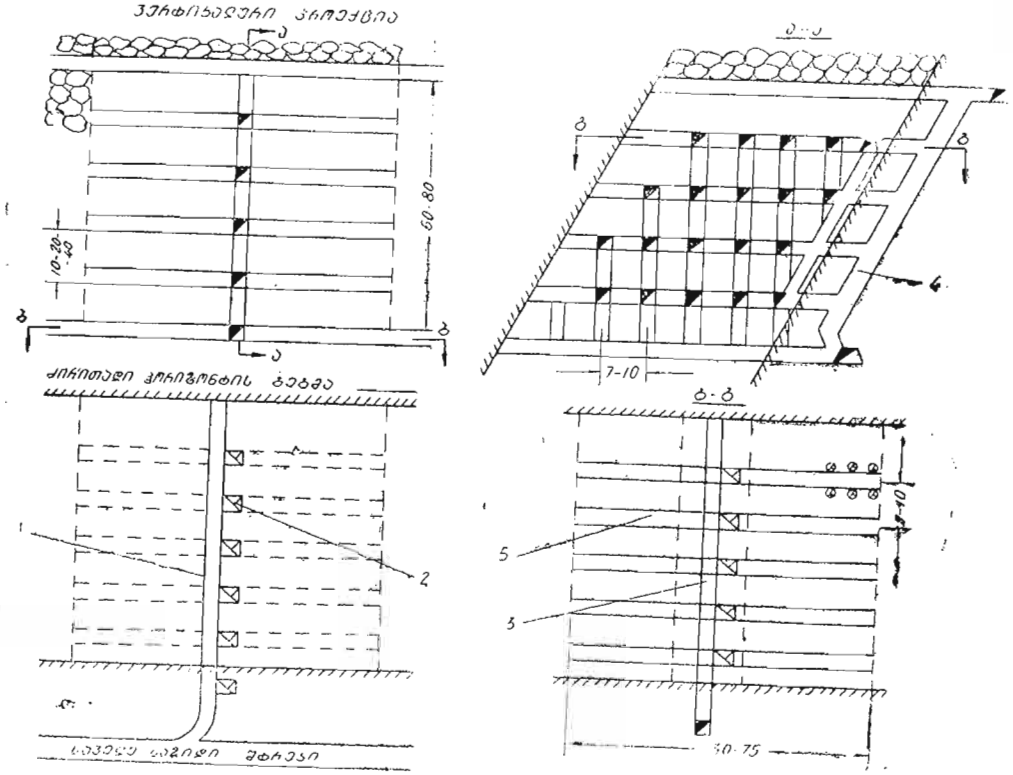
ბლოკის მომზადების ერთ-ერთი შესაძლო სქემა ასეთია (ნახ. 2): ძირითადი ჰორიზონტის საზიდი შტრეკიდან ბლოკის ცენტრში გაყავთ საზიდი ორტი 1. ბუდობის მთელ სისქეზე ორტის გაყვანის შემდეგ მისგან გაყავთ მადანსაშვები აღმავლები 2. ორტისა და მადანსაშვებების შეჭრის ადგილსა და მიმართულებას განსაზღვრავს მარკშეიდერი და ზედამხედველობას უწევს მათ გაყვანას.

მადანსაშვებების პირველი (ზედა) ქვესართულის საპროექტო დონემდე გაყვანის შემდეგ მათგან შეჭრიან საქვესართულე ორტს 3. იგი გაყავთ ბუდობის მთელ სისქეზე ერთი სანგრევით ან რამდენიმე აღმავლიდან შემხვედრი სანგრევებით. ორივე შემთხვევაში ორტის მიმართულების განსაზღვრისათვის საჭიროა საქვესართულე ჰორიზონტის ორიენტირება და მასში ნიშნულის გა-

დაცემა (იხ. თავი III, IV); ამის შემდეგ ორტის მიმართულების დაკვალვისათვის საჭირო მონაცემები განისაზღვრება გეგმიდან, სადაც დაიტანება გვირაბების ფაქტიური და საპროექტო მდებარეობა.

მადანსაშვები გვირაბების გაყვანის პარალელურად, ვენტილაციისა და ქვესართულებს შორის კავშირის მიზნით, გაყავთ საველე აღმავალი 4, რომელსაც ერთებენ საქვესართულე ორტებთან. საქვესართულე ორტიდან თითოეული მადანსაშვების თავზე გაყავთ საქვესართულე შტრეკები 5, რომლებშიც მონგრეულ მადანს სკრეპავენ.

საქვესართულე ორტისა და შტრეკების გაყვანასთან ერთად წარმოებს მათი აგეგმვა. ამ მიზნით საქვესართულე გვირაბებში აკეთებენ თეოდოლიტურ



ნახ. 6.7.2.

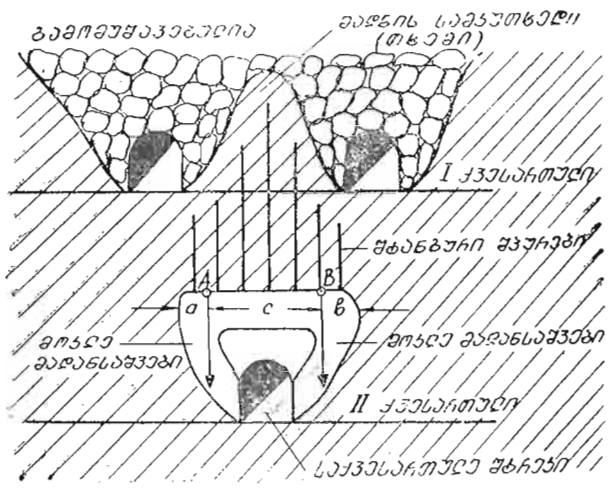
ან კუთხზომით სვლებს, რომელთა მიმართ მართობების ან პოლარული ხერხით გადაიღებენ გვირაბების კონტურს, წმენდით სივრცეს და სხვა წვლილადებს. აგეგმვა ერთი ბლოკიდან შეიძლება გაგრძელდეს მეზობელი ბლოკის გვირაბებშიც, მხოლოდ საყრდენი მიმართულებიდან კიდული სვლის სიგრძე არ უნდა აღემატებოდეს 120 მ-ს. საქვესართულე გვირაბების აგეგმვისას კუთხეები შეიძლება გაიზომოს ნებისმიერი კუთხსაზომი იარაღით, რომლის ჰორიზონტულ წრედზე ანათვლის აღების სიზუსტე 10′-ზე ნაკლები არ არის. მანძილები უნდა გაიზომოს ორჯერ, 1 : 300 სიზუსტით.

ქვესართულის სიმაღლის კონტროლისათვის აწარმოებენ საქვესართულე გვირაბების ვერტიკალურ აგეგმვას გეომეტრიული ან ტრიგონომეტრიული ნი-

ველობით. ამ დროს ნიშნულს გადასცემენ თეოდოლიტური (კუთხზომითი) აგეგმვის პუნქტებს. აგეგმვის მონაცემებით აღგენენ ქვესართულის გეგმას 1 : 500 მასშტაბში. სვლის კუთხური წერტილები გეგმაზე უნდა დატანილ იქნეს კოორდინატების საშუალებით.

ქვესართულში მადნის ამოღება შეიძლება სხვადასხვა ვარიანტით. მათ შორის განვიხილავთ „დახურული მარაოს“ ვარიანტსა და ღრმა ჭაბურღილებით მონგრევის ხერხს.

დახურული მარაოს ვარიანტით მუშაობის დროს ქვესართულის სიმაღლეს ღებულობენ 10—15 მ. მადნის ჩამოქცევას ახდენენ ცალკეული სექციებით (ზონებით) ბლოკის საზღვრიდან ორტისაკენ. ამ მიზნით საქვესართულე შტრეკიდან ორივე მხარეზე, ერთიმეორისაგან 2—5 მეტრის დაშორებით გაყავთ მოკლე მადანსაშვებები. ორ-სამ წყვილ ასეთ მადანსაშვებებს ერთმანეთთან აერთებენ მოკლე შტრეკით, რომელიც გაყავთ საქვესართულე შტრეკის ზემოთ 3—4 მ მანძილზე (ნახ. 3). მოკლე შტრეკიდან აღმავალი მიმართულებით, შტრეკის ღერძის მართობულად ბურღავენ მარაოსებრ განლაგებულ 6—8 მ-ის სიღრმის შპურებს, რომელთა აფეთქებით ანგრევენ მადანს. ჩამოქცეული მადანი მოკლე მადანსაშვებით მიეწოდება საქვესართულე შტრეკს (ან ორტს), საიდანაც მადანსაშვებ აღმავლებამდე გადააქვთ სკრეპერით.



ნახ. 6.7.3.

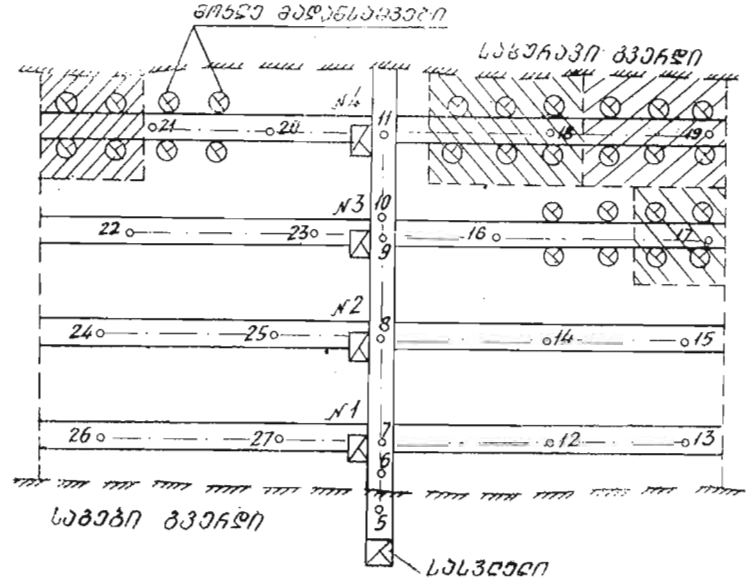
მოკლე მადანსაშვებები მცირე სიმაღლის გამო გაყავთ მარკშეიდერული მიმართულების გარეშე, მათ აგეგმვას კი ახდენენ ქვესართულის საყრდენი მარკშეიდერული პუნქტებიდან რულეტის საშუალებით.

საქვესართულე შტრეკის თავზე გაყვანილი მოკლე შტრეკების აგეგმვის მიზნით მადანსაშვებში უშვებენ ორ *A* და *B* შვეულს. მათ მდებარეობას საზღვრავენ საქვესართულე შტრეკში თეოდოლიტური სვლის უახლოესი გვერდიდან მართობების ხერხით. ზომავენ მანძილს როგორც შვეულებს შორის (*c*), ისე შვეულებიდან გვირაბის მახასიათებელ წერტილებამდე. ამავე დროს უნდა განისაზღვროს საქვესართულე შტრეკსა და *A* და *B* წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობა. აგეგმვის მონაცემებით მადანსაშვებების მდებარეობა დააქვთ ქვესართულის სამთო სამუშაოების გეგმაზე და ადგენენ გამომქვეშებელი გვირაბის ესკიზს, სადაც უჩვენებენ შპურების საპროექტო განლაგებას, მათ დახრას და სიგრძეს.

პირველი პანელის გამომუშავების პროცესში აწარმოებენ მეზობელი პანელებისა და ქვედა ქვესართულის მომზადებას. ცალკეული ბლოკების გამო-

მუშავების თანამიმდევრობა, მადანსაშვებებთან და ორტებთან დარჩენილი მთელანების ამოღება—მარკშეიდერული კონტროლის ობიექტია. თვიური აზომვების დროს უახლოესი საყრდენი პუნქტებიდან რულეტის საშუალებით საზღვრავენ ჩამონგრეული ზონის საზღვრებს.

გეგმებზე წმენდითი სივრცის საზღვრებს გამოხაზავენ წყვეტილი ხაზებით. წმენდითი კონტურის ერთი გვერდი გაივლის საპანელო შტრეკების (ან ორტების) პარალელურად, მათ შორის შუა მანძილზე, მეორე—პირველის მართობულად ჩამონგრეული და ხელუხლებელი ზონის მოსაზღვრე მადანსაშვებებს შორის, შუა მანძილზე (ნახ. 4). ქვესართულის სამთო სამუშაოების გეგმის საშუა-



ნახ. 6.7.4.

ლებით ანგარიშობენ მოპოვებული მარგი წიაღისეულის მოცულობას, დანაკარგებს გაღარიბებას.

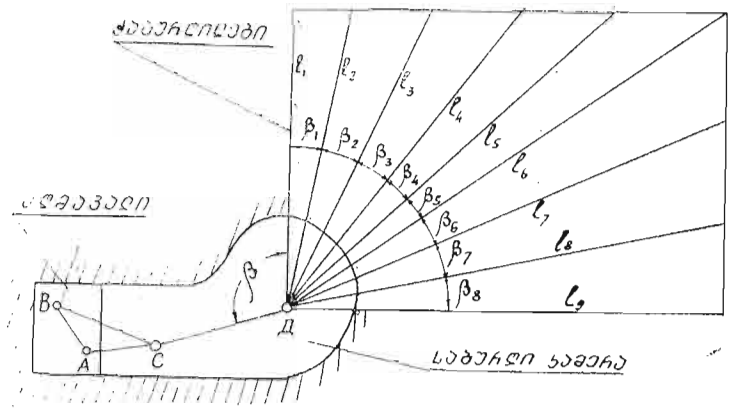
ჭაბურღილებით მადნის მონგრევის შემთხვევაში ამოღება წარმოებს 15—20 მ სიგანისა და 20 მ-დე სიმაღლის პანელებით. მადანს ჩამოაქცევენ ექვს და მეტ წყვილ მოკლე მადანსაშვების თავზე. წმენდითი სამუშაოები სრულდება ორ ეტაპად. თავდაპირველად ქმნიან საკომპენსაციო კამერებს, ხოლო შემდეგ მათ თავზე ჩამოაქცევენ მადნის მასივს ორი-სამი რიგი ჰორიზონტული მარაოსებრ განლაგებული ჭაბურღილების აფეთქებით.

ჭაბურღილები გაყავთ სპეციალური საბურღი კამერებიდან.

განსაზღვრული სიგრძისა და მიმართულების ჭაბურღილების სწორად დაკვალვისათვის საჭიროა საბურღი კამერის ორიენტირება. ამისათვის აღმავალში ორ შვეულს უშვებენ და მიმხრობას ახდენენ დამაკავშირებელი სამკუთხედების ხერხით. ორიენტირების შეცდომამ 10'-ს არ უნდა გადააჭარბოს. ამის შემდეგ კამერას აგეგმავენ და განსაზღვრავენ მასში საბურღი ინსტრუმენტის დაყენების ადგილს, რასაც აღნიშნავენ კამერის ჭერში და იატაკზე მარკშეიდერული ნიშნებით. აგეგმვის მონაცემებით ადგენენ კამერის გეგმას მსხვილ მასშტაბში (1 : 200 ან 1 : 100), მასზე დაიტანენ საბურღად მოსამზადე-

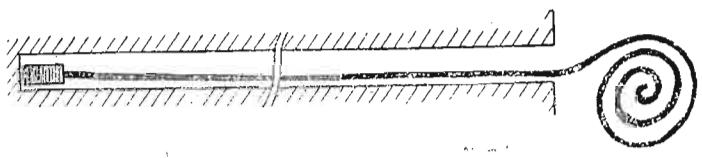
ბელი პანელის საზღვრებს, მეზობელი პანელების მდებარეობას და ყველა არსებულ გვირაბს. საპანელო გეგმაზე ადგენენ ჭაბურღილების განლაგების პროექტს. ცენტრალურ D წერტილად იღებენ წინასწარ ადგილზე ან პანელის გეგმის შესაბამისად შერჩეულ წერტილს. გეგმაზე აღნიშნავენ როგორც ჭაბურღილების სიღრმეს, ისე მათ შორის β კუთხეს (ნახ. 5). პანელისა და აღმავლის ვერტიკალური ჭრილიდან საზღვრავენ ბუროვის ჰორიზონტს.

ჭაბურღილებისათვის მიმართულების მიცემისას თეოდოლიტს ან კუთხმზომს ცენტრავენ D წერტილზე და β კუთხით აძლევენ მიმართულებას პირველ



ნახ. 6.7.5.

ჭაბურღილს, შემდეგ ჯოგრს მოაბრუნებენ β_1 კუთხით და აძლევენ მიმართულებას მეორე ჭაბურღილს და ა. შ. თითოეული ჭაბურღილის მიმართულებას სანგრევზე აღნიშნავენ ცარცით ან საღებავით. რადგან ჭაბურღილების ბოლო წერტილების საპროექტო მიმართულებიდან გადახრამ 1 მ არ უნდა გადააჭარბოს, ამიტომ მიმართულების მიცემა უნდა განხორციელდეს არა ნაკლებ



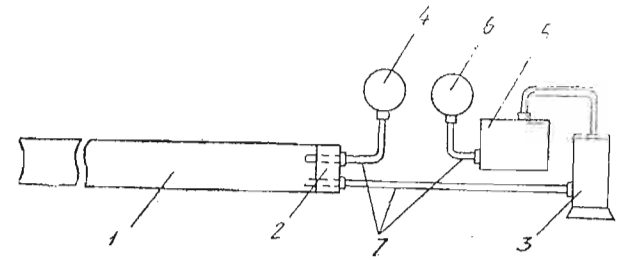
ნახ. 6.7.6.

$\pm 30'$-ის სიზუსტით. განსაკუთრებული გულმოდგინებით უნდა განისაზღვროს პანელის განმსაზღვრელი განაპირა ჭაბურღილების მიმართულებები. მარკშეიდერი პირადად უნდა დაესწროს ბურღვის დაწყებას და სისტემატური ზედამხედველობა უნდა გაუწიოს ჭაბურღილების საპროექტო მიმართულების დაცვას. ბურღვის დამთავრების შემდეგ ზომავენ ჭაბურღილის სიღრმეს, რისთვისაც მასში ათავსებენ 3—4 მმ დიამეტრის ფოლადის მავთულს, რომლის ბოლოზე მიმაგრებულია ჭაბურღილებზე ნაკლები დიამეტრის ალუმინის ან ხის ჯიქა (ნახ. 6). ჭაბურღილის სიღრმის შესაბამის მავთულის მონაკვეთს ზომავენ რულეტით.

ამჟამად ჭაბურღილის სიღრმის გასაზომად კონსტრუირებულია სპეციალური ღარისებრი რულეტი და საზომი კვერთხები.

ღარისებრი რულეტი წარმოადგენს 20 მმ სიგანისა და 0,25 მმ სისქის ფოლადის ზოლს, რომლის სიგრძე 50 მ-მდეა, დაყოფილია დეციმეტრებად. გაზომვისას რულეტის დრეკად ბოლოს დებენ ჭაბურღილში, შემდეგ თანდათანობით გაშლიან და შეყავთ სანგრევამდე. გაზომვის შემდეგ მას გამოიღებენ, წმენდენ და წნულის სახით ახვევენ მეტრის სიგრძის ფუძეზე.

საზომი კვერთხები წარმოადგენს 1—1,5 მ სიგრძის, დეციმეტრებად დაყოფილ თხელკედლიან დურალუმინის მილაკებს (ან ხის ღეროებს). მილაკების შეერთება ხდება ბაიონეტური საკეტითა და მომჭერი ქანჩით. კვერთხების ერთი კომპლექტით შეიძლება გაიზომოს 40 მ-მდე სიღრმის ჭაბურღილი.



ნახ. 6.7.7. პნევმატიკური სიღრმესაზომი: 1—ჭაბურღილი; 2—საცობი; 3—ვაკუუმ-ტუმბო; 4—ვაკუუმმეტრი; 5—განსაზღვრული მოცულობის ჭურჭელი; 6—მანომეტრი; 7—შემაერთებელი შლანგები.

1966 წელს ლენინგრადის სამთო ინსტიტუტის სამარკშეიდერო საქმის კათედრაზე დაამუშავეს და გამოსცადეს ჭაბურღილის სიღრმის გაზომვის ახალი ავტომატური ხერხი. ამ შემთხვევაში ჭაბურღილის v მოცულობას ანგარიშობენ მასში მოთავსებული ჰაერის v_1 მოცულობის საშუალებით; რადგან ჭაბურღილის d დიამეტრი ყოველთვის ცნობილია, ამიტომ მისი L სიგრძე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$L = \frac{4\,v_1}{\pi d^2}. \qquad (6.7.2)$$

ჭაბურღილში ჰაერის v_1 მოცულობა შეიძლება განისაზღვროს პნევმატიკური სიღრმესაზომით (ნახ. 7). ხელსაწყოს ლაბორატორიულმა და საწარმოო გამოცდამ ცხადყო, რომ მისი საშუალებით ჭაბურღილის სიღრმე შეიძლება გაიზომოს 1 % საშუალო კვადრ. შეცდომით, თანაც 2—6-ჯერ სწრაფად ჩვეულებრივ მეთოდებთან შედარებით [17].

6.8. მიწისქვეშა კამერების (სიცარიელეთა) აგეგმვა

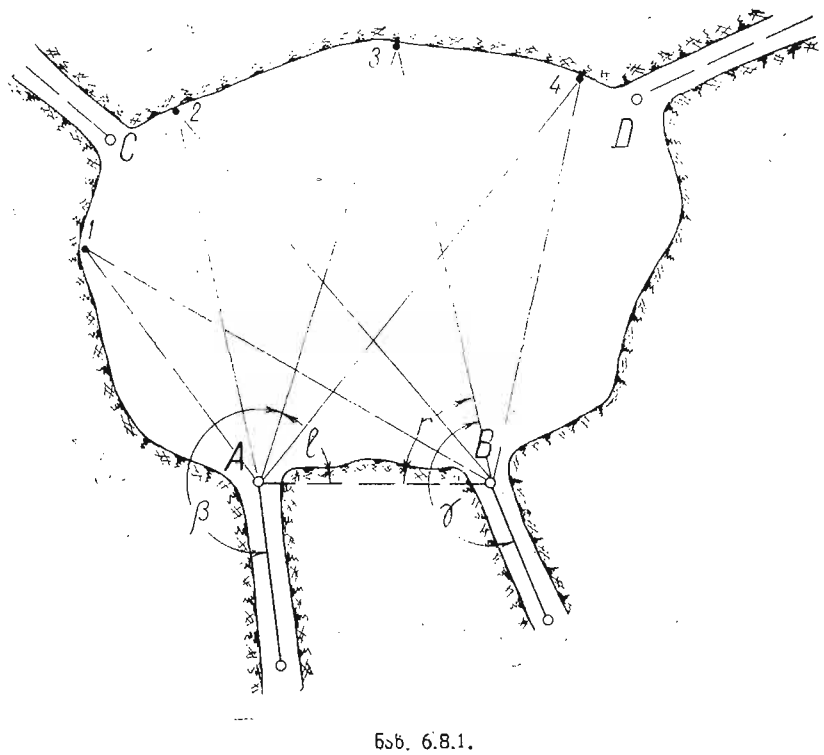
მარგი წიაღისეულის საბადოების სქელი ფენების მიწისქვეშა დამუშავების დროს ხშირად დიდი ზომის კამერები წარმოიქმნება. მაგალითად, ნიკოტოვკის ვერცხლისწყლის მაღაროებში მათი ზომები სიგრძე-სიგანით 30—60 და სიმაღლით 6—30 მეტრამდე აღწევს. ასეთივე შემთხვევებია ქვამარილის, რკინისა და სპილენძის მადნის, ქვანახშირის სქელი ფენების დამუშავების დროსაც. დიდი სიმაღლის გამო კამერის მრავალი წერტილი მიუწვდომელია და ზოგჯერ მათში ხალხის შესვლაც დაუშვებელია. ასეთ პირობებში მიწისქვეშა სიცარიელეთა ფორმისა და სივრცობრივი მდებარეობის გრაფიკული დოკუმენტაციისათვის აგეგმვის ჩვეულებრივი მეთოდები არ გამოდგება. ამის გამო უკანასკნელ პერიოდში მიწისქვეშა კამერების აგეგმვისათვის კონსტრუი-

რებულია სხვადასხვა ხელსაწყოები და მოწყობილობანი, რომელთა ნაწილმა საწარმოო გამოცდის შედეგად დადებითი შეფასება დაიმსახურა.

არსებული ხელსაწყოების, დამუშავების სისტემებისა და გარემო პირობების შესაბამისად, კამერების აგეგმვა შეიძლება ჩვეულებრივი კუთხსაზომით (თეოდოლიტი, მარტივი კუთხსაზომი), კუთხსაზომ-ტაქეომეტრებით (ТПБ, ТПК, УДС, ГТР-1 და სხვა), მოკლებაზისიანი სტერეოფოტოაგეგმვით და ავტომატური მეთოდით.

1. მიწისქვეშა კამერის აგეგმვა მარტივი კუთხსაზომით

მიწისქვეშა მიუწვდომელი კამერის აგეგმვა შეიძლება ორი კუთხსაზომით, პირდაპირი გადაკვეთის ხერხით, შემდეგნაირად: მაღაროს საყრდენი პუნქტების საშუალებით კამერის მისადგომებთან დამაგრებული ისეთი *A*, *B* და *C*, *D* წერტილების კოორდინატებს საზღვრავენ, საიდანაც ორი კუთხსაზომით მთელი კამერის აგეგმვა შეიძლება (ნახ. 1). ერთ-ერთი წერტილიდან პროექტორით ან ფარნით სინათლის სხივს მიმართავენ კამერის ჭერის, იატაკისა და კედლების მახასიათებელი 1, 2, 3,... წერტილებისაკენ. ამავე დროს შერჩეულ წერტილებს ორივე კუთხსაზომით დამზერენ, ღებულობენ ანათვლებს როგორც ჰორიზონტულ, ისე შვეულ წრედებზე და წერენ ჟურნალში. ერთდროულად ადგენენ კამერის ესკიზს. აგეგმვის მასალის კამერული დამუშავება წარმოებს ჩვეულებრივი წესით. გეგმასა და გრძივ ჭრილებს ადგენენ გრაფიკული ან ანალიზური მეთოდებით მსხვილ მასშტაბში (1 : 200—1 : 1000).



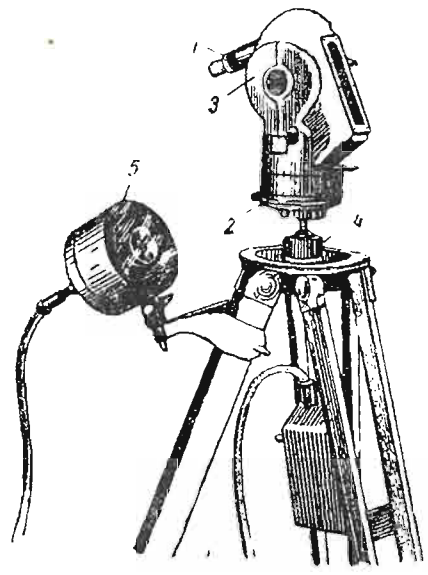
ნახ. 6.8.1.

კამერის აგეგმვის აღწერილი მეთოდი თუმცა მარტივია, მაგრამ მისი კამერული დამუშავება საკმაოდ შრომატევადია, თანაც ორ კვალიფიციურ ამგეგმავს საჭიროებს, რაც ამ ხერხის არსებითი ნაკლია.

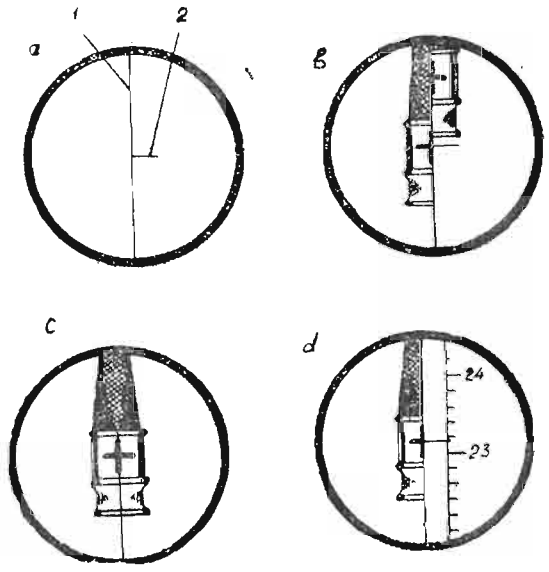
2. მიწისქვეშა კამერების აგეგმვა მანძილმზომიანი კუთხსაზომებით

ასეთი ხელსაწყოებიდან გამოყენების ყველაზე მეტი პერსპექტივა აქვს ГТР-1, ТПБ, ТПК და УДС ტიპის კუთხსაზომებს.

ГТР-1 ტიპის სამთო ტახეომეტრ-ტელემეტრი (ნახ. 2) კუთხსაზომი იარაღია და აქვს ორმაგგამოსახულებიანი მანძილმზომი (ცვალებადი ბაზისით ინსტრუმენტთან და მუდმივი პარალაქტური კუთხით). მისი ძირითადი ნაწილებია: სამანძილმზომო მოწყობილობა, სამზერი ჭოგრი 1, ჰორიზონტული 2 და ვერტიკალური 3 წრედები და ზედადგარი საკიდი მოწყობილობითურთ 4. აქვს შუქმიმართველი 5. ინსტრუმენტის საპასუხისმგებლო ნაწილები ალუმინის გარსაცმით ჰერმეტულადაა დახურული, ხოლო წინა პირი ბაზისიანად მინით არის დაცული. მუშაობის დროს მას აყენებენ შტატივზე ან კიდებენ კონსოლზე.



ნახ. 6.8.2.



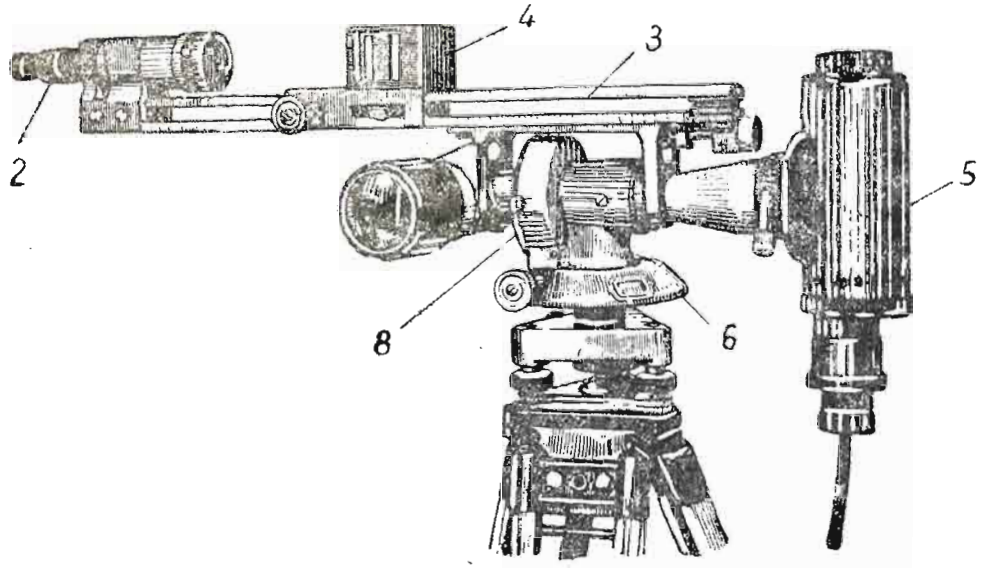
ნახ. 6.8.3.

მანძილის გაზომვის დროს ტელემეტრის ჭოგრით დამზერენ სიგნალს (სახტო ნათურა, სინათლის ლაქა და ა. შ.). ამ დროს ჭოგრის მხედველობის არეში (ნახ. 3ᵃ) გამოჩნდება ბიპრიზმის წიბოთი 1 გაყოფილი სიგნალის ორი ნახევარგამოსახულება (ნახ. 3ᵇ), რომლებსაც მიკრომეტრის დოლის ბრუნვით ერთიმეორესთან შეათავსებენ (ნახ. 3ᶜ), შემდეგ ამთვლელი ღინზის ჩართვით მზერის არეში სიგნალის ერთ-ერთ ნახევარგამოსახულების ადგილზე ჩნდება სკალა და ძაფთა ბადის ჰორიზონტული შტრიხი 2, რომლის მიხედვით აწარმოებენ მანძილის ათვლას (3ᵈ ნახაზზე ანათვალი უდრის 23,18 მ-ს).

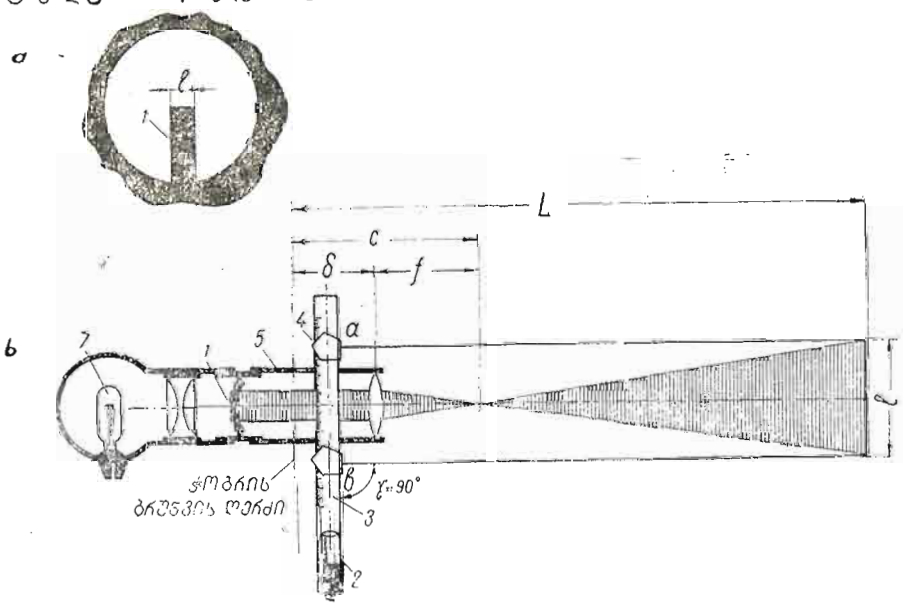
ГТР-1 ტახეომეტრ-ტელემეტრით შეიძლება გაიზომოს 3-დან 100 მეტრამდე მანძილი 1 : 250 — 1 : 100 საშუალო კვადრატული შეცდომით. ჰორი-

ზონტულ და ვერტიკალურ წრეებზე ანათვალის აღების სიზუსტე უდრის 0°,1.

ბაზისური საპროექციო ტახეომეტრი ТПБ, რომლის საერთო ხედი მოცემულია მე-4 ნახაზზე, წარმოადგენს მუდმივკუთხიან მანძილმზომს და შედგება ტეხილჰოგრიანი საპროექციო მოწყობილობის 5, ბაზისური სახაზავის 3, პენტაპრიზმის 4, სამზერი ჰოგრისა 2 და ჰორიზონტული 6 და ვერტიკალური 8 წრედებისაგან (ნახ. 5).



ნახ. 6.8.4.



ნახ. 6.8.5.

კუთხსაზომის საპროექციო ჰოგრის ძაფთა ბადის სიბრტყეში დაწებებულია გაუმჭვირი ნიშანი 1 (ნახ. 5ბ), რომელიც სინათლის მძლავრი ნაკადით

(კინო ნათურით) გვირაბის კედელზე გეგმილდება. მისი l სიგანე, რომელიც გასაზომ მანძილზეა დამოკიდებული, იზომება ბაზისურ სახაზავზე მოწყობილი პენტაპრიზმით (მისი $\gamma = 90°$), შემდეგნაირად: სამზერი ჰოგრით 2 აკვირდებიან განათებულ ნიშანს, ხოლო პენტაპრიზმას კი გადააადგილებენ სახაზავზე ისე, რომ ჰოგრის ძაფი თანამიმდევრობით შეუთავსდეს 1 ნიშნის მარჯვენა და მარცხენა კიდეს. ბაზისური სახაზავის სკალაზე იღებენ პენტაპრიზმის ამ ორი მდებარეობის a და b ანათვლებს (ნახ. 5ბ). მათი სხვაობა უდრის ნიშნის l სიგანეს:

$$l = a - b,$$

ხოლო გასაზომი მანძილი კი იქნება

$$L = kl + c, \tag{6.8.1}$$

სადაც k და c მანძილმზომის მუდმივებია. მათი ოდენობების დადგენა ხდება ძაფებიანი მანძილმზომების შემთხვევის ანალოგიურად [51].

ბაზისური სახაზავის სკალა დაყოფილია მანძილმზომის k და c მუდმივების მხედველობაში მიღებით და მისი ცალი დანაყოფის საფასური გასაზომი მანძილის 1 მეტრს შეესაბამება. ხელსაწყოს კუთხსაზომი ნაწილი ჩვეულებრივია. ჰორიზონტულ და ვერტიკალურ წრედებზე ანათვლის აღების სიზუსტე 6′-ს უდრის. დამაკმაყოფილებელი ხილვადობის შემთხვევაში 4-დან 100-მდე მანძილი შეიძლება გაიზომოს 1 : 100 ფარდობითი შეცდომით.

მიწისქვეშა კამერების აგეგმვისათვის არის განკუთვნილი აგრეთვე საპროექციო ტახეომეტრი ТПК და სპირალური მანძილმზომებიანი კუთხსაზომი УДС, რომელთა აღწერა აქ არ მოგვყავს (იხ. [33], [35]).

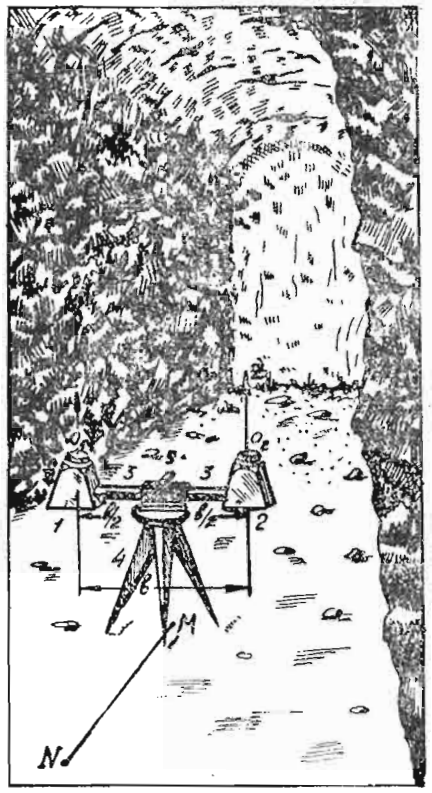
ზემოთ აღწერილი ინსტრუმენტებით მიწისქვეშა კამერების აგეგმვა ჩვეულებრივი ტახეომეტრიული აგეგმვის ანალოგიურად ხდება. ამისათვის მისასვლელ გვირაბში, უსაფრთხო ადგილებზე, შეარჩევენ იარაღის დადგმის წერტილებს, აღნიშნავენ მათ მარკშეიდერული ნიშნებით და მიწისქვეშა აგეგმვის პუნქტებთან აკავშირებენ. ამგვარად განსაზღვრულ ერთ-ერთ პუნქტზე აყენებენ კუთხსაზომს. მის ჰოგრს მიმართავენ ცნობილი პუნქტისაკენ და ღებულობენ ანათვალს ჰორიზონტულ წრედზე. ამის შემდეგ კამერის ჭერის, იატაკისა და კედლების მახასიათებელი წერტილებისაკენ თანამიმდევრობით მიმართავენ სინათლის ნიშანს (მარკას) და კუთხსაზომის ჰოგრით ახდენენ მათ დამზერას, ამავე დროს იღებენ ანათვალს ჰორიზონტულ და ვერტიკალურ წრედებზე, აგრეთვე მანძილმზომის სკალაზე. აგეგმვის პროცესში ადგენენ ესკიზს.

აგეგმვის მასალის კამერული დამუშავების შემდეგ, რაც ჩვეულებრივი წესით წარმოებს, ადგენენ კამერის გეგმასა და ჭრილებს.

3. მიწისქვეშა კამერების აგეგმვა ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით

მიწისქვეშა კამერების აგეგმვის ფოტოგრამმეტრიული მეთოდის არსი, რომელიც მოწოდებული იყო 1940 წელს ნ. გუსევის მიერ, შემდეგში მდგომარეობს: უსაფრთხო ადგილზე შერჩეულ მარკშეიდერულ M წერტილზე დაცენტრილ სადგარზე 4 აყენებენ ბაზისურ შტანგას 3 (ნახ. 6). მის ბოლოებზე ამაგრებენ ფართოკუთხიან მოკლეფოკუსიან 1, 2 ფოტოკამერებს. ბაზისურ შტანგას სამზერი დიოპტრის 5 საშუალებით აყენებენ მისამხრობი პოლიგო-

ნის MN გვერდის მართობულად. ამ დროს ფოტოკამერების O_1Z_1 და O_2Z_2 ღერძები ურთიერთპარალელურებია. სინათლის ანთებისას ერთდროულად ორივე ფოტოკამერით გადაიღებენ სურათს და ღებულობენ გვირაბის ორ გამოსახულებას. სტერეოსკოპულ ხელსაწყოთი სურათების შემდგომი დამუშავების შედეგად ადგენენ გადაღებული ობიექტის გეგმას და სივრცობრივ გამოსახულებას [17].



ნახ. 6.8.6.

აგეგმვის ფოტოგრამმეტრიული მეთოდი საჭირო სიზუსტით, სისწრაფით, ობიექტურობითა და თვალსაჩინოებით ხასიათდება, რაც განსაზღვრულ პირობებში აგეგმვის სხვა მეთოდებთან შედარებით მის უპირატესობაზე მეტყველებს.

4. კამერებიხ აგეგმვის ავტომატური მეთოდები

ამჟამად ინერგება მიწისქვეშა სამთო სიცარიელეთა აგეგმვის ახალი ფიზიკური მეთოდები—ფოტომანძილმზომური, ტელევიზური, ბგერათლოკაციური და სხვ. [17].

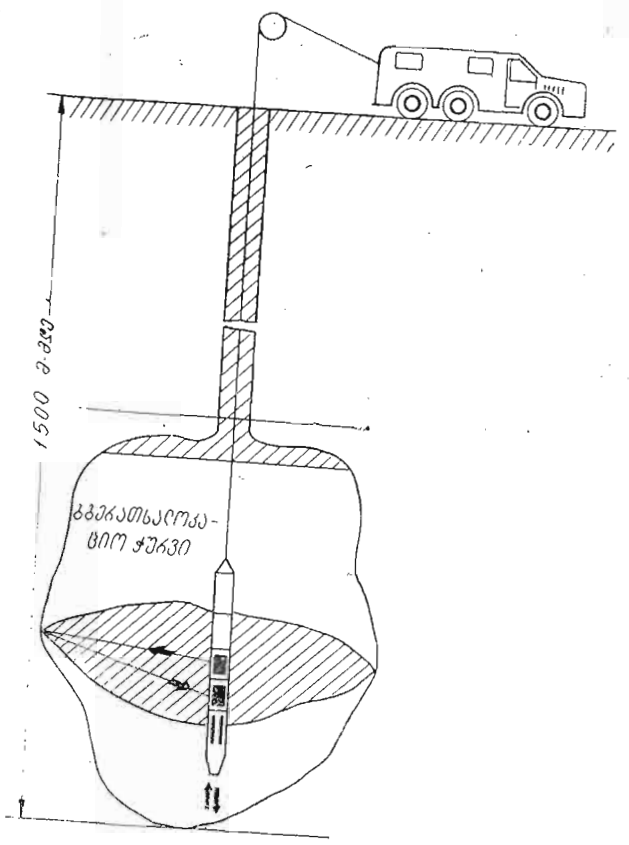
ფოტომანძილმზომური მეთოდი ემყარება მიუწვდომელი ობიექტის ჰორიზონტული კვეთის დისტანციური ფოტოსტერეოაგეგმვის პრინციპს. ხელსაწყოებიდან აღსანიშნავია სტერეოფოტოგრაფი და ოპტიკურელექტრონული ტახეომეტრი ნახევრადავტომატური საპროექციო-ვიზუალური მანძილმზომითა და თვითმწერით.

ლენინგრადის კავშირგაბმულობის ელექტროტექნიკურ ინსტიტუტში შექმნეს და გამოცადეს სიცარიელეთა (საცავების) აგეგმვის ტელევიზური მეთოდი.

გამოყენების ყველაზე მეტი ეფექტურობით აგეგმვის ბგერათლოკაციური მეთოდი ხასიათდება. მისი გამოყენებით შეიძლება აიგეგმოს მარგი წიაღისეულის დამუშავების შედეგად წარმოქმნილი სიცარიელე; ბუნებრივი კარსტები, ვერტიკალური, ჰორიზონტული და დახრილი გვირაბები (ჭაური, მადანსაშვები შურფი, კვერშლაგი), აგრეთვე სამთო ნედლეულისა და მზა პროდუქციის მიწისქვეშა საწყობები (აზბესტის, ცემენტის და სხვ.).

ლენინგრადის სამთო ინსტიტუტის სამარკშეიდერო საქმის კათედრამ 1961—1969 წლებში შექმნა ბგერათლოკატორების რამდენიმე ვარიანტი კამერებისა (ЗПК) და ღრმა მადანსაშვების აგეგმვისათვის (ЗПР-2), (ЗПР-0). მათმა საწარმოო გამოცდამ დადებითი შეფასება დაიმსახურა და ინერგება წარმოებაში [17].

კარსტებისა და ჭაბურღილით გამოტუტვის კამერათა ბგერათლოკაციური აგეგმვა. უკანასკნელ პერიოდში სულ უფრო ფართოდ ვრცელდება მარილისა და სხვა მარგი წიაღისეულის საბადოების მიწის წიაღში გამოტუტვის (გახსნის) მეთოდით დამუშავება. ამ შემთხვევაში ქვამარილის მასივში წარმოიქმნება დიდი ზომის მარილწყლით სავსე კამერები, რომლებიც ზედაპირთან მხოლოდ ჭაბურღილით არიან დაკავშირებული და მიუწვდომელია ვიზუალური დაკვირვებისა და ჩვეულებრივი მარკშეიდერული მეთოდებით აგეგმვისათვის. ამავე დროს საბადოს სწორი ექსპლოატაციისა და გამოტუტვის პროცესის მართვისათვის საჭიროა კამერის როგორც მოცულობის, ისე ფორმის ცოდნა.



ნახ. 6.8.7.

1961—1964 წლებში ლენინგრადის სამთო ინსტიტუტის სამარკშეიდერო საქმის კათედრამ შექმნა სპეციალური ბგერათლოკატორი „ლუჩი-3“, რომელიც განკუთვნილია გამოტუტვის კამერების მარკშეიდერული აგეგმვისათვის. აგეგმვა ხორციელდება ჭაბურღილში ჩაშვებული სალოკაციო ჭურვიდან კამერის ცალკეულ ჰორიზონტულ კვეთში კედლებამდე მანძილების ბგერათლოკაციური გაზომვით (ნახ. 7).

ჰორიზონტული მანძილების გარდა, იზომება აგრეთვე ცალკეული კვეთიდან კამერის ფსკერამდე მანძილი, ბგერის გავრცელების სიჩქარე და ასაგეგმ ჰორიზონტში გარემოს სიმკვრივე. ლოკაციის შედეგად მიღებულ მასალას კამერულად ამუშავებენ და ადგენენ კამერის ჭრილს ნებისმიერ კვეთში, მათ შეთავსებულ გეგმებს, ბლოკდიაგრამებს და სხვა სახის ნახაზებს. „ლუჩ—3“-ის საშუალებით შეიძლება აიგეგმოს ნებისმიერი მიწისქვეშა სიცარიელე, განლაგებული 1500 მ სიღრმემდე 200 მეტრამდე განივი ზომებით [17], [71].

თ ა ვ ი VII

ვერტიკალური აგეგმვა

7.1. ზოგადი ცნობები

მოქმედებათა ერთობლიობას, რომლის შედეგად განისაზღვრება წვლილების ნიშნულები, ეწოდება ვერტიკალური აგეგმვა.

ვერტიკალური აგეგმვის ძირითადი მიზანია:

1) გვირაბებში დამაგრებული პუნქტების ნიშნულის განსაზღვრა;
2) გვირაბების ვერტიკალური ჭრილებისა და პროფილების შედგენა;
3) გვირაბების მიმართულებათა დაკვალვა ვერტიკალურ სიბრტყეში;
4) ძირითადი საზიდი გვირაბების ქანობის კონტროლი;
5) მარგი წიაღისეულის განლაგებისა და ტექტონიკურ აშლილობათა კვლევა და გრაფიკულად გამოსახვა.

გვირაბებში, რომელთა დახრა 5—8°-ს არ აღემატება, ვერტიკალურ აგეგმებს აწარმოებენ გეომეტრიული ნიველობით, წინააღმდეგ შემთხვევაში იყენებენ ტრიგონომეტრიულ ნიველობას. ორივე შემთხვევაში აგეგმვები უნდა ეყრდნობოდეს მაღაროს ეზოში დამაგრებულ გამოსავალ პუნქტებს (რეპერებს), რომელთა ნიშნული განსაზღვრულია ვერტიკალური დამოკავშირებელი სამუშაოებით (იხ. თავი IV).

ა. გეომეტრიული ნიველობა

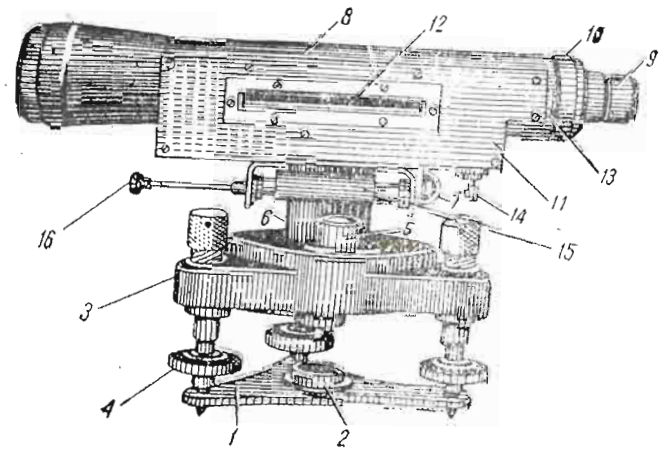
ნებისმიერი ტექნიკური ნიველირი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მიწისქვეშა გვირაბებში გეომეტრიული ნიველობისათვის. მათ შორის ამჟამად ხმარებაშია НГ, НВ—1, НСМ—2А, НС4 და სხვა ტიპის ნიველირები.

НГ ტიპის ნიველირი ხშულია (ნახ. 1). ცილინდრული თარაზო მიმაგრებულია ჰოგრზე. პრიზმების სისტემის საშუალებით თარაზოს ბუშტულის გამოსახულება გადაეცემა სამზერი ჰოგრის ოკულარის გვერდით მოთავსებული ლუპის მზერის არეში. თარაზოს ამპულას გააჩნია სათადარიგო კამერა, რომლითაც შეიძლება ბუშტულის სიგრძის რეგულირება.

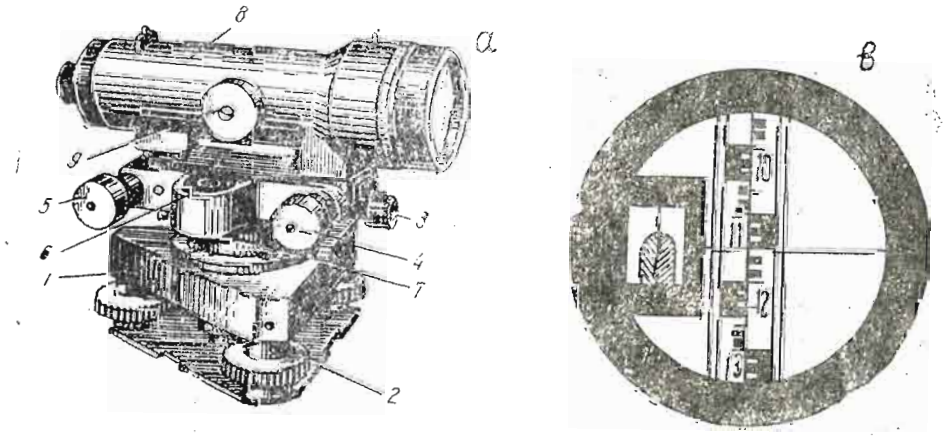
ხშულ НВ—1 მარკის ნიველირს (ნახ. 2ა) НГ-სთან შედარებით გააჩნია შემდეგი კონსტრუქციული თავისებურებანი: 1) ძაფთა ბადეს არა აქვს შემასწორებელი ხრახნები; 2) ცილინდრული თარაზოს ბუშტულის ნახევრების გამოსახულებანი სპეციალური პრიზმების სისტემით გადაეცემა ჰოგრის მხედველობის არეში (ნახ. 2ბ); 3) თარაზოს ბუშტულის ნახევრების შეთავსება წარმოებს ელევაციური ხრახნის საშუალებით.

1958 წელს ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხანამ დაიწყო НСМ ტიპის მარკშეიდერული ნიველირის გამოშვება, რომელშიც ლინზიანი კომპენსატორის მეშვეობით ჰოგრის სამიზნე ღერძი ავტომატურად ჰორიზონტულად დგება. ასეთი ინსტრუმენტის ერთ-ერთი მოდელია НСМ—2А მარკის ნიველირი (ნახ. 3). მისი კომპენსატორი ორი ლინზისაგან შედგება, რომელთაგან ერთი დადებითია (ბრტყელამოზნექილი), მეორე — უარყოფითი (ბრტყელშეზნექილი). დადებითი ლინზა 2 ჰოგრში უძრავად არის დამაგრე-

ბული, უარყოფითი 1 კი—მოძრავია და კიდია ფოლადის ძაფებზე 3 (ნახ. 4). თუ ჰოგრი დახრილია და მისი დახრის γ კუთხე 10′-ს არ აღემატება, მაშინ უარყოფითი ლინზა გადაადგილდება γ კუთხისა და l მხარის პროპორციულ



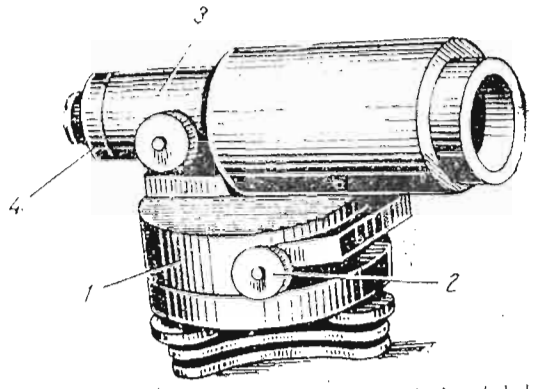
ნახ. 7.1.1. НГ ნიველირი კონტაქტური თარაზოთი: 1—პლასტინა; 2—მილისი ხერხემალა ხრახნისათვის; 3—ტრეგერი; 4—ამწევი ხრახნი; 5—სფერული თარაზო; 6—ღერძული მილისი; 7—სადგანზე ჰოგრის მიმმართველი ხრახნი; 8—სამიზნე ჰოგრი; 9—ოკულარის მილაკი; 10—ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნების მფარავი ხუფი; 11—ცილინდრული თარაზოს ჩარჩო; 12—თარაზოს ჩარჩოს სარკმელი; 13—თარაზოს სათვალთვალო ხვრელი ლუპით; 14—თარაზოს შემასწორებელი ხრახნი; 15—ილუმინატორი თარაზოს გასაშუქებლად; 16—ილუმინატორის საბრუნი სახელური



ნახ. 7.1.2. ნიველირი НВ—1: 1—ტრეგერი; 2—ამწევი ხრახნი; 3—დამტკეცი ხრახნი; 4—ჰოგრის საგანზე მიმმართველი ხრახნი; 5—ელევაციური ხრახნი: 6—მრგვალი თარაზო; 7—მრგვალი თარაზოს შემასწორებელი ხრახნები; 8—სამიზნე ჰოგრი; 9—ობიექტივის კრემალიერი

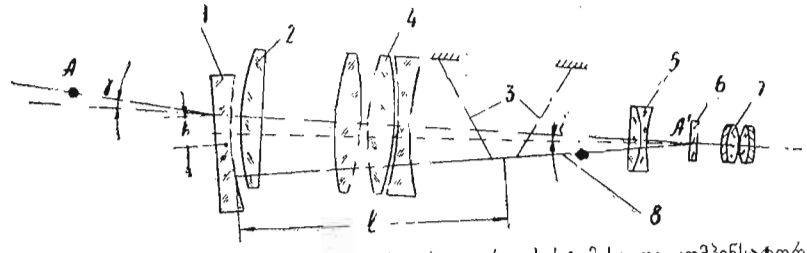
h ოდენობით და სხივს გადახრის იმავე კუთხით, ჰოგრის დახრის საწინააღმდეგო მხარეზე. მაშასადამე, ინსტრუმენტის სამიზნე ღერძი ავტომატურად

ჰორიზონტულ მდგომარეობაში დაღგება. უნდა შევნიშნოთ, რომ ჰოგრთან ერთად უარყოფითი ლინზაც იხრება, რაც აუარესებს ლარტყის გამოსახულების ხარისხს. ეს გარემოება საგრძნობია, თუ ჰოგრის დახრა აღემატება ±8′-ს. ლინზიანი კომპენსატორის მოქმედების ასეთი დიაპაზონი მოითხოვს ნიველირის ჰოგრის სამიზნე ღერძის წინასწარ, დაახლოებით, ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოყვანას, რაც ორი ურთიერთმართობული ცილინდრული თარაზოს საშუალებით სრულდება.

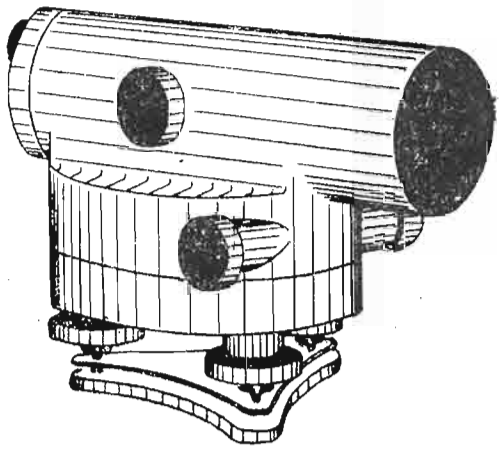


ნახ. 7.1.3. ნიველირი НСМ—2А: 1—სამიზნე ჰოგრის სადგარი; 2—ჰოგრის მიკრომეტრული ხრახნი; 3—სამიზნე ჰოგრი, 4—ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნების მფრავი ხუფი

НС 4 მარკის ნიველირი (ნახ. 5), რომელსაც ამზადებს ხარკოვის მარკშეიდერული ინსტრუმენტების ქარხანა, განკუთვნილია ზედაპირზე და



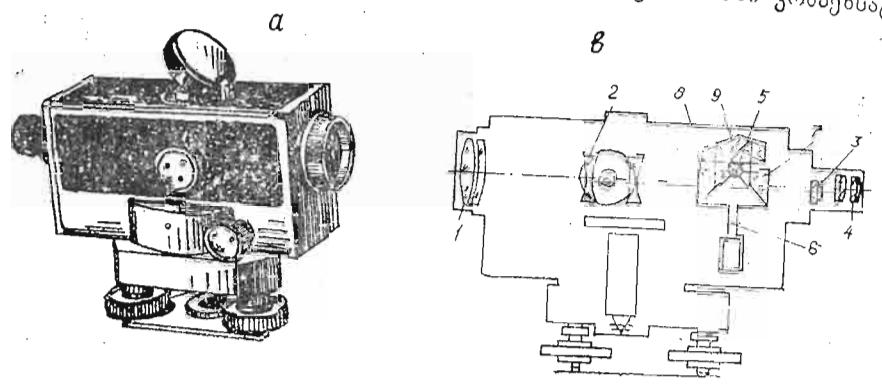
ნახ. 7.1.4. НСМ—2А ნიველირის ჰოგრის ოპტიკური სისტემისა და კომპენსატორის სქემა: 1—ბრტყელშეზნექილი (უარყოფითი) ლინზა; 2—ბრტყელამოზნექილი (დადებითი) ლინზა; 3—ფოლადის ძაფები; 4—ობიექტივი; 5—მაფოკუსირებელი ლინზა; 6—პლასტინა ძაფთა ბადით; 7— okულარი; 8—მოძრავი სისტემა



ნახ. 7.1.5.

მიწისქვეშა გვირაბებში გეომეტრიული ნიველობისათვის. ინსტრუმენტის окულარში მოთავსებული სპეციალური оპტიკური კომპენსატორის საშუალებით ჰოგრის სამიზნე ღერძი ავტომატურად ჰორიზონტულ მდგომარეობაში დგება. მუშაობისას საკმარისია სფერული თარაზოს საშუალებით ინსტრუმენტის დაახლოებით მომწესობაში მოყვანა. კომპენსატორის მოქმედების დიაპაზონი ±15′-ია.

Koni — 025 მარკის ნიველირი (ნახ. 6, *а*—საერთო ხედი, *ბ*—оპტიკური სქემა), რომელსაც ამზადებს „კარლ ცეისის“ ბახალხო დაწესებულება (გდრ), იძლევა პირდაპირ გამოსახულებას და განკუთვნილია ზედაპირზე და მიწისქვეშა გვირაბებში გეომეტრიული ნიველობისათვის. მასში კომპენსატო-

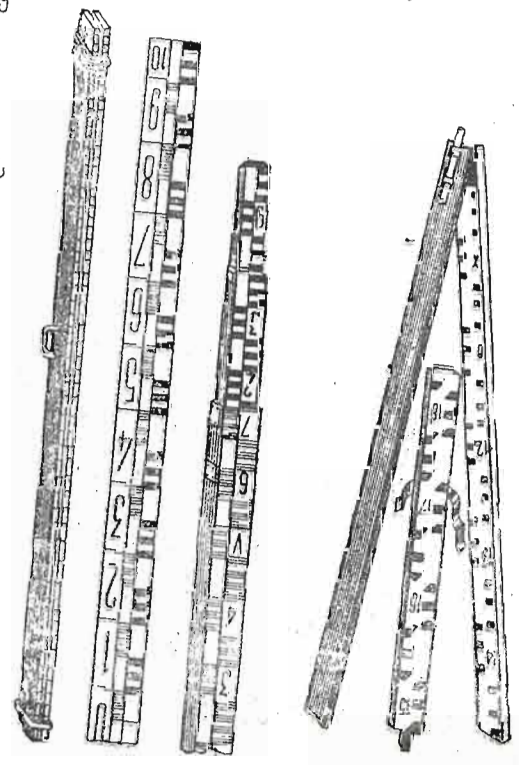


ნახ. 7.1.6

რის როლს ასრულებს ორი მართკუთხა პრიზმი 7 და 8, რომლებიც უძრავ პრიზმასთან 9 ერთად ქანქარაზეა 6 დამაგრებული. ინსტრუმენტის ε კუთხით დახრისას სიმძიმის ძალის გავლენით იმავე კუთხით იხრება ქანქარაც, რითაც ავტომატურად ხორციელდება ნიველირის ჰოგრის სამიზნე ღერძის ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოყვანა. საჰაერო დემფერის საშუალებით ქანქარის რხევების ჩაქრობას 1 წამი ჭირდება. კომპენსატორის მოქმედების დიაპაზონი ±10′-ს უდრის. წინასწარ ინსტრუმენტის ტლანგად მომწესობაში მოყვანა სრულდება სფერული თარაზოს საშუალებით.

ზემოაღწერილი მარკის ნიველირების ტექნიკური მაჩვენებლები მოყვანილია (1) ცხრილში.

მიწისქვეშა აგეგმვის პუნქტების უმეტესი ნაწილი გვირაბის ჭერზე მაგრდება, ამიტომ კონსტრუირებული იყო კაუჭიანი საკიდი ლარტყები, მაგრამ ისინი პრაქტიკაში ვერ გავრცელდა, რადგან მოითხოვენ სპეციალურ მარკშეიდერულ ნიშ-



ნახ. 7.1.7

ცხრილი 7.1.1

	ტექნიკური მაჩვენებლები	ნიველირის ტიპი				
		НГ	НВ—1	НСМ—2А	НС 4	Koni —025
1	ჰოგრის გამადიდებლობა	31*	31*	30,5*	30,5*	20*
2	ჰოგრის მხედველობის არე	1°00′	1°20′	1°20′	1°20′	1°40′
3	ობიექტივის საფოკუსო მანძილი, მმ	314	250	250	—	—
4	ობიექტივის დიამეტრი, მმ	34	38	34	40	30
5	ცილინდრული თარაზოს დანაყოფის საფასური, სეკ	17-25″	17-25″	—	—	—
6	სფერული თარაზოს დანაყოფის საფასური, მინ	7—15′	7—15′	2′	10′	8′
7	დამზერის უმცირესი მანძილი, მ	3	3	3	2,1	2,5
8	მანძილმზომის კოეფიციენტი	100	100	100	100	100
9	კომპენსატორის მოქმედების დიაპაზონი, მინ	—	—	±6÷8′	±15′	±10′
10	სამიზნე ღერძის ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოყვანის სიზუსტე	—	—	± 2″	±1″,5	±0″,5
11	1 კმ სანიველო სვლის საშ. კვადრატული შეცდომა, მმ	—	±3—4	± 3 — 4	±3—4	±2—3
12	ნიველირის წონა, კგ	2,25	1,8	2,3	2	1,7

ნებს, თანაც კაუჭი ხშირად დეფორმირდება, რაც შეცდომის დამატებით წყაროს ქმნის. ვერც გერმანული ფირმების მიერ გამოშვებული მქრქალი მინის ლარტყები გავრცელდა, რადგან მალე გამოდის მწყობრიდან მიწისქვეშა აგეგმვების ძნელი პირობების გამო. ამჟამად მიწისქვეშა გვირაბებში გეომეტრიული ნიველობის დროს იყენებენ ორი ტიპის ლარტყებს: მთლიანსა და გასაშლელს (ნახ. 7). გავრცელებულია 1,5—2,0 მ სიგრძის მთლიანი ლარტყები. დაყოფილია ისინი სანტიმეტრებად და აქვთ ისეთივე წარწერები, როგორც გეოდეზიურ ლარტყებს.

ინსტრუქციის თანახმად, მუშაობის დაწყებამდე უნდა შემოწმდეს ლარტყის როგორც მთლიანი, ისე მისი ცალკეული დეციმეტრული დანაყოფების დატანის სისწორე. შემოწმება სრულდება საკონტროლო სახაზავის საშუალებით, გეოდეზიიდან ცნობილი წესით. ლარტყის დეციმეტრული დანაყოფის შემთხვევითი შეცდომა ±1 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

გეომეტრიული ნიველობა მიწისქვეშა გვირაბებში. პრაქტიკულად გეომეტრიული ნიველობა მიწისქვეშა გვირაბებში ზედაპირის ნიველობის ანალოგიურად წარმოებს. მისი ზოგიერთი თავისებურება მხოლოდ იმ გარემოებით არის გამოწვეული, რომ სანიველო წერტილები შეიძლება დამაგრებული იყოს როგორც გვირაბის იატაკზე, ისე ჭერზე. ორივე შემთხვევაში ლარტყის საწყისი უნდა იდოს სანიველო წერტილზე. ამის გამო, როდესაც წერტილი გვირაბის ჭერშია, ლარტყის ანათვლები ზევიდან ქვევით იზრდება. იატაკის წერტილების შემთხვევაში — ქვევიდან ზევით. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა დაზუსტდეს ლარტყის ანათვლებით წერტილებს შორის აღმატების გამოსათვლელი ფორმულები.

მე-8 ნახაზზე ნაჩვენებია მიწისქვეშა გეომეტრიული ნიველობისას უკანა

და წინა პიკეტების მდებარეობის ოთხი შესაძლო შემთხვევა, რომლის შესაბამისად მეზობელ წერტილებს შორის აღმატება გამოითვლება ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned} \Delta z_1 &= a - b, \\ \Delta z_2 &= b - a, \\ \Delta z_3 &= a + b, \\ \Delta z_4 &= -(a+b). \end{aligned}\right\} \qquad (7.1.1)$$

აღმატებების გამოსათვლელი ზემომოყვანილი ოთხი ფორმულა შეიძლება შეიცვალოს ერთი ფორმულით, თუ ჰერის წერტილებზე ლარტყის ანათვლებს ჩავთვლით უარყოფითად. ამ პირობით (1) ფორმულები შემდეგი სახით გადაიწერება:

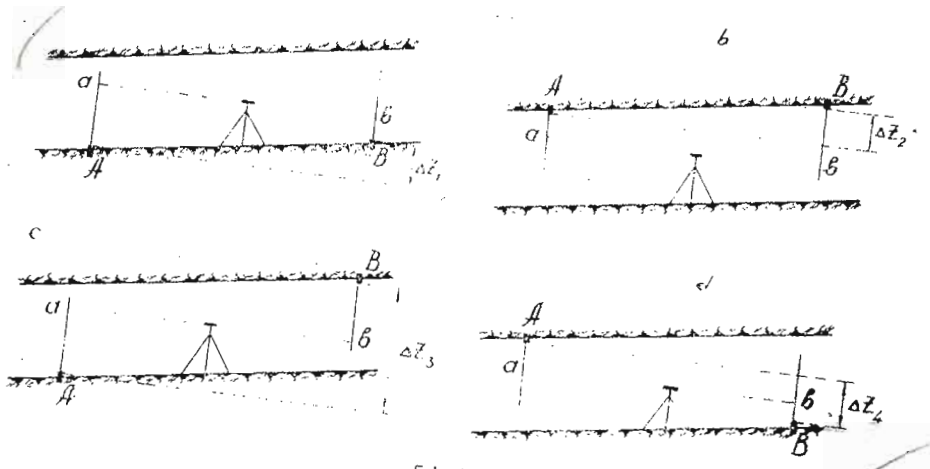
$$\left.\begin{aligned} \Delta z_1 &= a - b, \\ \Delta z_2 &= (-b) - (-a), \\ \Delta z_3 &= a + (-b), \\ \Delta z_4 &= -[(-a) + b], \end{aligned}\right\} \qquad (7.1.2)$$

ე. ი. ოთხივე შემთხვევაში აღმატებების გამოთვლა შეიძლება გეოდეზიიდან ცნობილი ფორმულით

$$\Delta z = a - b, \qquad (7.1.3)$$

მხოლოდ სანიველო ჟურნალში უნდა აღინიშნოს ლარტყაზე აღებული ანათვლების ნიშნები.

მიწისქვეშა სიმაღლითი საფუძვლის ქსელის პუნქტებზე ნიშნულის გადაცემა 5—8°-მდე დახრის გვირაბებში წარმოებს ტექნიკური ნიველობით, დალარტყებით ან ლარტყის წითელი და შავი პირით განსაზღვრულ



ნახ. 7.1.8

ახლოებით ლარტყებს შორის შუაზე დგომით. მხრების უტოლობა დასაშვებია 5—8 მეტრის ფარგლებში, ლარტყებს შორის მანძილი—100 მეტრამდე. ლარტყაზე ანათვლის აღება დასაშვებია ±1 მმ შეცდომით. ინსტრუმენტის ორი

აღმატებებს შორის განსხვავება სადგურზე დასაშვებია ±10 მმ-მდე. ნიველობას აწარმოებენ ერთი მიმართულებით ჩაკეტილი პოლიგონების სახით ან პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებებით კიდული სვლების შემთხვევაში. ტექნიკური ნიველობის სვლებში შეუკვრელობა არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 50\sqrt{L}$ მმ, სადაც L სვლის სიგრძეა კმ-ში. ცალკეულ სანიველო სვლებში დასაშვებ შეუკვრელობებს ანაწილებენ სვლის გვერდების სიგრძის პროპორციულად. სანიველო სვლათა სისტემის გაწონასწორებისათვის იყენებენ გეოდეზიიდან ცნობილ პოლიგონების, კვანძებისა და სხვ. მეთოდებს [50].

გეომეტრიული ნიველობით სრულდება აგრეთვე ჰორიზონტული და მცირედ დახრილი გვირაბების საზიდი გზების ვერტიკალური აგეგმვაც. ამ შემთხვევაში გზის პროფილის შედგენისათვის საჭიროა წინასწარ პიკეტების დაკვალვა. პიკეტებს შორის მანძილი აიღება 10—20 მ და აღინიშნება საზიდი გზის რელსის (მარცხენა ან მარჯვენა) თავზე ცარცის საშუალებით. მუშაობისას ნიველირს აყენებენ დამაკავშირებელ პიკეტებს შორის დაახლოებით შუა მანძილზე იმ ვარაუდით, რომ ეს მანძილი 50 მეტრზე მეტი არ იყოს. თითოეულ პიკეტზე განისაზღვრება გვირაბის სიმაღლე. ხშირად ამ მიზნით საზიდი გზის რელსის თავის ნიველობასთან ერთად აწარმოებენ გვირაბის ჭერის ნიველობასაც. ამ შემთხვევაში თითოეულ პიკეტზე დამატებით იღებენ ანათვალს ჭერზე ნულოვანი დანაყოფით ვერტიკალურად მიდებულ ლარტყაზე. ნიველობას აწარმოებენ სიმაღლითი საფუძვლის ქსელის პუნქტებს შორის ან ერთი ასეთი პუნქტიდან, მაგრამ პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებებით. სანიველო სვლის შეუკვრელობა არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 30\sqrt{L}$ მმ-ს, სადაც L არის სვლის სიგრძე ასეულ მეტრებში. შეუკვრელობებს ანაწილებენ ყველა აღმატებებზე თანაბრად.

მიწისქვეშა გეომეტრიული ნიველობის პუნქტების ნიშნულები გამოითვლება გეოდეზიის კურსიდან ცნობილი წესით.

გეომეტრიული ნიველობის საშუალო კვადრატული შეცდომა. სანიველო სვლის ბოლო B წერტილის Z_B კოორდინატი განისაზღვრება ფორმულით

$$Z_B = Z_A + \sum_{i=1}^{i=n} \Delta Z_i, \qquad (7.1.4)$$

სადაც Z_A არის სვლის საწყისი (საყრდენი) წერტილის ნიშნული;

ΔZ_i — აღმატება მეზობელ პიკეტებს შორის:

$$\Delta Z_i = a_i - b_i.$$

თუ m_1, m_2, . . . ,m_n-ით აღვნიშნავთ ცალკეული აღმატებების საშუალო კვადრატულ შეცდომას, მაშინ B წერტილის Z_B კოორდინატის განსაზღვრის საშუალო კვადრატული შეცდომის კვადრატი

$$m_B^2 = m_A^2 + m_1^2 + m_2^2 + \cdots + m_n^2.$$

პიკეტებს შორის თანატოლი მანძილების შემთხვევაში შეგვიძლია დავუშვათ, რომ

$$m_1 = m_2 = \cdots m_n = m_{\Delta Z},$$

ე. ი.

$$m_B^2 = m_A^2 + n\, m_{\Delta z}^2. \qquad (7.1.5)$$

ვინაიდან შესრულებული ნიველობის სიზუსტეზე არ არის დამოკიდებული m_A, ამიტომ, თუ მხედველობაში მივიღებთ მხოლოდ სანიველო სვლის შეცდომებს, გვექნება

$$m_B^2 = n\, m_{\Delta z}^2.$$

თითოეულ ლარტყაზე ანათვლის აღების საშუალო კვადრატულ შეცდომას თუ ტოლებად ჩავთვლით და აღვნიშნავთ m_ε-ით, მაშინ ერთი აღმატების საშუალო კვადრატული შეცდომა

$$m_{\Delta z}^2 = m_\varepsilon^2 + m_\varepsilon^2 = 2m_\varepsilon^2,$$

მაშასადამე,

$$m_B = \pm m_\varepsilon \sqrt{2n}. \qquad (7.1.6)$$

ლარტყაზე ანათვლის აღების საშუალო კვადრატული m_ε შეცდომა გამოითვლება ფორმულებით

$$m_\varepsilon = \pm 0{,}7\,\frac{L}{G}, \qquad (7.1.7)$$

$$m_\varepsilon = \pm 0{,}001\, L\tau, \qquad (7.1.8)$$

სადაც L არის მანძილი ნიველირიდან ლარტყამდე, მ-ში,

G — ჭოგრის გამადიდებლობა;

τ — თარაზოს ერთი დანაყოფის საფასური, სეკ-ში.

(7) ფორმულა გამოიყენება, როცა ცნობილია ჭოგრის გამადიდებლობა, და (8) კი, როცა ცნობილია თარაზოს საფასური [50], [35].

b. ტრიგონომეტრიული ნიველობა

ტრიგონომეტრიულ ნიველობას აწარმოებენ დახრილ გვირაბებში თეოდოლიტური აგეგმვის თანადროულად. ასეთი სახის ნიველობით განისაზღვრება 1-ლი და მე-2 თანრიგის სააგეგმვო ქსელის პუნქტების სიმაღლეები. იგი სრულდება თეოდოლიტით, რომლის ვერტიკალურ წრედზე ანათვლის აღების სიზუსტე 30—60″-ია.

ტრიგონომეტრიული ნიველობის დროს პუნქტების ურთიერთგანლაგების ძირითადი შესაძლო შემთხვევების სქემა მოცემულია მე-9 ნახაზზე. პირველ შემთხვევაში მოსაზღვრე სანიველო A და B პუნქტები დამაგრებულია გვირაბის იატაკზე, მეორე შემთხვევაში — ჭერზე, მესამე შემთხვევაში კი — ერთი იატაკზეა, მეორე — ჭერზე. სამივე შემთხვევაში A წერტილიდან (ან მის ქვეშ) ცენტრავენ თეოდოლიტს, დამზერენ B (ან B') წერტილიდან ჩამოშვებულ შვეულის წვეტს (ან ზონარზე დანიშნულ ნებისმიერ b წერტილს) და ზომავენ:

1) ab მზერის სხივის დახრის δ კუთხეს;

2) $l = ab$ დახრილ მანძილს თეოდოლიტის ჰოგრის ბრუნვის ღერძიდან b წერტილამდე;

3) ინსტრუმენტის i სიმაღლეს;

4) სამიზნეს (სიგნალის) v სიმაღლეს.

როგორც მე-9 ნახაზიდან ჩანს, Δz_{AB} აღმატება ტოლია: (*a*) შემთხვევაში

$$\Delta z_{AB} = l \sin \delta + i - v, \tag{7.1.9}$$

(*b*) შემთხვევაში

$$\Delta z_{AB} = l \cdot \sin \delta - i + v, \tag{7.1.10}$$

(*c*) შემთხვევაში

$$\Delta z_{AB} = l \sin \delta + i + v, \tag{7.1.11}$$

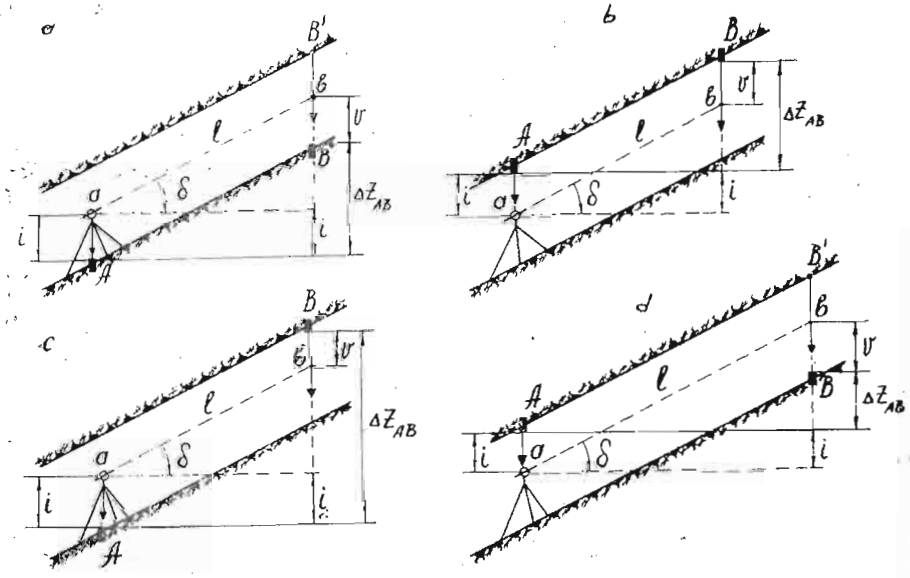
როდესაც უკანა-A პუნქტი გვირაბის ჭერშია დამაგრებული, წინა კი — იატაკზე, (11) ფორმულა შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$\Delta z_{AB} = l \sin \delta - i - v. \tag{7.1.12}$$

ყველა შემთხვევაში შეგვიძლია ვიხელმძღვანელოთ (9) ფორმულით, თუ ჭერში დამაგრებული წერტილებისათვის i და v მონაკვეთებს უარყოფითად ჩავთვლით, იატაკის შემთხვევაში—დადებითად.

ინსტრუმენტისა და სიგნალის i და v სიმაღლე იზომება ორჯერ. სხვაობა ყოველ წყვილ განაზომს შორის დასაშვებია 5 მმ-მდე.

1-ლი თანრიგის სააგეგმვო ქსელის სვლებში დახრის კუთხეებს ზომავენ



ნახ. 7.1.9

თეოდოლიტით, ჭოგრის ორ მდებარეობაში. შვეული წრედის ნულ ადგილს საზღვრავენ სვლის საწყისსა და ბოლოში. ნული ადგილის მნიშვნელობებს შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 2′-ს. მოსაზღვრე პუნქტებს შორის აღმატება უნდა განისაზღვროს ორჯერ — პირდაპირი და შებრუნებული დამზერით. ორ შედეგს შორის სხვაობა დასაშვებია 5 სმ-მდე.

მე-2 თანრიგის სააგეგმვო ქსელის სვლებში დახრის კუთხეებს ზომავენ

თეოდოლიტით ან კუთხსაზომით, პირდაპირი და შებრუნებული დამზერით. აღმატებებს შორის სხვაობა დასაშვებია 10 სმ-მდე.

ტრიგონომეტრიული ნიველობის სვლებში შეუკვრელობა არ უნდა აღემატებოდეს:

1-ლი თანრიგის სააგეგმვო ქსელების სვლებში $25\sqrt{n}$ მმ,

მე-2 „ „ „ $50\sqrt{n}$ მმ,

სადაც n სვლის გვერდების რიცხვია. დასაშვებ შეუკვრელობებს ანაწილებენ ცალკეულ აღმატებებზე თანაბრად.

ტრიგონომეტრიული ნიველობის პუნქტების ნიშნულის გამოთვლის შედეგი შეაქვთ სპეციალურ ჟურნალში [49].

ტრიგონომეტრიული ნიველობის საშუალო კვადრატული შეცდომა. ტრიგონომეტრიული ნიველობის დროს ორ წერტილს შორის აღმატება გამოითვლება (9) ფორმულით

$$\Delta z = l \sin \delta + i - v,$$

საიდანაც განაზომთა შეცდომების თეორიის საფუძველზე დავწერთ

$$m^2_{\Delta z} = \left(\frac{\partial(\Delta z)}{\partial l}\right)^2 m_l^2 + \left(\frac{\partial(\Delta z)}{\partial \delta}\right)^2 m^2_\delta + \left(\frac{\partial(\Delta z)}{\partial i}\right)^2 m_i^2 + \left(\frac{\partial(\Delta z)}{\partial v}\right)^2 m_v^2.$$

კერძო წარმოებულები იქნება

$$\frac{\partial(\Delta z)}{\partial l} = \sin \delta; \quad \frac{\partial(\Delta z)}{\partial \delta} = \cos \delta; \quad \frac{\partial(\Delta z)}{\partial i} = \frac{\partial(\Delta z)}{\partial v} = 1.$$

მაშასადამე,

$$m^2_{\Delta z} = m_l^2 \sin^2 \delta + l^2 \cos^2 \delta \, \frac{m^2_\delta}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2. \tag{7.1.13}$$

ტრიგონომეტრიული ნიველობის საწყის და ბოლო პუნქტებს შორის აღმატება გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta z^k_A = \Delta z_1 + \Delta z_2 + \cdots + \Delta z_n,$$

მაშასადამე, მთელი სვლის საშ. კვ. შეცდომა

$$M^2_{\Delta z} = m^2_{\Delta z_1} + m^2_{\Delta z_2} + \cdots + m^2_{\Delta z_n},$$

ანუ

$$M^2_{\Delta z} = \Sigma m_l^2 \sin^2 \delta + \Sigma l^2 \cos^2 \delta \, \frac{m^2_\delta}{\rho^2} + \Sigma m_i^2 + \Sigma m_v^2. \tag{7.1.14}$$

(14) ფორმულაში მხედველობაში არ არის მიღებული რეფრაქციის გავლენა, რადგან ეს საკითხი მიწისქვეშა პირობებისათვის საკმარისად შესწავლილი არ არის. მასში შემავალი მანძილებისა და კუთხეების გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომები (m_l, m_δ) გამოითვლება (5.4.32) და (5.3.35) ფორმულებით, რაც შეეხება m_i და m_v შეცდომებს, მათი საშუალო ოდენობა ±2—5 მმ-მდე აღწევს.

როგორც ვიცით, ცალკეული აღმატებები განსაზღვრული უნდა იქნეს ორჯერ—წინ და შებრუნებული მიმართულებით. წინა და უკანა მიმართულებით განსაზღვრული აღმატებების აბსოლუტურ მნიშვნელობათა სხვაობების დასაშვები სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta h = \left(3 \frac{l}{100} + \frac{\Delta z}{10} \pm 1 \pm 1\right) \text{სმ}; \tag{7.1.15}$$

იგი უცუდეს პირობებში არ უნდა გადასცილდეს 6 სმ-ს.

თ ა ვ ი VIII

მარკშეიდერული აზომვები და მოკოვებული მარგი წიაღისეულის აღრიცხვა

8.1. ზოგადი ცნობები

სამთო გვირაბების მარკშეიდერული აზომვა ნახევრად ინსტრუმენტული აგეგმვაა და ძირითადად ტარდება დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში შესრულებული სამუშაოების მოცულობის განსაზღვრის მიზნით. თავის მხრივ, მოქმედ სამთო საწარმოს ტექნიკური ზედამხედველობა ახორციელებს როგორც მოსამზადებელი, დაჭრითი და წმენდითი გვირაბების გაყვანის, ისე ცვლის (დღე-ღამის) განმავლობაში მოპოვებული მარგი წიაღისეულის ოპერატიულ (სტატისტიკურ) აღრიცხვას. ეს უკანასკნელი ცალკეული საექსპლოატაციო უბნებიდან მოწოდებული დატვირთული ვაგონეტების დათვლით ან სავაგონო სასწორზე აწონვით ხორციელდება. პირველ შემთხვევაში მარგი წიაღისეულის წონითი რაოდენობა განისაზღვრება ვაგონეტის საშუალო წონის გადამრავლებით მათ რაოდენობაზე. მარგი წიაღისეულის საშუალო წონას ვაგონეტში საზღვრავენ კვარტალში ერთხელ. ამ მიზნით იქმნება სპეციალური კომისია მარკშეიდერის მონაწილეობით. აწონვას ახდენენ ინსტრუქციის შესაბამისად.

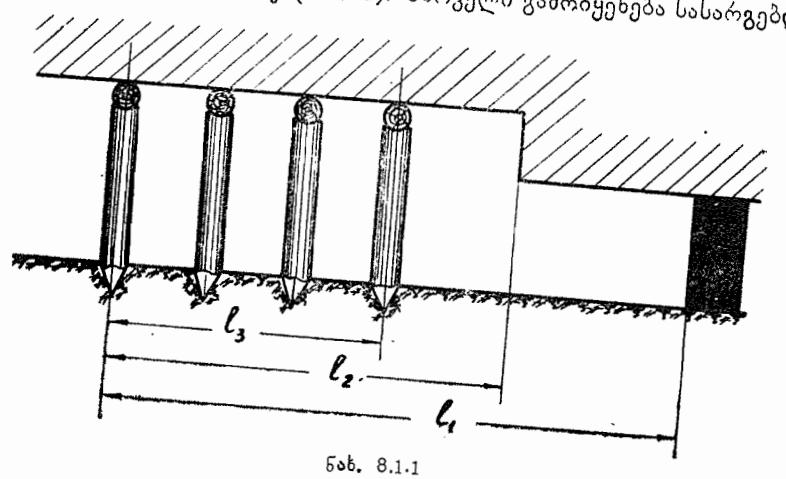
მოპოვებული მარგი წიაღისეულის რაოდენობა შახტის (მაღაროს) მუშაობის ძირითადი მახასიათებელია, ამიტომ იგი უნდა განისაზღვროს საკმარისად ზუსტად. წიაღისეულის მოპოვების ოპერატიულ აღრიცხვას თან ახლავს უცილობელი შეცდომები (ვაგონეტის საშუალო წონის განსაზღვრის, დაუტვირთაობისა და სხვ.), რამაც თვის ბოლოს შეიძლება მიაღწიოს საგრძნობ ოდენობას. ამ მიზეზით მარგი წიაღისეულის მოპოვების ოპერატიული აღრიცხვა ყოველთვის უტყუარ ცნობებს როდი იძლევა. გარდა ამისა, მარკშეიდერული აგეგმვა სამთო გვირაბების განუწყვეტელი წინსვლის გამო ჩამორჩება სანგრევის ხაზს და არ იძლევა სრულ წარმოდგენას სამთო სამუშაოების მდგომარეობის შესახებ საანგარიშო თარიღისათვის. ამის გამო ყოველი თვის ბოლოს, მიწისქვეშა საყრდენ პუნქტებზე დაყრდნობით, აწარმოებენ მარკშეიდერულ აზომვებს და საზღვრავენ დროის ამ პერიოდში გაყვანილ კაპიტალურ, მოსამზადებელ და დაჭრითი სამთო გვირაბების სიგრძესა და ფაქტობრივ ზომებს, წმენდითი სანგრევის წინსვლას, მის სიგრძესა და ფორმას, გამომუშავებული სივრცის ფართობს, მარკშეიდერული გეგმების შევსების და მარგი წიაღისეულის დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვისათვის საჭირო მონაცემებს, ფენის სტრუქტურას და ა. შ. გარდა ამისა, მოპოვების ოპერატიული აღრიცხვის კონტროლის მიზნით ადგენენ მარგი წიაღისეულის ნაშთის რაოდენობას საწყობებსა და ბუნკერებში. ამგვარად, ყოველი თვის ბოლოს საჭიროა აიზომოს მოსამზადებელი გვირაბები, წმენდითი გამონამუშევრები და მარგი წიაღისეულის საწყობები.

ა. მოსამზადებელი გვირაბების აზომვა

მოსამზადებელი გვირაბების აზომვის დროს განისაზღვრება გვირაბის სიგრძე, საანგარიშო პერიოდში მისი წინ წაწევის ოდენობა, განივკვეთის ზომები და პროექტთან მათი შესაბამისობა, ფენის სისქე, მისი სტრუქტურა და

სხვა დეტალები. აზომვას აწარმოებენ ფოლადის ან ტილოს რულეტით თეოდოლიტური აგეგმვის პუნქტებიდან ან სპეციალურად დამაგრებული ე. წ. „აზომვის“ წერტილებიდან. აზომვის დაწყებამდე ათვალიერებენ გვირაბს და ადგენენ ესკიზს, რომელშიაც აღნიშნავენ: 1) გამოსავალი (ანუ აზომვის) წერტილების მდებარეობას და მანძილს ამ წერტილებიდან სანგრევამდე; 2) გამომუშავებული ფართობის, მარგი წიაღისეულისა და ფუჭი ქანის რაოდენობის განსაზღვრისათვის საჭირო ზომებს; 3) აზომვის წერტილებში ფენის სისქესა და მის სტრუქტურას; 4) გეოლოგიური აშლილობის ადგილსა და მისი წოლის ელემენტებს; 5) ფენის წოლის ელემენტების მნიშვნელობებსა და მათი განსაზღვრის წერტილებს; 6) ჭერის ჩამონგრევისა და გაზის გამოყოფის ადგილებს და სხვა წვლილადებს, რომელთა გამოსახვა აუცილებელია მარკშეიდერულ გეგმებზე.

გვირაბის ტიპისა და გაყვანის პირობების შესაბამისად საანგარიშო თაღისათვის განისაზღვრება მისი წინ წაწევა სასარგებლო ნამარხში — l_1, ფუჭ ქანში — l_2 და გამაგრებაში — l_3 (ნახ. 1). პირველი გამოიყენება სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვების ანგარიშისათვის, მეორე და მესამე — გვირაბგამყვანთათვის ხელფასის დასარიცხად.



ნახ. 8.1.1

გამაგრებული გვირაბის განივკვეთს ზომავენ პროექტში ან გამაგრების პასპორტში მოცემული მიმართულებებით. გაუმაგრებელი გვირაბის განივკვეთი უმეტესად ტრაპეციის ფორმისაა. ამ შემთხვევაში ზომავენ გვირაბის სიგანეს იატაკთან და ჭერთან, აგრეთვე სიმაღლეს. დახრილი გვირაბის სიმაღლეს ზომავენ იატაკის მართობულად.

მრუდხაზოვანი გვირაბის კვეთის აზომვა და კონტროლი შეიძლება პოლარული ხერხით, ხაზოვანი გადაკვეთის მეთოდით და სხვ. (იხ. თავი II).

თუ გვირაბი გაყავთ არაერთგვაროვან ქანებში და მისი განივკვეთი ფენაში ვერ თავსდება, მაგალითად, თხელ ფენაში ვიწრო ან ფართო სანგრევით შტრეკის გაყვანის დროს, მაშინ, გარდა გვირაბის განივკვეთისა უნდა განისაზღვროს აგრეთვე სანგრევის სიბრტყეში მარგი წიაღისეულის (ბუდობის) გაშიშვლების ფართობი. ამისათვის მოცემული გვირაბის სანგრევის სიბრტყეში ზომავენ ბუდობის სისქესა და სანგრევის ხაზის სიგრძეს. აზომვის შედეგები შეაქვთ სპეციალური ფორმის აზომვის წიგნაკში, რომლის მარჯვენა გვერდზე კეთდება გვირაბის აზომილი ნაწილის ესკიზი (ნახ. 2).

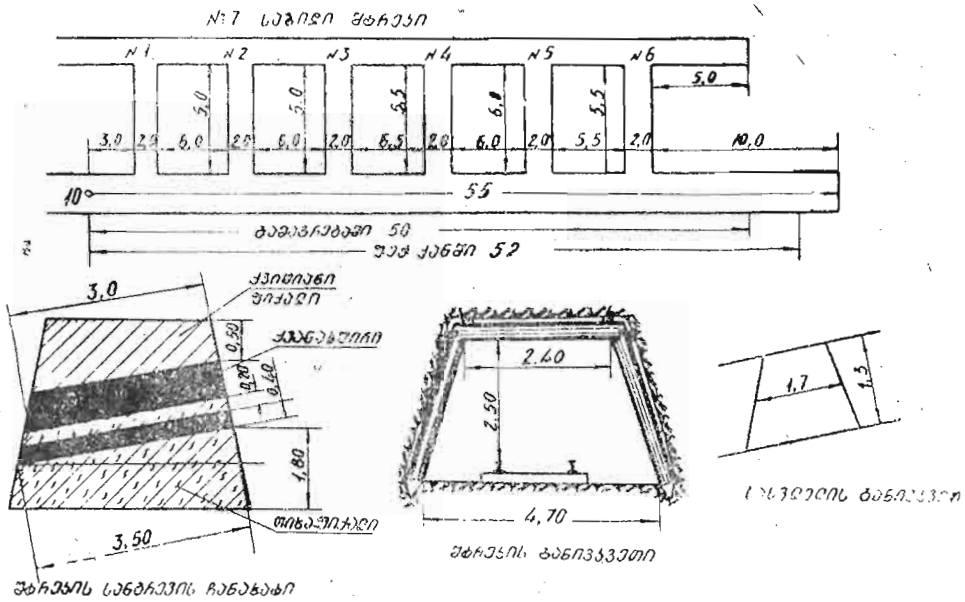
განსაკუთრებული გულისყურით უნდა შესრულდეს ბუდობის სტრუქტურის ჩახატვა და სისქის გაზომვა.

არჩევენ ბუდობის ნორმულ (m), ჰორიზონტულ (m_3), და ვერტიკალურ (m_3) სისქეს (ნახ. 3). ფენობრივი ბუდობების შემთხვევაში ყველაზე მნიშვნელოვანია ნორმული სისქე, რომელიც ჰორიზონტულ და ვერტიკალურ სისქეებთან დაკავშირებულია დამოკიდებულებით

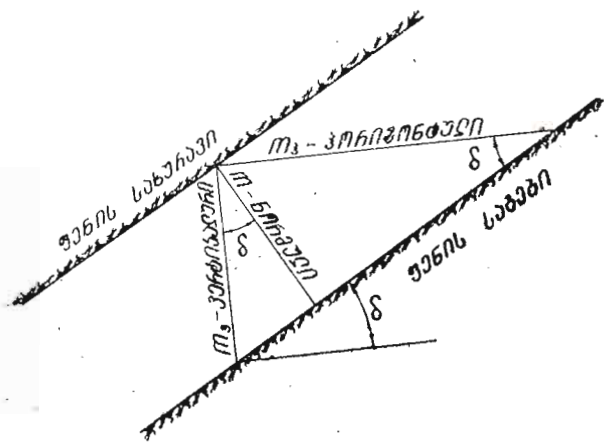
$$m = m_3 \sin\delta = m_3 \cos\delta, \qquad (8.1.1)$$

სადაც δ არის ფენის დაქანების კუთხე.

ხშირად მარგი წიაღისეულის ფენა რთული აგებულებისაა, შეიცავს ფუჭი ქანის ჩანართებს, რაც ყოფს მას ცალკეულ დასტებად (ნახ. 4). ამის გამო ფენის სისქის გაზომვის დროს არჩევენ:



ნახ. 8.1.2



ნახ. 1.3,3

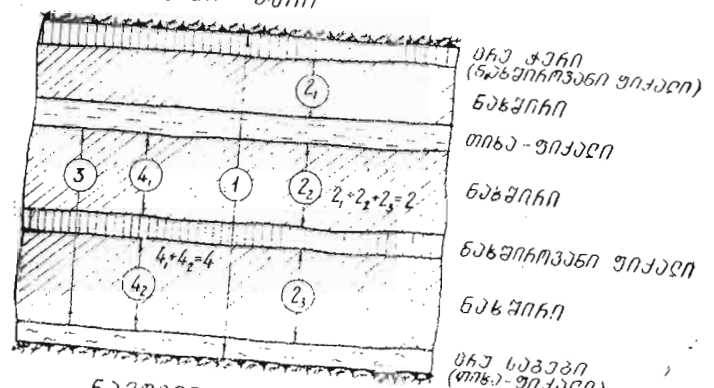
1) ფენის მთლიან (გეოლოგიურ, საერთო) სისქეს, რომელიც იზომება ფენის ძირითადი (ჭერმარიტ) სახურავი გვერდიდან ძირითად საგებ გვერდამდე ქანების ჩანართებთან ერთად (1);

2) ფენის მთლიან სასარგებლო სისქეს, რომელიც უდრის ფენში მარგი წიაღისეულის ყველა დასტის ჯამს (2);

3) ფენის ამოსაღებ (მუშა) სისქეს (3), რომელიც უდრის გამოღებული ფენის გაშიშვლებულ სახურავ და საგებ გვერდებს შორის მანძილს, თუნდაც სახურავი ან საგები მარგი წიაღისეული იყოს;

4) ფენის ამოსაღებ სასარგებლო სისქეს (4), რაც მარგი წიაღისეულის ამოსაღები დასტების ჯამის ტოლია.

ფენის სისქეს ზომავენ რულეტით. სისქის გაზომვისა და სტრუქტურის



ნახ. 8.1.4

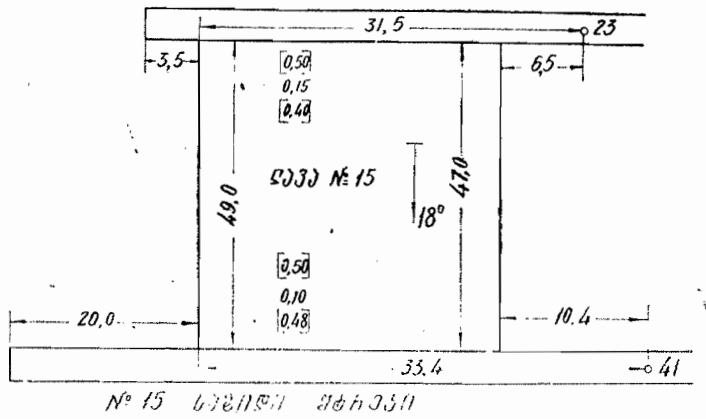
ჩახატვის დროს ჯერ ზომავენ ქანის თითოეულ ჩანართსა და მარგი წიაღისეულის დასტებს ცალ-ცალკე, შემდეგ—ფენის მთლიან სისქეს. ქანის ჩანართებისა და მარგი წიაღისეულის დასტების ჯამური სისქე ფენის მთლიანი სისქისაგან არ უნდა განსხვავდებოდეს ± 1%-ზე მეტად.

ბ. წმენდითი გვირაბების აზომვა

წმენდითი გვირაბების აზომვას აწარმოებენ სამთო სამუშაოების მარკშეიდერული გეგმების შევსებისათვის საჭირო მონაცემების მისაღებად, წმენდითი გვირაბების გამაგრების პასპორტის საკონტროლოდ, მარგი წიაღისეულის მოპოვების, დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვისათვის და სხვ. აზომვისას საზღვრავენ წმენდითი სანგრევის ხაზის სიგრძეს, საანგარიშო პერიოდში მის წინწაწევას, გამომუშავებული სივრცის ფართობს, ფენის საშუალო სისქეს და წმენდითი სივრცის სხვა დეტალებს. თუ წმენდითი გვირაბის სიგრძე არ აღემატება 40—60 მეტრს, მაშინ მას ზომავენ ფოლადის ან ტილოს რულეტის საშუალებით. ამ შემთხვევაში სანგრევის ხაზის სიგრძის საშუალო მნიშვნელობა საანგარიშო პერიოდში შესრულებული განაზომების საშუალო არითმეტიკულს უდრის, ხოლო მისი წინ წაწევა კი—ამავე პერიოდის საწყისს და ბოლოში საზიდ და სავენტილაციო შტრეკების აზომვის წერტილებიდან სანგრევამდე მანძილების სხვაობათა საშუალო მნიშვნელობას. ასე მაგალითად, მე-5 ნახაზის შემთხვევაში სანგრევის ხაზის წინ წაწევა იქნება

$$l = \frac{(31{,}5 - 6{,}5) + (33{,}4 - 10{,}4)}{2} = 24{,}0 \text{ მ.}$$

თუ წმენდითი გვირაბის სანგრევის ხაზის სიგრძე დიდია, მაშინ მისი მოხაზულობა ინსტრუმენტული აგეგმვით (მარტივი კუთხსაზომით, საკიდი იარაღებით) განისაზღვრება. აგეგმვისა და აზომვის მონაცემებით ადგენენ წმენდითი გვირაბების გეგმას 1 : 200, 1 : 500 ან 1 : 1000 მასშტაბში, საიდანაც საზღვრავენ სანგრევის ხაზის საშუალო წინ წაწევასა და სიგრძეს, გამომუშავებული სივრცის ფართობს. სანგრევის ხაზის საშუალო სიგრძე, მნიშვნელოვანი წინ



ნახ. 8.1.5

წაწევის შემთხვევაში, შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$l_{საშ} = \frac{F}{D_{საშ}}, \qquad (8.1.2)$$

სადაც F არის გამომუშავებული სივრცის ფართობი, მ²-ში;

$D_{საშ}$ — საანგარიშო პერიოდში სანგრევის საშუალო წინ წაწევა, მ-ში; ციცაბო ფენების ცალკიბური სანგრევით დამუშავების დროს სანგრევის ხაზის აგეგმვის ნაცვლად საკმარისია საფეხურების სიმაღლისა და მათ შორის მანძილის გაზომვა.

წმენდითი სანგრევების აზომვისა და აგეგმვის პარალელურად ადგენენ ესკიზს, სადაც უჩვენებენ დატოვებული მარგი წიაღისეულის მთელანის ადგილმდებარეობას და ზომებს. საყორე შტრეკებისა და ზოლების სიდიდეს, მახასიათებელ წერტილებში ფენის დახრის კუთხისა და სისქის მნიშვნელობებს, ფენის სტრუქტურას და წმენდითი სივრცის სხვა დეტალებს.

ბ. მარგი წიაღისეულის მოპოვების გაანგარიშება გვირაბების აზომვის მიხედვით

სამთო სამუშაოების ამა თუ იმ უბნიდან საანგარიშო პერიოდში ამოღებული (მოპოვებული) მარგი წიაღისეულის წონითი რაოდენობა (Q) გამოითვლება ფორმულით

$$Q = vR, \qquad (8.1.3)$$

სადაც v არის მარგი წიაღისეულის ამოღების კუბატურა,

R — მარგი წიაღისეულის მოცულობითი წონა მასივში.

მოსამზადებელ გვირაბში ამოღების კუბატურა ($v_{მოსამზ}$) განისაზღვრება ფორმულით

$$v_{მოსამზ} = sl, \qquad (8.1.4)$$

სადაც l არის გვირაბის საშუალო წინ წაწევა საანგარიშო პერიოდში, მ-ში,

S — ბუდობის გაშიშვლების ფართობი სანგრევის სიბრტყეში, მ².

თუ გვირაბის კვეთი მთლიანად მარგ წიაღისეულშია მოთავსებული, მაშინ სანგრევის სიბრტყეში ბუდობის გაშიშვლების ფართობი გვირაბის განივკვეთის ფართობის ტოლია, ხოლო არაერთგვაროვან ქანებში ვიწრო ან ფართო სვლით გვირაბის გაყვანის შემთხვევაში სანგრევის სიბრტყეში ბუდობის გაშიშვლების სიგრძისა და საშუალო სასარგებლო ამოსაღები სისქის ნამრავლს უდრის.

წმენდით გვირაბებში ამოღების კუბატურა

$$S_{წმ} = S_ა m_{საშ}, \qquad (8.1.5)$$

სადაც $S_ა$ არის ამოღების ფართობი, მ²;

$m_{საშ}$ — მარგი წიაღისეულის საშუალო ამოსაღები სისქე, მ-ში.

ამოღების ფართობს საზღვრავენ პლანიმეტრით, პალეტით (საანგარიშო პერიოდის საწყისსა და ბოლოს შესრულებული აზომვებისა და აგეგმვის მონაცემებით აგებული სანგრევის ხაზის მდებარეობის შესაბამისად) ან გეომეტრიული მეთოდით—საანგარიშო პერიოდში სანგრევის ხაზის საშუალო სიგრძის საშუალო წინ წაწევაზე გადამრავლებით. ამავე დროს წმენდითი სივრცეში დატოვებული მთელანების ფართობი მარგი წიაღისეულის ამოღების ფართობიდან უნდა გამოირიცხოს.

მარგი წიაღისეულის მოპოვების გაანგარიშების დროს სარგებლობენ მხოლოდ ფენის (ბუდობის) ამოსაღები სასარგებლო სისქით, რომელიც უდრის გამომუშავებულ ფართობზე ყველა განაზომების საშუალო არითმეტიკულს.

მასივში მარგი წიაღისეულის მოცულობით წონას საზღვრავენ საცდელი გამოჭრის, ლაბორატორიული ან ანალიზური ხერხით.

საცდელი გამოჭრის მეთოდის გამოყენების დროს მოსამზადებელი ან წმენდითი გვირაბის სანგრევის ზედაპირს ჯერ ასწორებენ და ასუფთავებენ, შემდეგ გაყავთ მცირე სიღრმის სწორკუთხედის ფორმის შურფი. გულმოდგინედ განსაზღვრავენ მის საშუალო სიგანეს, სიღრმეს, სიმაღლეს, შემდეგ მოცულობას, თანაც წონიან ამოღებული მარგი წიაღისეულის მთელ მასას და ანგარიშობენ მოცულობით წონას ფორმულით

$$R = \frac{Q}{v}, \qquad (8.1.6)$$

სადაც Q არის მარგი წიაღისეულის სინჯის წონა, ხოლო v—მისი მოცულობა (ფუჭი ქანის ჩანართები, რომლებიც მოპოვებაში არ შედის, საერთო მოცულობასა და ასაწონ მარგ წიაღისეულში არ შეიტანება).

მარგი წიაღისეულის დანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით გამოჭრას აწარმოებენ ფეთქებადი ნივთიერების გამოყენების გარეშე, ხოლო აწონვას—სანგრევის მახლობლად დადგმულ სასწორზე. გამოღებული მასის მოცულობა არ უნდა იყოს 1 მ³-ზე ნაკლები.

საცდელი გამოჭრის მეთოდი გამოიყენება ძლიერ ფხვიერი და ფორებიანი მარგი წიაღისეულის მოცულობითი წონის განსაზღვრის დროს. ხელსაყრელ გარემო პირობებში მოცულობითი წონის ერთი ცალკეული განსაზღვრის შეცდომა არ აღემატება 2 — 3%-ს.

მოცულობითი წონის ლაბორატორიული მეთოდით განსაზღვრის დროს სარგებლობენ ჰიდროსტატიკური აწონვის ხერხით. ცდისათვის გადაარჩევენ მარგი წიაღისეულის 200 — 250 გ წონის ნიმუშებს (ნატეხებს). ისეთი ნიმუშების მოცულობით წონას, რომლებიც არაფოროვანია და წყალში არ სველდება, საზღვრავენ შემდეგნაირად:

გადარჩეულ ნიმუშებს ჯაგრისით წმენდენ მტვრისა და წვრილი ნამსხვრევებისაგან და წონიან ტექნიკურ სასწორზე (ორჯერ 0,1 გ სიზუსტით). შემდეგ, წყლით გაჟღენთვის მიზნით, ნიმუშებს ათავსებენ წყლიან ჭურჭელში და ადუღებენ. დუღილის შემდეგ ნიმუშებს აცივებენ, წმენდენ ტენიანი ჩვრით ან საშრობი ქაღალდით და ხელახლა წონიან ტექნიკურ სასწორზე იმავე სიზუსტით.

წყლით გაჟღენთილ ნიმუშებს მეორეჯერ წონიან წყალში; აწონვას აწარმოებენ ორჯერ 0,1—0,2 გ სიზუსტით.

საკვლევი ნიმუშის მოცულობითი წონა გამოითვლება ფორმულით

$$R = \frac{p_1}{p_3 - p_2}, \qquad (8.1.7)$$

სადაც p_1 არის სინჯის წონა წყლით გაჟღენთვამდე, გ-ში;
p_2 — სინჯის წონა წყლით გაჟღენთვის შემდეგ, გ-ში;
p_3 — სინჯის წონა წყალში, გ-ში;

ისეთი ნიმუშები, რომლებიც სინესტეს სუსტად იწოვენ (მაგ, ქვანახშირი), სავალდებულო არ არის წყალში ავადუღოთ, საკმარისია მხოლოდ 5—10 წუთის განმავლობაში მოვათავსოთ ოთახის ტემპერატურის მქონე წყალში.

წყალში დასველებად, ძლიერ ფოროვან მარგი წიაღისეულის მოცულობით წონას საზღვრავენ ნიმუშის პარაფინირებით. ამ შემთხვევაში მოცულობითი წონა გამოითვლება ფორმულით

$$R = \frac{p_1}{p_2 - p_3 - \frac{p_2 - p_1}{\Delta}}, \qquad (8.1.8)$$

სადაც p_1 არის ნიმუშის წონა პარაფინირებამდე;
p_2 — ნიმუშის წონა პარაფინირების შემდეგ;
p_3 — პარაფინირებული ნიმუშის წონა წყალში;
Δ — პარაფინის მოცულობითი წონა.

ანალიზური ხერხი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც მოცულობით წონასა და მარგი წიაღისეულის ამა თუ იმ კომპონენტის ან მინარევის შემადგენლობას შორის არსებობს კარგად გამოვლინებული დამოკიდებულება. ასეთი დამოკიდებულების ხასიათის დადგენა ცალკეული ტიპის მარგი წიაღისეულისათვის წარმოებს კორელაციური თეორიის მეთოდებით (იხ. სამთო გეომეტრიის კურსი).

899 73 21 46

d. საწყობებში მარგი წიაღისეულის ნაშთის აზომვა

მოპოვებული მარგი წიაღისეულის რაოდენობა სამთო წარმოების მუშაობის ძირითადი მაჩვენებელია, ამიტომ საჭიროა უზრუნველყოფილი იყოს მისი აღრიცხვის საიმედო კონტროლი. სამთო გვირაბების აზომვის მონაცემებით ამოღების ანგარიში ერთ-ერთი ასეთი კონტროლის საშუალებაა. მისი უპირატესობა ის არის, რომ იგი საშუალებას იძლევა ერთმეორესთან შედარებულ იქნეს როგორც მთლიანად შახტის, ისე ცალკეული უბნიდან მოპოვების ოპერატიული აღრიცხვითა და მარკშეიდერული აზომვით მიღებული შედეგები. მაგრამ არახელსაყრელი გეოლოგიური და სამთო ტექნიკური პირობების შემთხვევაში გვირაბების აზომვის მიხედვით წიაღისეულის მოპოვების ანგარიში არასაკმარისად ზუსტია, ხოლო ზოგჯერ—შეუძლებელიც. ასეთ შემთხვევებში მოპოვების აღრიცხვის უფრო საიმედო კონტროლი მარგი წიაღისეულის საწყობების აზომვით ხორციელდება. ამ შემთხვევაში თვის განმავლობაში მოპოვებული მარგი წიაღისეულის Q რაოდენობას ანგარიშობენ თანაფარდობიდან

$$Q = Q_1 - Q_2 + Q_3, \qquad (8.1.9)$$

სადაც Q_1 არის საანგარიშო პერიოდში მომხმარებლისათვის მიწოდებული პროდუქციის რაოდენობა, ტ-ში;
Q_2 და Q_3—შესაბამისად, საანგარიშო პერიოდის საწყისსა და ბოლოს მარგი წიაღისეულის ნაშთი საწყობებში, ბუნკერებში და სხვ. ტ-ში.

მოპოვებული პროდუქციის გასავალი (Q_1) აიღება საბუხჰალტრო აღრიცხვის წიგნიდან, ხოლო Q_2 და Q_3 კი განისაზღვრება მარკშეიდერული აზომვით.

საწყობებში მარგი წიაღისეულის ნაშთის რაოდენობა შახტის თვიურ მოპოვებაზე გაცილებით ნაკლებია, ამიტომ მისი აზომვის შეცდომა ნაკლებად მოქმედებს თვიური ამოღების განსაზღვრის სიზუსტეზე. ეს არის ამ ხერხის უპირატესობა. მაგრამ იგი მხოლოდ მთლიანად, მთელი შახტის მოპოვების ოპერატიული აღრიცხვის კონტროლის გაწევის საშუალებას იძლევა და არა ცალკეული საექსპლოატაციო უბნების მიხედვით, რაც მის ნაკლად უნდა ჩაითვალოს.

საწყობებსა და ბუნკერებში მარგი წიაღისეულის ნაშთის Q_2 (Q_3) რაოდენობას საზღვრავენ ფორმულით

$$Q_2 = \upsilon R_5, \qquad (8.1.10)$$

სადაც υ არის მარგი წიაღისეულის ნაყარის ან ბუნკერის სავსე ნაწილის კუბატურა, ხოლო R_5 კი—მისი მოცულობითი წონა.

მარგი წიაღისეულის ნაყარის მოცულობის სწორად განსაზღვრის მიზნით წინასწარ ადგენენ საწყობად განკუთვნილი მოედნების ტოპოგრაფიულ გეგმებს (მასშტ. 1 : 200—1 : 500, კვეთის სიმაღლე — 0,25—0,50 მ). პერიოდული აზომვების საჭიროებისათვის ამზადებენ მათ ასლს. ამის შემდეგ ნაყარის მოცულობას, მისი ფორმისა და ზომების შესაბამისად, საზღვრავენ რულეტის საშუალებით, ტაქეომეტრიული აგეგმვით ან ვერტიკალური ჭრილების (პროფილების) მეთოდით.

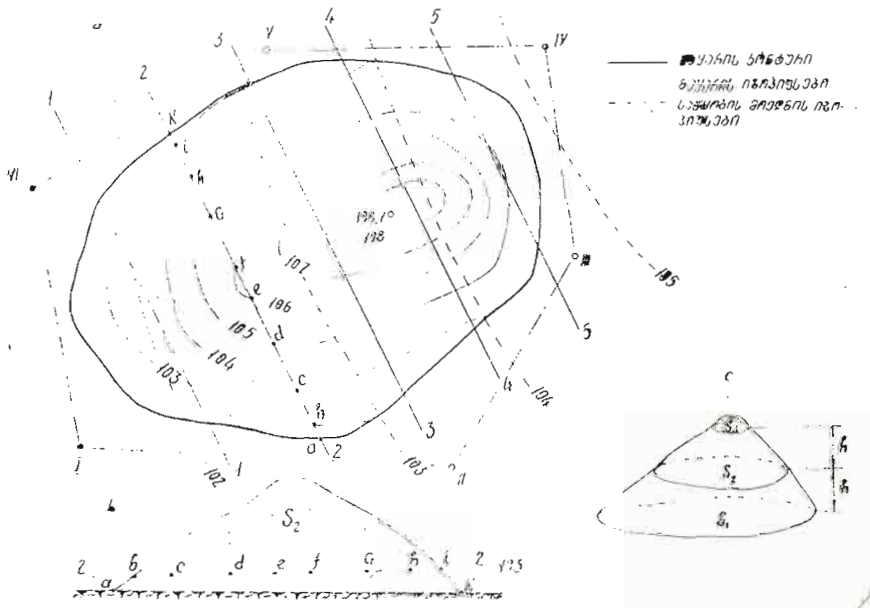
რულეტით აზომვას მიმართავენ მაშინ, როდესაც მარგი წიაღისეულის ნაყარი შედარებით მცირე ზომისაა და ფორმით წესიერ გეომეტრიულ სხეულებს ემსგავსება. ამ შემთხვევაში ზომავენ სხეულის მახასიათებელ ხაზოვან ელემენტებს (სიგრძე, სიგანე, სიმაღლე), ხოლო მის მოცულობას კი ანგა-

რიშობენ გეომეტრიიდან ცნობილი ფორმულებით.

ტაქეომეტრიული აგეგმვა გამოიყენება რთული ფორმისა და დიდი მოცულობის ნაყარის აზომვის შემთხვევაში. აგეგმვას აწარმოებენ როგორც საწყობის მოედანზე არსებული საყრდენი პუნქტებიდან, ისე ნაყარის ზედაპირზე დამატებით დასმული წერტილებიდან (მასშტაბი 1 : 200 — 1—500). საყრდენი I, II, ... პუნქტების x, y კოორდინატებს საზღვრავენ თეოდოლიტურ-პოლიგონური აგეგმვით, ნიშნულს—გეომეტრიული ან ტრიგონომეტრიული ნიველობით. დანარჩენი წერტილების კოორდინატები განისაზღვრება თეოდოლიტური სვლით ან გადაკვეთის მეთოდით, ნიშნული—ტრიგონომეტრიული ნიველობით.

აგეგმვის შედეგებს კამერულად ამუშავებენ და გადააქვთ საწყობის მოედნის ტოპოგრაფიულ გეგმაზე. შემდეგ ჩვეულებრივი მეთოდით ააგებენ მარგი წიაღისეულის ნაყარის კონტურსა და მისი ზედაპირის იზოჰიფსებს (კვეთის სიმაღლე აიღება ნაყარის ზედაპირის სირთულისა და სიმაღლის შესაბამისად 0,25—1,0 მეტრის ფარგლებში). ამგვარად აგებულ საწყობის მოედნისა და ნაყარის შეთავსებულ ტოპოგრაფიულ გეგმიდან მარგი წიაღისეულის მოცულობას ანგარიშობენ ტრაპეციის ფორმულით, ნაყარის ზედაპირის ვერტიკალური ან ჰორიზონტული კვეთების გამოყენებით.

პირველ შემთხვევაში გეგმაზე ნაყარის მოგრძო გვერდის მართობულად ფანქრით გაავლებენ 1 — 1, 2—2, ... ხაზებს (ნახ. 6ა). მათ შორის მანძილს,



ნახ. 8.1.6.

ნაყარის ოდენობისა და მისი მოხაზულობის სირთულის შესაბამისად, იღებენ 5—10 მ-ის ტოლს. შემდეგ ცალკე ააგებენ ნაყარის ვერტიკალურ 1—1, 2—2 და ა. შ. ჭრილებს. თითოეული ასეთი კვეთის ფართობს საზღვრავენ პლანიმეტრით, ხოლო წყვილ ვერტიკალურ კვეთებს შორის მოთავსებული ნაყარის მოცულობას კი ფორმულით (ნახ. 6ბ)

$$v_{1\cdot 2} = \frac{S_1 + S_2}{2} l_{1-2},$$

$$v_{2-3} = \frac{S_2 + S_3}{2} l_{2-3}, \qquad (8.1.11)$$

. . . . . .

სადაც v_{1-2}, v_{2-3}, ... არის წყვილ მეზობელ ვერტიკალურ კვეთებს შორის მოთავსებული ნაყარის მოცულობა;

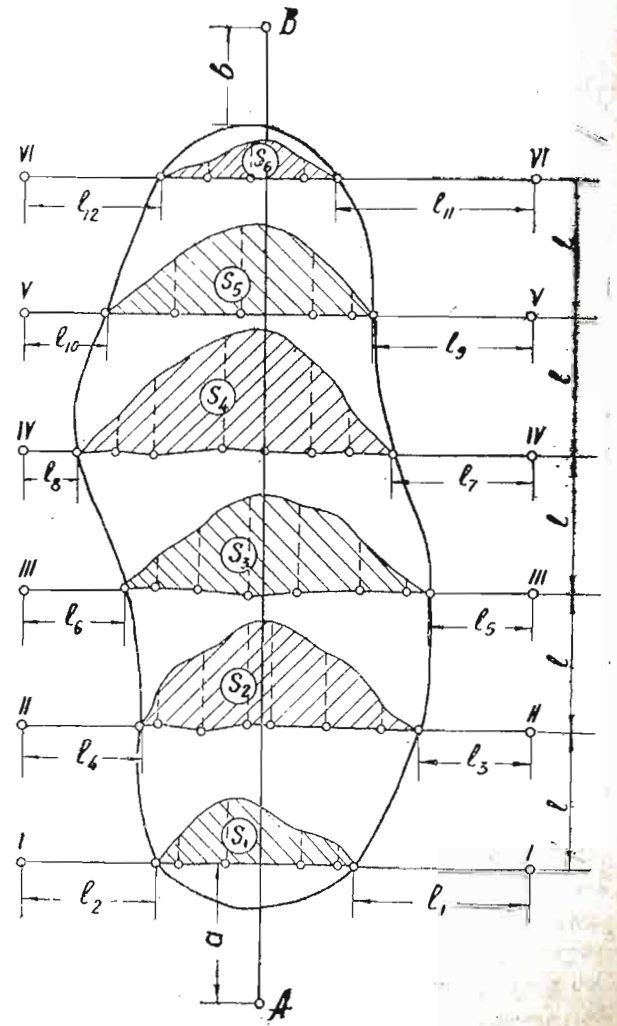
S_1, S_2 — ცალკეული კვეთის ფართობი;

l_{1-2}, l_{2-3} — მეზობელ კვეთებს შორის მანძილი.

ნაყარის მთლიანი მოცულობა მიიღება მისი ნაწილების შეჯამებით. მეორე შემთხვევაში სარგებლობენ ნაყარის ზედაპირის იზოჰიფსებით. იმავე (11) ფორმულით გამოითვლიან წყვილ ჰორიზონტულ კვეთას (იზოჰიფსებს) შორის მოთავსებულ ნაყარის მოცულობას, მხოლოდ ამ შემთხვევაში l-ის ნაცვლად იზოჰიფსების კვეთის სიმაღლედ h უნდა იქნეს აღებული (ნახ. 6ბ).

პროფილების მეთოდი გამოიყენება წაგრძელებული, არაწესიერი გეომეტრიული ფორმის ნაყარის მოცულობის განსაზღვრისათვის.

ამ შემთხვევაში საწყობის მოედანზე, დაახლოებით ნაყარის ღერძის მართობულად, წინასწარ დაკვალავენ ურთიერთპარალელურ I—I, II—II, ... ხაზებს, ე. წ. განივებს. განივებს შორის მანძილი l აიღება 5—10 მეტრი. მათი განაპირა წერტილები მაგრდება საიმედო ცენტრებით. თეოდოლიტური აგეგმვითა და გეომეტრიული ნიველობით განისაზღვრება საყრდენი I, II, ... პუნქტების x, y, z კოორდინატები, აგრეთვე განივებზე მდებარე წერტილების ნიშნულები. საყრდენი პუნქტები დააქვთ საწყობის მოედნის ტოპოგრაფიულ გეგმაზე. ამის შემდეგ გამოხაზა-



ნახ. 8.1.7.

ვენ საწყობის მოედნის პროფილს განივების მიმართულებით, (ნახ. 7).

საწყობში მარგი წიაღისეულის მოცულობის განსაზღვრის მიზნით აწარმოებენ ნაყარის პროფილის აგეგმვას განივების მიმართულებით, რისთვისაც თითოეულ განივზე ტილოს რულეტით ზომავენ l_1, $l_2 \cdots$ მანძილებს საყრდენი წერტილებიდან ნაყარის ძირამდე, აგრეთვე მახასიათებელ წერტილებს შორის. მახასიათებელი წერტილების ნიშნულები განისაზღვრება გეომეტრიული ნიველობით. გაზომვის მონაცემებით ააგებენ თითოეული განივის პროფილს 1:100 ან 1:200 მასშტაბში, პროფილის ვერტიკალური მასშტაბი აიღება 1 : 100.

ნაყარის მოცულობა გამოითვლება ტრაპეციის ფორმულით

$$v = l\left(\frac{S_1 + S_n}{2} + S_2 + \cdots + S_{n-1}\right), \qquad (8.1.12)$$

სადაც l არის მანძილი კვეთებს შორის,

S_1 $S_2 \cdots S_n$ — ნაყარის განივკვეთის ფართობი (განისაზღვრება პლანიმეტრით ან პალეტით).

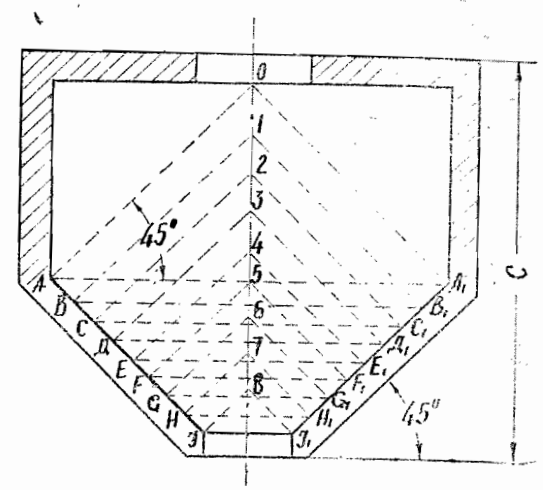
ნაყარში მარგი წიაღისეულის მოცულობით წონას უმეტესად საზღვრავენ შემდეგნაირად: შეარჩევენ ნაყარის ზედაპირზე დაახლოებით თანაბრად განლაგებულ 10—15 წერტილს. თითოეულ წერტილში 0,5—1,0 მ სიღრმიდან აღებული სინჯით ავსებენ ცნობილი ტევადობის ყუთს და წონიან. სინჯის წონის ყუთის მოცულობაზე გაყოფით ღებულობენ მოცემულ წერტილში მოცულობითი წონის მნიშვნელობას. ანალოგიურ განსაზღვრას ახდენენ დანარჩენ წერტილებშიც და მიღებული შედეგებიდან გამოყავთ საშუალო არითმეტიკული. რადგან დროთა განმავლობაში ნაყარი შემჭიდროვდება, ამიტომ მიღებულ მოცულობით წონას უნდა დაემატოს შესწორება ნაყარის შემჭიდროების გამო, რაც ცალკეული ტიპის მარგი წიაღისეულისათვის ემპირიულად განისაზღვრება.

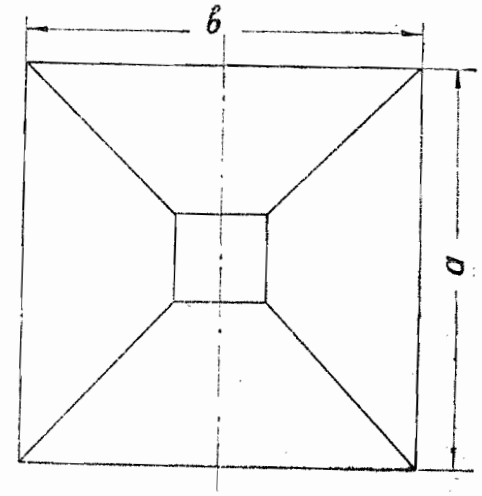
მარგი წიაღისეულის ნაყარის მოცულობითი წონის განსაზღვრა შეიძლება აგრეთვე მისი ვაგონებით აწონვით. ამისათვის ცარიელ ვაგონს სავაგონო სასწორზე წონიან, აზომავენ მის მოცულობას, მარგი წიაღისეულით პირამდე დატვირთავენ და ხელახლა წონიან. მარგი წიაღისეულის სუფთა წონის ვაგონის მოცულობაზე გაყოფით ღებულობენ მოცულობით წონის მნიშვნელობას. რადგან ან შემთხვევაში მარგი წიაღისეულის შედარებით დიდი რაოდენობა იწონება, ამიტომ ეს ხერხი საკმარისი სიზუსტით ხასიათდება, განსაკუთრებით ახალნაყარი მარგი წიაღისეულის შემთხვევაში.

ე. ბუნკერებში მოთავსებული მარგი წიაღისეულის მოცულობის აზომვა

სავსე ბუნკერის ტევადობა ცნობილია წინასწარ და განისაზღვრება მისი ყოველი უჯრედის აზომვით ან წარმოადგენს ბუნკერიდან რკინიგზის ვაგონებში მრავალჯერ განტვირთულ მარგი წიაღისეულის სავაგონო სასწორზე აწონვათა შედეგების საშუალო არითმეტიკულს. ამის გამო საანგარიშო პერიოდის ბოლოს უნდა აიზომოს მხოლოდ ნაკლული (შეუვსებელი) ბუნკერები. ანგარიშის გაადვილებისათვის წინასწარ ადგენენ ბუნკერის სავსე ნაწილის შესაბამის მოცულობათა ცხრილს, რისთვისაც ბუნკერის ზემო ნაწიბურიდან მისი ვერტიკალური ღერძის მიმართულებით მოზომავენ 1, 2, 3 და ა. შ. მეტრს (ნახ.8).

გამოითვლიან თითოეული ასეთი დანაყოფის შესაბამის მოცულობას, რაც ზემოთ — კონუსის ($A0A_1$, $B1B_1, \cdots$), ხოლო ქვემო ნაწილში — წაკვეთილი პირამიდის (AII_1A_1, $BII_1B_1, \cdots$) მოცულობისაგან შედგება, და შეაქვთ ცხრილში. ასეთი ცხრილის არსებობის შემთხვევაში ბუნკერის შევსებული ნაწილის მოცულობის გამოთვლისათვის საკმარისია განისაზღვროს, თუ რომელი დანაყოფის პირის-პირაა მასში მოთავსებული მარგი წიაღისეულის კონუსის წვეროს.





ნახ. 8.1.8

ვ. ზოგადი ცნობები მარგი წიაღისეულის დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვის შესახებ

საბადოს დამუშავების დროს ბალანსური მარაგის ნაწილი ამა თუ იმ მიზეზით რჩება გამომუშავებულ სივრცეში და მოსამზადებელ გამონამუშევრებში, ნაწილი ერევა ფუჭ ქანში და იყენებენ გამომუშავებულ სივრცის შესავსებ მასალად ან ამოაქვთ ფუჭ ქანთან ერთად და ყრიან, ნაწილი კი იკარგება სანგრევიდან ზედაპირზე ამოტანის პროცესში. ყველა ამათ უწოდებენ მარგი წიაღისეულის დანაკარგებს საბადოს ექსპლოატაციის დროს.

საექსპლოატაციო სამუშაოების წარმოებისას მოპოვებულ მარგ წიაღისეულს ერევა ფუჭი ქანი, ზოგჯერ კი იკარგება მადნის ყველაზე მაღალხარისხოვანი (მდიდარი) ნაწილი. ეს იწვევს მოპოვებულ მასაში სასარგებლო კომპონენტის შემცველობის შემცირებას მასივის შემცველობასთან შედარებით, რასაც მარგი წიაღისეულის გაღარიბებას უწოდებენ.

მარგი წიაღისეულის დანაკარგები მნიშვნელოვნად ამცირებს მომზადებული მარაგების რაოდენობას, იწვევს საბადოს ძიების, შახტის, რკინიგზის, დასახლებული პუნქტებისა და სხვა ობიექტების მშენებლობისას დაბანდებული

-ვნელოვანი ნაწილის კარგვას, რაც ზრდის ერთი ტონა მარგი წიაღისეულის თვითღირებულებას. მარგი წიაღისეულის -ება კი აუარესებს მადნის მეტალურგიულ თვისებებს, ზრდის ტრანსპორტისა და გამდიდრების ხარჯებს, ამცირებს მადნის ღირებულებას და სხვ. ამიტომ მარგი წიაღისეულის დანაკარგებისა და გაღარიბების წინააღმდეგ ბრძოლას დიდი სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს. წიაღის სიმდიდრის მაქსიმალური გამოყენებისა და მოპოვებული მარგი წიაღისეულის ხარისხის ამაღლების მიზნით საჭიროა დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვის ჯეროვანი ორგანიზაცია. ასეთი აღრიცხვის შედეგად უნდა დადგინდეს როგორც დანაკარგებისა და გაღარიბების ოდენობა, ისე მათი გამომწვევი მიზეზებიც, რათა დროულად იქნეს მიღებული ღონისძიებანი მათ წინააღმდეგ.

გამომწვევი მიზეზების მიხედვით არჩევენ მარგი წიაღისეულის გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ პირობებით გამოწვეულ, საერთო-საშახტო და საექსპლოატაციო დანაკარგებს.

1. გ ე ო ლ ო გ ი უ რ ი და ჰ ი დ რ ო გ ე ო ლ ო გ ი უ რ ი პირობებით გამოწვეულ დანაკარგებს მიეკუთვნება პროექტით გათვალისწინებული დანაკარგები: *a*) მარგი წიაღისეულის მთელანებში ან დასტებში, რომლებიც მიწისქვეშა წყალსატევებიდან ან მცურავი ქანებიდან სამთო გვირაბებში წყლის გამოხეთქის, აგრეთვე გვირაბის სუსტი ჭერის ჩამოქცევის საწინააღმდეგოდ არის გათვალისწინებული; *b*) ფენების, ბუდობების ან ძარღვების ტექტონიკური რღვევის უბნებში; *c*) საბადოს სტრუქტურის სირთულით გამოწვეული.

2. ს ა ე რ თ ო - ს ა შ ა ხ ტ ო დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ შ ი შ ე დ ი ს: *a*)ჭაურების, ზედაპირული ნაგებობის, წყალსატევების, ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების დასაცავად განკუთვნილი მარგი წიაღისეულის მთელანები; *b*) ბარიერული მთელანები, რომლებიც დატოვებულია მეზობელი შახტების ველებს შორის, აგრეთვე მთელანები მდინარეებიდან, ტბებიდან და წყალსატევებიდან მიწისქვეშა გვირაბებში წყლის გამოხეთქის საწინააღმდეგოდ.

3. ს ა ე ქ ს პ ლ ო ა ტ ა ც ი ო დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ შ ი განასხვავებენ დამუშავების სისტემაზე დამოკიდებულ და სამთო სამუშაოების არასწორი წარმოებით გამოწვეულ დანაკარგებს:

დ ა მ უ შ ა ვ ე ბ ი ს ს ი ს ტ ე მ ა ზ ე დ ა მ ო კ ი დ ე ბ უ ლ (ნორმებით გათვალისწინებულ) დანაკარგებს მიეკუთვნება: *a*) დანაკარგები ფართობზე — მოსამზადებელ და წმენდით გვირაბებში დატოვებულ მთელანებში; *b*) დანაკარგები სისქეზე—ბუდობის ჭერსა და საგებში დატოვებულ დასტებში; *c*) დანაკარგები მონგრეული (ჩამოქცეული) მარგი წიაღისეულის არასრული ჩამოშვების გამო და გამომუშავებული სივრცის ვსებაში; *d*) მონგრეული მარგი წიაღისეულის დანაკარგები, გამოწვეული გაბნევით, ტრანსპორტირებით და სხვა მიზეზებით.

ს ა მ თ ო ს ა მ უ შ ა ო ე ბ ი ს ა რ ა ს წ ო რ ი წ ა რ მ ო ე ბ ი თ გამოწვეულ დანაკარგებს წარმოადგენს: *a*)გვირაბის ჩამოქცევის, დატბორვის, მიწისქვეშა ხანძრებისა და სხვა სახის ავარიის შედეგად მთელანებში, დასტებში დარჩენილი და დაკარგული მარგი წიაღისეული; *b*) შახტის ველის საზღვრებსა და შუაგულში უსაფუძვლოდ მიტოვებულ უბნებში, აგრეთვე გამოქვეშებულ ფენებში, ძარღვებში, ბლოკებსა და შრეებში დაკარგული მარგი წიაღისეული და სხვ.

მოქმედი კლასიფიკაციის მიხედვით იგეგმება პირველი, მეორე ჯგუფის და მესამე ჯგუფიდან დამუშავების სისტემაზე დამოკიდებული დანაკარგები.

მარგი წიაღისეულის დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვასთან დაკავშირებით საჭიროა განვმარტოთ ზოგიერთი ცნება და ტერმინი, რომლებიც ფართოდაა გავრცელებული სამთო საწარმოებში (დეტალურად ეს ტერმინები წიაღის გეომეტრიის კურსში განიხილება). ასეთია: ბალანსური, ბალანსგარეშე და სამრეწველო მარაგები; საპროექტო, ნორმატიული, საექსპლოატაციო და ფაქტობრივი დანაკარგები.

ბ ა ლ ა ნ ს უ რ ი მ ა რ ა გ ი ეწოდება მარგი წიაღისეულის დაზვერილ და შესწავლილ მარაგს, რომელიც აკმაყოფილებს მარაგის ანგარიშისათვის დადგენილ კონდიციებს და მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს თანამედროვე პირობებში.

ბ ა ლ ა ნ ს გ ა რ ე შ ე მ ა რ ა გ ი წარმოადგენს მარგი წიაღისეულის ისეთ ნაწილს, რომელიც მცირე რაოდენობის, მცირე სისქის, სასარგებლო კომპონენტის დაბალი შემცველობის, დამუშავების განსაკუთრებული სირთულისა და გადამუშავების ძლიერ რთული პროცესების საჭიროების გამო ეკონომიურად არ არის მიზანშეწონილი გამოყენებულ იქნეს თანამედროვე პირობებში, მაგრამ მომავალში შეიძლება გახდეს სამრეწველო ათვისების ობიექტი.

ს ა მ რ ე წ ვ ე ლ ო მ ა რ ა გ ი ბალანსური მარაგის ის ნაწილია, რომელიც მოპოვებული უნდა იქნეს წიაღიდან დამუშავების მოცემული მეთოდით. იგი მიიღება ბალანსური მარაგიდან საპროექტო დანაკარგების გამოკლებით.

დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ი ეწოდება მარგი წიაღისეულის ბალანსური მარაგის ნაწილს, რომელიც რჩება წიაღში საბადოს დამუშავების შემდეგ.

ს ა პ რ ო ე ქ ტ ო დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ი წარმოადგენს მარგი წიაღისეულის ბალანსური მარაგის ნაწილს, რომელიც ტექნიკური პროექტით გათვალისწინებულია წიაღში დასატოვებლად საბადოს ან მისი ნაწილის დამუშავების დროს.

ს ა გ ე გ მ ო დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ი ეწოდება მარგი წიაღისეულის დანაკარგებს, რომელიც დადგენილია სამთო საწუშაოების განვითარების გეგმის შედგენისას არსებული გეოლოგიური და სამთო-ტექნიკური პირობებისა და დამუშავების განსაზღვრული მეთოდების დროს დანაკარგების ნორმატივების შესაბამისად.

ს ა ე ქ ს პ ლ ო ა ტ ა ც ი ო დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ შ ი იგულისხმება მარგი წიაღისეულის ბალანსური მარაგის ნაწილი, რომელიც დატოვებულია წიაღში და დამოკიდებულია გამოყენებულ დამუშავების მეთოდებზე და სამთო სამუშაოების არასწორად წარმოებაზე.

ფ ა ქ ტ ო ბ რ ი ვ ი დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ი ეწოდება მარგი წიაღისეულის მარაგის დაფარვის პროცესში წარმოშობილ დანაკარგებს.

მარგი წიაღისეულის ფაქტობრივი დანაკარგების განსაზღვრა საბადოს ექსპლოატაციის დროს შესაძლებელია ორი გზით: პირდაპირი (უშუალო) აზომვით ან არაპირდაპირი (მეშვეობითი) მეთოდით.

დანაკარგების განსაზღვრის პირდაპირი მეთოდის გამოყენების დროს გამომუშავებულ სივრცეში დატოვებული მარგი წიაღისეულის რაოდენობა უშუალოდ აიზომება. ეს ხერხი უნდა ჩაითვალოს ძირითადად, რადგან იგი უფრო ზუსტია, საშუალებას იძლევა დამუშავების უმრავლეს სისტემის დროს ოპერატიულად და მარტივად განისაზღვროს დანაკარგების რაოდენობა, დადგინდეს ნორმატიულზე ჭარბი დანაკარგების გამომწვევი მიზეზები და მიღებულ იქნეს ზომები მათ სალიკვიდაციოდ. ამისათვის საჭიროა შახტის მარკშეიდერმა წმენდითი და მოსამზადებელი გვირაბების აგეგმვის დროს ფაქტობრივი

დანაკარგების გამოვლენისა და გეგმებზე გამოსახვის მიზნით გულდასმით აზომოს გამომუშავებულ სივრცეში და მოსამზადებელი გვირაბების ახლოს დატოვებული მთელანები, გამონამუშევრის ჭერსა და იატაკში დატოვებული მარგი წიაღისეულის დასტები. ასეთი აზომვები წარმოებული უნდა იქნეს სისტემატურად შესაბამისი ინსტრუქციების მიხედვით. დაკარგული უბნების შესახებ მონაცემები შეაქვთ მარგი წიაღისეულის მთელანების აღრიცხვის ჟურნალში, რომლის ნიმუში მოცემულია №1 ცხრილში.

როდესაც არ ხერხდება ფაქტობრივი დანაკარგების პირდაპირი გზით განსაზღვრა, იყენებენ არაპირდაპირ ხერხს. ამისათვის საჭიროა შემდეგი გამოსავალი მონაცემების ცოდნა:

Б — მარგი წიაღისეულის ბალანსური მარაგი ამოსაღებ უბანში, ტ-ში;
D — მოპოვებული სამთო მასის რაოდენობა იმავე უბნიდან, ტ-ში;
c — კომპონენტის შემცველობა მასივში, %-ში;
a — კომპონენტის შემცველობა მოპოვებულ სამთო მასაში, %-ში;
b — კომპონენტის შემცველობა ფუჭი (გამაღარიბებელ) ქანის ჩანართებში, %-ში;
B — გამაღარიბებელი ფუჭი ქანის რაოდენობა, ტ-ში.

მარგი წიაღისეულის დანაკარგები %-ში განისაზღვრება ფორმულით

$$\text{П} = \left[1 - \frac{D\,(a-b)}{\text{Б}\,(c-b)}\right] 100\%, \qquad (8.1.13)$$

თუ გამაღარიბებელ ქანში კომპონენტის შემცველობა $b=0$, მაშინ

$$\text{П} = \left(1 - \frac{D \cdot a}{\text{Б} \cdot c}\right) 100\%. \qquad (8.1.14)$$

გაღარიბება გამოითვლება ფორმულით

$$P = \left(1 - \frac{a-b}{c-b}\right) 100\%. \qquad (8.1.15)$$

თუ $b=0$,

$$P = \left(1 - \frac{a}{c}\right) 100\%. \qquad (8.1.16)$$

გამაღარიბებელი ქანების რაოდენობა (B) შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ფორმულით

$$B = 0{,}01\,DP\ \%. \qquad (8.1.17)$$

მარგი წიაღისეულის დანაკარგებისა და გაღარიბების შესახებ ცნობები შეაქვთ სპეციალური ფორმის უწყისში, რომლის ერთ-ერთი ნიმუშია (2) ცხრილი.

ცხრილი 8.1.1

მთელანის №№	დანაკარგების აღგილის დასახელება (ჭუბანი, ბლოკი). მთელანის დანიშნულება	დამუშავების მეთოდი	კომპონენტი, ტ	მთელანში დაკარგული მარგი წიაღისეულის მარაგი (კომპ., ტ)	მთელანის წარმოქმნის თარიღი	მთელანის ამოღების თარიღი	მთელანის ამოღების შეწყვეტის	მთელანის ნაკარგში გადაყვანის
1	2	3	4	5	6	7	8	9

მადნის ფაქტობრივი დანაკარგების და ღარიბება გათვალისწინებით

| | | |

ა ნ ბ ა ნ ი

ქართული		რუსული		ლათინური			გერძნული		
ა	ა	А	а	A	a	ა	Α	α	ალფა
ბ	ბ	Б	б	B	b	ბე	Β	β	ბეტა
გ	გ	В	в	C	c	ცე	Γ	γ	გამა
დ	დ	Г	г	D	d	დე	Δ	δ	დელტა
ე	ე	Д	д	E	e	ე	Ε	ε	ეფსილონ
ვ	ვ	Е	е	F	f	ეფ	Ζ	ζ	ძეტა
ზ	ზ	Ё	ё	G	g	ჟე	Η	η	ეტა
თ	თ	Ж	ж	H	h	ჰა	Θ	ϑ θ	თეტა
ი	ი	З	з	J	i	ი	Ι	ι	იოტა
კ	კ	И	и	J	j	ჟი	Κ	κ	კაპა
ლ	ლ	Й	й	K	k	კა	Λ	λ	ლამბდა
მ	მ	К	к	L	l	ელ	Μ	μ	მიუ
ნ	ნ	Л	л	M	m	ემ	Ν	ν	ნიუ
ო	ო	М	м	N	n	ენ	Ξ	ξ	ჯი
პ	პ	Н	н	O	o	ო	Ο	ο	ომიკრონ
ჟ	ჟ	О	о	P	p	პე	Π	π	პი
რ	რ	П	п	Q	q	ქუ	Ρ	ρ	რო
ს	ს	Р	р	R	r	ერ	Σ	σ ς	სიგმა
ტ	ტ	С	с	S	s	ეს	Τ	τ	ტაუ
უ	უ	Т	т	T	t	ტე	Υ	υ	იფსილონ
ფ	ფ	У	у	U	u	უ	Φ	φ	ფი
ქ	ქ	Ф	ф	V	v	ვე	Χ	χ	ხი
ღ	ღ	Х	х	W	w	დუბლვე	Ψ	ψ	ფსი
ყ	ყ	Ц	ц	X	x	იქს	Ω	ω	ომეგა
შ	შ	Ч	ч	Y	y	იგრეკ			
ჩ	ჩ	Ш	ш	Z	z	ზედ			
ც	ც	Щ	щ						
ძ	ძ	Ъ	ъ						
წ	წ	Ы	ы						
ჭ	ჭ	Ь	ь						
ხ	ხ	Э	э						
ჯ	ჯ	Ю	ю						
ჰ	ჰ	Я	я						

ლ ი ტ ე რ ა ტ უ რ ა

1. Агошков М. И. и др., Разработка рудных и нерудных месторождений, М., издство «Недра», 1970.
2. Акулов В. И., Расчет маркшейдерских съемок при гироскопическом ориентировании шахт, Изд-ство КузПИ, 1971.
3. Багратуни Г. В. и др., Инженерная геодезия, «Недра», 1969.
4. Бауман В. И., Курс маркшейдерского искусства, ч. 1-111, СПБ, 1908.
5. Бахурин И. М., Курс маркшейдерского искусства (спец. часть), Госгортехиздат, 1932.
6. Бахурин И. М., Пятлин М. П., Кротов Г. А. Курс маркшейдерского дела. Углетехиздат, ч. II, 1956.
7. ბენაშვილი ა., ტოპოგრაფია, I, თბილისი, 1933.
8. Блоха Е. Е., Поляк Э. И., Рашковский Я. З. Маркшейдерское дело, Углетехиздат, ч. II, 1956.
9. ვარაზაშვილი გ., ლაგვილავა გ., სამთო-გეომეტრიული მაგალითები და ამოცანები, სპი-ს გამოცემა, 1954.
10. Вилесов Г. И., Наглядные объемные графики, Горный журнал, 1951, №9.
11. Гусов М. И., Курс маркшейдерского дела, Углетехиздат, ч. I, 1948.
12. Гусев Н. А., Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы, М., «Недра», 1968.
13. Гельман Д. З. и др., Маркшейдерские работы при очистной выемке руды, М., Металлургиздат, 1959.
14. დანდუროვი მ., გვირაბები, ტექნიკა და შრომა, 1949.
15. Единые условные обозначения для маркшейдерских планов и геологических разрезов, М., Углетехиздат, 1957.
16. Казаковский Д. А. и др., Маркшейдерское дело, Углетехиздат, 1957.
17. Казаковский Д. А. и др., Маркшейдерское дело, «Недра», 1, II, 1970.
18. Казаковский Д. А., Маркшейдерское дело и геометризация недр, Углетехиздат, 1948.
19. Кротов Г. А., Маркшейдерская съемка очистных и нарезных горных выработок, Углетехиздат, 1956.
20. Лавров В. Н. и др., Гироскопический способ определения дирекционных углов, «Геодезия и картография», № 2, 1966.
21. Лебедев К. М., Табаков В. М., Топографическое и маркшейдерское черчение, М., «Недра», 1971.
22. Лагвилава Г. В., К вопросу исследования сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок на территории Чиатурского марганцевого месторождения, Труды ГПИ, 1966.
23. Литвинов Е. А. и. др., Геодезическое инструментоведение, «Недра», 1971.
24. Лисица И. Г., Ступенчатый способ ориентирования шахт, «Горный журнал.» 1960, № 4 и №11.
25. Лисица И. Г., О проектировании отвесом при геометрическом ориентировании шахт, «Горный журнал», 1963, № 8.
26. Маркшейдерское дело в социалистических странах, «Недра», 1964.
27. Начные труды: Геометризация месторождений минерального сырья как основа рационального освоения недр, М., 1969. МГИ.
28. Никифоров Б. И., Лавров В. Н., 20 лет гироскопического ориентирования Труды ВНИМИ, сб. 76. Л., 1970.

29. ნოდია მ., დედამიწის მაგნეტიზმი, თბილისი, 1959.
30. Оглоблин Д. Н., Ориентировка подземной маркшейдерской съемки, Металлургиздат, 1944.
31. Оглоблин Д. Н., Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений, Металлургиздат, ч. I, 1950. II, — 1952, ч. III, — 1953.
32. Оглоблен Д. Н. и др., Курс маркшейдерского дела для горняков, «Техника», 1963.
33. Оглоблин Д. Н. и др., Маркшейдерское дело, Госиздат технической литературы УССР, Киев, 1960.
34. Оглоблин Д. Н., Рейзенкинд И. Я., Новые маркшейдерские приборы, М., «Недра», 1967.
35. Оглоблин Д. Н. и др., Маркшейдерское дело, М., «Недра», 1972.
36. Оглоблин Д. Н., Музикантов И. К., Гирокомпасы в маркшейдерском деле, «Техника», Киев, 1970.
37. Онар Г. Д. Контроль полевых измерений при ориентировках шахт способам Веисбаха, «Советский метрополитен», 1939, № 4—5.
38. Павлов Ф. Ф., Новый способ измерения глубины шахты, Углетехиздат, 1951.
39. Пащенков В. З., Радио-электроника в маркшейдерско-геодезических работах, «Недра», 1968.
40. Петров Н. С., Маркшейдерское дело, Госгортехиздат, 1960.
41. Практическое руководство по построению подземных маркшейдерских опорных сетей, Изд-ство. ВНИМИ, Л., 1970.
42. Романов В. А. Теория ошибок и способ наименьших квадратов, М-Х, Углетехиздат, 1952.
43. Рыжов П. А., Из истории развития горно-геометрических работ, Углетехиздат, 1952.
44. Соболевский П. К., Современное маркшейдерское искусство как методология решения основных задач горного искусства, Труды I Всесоюзного горного научно-технического съезда, М., 1927.
45. Соболевский П. К., Современная горная геометрия. Журнал «Социалистическая реконструкция и наука». № 7, 1932.
46. Справочник маркшейдера под редакцией проф. Оглоблина Д. Н., Металлургиздат, ч. I, II, 1955.
47. Справочник по маркшейдерскому делу, «Недра», М., 1973.
48. ტაბატაძე კ. უმაღლესი გეოდეზია, „ცოდნა“, II, 1963.
49. Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ, «Недра», 1971.
50. თევზაძე ნ., განაზომთა შეცდომების თეორია, I, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1957.
51. თევზაძე ნ., მანძილმზომები, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1957.
52. თევზაძე ნ., უმცირეს კვადრატთა მეთოდი, „ცოდნა“, 1964.
53. თევზაძე ნ., განაზომთა ალბათობის თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა, „ცოდნა“, თბილისი, 1960.
54. თევზაძე ნ., საინჟინრო გეოდეზია, I, II, VI, VII, „განათლება“, 1973—77.
55. Торочков В. Ю., Гиротеодолиты, М., «Недра», 1970.
56. Трофимов А. А., Основы маркшейдерского дела и геометризации недр, «Недра», 1970.
57. Тюпкин С. Н., Маркшейдерские приборы, Углетехиздат, 1957.
58. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 :2000, 1 : 1000 и 1: 500, «Недра», 1969.
59. Ушаков И. Н., Горная геометрия, Госгортехиздат, 1962.
60. Федоров Б. Д., Маркшейдерско-геодезические приборы и инструменты, М., «Недра», 1971.
61. ხუროშვილი გ., სამთო სამუშაოების ტექნოლოგია და მექანიზაცია, თბილისი, „განათლება“, I ნაწილი—1967, II—1969.
62. წულუკიძე გ., მადნეულ საბადოთა მიწისქვეშა დამუშავების მეთოდები, თბილისი, 1946.
63. Чеботарев А. С., Геодезия, ч. II, Геодезиздат, М., 1962.
64. ჩორგოლაშვილი მ., სურამის ობელისკის ისტორიისათვის, „მეცნიერება და ტექნიკა“, № 4, 1972.
65. შავგულიძე ა., ტექნიკური ხაზვა, თბილისი, „განათლება“, 1967.
66. შავგულიძე ა., ტექნიკური ხაზვის სპეციალური კურსი, თბილისი, „განათლება“, 1969.
67. Шевердин П. Г., Новая формула для решения соединительных треугольников, «Маркшейдерское дело», Металлургиздат, 1956,
68. Шевяков Л. Д., Разработка месторождений полезных ископаемых, М., Госгортехиздат, 1963.
69. Шульго Е. Н., Выбор наиболее выгодной формы соединительного четырехугольника при ориентировке подземных выработок, Исследования ВНИМИ, сб. XXV, Углетехиздат, 1952.
70. Исследования по вопросам маркшейдерского дела, сб. XXIV, Углетехиздат, 1951.
71. Звуколокационная съемка горных выработок, М, «Недра» 1973.

შინაარსი

თავი I

შესავალი

1. 1. მარკშეიდერიის საგანი, ამოცანები და კავშირი მოსაზღვრე დისციპლინებთან 3
1. 2. მარკშეიდერიის განვითარების მოკლე ისტორია 7
1. 3. ზოგადი ცნობები მარკშეიდერული საყრდენი ქსელებისა და კოორდინატთა სისტემის შესახებ 16
1. 4. მიწისქვეშა საყრდენი ქსელების კლასიფიკაცია 19
1. 5. ზოგადი ცნობები მიწისქვეშა მარკშეიდერულ აგეგმვათა შესახებ 22
1. 6. მიწისქვეშა საყრდენი ქსელების პუნქტების ადგილის შერჩევა, დამაგრება და დანომრვა 24

თავი II

მარკშეიდერული სამუშაოები გვირაბების გაყვანის დროს

2. 1. ზოგადი ცნობები 27
2. 2. პროექტის გეომეტრიული ელემენტების ადგილზე გადატანა 30
2. 3. გვირაბის გაყვანის ადგილის მოძებნა და დანიშვნა. მიმართულების მიცემა გვირაბებისათვის და გაყვანის პროცესში მათი საპროექტო მიმართულების, განივი კვეთისა და გამაგრების პასპორტის კონტროლი 37
1. მიმართულების მიცემა სწორხაზოვანი ჰორიზონტული და დახრილი გვირაბებისათვის 38
a. მიმართულების მიცემა ჰორიზონტულ სიბრტყეში 3
b. ცნობილი დახრის კუთხით გვირაბის ღერძის მიმართულების დაკვალვა ვერტიკალურ სიბრტყეში 41
2. მიმართულების მიცემა მრუდხაზოვანი გვირაბისათვის 49
3. გვირაბის გაყვანის პროცესში მიმართულების, საპროექტო კვეთისა და გამაგრების პასპორტის კონტროლი 53
4. მიმართულების მიცემა ვერტიკალური გვირაბისათვის 57

თავი III

ჰორიზონტული დამაკავშირებელი აგეგმვა
(მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირება)

8. 1. ზოგადი ცნობები დამაკავშირებელი სამუშაოების შესახებ 61
3. 2. ორიენტირების გეომეტრიული მეთოდები 63
A. ორიენტირება შტოლნის ან დახრილი ჭაურის შემთხვევაში 63
B. ორიენტირება ერთი ვერტიკალური ჭაურის შემთხვევაში 65
1. შვეულებით დაგეგმილების მეთოდები 69
2. მიმხრობის მეთოდები 84
a დამაკავშირებელი სამკუთხედები 84
b. გასწვრივობის მეთოდი 97
c. მიმხრობის სიმეტრიული მეთოდი 99
d. მიმხრობა პენტაპრიზმით 103
e. მიმხრობა დამაკავშირებელი ოთხკუთხედით 107
f. საფეხუროვანი ორიენტირება 111

C. ორიენტირება ორი ვერტიკალური ჭაურით 113
3. 3. მიწისქვეშა აგეგმვის ორიენტირების ფიზიკური მეთოდები 125
A. მაგნიტური ორიენტირება 125
B. გიროსკოპული ორიენტირება 135
a. ზოგადი ცნობები 135
b. თავისუფალი გიროსკოპი და ჭანჭარისებრი გიროკომპასი 135
c. გიროკომპასის ღერძის ჰარმონიული რხევები და წონასწორობის მდგომარეობა . 141
d. ზოგადი ცნობები მარკშეიდერული გიროკომპასების შესახებ 145
e. MB2M ტიპის აფეთქებაუსაფრთხო მარკშეიდერული გიროკომპასი 149
f. გიროსკოპული ორიენტირება MB2M გიროკომპასის საშუალებით 152
g. უნგრული გიროთეოდოლიტი *Ci—B1* 156
h. MBT2 მარკის აფეთქებაუსაფრთხო მარკშეიდერული გიროკომპასი 161
i. *Gi—C1* მარკის მცირეგაბარიტიანი გიროსკოპული საცმი 168
k. გიროსკოპული ორიენტირების სიზუსტის შესახებ 169
C. ოპტიკური ორიენტირება 171
3. 4. დამაკავშირებელი აგეგმვის მარტივი მეთოდები 178
a. ორიენტირება დახრილი მავთულითა და დამხმარე შვეულებით 178
b. ორიენტირება არათავისუფალი შვეულით 180
c. ორიენტირება ექსცენტრულჭოგრიანი თეოდოლიტით 181
d. გასწვრივი შვეულების მეთოდი 182
e. ორიენტირება ერთი შვეულითა და მბები ზონრით 183
f. ორიენტირება საკიდი ბუსოლით 184

თავი IV

ვერტიკალური დამაკავშირებელი სამუშაოები

4. 1. ზოგადი ცნობები 185
a. ნიშნულის გადაცემა გრძელი საშახტო ბაფთით 185
b. ნიშნულის გადაცემა ფოლადის რულეტით 189
c. ნიშნულის გადაცემა ფოლადის მავთულით 190
d. ნიშნულის გადაცემა ДА—2 მარკის სიგრძესაზომით 192
e. ნიშნულის გადაცემა ელექტროოპტიკური მანძილმზომით 196
f. ნიშნულის გადაცემა საქვესართულე გვირაბებში 198

თავი V

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრია
(ჰორიზონტული აგეგმვა)

5. 1. ზოგადი ცნობები 199
5. 2. ასაგეგმი ობიექტის რეკოგნოსცირება. პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების ადგილის შერჩევა და დამაგრება 202
5. 3. კუთხეების გაზომვა მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში: სამთო თეოდოლიტი; თეოდოლიტისა და სიგნალების დაყენება და დაცენტრვა; თეოდოლიტის შემოწმება; ჰორიზონტული და დახრის კუთხეების გაზომვა 206
a. სამთო თეოდოლიტი 206
b. თეოდოლიტისა და სიგნალების დაყენება და დაცენტრვა 211
c. სამთო თეოდოლიტის შემოწმება 217
d. ჰორიზონტული კუთხეების გაზომვა 220
e. ჰორიზონტული კუთხის გაზომვა ექსცენტრულჭოგრიანი თეოდოლიტით 223
f. დახრის კუთხეების გაზომვა 224
g. კუთხის გაზომვის შეცდომების წყაროები 227
h. პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების დახრის კუთხის გაზომვის საჭირო სიზუსტის შესახებ 235
5. 4. მანძილების გაზომვა 238
a. ზოგადი ცნობები 238
b. მანძილების უშუალოდ გაზომვა 238

c. საზომი ჭელსაწყოს სიგრძის შემოწმება (კომპარირება) 240
d. ჰერის ხაზების გაზომვა გვირაბის იატაკზე 240
e. მანძილების გაზომვა ფოლადის რულეტით კიდულ დ 241
f. უშუალოდ გაზომილი ხაზის შესწორებების განსაზღვრა 242
g. მანძილების გაზომვის შეცდომების წყაროები 247
h. ნებისმიერი ხაზის გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომის ზოგადი ფორმულა. ხაზობრივი განაზომების დამუშავება 254
5. 5. გვირაბის კონტურისა და წვლილადების აგეგმვა. ჟურნალის წარმოება 258
5. 6. პოლიგონომეტრიის მასალის კამერული დამუშავება 258
5. 7. შეცდომების დაგროვება მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში 264
a. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ბოლო პუნქტის კოორდინატების განსაზღვის შეცდომა 264
b. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი პუნქტის მდებარეობის შეცდომა მოცემული მიმართულებით 270
c. თავისუფალი პოლიგონომეტრიული სვლის ნებისმიერი გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის შეცდომა 271
d. შეცდომების დაგროვება გაჭიმულ ტოლგვერდა თავისუფალ პოლიგონომეტრიულ სვლაში 271
e. ზოგადი ცნობები მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის გაწონასწორების შესახებ . 273
f. პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტების შეცდომა გაწონასწორების შემდეგ . . 275
g. მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლების სისტემის გაწონასწორების შესახებ . 281

თავი VI

დაჭრითი და წმენდითი გვირაბებიs აგეგმვა

6. 1. ზოგადი ცნობები 282
6. 2. კუთხსაზომები 282
6. 3. საკიდი (კიდული) იარაღები 288
6. 4. თხელი და საშუალო სისქის დამრეცი და დახრილი ფენების წმენდითი გვირაბების აგეგმვა და მასთან დაკავშირებული ამოცანები 295
6. 5. თხელი და საშუალო სისქის ციცაბო ფენების წმენდითი სანგრევის აგეგმვა 298
6. 6. მარკშეიდერული სამუშაოები ციცაბო სქელი ფენების ფარებით დამუშავების დროს . 300
6. 7. მარკშეიდერული სამუშაოები მადნის საბადოების მიწისქვეშა დამუშავების დროს . . 304
6. 8. მაწისქვეშა კამერების (სიცარიელეთა) აგეგმვა 313
1. მიწისქვეშა კამერის აგეგმვა მარტივი კუთხსაზომით 314
2. მიწისქვეშა კამერების აგეგმვა მანძილმზომიანი კუთხსაზომებით 315
3. მიწისქვეშა კამერების აგეგმვა ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით 317
4. კამერების აგეგმვის ავტომატური მეთოდები 318

თავი VII

ვერტიკალური აგეგმვა

7. 1. ზოგადი ცნობები 320
a. გეომეტრიული ნიველობა 320
b. ტრიგონომეტრიული ნიველობა 327

თავი VIII

მარკშეიდერული აზომვები და მოპოვებული მარგი წიაღისეულის აღრიცხვა

8. 1. ზოგადი ცნობები 330
a. მოსამზადებელი გვირაბების აზომვა 330
b. წმენდითი გვირაბების აზომვა 333
c. მარგი წიაღისეულის მოპოვების გაანგარიშება გვირაბების აზომვის მიხედვით . . 334
d. საწყობებში მარგი წიაღისეულის ნაშთის აზომვა 337
e. ბუნკერებში მოთავსებული მარგი წიაღისეულის მოცულობის აზომვა 340
f. ზოგადი ცნობები მარგი წიაღისეულის დანაკარგებისა და გაღარიბების აღრიცხვის შესახებ 341

რეცენზენტები:

ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ი. ზურაბიშვილი**
ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი **გ. გელაშვილი**

ნაშრომი რეკომენდებულია ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სამთო ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ

ᲮᲑ № 446

საზოგადოებრივი რედაქტორი პროფ. ნ. თევზაძე
გამომცემლობის რედაქტორი პ. ლაბარტყავა
მხატვრული რედაქტორი ს. ბოტკოველი
ტექ. რედაქტორი თ. მანჯგალაძე
მფრ. კორექტორი ლ. შარაშენიძე
კორექტორი მ. ლაშხია
გამომშვები ლ. გაბარაშვილი

გადაეცა წარმოებას 2.VIII.77 წ., ხელმოწერილია დასაბეჭდად 6.VI.78 წ., ქაღალდის ზომა 70×108 1/16, საბეჭდი ფაღალდი № 1, პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 31,15, საღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 26,06

ᲒᲗ 00382 ტირაჟი 1000 შეკვ. 1677

ფასი 1 მან. 21 კაპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5.
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Марджанишвили № 5.

1978

Типография ГПИ, Тбилиси, ул Ленина, 69.
სპი-ს სტამბა, თბილისი, ლენინის ქ., 69.

Лагвилава Григорий Викторович

МАРКШЕЙДЕРИЯ

Часть I

(на грузинском языке)

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԱ

Հայկ Բ-ռամկ, մեր թագուհիս
Հայաստանում ու մերոնցից դուրս

29. IX. 78 Ա. Մուշեղ

ᲘᲕᲜ. 21 ᲐᲒᲔ.

ᲡᲐᲯᲐᲠᲝ ᲑᲘᲑᲚᲘᲝᲗᲔᲙᲐ

გ. ლაგვილავა

მარკშეიდერია

I

ვანეთლები