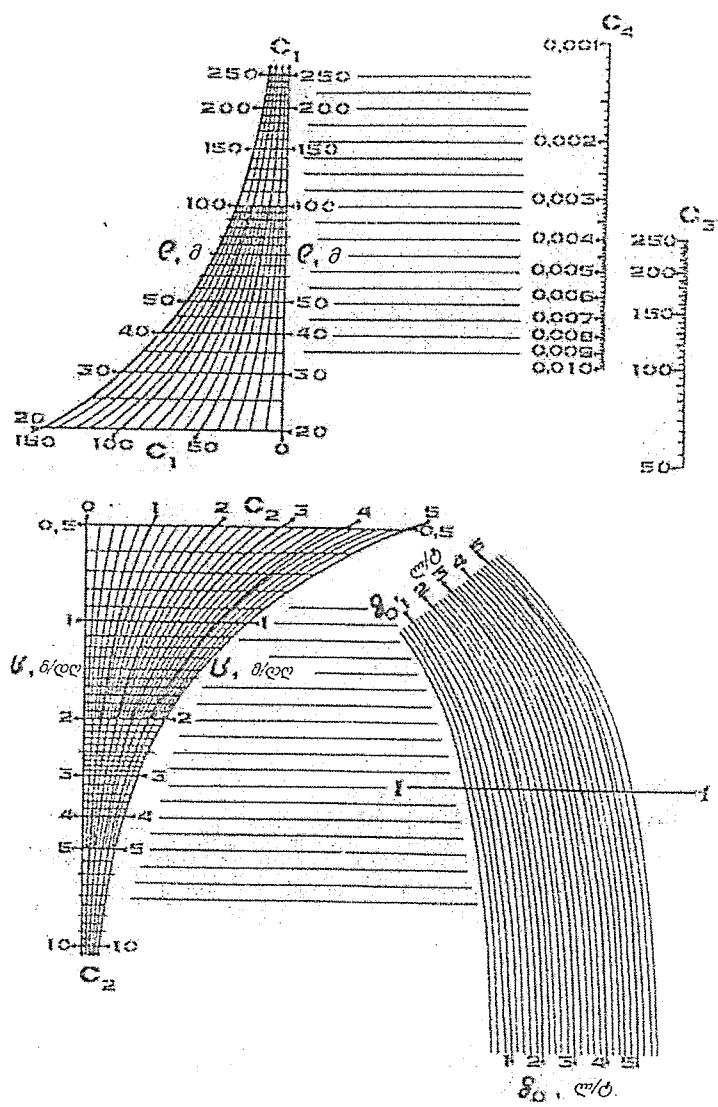


8. გესხი

გრაფიკული გეოლოგიური
გამოყენებით გეოლოგიაში



თბილისი 2013

ა. გესხი

ბრაზილიური მეთოდები
ბამოზენებით გეოლეზიაზი

ლილი და
უფრო მეტი
სამუშაო
საფეხური 2 გვ.
6/xx-135.

თბილისი 2013

ବିନାତ୍ୟମି

თვალსაჩინოება – ჭარელგვარი
შემუცნების ახსოლუტური ფუნდამენტია.
ი. პეტრალიცა

სიტყვა „ნომიკონაფია“ ბერძნული წარმოშობისა და „კანონის გრაფიკულ გამოსახულებას“ ნიშნავს. იგი ცალკე მიმართულებად გამოყენ მათემატიკურთა საერთაშორისო კონკრეტულ პარიზში 1890წ.

ზოგადად, გრაფიკული მეთოდების და ტერპოდ ნომრეგისტრის უპირატესობა ანალიზურ მეთოდებთან შედარებით მათ სიმარტივეში, პასუხის მიღების სისწრაფესა და, რაც მთავარია თვალსაჩინოებაში მდგრამარტებს.

გრაფიკული მეთოდები, გამოთვლითი მიზნის გარედა გამოიყენება ფუნქციონალურ დამოკიდებულებათა ანალიზისათვის. მაგალითად, მათი დასმარებით შესაძლებელია გამოვიყენოთ ცალკეული პარამეტრის გავლენა ფუნქციაზე, ფუნქციის ექსტრემალური თვისტები და ზოგჯერ ას დამოკიდებულებათა ჩვენთვის კურ კიდევ უცნობი თავისებურებან. აღნიშვნული თვისტება მნიშვნელოვანს ხდის მას სამურნიორო-კლავით ჭაშმალისას.

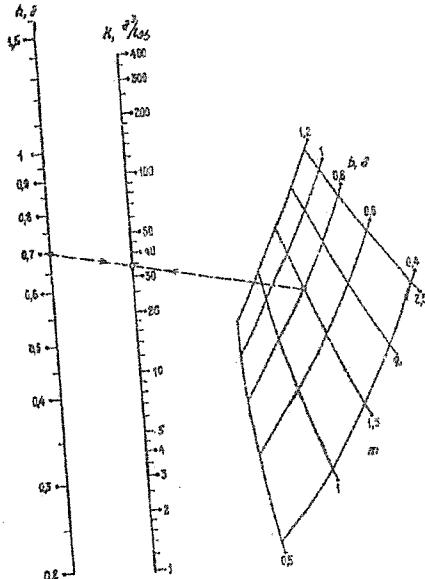
ნომინრამბა საშუალებას გვაძლევს კომპატიურად წარმოვადგინოთ მრავალცვლადიან ფუნქცია და მრავალყომპონენტიანი ცრკილი. მათი დახმარებით იოლად იხსნება რთული სახის ტრანსცენდენტული განტოლებები. ამ დროს მოიხსნის სიზუსტე სრულდად აქმაყოფილებს პრატიკულ მიზნებს, ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა სიზუსტე არ გვაკრაყოფილებს, მათი გამოყენება შეიძლება მიახლოებითი გამოთვლებისთვის, კერძოდ, გეოდეზიაში ნულოვან მიახლოებათა ჯანსახაზორუავად.

როგორც აღვნიშეთ, ნომიკრამა წარმოადგენს გამოთვლითი სამუშაოების შექანისაციის ერთ-ერთ ყველაზე მარტივ და იაფ საშუალებას. მისი აგება რომელიმე რთული საზის ფუნქციონალური დამოკიდებულებისათვის განსაკუთრებით ხელსაყრელია მაშინ, როცა მარტივი გამოთვლები გვიჩდება [1].

ცალქე აღნიშვნის ლირისა ნომრულაფიის გამოყენება სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობისას, კერძოდ, ფუნქციაში შემავალი პარამეტრების უქსტრემალური თვისებების ანალიზისათვის, აგრეთვე ემპირიული ფორმულის პარამეტრების დადგენის მიზნით. ეს უკანასკნელი ანალიზურად საქმიანი როგორი და შერომატევალი ამოცანაა და ხშირად უმცირეს კვალირატო შეთღის გამოყენებით წყვდება, მაშინ, როცა მისი მნიშვნელოვნად გამარტივდებაა შესაძლებელი ნომრულაფიის მეთოდის გამოყენებით.

ზოგადად ნებისმიერი ნომრერამა საანგარიშო ინსტრუმენტია, რომლითაც მარტივად და
სწრაფად, საინჟინრო მიზნებისათვის საკმარისი სისტემასტით, შევიგიძლია განვსაზღვროთ მოკეშულ
უზნეცვიონალურ დამოკიდებულებაში შეზავლი პარამეტრების განსაზღვრულ დაპაზონში
ცვლილების შედეგი. საანგარიშო უზრომეულის დაყვანა ნომრერაფირებად სახეზე, მისი
ელექტრომოტორის კომილინატების გამოთვლა და გრაფიკულად წარმოდგენა განსაზღვრულ შრომასა
და დროს მოთხოვს, მაგრამ იგი მისი შემდგომში მრავალჯერადი გამოყენებით ანაზღაურდება
[2].

[2]. არსებობს აზრი, რომ ნომოგრაფიამ თავისი შესაძლებლობები ამოწურა საყოველოა კონიუტურიზაციის ეპოქაში, რაც მართვულად არ შეგვჩნია. ჩვენი აზრით, პირიქით კონიუტურიზაციის განვითარებაში გაზიარდა ნომოგრაფიის კონკრეტურიზაციაში



ଶ୍ରୀକୃତ୍ସନ୍ଦାମୁଣ୍ଡ

ნაშრომში წარმოდგენილი ნომოვრაფიული მეთოდებით გადაწყვეტილი საინჟინრო გეოდეზიური ამოცანები გროვდებოდა წლების განვალლობაში. მათგან ნაწილი წარმოდგენილი იყო სტუდენტების მიერ საცენტრირ კონფერენციებზე, ნაწილი შედიოდა სტუდენტთა სადიპლომო გეგმარებსა თუ სამაგისტრო ნაშრომებში, ზოგიერთი კი წარმოდგენილი იყო ჩემს საღისერტაციო ნაშრომსა [3] და სამუცნიერო სტატიისგან [4,5].

იმის მიუწედავად, რომ კომპიუტერიზაცია ღრმად იჭრება ცხოვრების ყველა სფეროში, ელექტრონული გრაფიკული ანალიზი არ კარგავს თავის მნიშვნელობას. კომპიუტერი საშუალებას გვაძლევს სწრაფად შევასრულოთ რთული გამოთვლები და დავამუშავოთ ინფორმაციის დიდი მასივები, მაგრამ იგი ვერ გვეხმარება ჩატვირტების ამოცანის არსები, მაში თუ „რას ამბობენ“ მონაცემები და როგორ მოქმედებს ისინი საბოლოო შედეგზე ანუ მოკლებულია თვალსაჩინოებას.

საინჟინრო-გოლდეზიური ამოცანების აშოთსწისას გრძაფიტულ შეთოვებს ანალიზურთან ქვედარებით გააჩინათ რიგი უპირატესობანი – შეგვიძლია საკმალე მარტივად ამოვხსნათ რთული რავალცვლადიანი განტოლებები ან განტოლებათა სისტემები; ჩავტაროთ უზრუნველყონადური ნალიში ფორმულაში შემავალი არგუმენტების ოპტიმალურ მნიშვნელობათა დადგენის მიზნით; გავადგონთ ემპირიული ფორმულის პარამეტრების სიდიდეები და სხვა. ჩამოთვლილ ამოცანათა ადამიტებისას პასუხების მიღების სისტრაფე, მოხერხებულობა, სიმარტივე და თვალსაჩინოება აშუალებას გვაძლევს წარმატებით გამოვიყენოთ ისინი ფუნქციონალურ დამოკიდებულებათა რალიზისათვის გეოლოგიურ სამუშაოთა ოპტიმალური დაპროცექტების დროს. რაც შეეხება რაფიკული გამოთვლების სიზუსტეს, იგი საჭმარისია პარატიტული მიზნებისათვის.

1906წ. 6. გერსევანიოგმა პირებლისა გამოიყენა თანაბრად დაშორებული წერტილების მორგრამა [6].

1912წ. გროვალმა იპოვა სამცვლადიანი განტოლების სწორხაზოვანი ბალური ნომინაციით არმოღმენის პირობებში.

1921წ. გამოქვეყნდა სირის უკუნდამენტური ნაშრობი ნომრები 1922-1931წწ. ოთხიანი პერიოდის განმავლობაში.

19 51 ქ. ესპანელმა ნომრგრაფებმა ნიუტომ და ურსელადმ შემოგვთავაზეს ბარიკენწრული რომბოლილობის ნომრაცვამის მიერ.

ტარლება კონფერენციები ნომოგრაფიის აზალი იღებისა და მიმართულებების ურთიერთგანიცხადების მიზნით.

პოლო წლებში ფართო ასპარეზი ვაექსნა კომპიუტერულ ნომოგრაფიას.

ნომოგრაფიაში ცნობილი მრავალრიცხოვანი ტიპის ნომოგრამებიდან ჩვენ მიერ წინამდებარე წიგნში გამოყენებულია ძირითად ბაზური, გასწორებული წერტილებისა და ტრანსპარანტული ნომოგრამები, აგრეთვე მათი ქვეტისები. მაგალითად, ბაზური ტიპის შემთხვევაში – დეკარტის აბკი, გასწორებული წერტილების ტიპის ფროს – სკალებიანი და ბინარულებულებიანი და ტრანსპარანტული ტიპისას – გამჭვირვალე და გაუმჭვირვალე ტრანსპარანტების მქონე ნომოგრამები. თოთოლებული ამ ტიპისა თუ ქვეტის ნომოგრამა წამოიდენილია წიგნში სათანადო გეოლეზიური ამოცანით.

ამა თუ იმ გეოლეზოური ამოცანის მათემატიკური მოდელების შერჩევაში ნომოგრაფიობისათვის განაპირობა წიგნის სტრუქტურა.

პირველი თავი დამსხმარება. იგი შეიცავს იმ აუცილებელ ცნობებს ზოგადად ნომოგრაფიისა და კერძოდ გამოყენებული ტიპის ნომოგრამების აგების მეთოდიკის შესახებ, რომლებიც საჭიროა წიგნის გამოყენებისას.

მეორე თავში წარმოდგენილია ის გეოლეზიური ამოცანები, რომელთა გრაფიკული ამოცანისათვის გამოყენებულია ბაზური ტიპის ნომოგრამები.

მესამე თავი აერთიანებს იმ საინჟინრო-გეოლეზიურ ამოცანებს, რომელთა ამოცანისათვის გამოყენებულია გასწორებული წერტილების ნომოგრამები.

მეოთხე თავი ყველაზე დიდი მოცულობისაა და მასში წარმოდგენილია ყველა ის გეოლეზიური თუ სამარტენიდერო სასიათის ამოცანები, რომელთა ამოცანა და ანალიზი მოცემულია ტრანსპარანტული ნომოგრამების გამოყენებით. აქ წარმოდგენილია მოცემულია ტრანსპარანტული ტიპის ნომოგრამების მრავალფეროვნება დაწყებული მარტივი სახაზავის ტრანსპარანტული ტიპის ნომოგრამების მრავალფეროვნება დაწყებული მარტივი სახაზავის ტიპის გაუმჭვირვალე ტრანსპარანტის შემცველი ნომოგრამებიდან დამთავრებული ბინარულებულებიანი გამჭვირვალე ტრანსპარანტის შემცველი ნომოგრამით.

მეორე, მესამე და მეოთხე თავები აგებულია ერთი და იგივე სქემით. თითოეული თავი შედგება იმ ამოცანების შემცველი პარაგრაფებისგან, რომელთა ამა თუ იმ ნომოგრამით წარმოდგენა გვაქეს გათვალისწინებული.

თითოეული პარაგრაფი შედგება ნომოგრაფირებადი ამოცანის მოკლე არსისგან, ფუნქციონალური დამოკიდებულების ნომოგრამიფირებისათვის საჭირო კანონიქურ სასეტე დაყვანისგან, გრაფიკულად წარმოდგენილი ამოცანისგან, ნახაზით სარგებლობის გასაღებისგან და ნომოგრამის ანალიზისგან.

მონოგრაფია განკუთვნილია მაგისტრანტების, დოქტორანტების, გეოლეზით დაინტერესებულ მეცნიერ-მემაკებისა და პრაქტიკოსი ინჟინერ-გეოლეზისტებისათვის. იგი შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს უძრავლესი სკოლებისა და პროფესიულ-ტექნიკური განათლების მასწავლებლებისა და სტუდენტებისათვის.

იმ მკითხველებისათვის, რომლებიც მხოლოდ წიგნში წარმოდგენილი ნომოგრამებით ისარგებლებენ, საქართვისა გაეცნონ მეორე, მესამე და მეოთხე თავებს და გამოტოვონ პირველი თავი. ეს უკანასკნელი კი დასჭირდება იმ მეოთხელებს, რომლებიც აღწერილი მეთოდიკისა და თავი. ეს უკანასკნელი კი დასჭირდება იმ მეოთხელებს, რომლებიც აღწერილი მეთოდიკისა და დამატებით წიგნის ბოლოს მითითებული ლიტერატურის დაზმარებით მოინდომებენ ააგონ იგივე ან სხვა ფორმულის შესაბამისი ნომოგრამები ფორმულაში შემავალი პარამეტრების ცვლილებათა სხვა დასაზონში ან ააგონ სხვა, მსგავსი ტიპის დამოკიდებულებათა ნომოგრამები.

წიგნის მე-2 თავის ნომოგრამების კომპიუტერული უზრუნველყოფა ეჭუთვის გნემისწერიძეს, რისთვისაც მადლობას ვუხდი.

წინამდებარე წიგნი გეოლეზისში გრაფიკული მეთოდების გამოყენების შესახებ პირველი ცდაა ქართულ კაზე და ამჟნად დაზღვეული ვერ იქნება შეცდომებისაგან.

აგრეთვი მადლობით მიიღებს მკითხველის შენიშვნებსა და რჩევებს.

ତଥାପି ୧. ମୋହନୀଯାଙ୍କ ଉଦ୍‌ଦେଶ୍ୟରେ ବୈଷ୍ଣବିଜ୍ଞାନିକାଙ୍କାରୀ

თავში მოცემულია ის აუცილებელი ცნობები ნომინრაფილს შესახებ, რომელიც საჭიროა წინამდებარე წევნის გაცნობისას. ეს მეთოველს სპეციალური ლიტერატურის მოძიებისა და

სარეგებლობის გაცალებით და
დამოლოს, თავში გაანალიზ
გამოფლების სიზუსტის საკითხი.

11. ნოტიარალია და მისი შესაძლებლობები

თითოეული ნომრერამა აიგდეს კონტროლური უსახლის მისი აგება გამოივლით სამუშაოების მექანიზაციის მარტივ და იაფ საშუალებას წარმოადგენს.

მიღებულია, რომ პრაქტიკული გამოთვლებისათვის ნომინრამა იძლევა საკმარის დიზუსტეს, რაღაც მას საშუალოდ შეუძლია უზრუნველყოს პასუხის მიღება 2-3 ზუსტი იშმალი ციფრით. ხელსაყრელ გითარებაში ნომინრამა უცავუ 4 ნიშნად დორტსა და იძლევა

ამასთან, შედგელობაშია მისაღები ის გარემოება, რომ ნომრეგულირებისათვის დამახსოვრებელია პასუხების მიღების სწვადასწვა სიზუსტე მოცემულ სიღიღეთა სწვადასწვა კომინაციებისათვის.

ნომრეგულაციის აგებისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ცვლადების ცვლილების დიაპაზონის შერჩევას. არასასურველია ცვლილებათა ზღვრების როგორც გაფართოება, ისე უმცირება. ზოგჯერ მიზანშეწონილია ფუნქციის ცვალებადობის ზღვარი ავღვით არასრული, ადგვან ამ შემთხვევაში გლობულობთ ისეთი კონსტრუქციის ნომრეგულაციას, რომელიც უზრუნველყოფს გამოთვლების წინასწარ მოცემულ სიზუსტეს [8].

კამოთვლითი მიზნებისათვის ნომორგამების გამოყენებისას ყველაზე ხელსაყრელად ანწეულია გასწორებული წერტილებისა და ტრანსპორტის ტიპის ნომორგამები [9].

ცონბილია, რომ საინჟინრო-ტექნიკური გამოთვლებასთვის შეღვენილია უამრავი საცნობარო ხრილები. მათი შეღვენისა და გამოყენებისას ვაწყვეტით მოულ რიგ სირთულებს, რომელთაგან ერთი მოიხსნება, თუ მათ მაგივრად ნორმორიზირება.

საცნობარო ცხრილების წარმოდგენას ნომოვრაშების სახით გააჩნია რიგი უპირატესობანი

- 1) ნომრების აგება და გამოყენება ნაკლებ შრომატევადია, ვიდრე საცნობარო ცხრილების შედევნა;
 - 2) ცხრილში შემავალი პარამეტრების რაოდენობა შეზღუდულია (2-3), მაშინ, როცა ნომრამა შეიძლება აიღოს გაცილებით მეტი ცვლადის დროს;
 - 3) საცნობარო ცხრილები გვაძლევენ ფუნქციის მნიშვნელობას ცვლადების ფიქსირებული წნიშვნელობებისათვის. შეაღვევთ სიღილეები მიიღება ინტერპოლაცით, რისთვისაც ცვლადების ცვლილებათა კანონები უნდა ვიცოდეთ, მაშინ, როცა ნომრების გამოყენებისას არავითარ ცრიბლებას არ წარმოადგენს ფუნქციის მნიშვნელობის გაცემა ცვლადის წებისმიერი წნიშვნელობისას მისი ცვალებადობის მთვალ დაბაზონში.
 - 4) საცნობარო ცხრილით „შებრუნვებული ამოცანის“ (ფუნქციის მნიშვნელობით ცვლადების წნიშვნელობათა გაგება) გადაწყვეტა 2-3 შემავალი არგუმენტისათვის საჭმალ შრომატევადი მოცავნაა. ნომრების სარგებლობისას ცვლადების წებისმიერი რაოდენობის დროს იგივე სირთულეს არ წარმოადგენს.

გამოოვლითი მიზნის გარდა, ნომოვრამების გამოყენება შეიძლება სამეცნიერო-კვლევითი წნითაც, კურძოდ მათი დასმარებით შევგამძლია მიღვიღოთ ახალი შედეგები ცოდნის იმ დარღში, რომელშიც ის გამოიყენება. ასეთი შედეგების მისაღებად ნომივრაფიაში სამი გუნდი არსებობს. რველი გუნდი მდგომარეობს ყველა იმ დაშვებების რევიზიაში, რომელიც საკუთრივი არ არის.

ფუნქციონალური დაორგანიზებული სისტემების შემთხვევაში მათ განვითარებული არის კონკრეტური მიზანის მიღება, რომელიც მათ მიზანის მიღებას უზრუნველყოფს.

კელვინის საკითხს უწება 4.7 ნარჩზე ჭაროდებული, მაგრა მას გამოიყენებას სამეცნიერო-გელვინით მიზნით გააჩნია საკმაოდ საერთოდ, ნომოგრამების გამოყენებას სამეცნიერო-გელვინით მკითხველის ამ ფართო ასპარეზი და იგი ზემოამოთვლილით არ ამოიწურება. დანოტიკურესტულ მკითხველის ამ მიზნით შეუძლია გამოიყენოს სპეციალური ლიტერატურა [10, 11].

1.2. ნომოვრაფიის ძირითადი ცნებები

ნომიკურაფიც ფორმულის სახით ჩამოყალიბებული კანონის გრაფიკულად გადმოცემას დასწავს. სხვანაირად, იგი ცვლადებს შორის უზრუნველყოფაში დამოკიდებულების გეომეტრიული კამისახულებაა, რომლის დაზღვრებით უზრუნველყოს მნიშვნელობა მითილება ნომიკურამაზე უძრმოდგენილი ცვლადების გამოშსახველი წირებისა და წერტილების განსახლვრული ურთიერთობაზეარდობით.

წირებსა და წერტილებს ნომოგრამაზე მიეწერებათ რიცხვითი მნიშვნელობები, რომლებიც უძიძლება ცვლადებმა მიიღონ.

ნომიკურაფიაში გამოიყენება ჩანანიშნის და ჩანიშნულის ცნებები. ჩანანიშნი ეწოდება კვლადის ძმიშვნელობას, რომელიც მიეწერება წერტილს ან წირს, ხოლო თვით წერტილს ნ წირს ჩანიშნული ეწოდება.

ნებისმიერი ნომრებამა შედგება მარტივი ელემენტებისაგან: სკალა, ბინარული ველი, რიტა ლუანა, ცალკეული წირი და წერტილი. სკალის მაგალითებია სახაზავი, თერმომეტრი, ეოლუსიური ჟღელსაჭირობის ლიმბი და სხვ. ბინარული ველის ტიპიური მაგალითია არალელებისა და მეტიდიანების ბაზე გეოგრაფიულ ან ტოპოგრაფიულ რუკაზე.

ნომიკურამით სარგებლობის ზერჩე შემდეგში მოღონამარტობს: სკალებზე ბინარულ ველებში წირთა ოჯახებში პოულობენ მოცემულ წერტილებს ან წირებს; შემდეგ ასრულებენ მარტივეს გეომეტრიულ ოპერაციებს ნომიკურამის გასაღებით განსაზღვრულს და პოულობენ რთ ან რამდენიმე საპასუხო წერტილს სკალებზე, ბინარულ ველებში ან წირთა ოჯახებში, ადაც კითხულობენ ერთ ან რამდენიმე პასუხს.

ნომიკამას, რომელშიც პასუხი ან პასუხები ერთი გეომეტრიული ოპერაციის შედევად იღება, ელემენტარული ნომიკამა ეწოდება, ზოლო ერთიდაიგიცე ან სხვადასხვა ტიპის ამდენიმე ელემენტარული ნომიკამისაგან კომბინირებულს – შეფარილი.

პრატტიკაში ელემენტურული ნომერამების რამდენიმე ტიპია ცნობილი: ფუნქციის ჩაფიქრი, ორმაგი სკალა, ბაზის ტიპის, გასწორებული წერტილების, თანაბრადდაშორებული ერტილების, საცირკულუ, ბარიცენტრული, რომბიციდალური, ორინტირებული და საერთო ზების ტრანსპორტარანტული ტიპის ნომერამები.

თითოეული ტიპის ელემენტების ნომრების აქცევის დროში გეომეტრიული დასაბუთება და
ინი საკმაოდ მარტივ პრინციპზეა დამტარებული: ასე, მაგალითად, ფუნქციის გრაფიკიდან
იღლად მიიღება მისი სახეცვლილება – ორმაგი სკალა; ფუნქციის გრაფიკის გაზირებულებას
კვევართ ბადური ტიპის ნომრებიამასთან; სამი წერტილის ერთ სწორზე განლაგების,
ალიზური გეომეტრიდან ცნობილ პრინციპს მიეკუთხართ გასწორებული წერტილების
მომრებიამასთან; ორ წერტილს შორის მანძილის ფორმულას – საცირკულას და
ნაბრადებაშორებულ წერტილებიან ნომრებიამგთან; ორი წრფის პარალელურობისა და
რენტიდეულარობის პირობას – პარალელურ და ჯვრისმსგაცს ინდექსებიან ნომრებიამგთან;
ცემული თანაფარდობით მონაცემთის გამკვეთი წერტილის კოორდინატების ფორმულას –
რეცირტრულ ნომრებიამასთან; პარალელურობის მეოთხე წვეროს კოორდინატების დანარჩენი
მი წვეროს კოორდინატებით განშესაზღვრელ ფორმულას – რომბოიდალურ ნომრებიამასთან,
იღლო დეკარტის კოორდინატების, ღერძების მობრუნების გარეშე და დერძების მობრუნებით
რდამშენელ ფორმულებს – შესაბამისად, ორიგნტირებულ და საერთო სახის ტრანსპარანტულ
მოგრავებთან.

$$L = m \lg \alpha_2 - m \lg \alpha_1 = m \lg \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

როდესაც საქმე გვაქვს ფუნქციონალურ ბადესთან ანუ ბინარულ ველთან, განტოლებათა სისტემა
ასე ჩაიწერება:

$$x = m f(\alpha_1, \alpha_2);$$

$$y = n g(\alpha_1, \alpha_2),$$

სადაც m და n მოდულებია, შესაბამისად x და y ღრმების გასწვრივ.
ასეთ ფუნქციონალურ ბადებს ამზადებენ წინასწარ მოდულების სხვადასხვა
სიღრმეებისათვის და მათ ფუნქციონალური ქაღალდი ეწოდებათ. არსებობს თანაბარზომიერი,
ლოგარითმული და ნახევრადლიგარითმული ფუნქციონალური ფურცლები.
როდესაც α პარამეტრი x და y კოორდინატებთან ერთიანად დაკავშირებული
(1.3)

$$F(x, y, \alpha) = 0$$

მივიღებთ α პარამეტრის წირთა ოჯახს. α ყოველი
ფიქსირებული სიღრმისას გვექნება (1.2) განტოლებით
განსაზღვრული ერთი წირი (ნახ. 1.1), ხოლო პარამეტრების
ცვალებადობათა ერთობლიობა მოვცემს წირთა ოჯახს (ნახ.
1.2). თუ წერტილის კოორდინატები ორ ასე და α_2
პარამეტრზეა დამოკიდებული

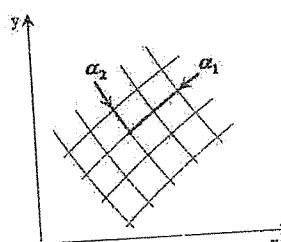
$$\begin{cases} x = f_{12}(\alpha_1, \alpha_2), \\ y = g_{12}(\alpha_1, \alpha_2), \end{cases} \quad (1.4)$$

ნახ. 1.2. α წირთა ოჯახი.

(სადაც f_{12} და g_{12} იკითხება „ეჭვ ერთი-ორი“, „ფი ერთი-ორი“), მაშინ გვექნება
ბინარული ველი, რომელიც ჩანიშნულ წირთა ორი ოჯახისგან შედგება. მათ
(α_1, α_2) ბინარული ველი, რომელიც ჩანიშნულ წირთა ორი ოჯახისგან შედგება ასე და α_1
განტოლებებს მივიღებთ, თუ (1.4) სისტემიდან იგრიგობით გამოვრიცხავთ α_1 და α_2
პარამეტრებს:

$$\begin{cases} F_1(\alpha_1, x, y) = 0 \\ F_2(\alpha_2, x, y) = 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

ბინარული ველის არსებობისას იგულისხმება, რომ f და
გვექნები (1.4) სისტემაში დამოკიდებული არიან, ე.ი. არ
არსებობს რაიმე სახის დამოკიდებულება მათ შორის $f =$
 $F(g)$. თუ α_1 და α_2 წირთა ოჯახები ურთიერთ მართობი
არსებონ წირებისგან შემდგარი იჯახებია, მაშინ ამ
პარამეტრი წირებისგან შემნიღილი ბინარული ველი ირთოვნალურ
წირთა ოჯახებით შექმნილი ბინარული ველი ირთოვნალურ
ბადეს წარმოდგენს.

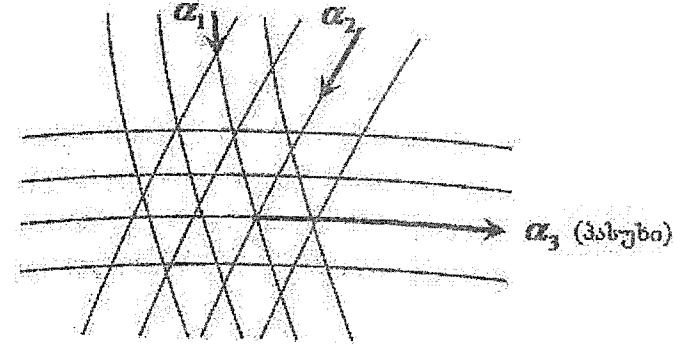


ნახ. 1.3. ბინარული ველი (α_1, α_2). რომ: 1) α_1 წირთა ოჯახი არ შეიცავს თვითგადამკვეთ
წირებს; 2) იგივე პრცელება α_2 წირთა ოჯახზე; 3) α_1 თითოეული წირი α_2 თითოეულ
წირებს.

ბინარული ველის გაფორმება სკალის გაფორმების ანალოგიურია. მანძილებს ორ მეზობელ
წირს გადაეცეთს მხოლოდ ერთ წერტილში. ჩანიშნულ წირებს გამოხაზვენ უფრო სტერი ხაზით, ვიდრე
სატელობრ 2-10 მმ ფარგლებში. ჩანიშნულ წირებს გამოხაზვენ უფრო სტერი ხაზით, ვიდრე
ჩაუწინავებს.

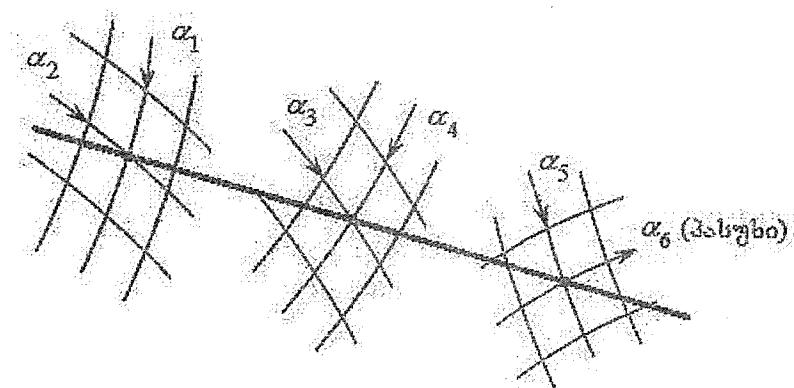
როგორც შესავალში აღვინიშნეთ, წიგნში ძირითადად გამოყენებულია სამი ტიპის
ელემენტარული ნომოგრამა: ბადური, გასწორებული წერტილების და ტრანსპარანტული.
წარმოდგნილია აგრეთვე ამოცანები გასწორებული წერტილების შედგენილი ნომოგრამის
გამოყენებაზე.

თითოეული ტიპის ელემენტარულ ნომოგრამას შეესაბამება მხოლოდ მისთვის
დამასასიათებელი დამოკიდებულება ნომოგრამის ელემენტებს შორის. ასე, მაგალითად, ბადური
ტიპის ნომოგრამაში წირები, რომელთა გასწორებული წარწერილი რიცხვითი სიღრმეები
(ჩანაწერები) აკმაყოფილებენ მოცუმულ განტოლებას, გადაინ ერთ წირზე (ნახ. 1.4).



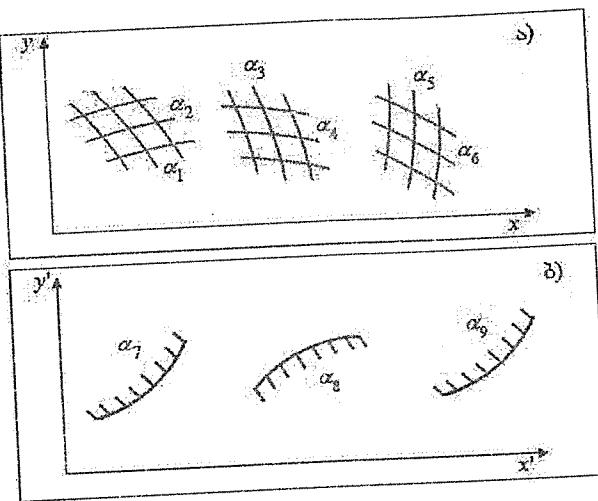
ნახ. 1.4. ბადური ნომოგრამით სარგებლობის სქემა.

გასწორებული წერტილების ნომოგრამები ექვემდებარებიან ერთ სწორზე გამართების
პრინციპს – მოცუმული ტოლობის დამატებულებებით ჩანიშნული წერტილები სკალებსა და
ბინარულ ველებში ერთ სწორზე უნდა მდებარეობდნენ (ნახ. 1.5).



ნახ. 1.5. გამართული წერტილების ნომოგრამით სარგებლობის სქემა.

რაც შეეხება ტრანსპარანტულ ნომოგრამას, იგი შედგება ორი ნაწილისგან, რომელთაგან
ერთს უწოდებენ უძრავ ნაწილს, მეორეს კი – მომრავს ან ტრანსპარანტს (ნახ. 1.6).



ବାକ୍ 1.6. ପ୍ରିଣ୍ଟିଂସିପାରାନ୍ତିକୁଲି ନମନ୍ଦନାମିଳି ନେଇମା

- ა) უძრავი ნაწილი;
ბ) მოძრავი ნაწილი (ტრანსპარანტი)

აქ აღვნიშნავთ ტრანსპარანტული ნომინრამით სარგებლობის ზოგად პრინციპს. აქ აღვნიშნავთ ტრანსპარანტული ნომინრამით სარგებლობის ზოგად პრინციპს. კონკრეტულად, თითოეული ტიპის ტრანსპარანტული ნომინრამით სარგებლობის წესები კონკრეტულად, თითოეული ტიპის ტრანსპარანტული ნომინრამით სარგებლობის წესები განხილვისას). ანილოვლი იწერბა წიგნის სათანადო ნაწილში (ნომინრამის აეტის მეთოდიების განხილვისას).

1.3. ნომინგრაფიული გამოცვლების სიზუსტე

საინჟინრო გამოთვლებისათვის საჭირო გამოსავალ შენაცემებს შორის თუნდაც ერთ მიახლოებით რიცხვის არსებობისას, მიღებული შედეგი, გამოთვლების ჩატარების მიღებული მეოდის სიზუსტისაგან დამოუკიდებლად, მიახლოებითი იქნება. ამასთან, როგორც წესი, შედეგის ცდომილება მეტი იქნება, ვიდრე ანგარიშში შემავალი ყველაზე მცირე სიზუსტის მქონე მიახლოებითი რიცხვის ცდომილებაა.

ზემოთქმული მიახლოებითი გამოთვლების თეორიის ძირითადი კანონია. ისიცაა მხედველობაში მისაღები, რომ ზუსტ რიცხვებზე სსვადასხვა მოქმედებათა შედეგად ყოველთვის ზუსტ რიცხვს ვერ ვღებულობთ. მაგალითად, ზუსტი რიცხვების შეკრების, გამოკლების, გამრავლების და მთელ რიცხვში ახარისხების შემდეგ ზუსტ რიცხვებს კი ვღებულობთ, მაგრამ იგივე რიცხვების გაყოფისა და ამოფესვის ოპერაციების შედეგად ხშირად მიახლოებით რიცხვთან გვაძეს საქმე, ხოლო მათი გაღიოგარითშებისას ყოველთვის — მიახლოებით რიცხვებთან (გამონაკლისია ლოგარითმის ფუძის ზუსტი სარისხების შემცველი რიცხვები). ზოგჯერ, მთელი რიცხვების გაყოფისას ზუსტ რიცხვს ვღებულობთ, მაგრამ ყველა ციფრის შენარჩუნება არ არის მიზანშეწონილი, რას გამოც დარჩენილი რიცხვი მიახლოებითი იქნება. გარედა ამისა, ფორმულაში ხშირად ირაციონალური რიცხვები — π , g , e ფიგურისებენ, რომელიც მუდმივი სიდიდეებია, მაგრამ მიახლოებითი.

ხშირად თვლიან, რომ მიცემული გამოსავალი მონაცემები უნდა განვიხილოთ, როგორც ზუსტი სიღილეები. სინამდვილეში ყოველთვის ასე არ არის.

აუცილებელია გამომთვლელი ფულობდეს ანგარიშში შემავალი ნებისმიერი მიაწლოებითი რიცხვის სიზუსტის განსაზღვრის უნარს, რაც მას საშუალებას მისცემს დაადგინოს როგორც შუალედური, ისე საბოლოო შედეგის შესაძლო სიზუსტე. ეს მას ზედმეტ უნაყოფო გამოკლებს აძლიერებს.

ყველ მიახლოებით რიცხვს გააჩნია აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება. დამრგვალება გვიხდება თითქმის ყველა ტექნიკური განვითარებისას. არსებობს წესი: რაც მეტად მიახლოებით რიცხვში ზუსტი ნიშნადი ციფრი, მით მცირეა მისი ფარდობითი ცლომილება. მაგრამ ერთი და იგივე ზუსტი ნიშნადი ციფრების დროსაც, ფარდობითი ცდომილება დამოკიდებულია პირველი ნიშნადი ციფრის სიღრღვეზე (რაც მეტად პირველი ნიშნადი ციფრის სიღრღვე, მით ნაკლებია ფარდობითი ცლომილება და პირველი). აქედან გამომდინარე მიახლოებითი რიცხვის ნიშნადი ციფრების რაოდენობითა და პირველი ნიშნადი ციფრის სიღრღვეთ შეიძლება განვსაზღვროთ, პრაქტიკული მიზნებისათვის საჭიროის სიზუსტით, ნებისმიერი მიახლოებითი რიცხვის ფარდობითი ცლომილება.

ანალიზი აჩვენებს, რომ მდახლოებითი რიცხვისათვის დამატებული თითოეული ნიშნადი ციფრი ამცირებს მის ფარდობით ცდომილებას, მაგრამ ზრდის და ართულების გამოთვლით სამუშაოებს. უმეტესი ტექნიკური ანგარიშისას გამოსავალი მონაცემების 3 ნიშნადი ციფრით იფარგლებიან.

იმის საჩეკვებლად, რომ მიახლოებით რიცხვებზე მოქმედებისას ყველა ნიშანადი ციფრის გათვალისწინება არ არის საჭირო საბოლოო შედეგის შეფასებისას, განვიზილოთ კონკრეტული მაგალითი [2]:

გადასამრავლებელია 3 ნიშანდიანი მიახლოებითი რიცხვები – 3.27, 2.43 და 0.735. მათი ზუსტი ნამრავლი ყველა ციფრის შენარჩუნებით ტოლია

$$N = 3,27 \cdot 2,43 \cdot 0,735 = 5,8403835.$$

რადგან რიცხვები მიანლოებითა, მათი ჭეშმარიტი სიდიდეები მოქცეულია შემდეგ ზღვრებში:

$$3,265 < 3,27 < 3,275;$$

$$2,425 < 2,43 < 2,435;$$

$$0,7345 < 0,735 < 0,7355.$$

გამოვთვალოთ შედეგის შესაბლო მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები:

$$N_{min} = 3,265 \cdot 2,425 \cdot 0,7345 = 5,8154955625;$$

$$N_{max} = 3,275 \cdot 2,435 \cdot 0,7355 = 5,8653366875.$$

შევადაროთ შედეგის ყველა მნიშვნელობა ერთმანეთს

$$5,8154955625 < 5,8403835 < 5,8653366875.$$

აშენავა, რომ ყველა ნიშნადი ციფრის ნამრავლში გათვალისწინებას არავითარი სარგებლობა არ მოაქვს. ზუსტია მხოლოდ მეორე ნიშნადი ციფრი ($3,3 \cdot 2,4 \cdot 0,74 = 5,8$), რის უზრუნველყოფა თავისუფლად შეუძლია ნომრერამას (მათ შორის ლოგარითმულ სახაზაგსაც).

საინჟინრო გამოვლებისათვის ნომრერამების გამოყენების არე განისაზღვრება პასუხის მიღების იმ სიზუსტით, რომელსაც ისინი იძლევიან. სიზუსტე კი დამოკიდებულია სანომრერაფირებო ფორმულის სახეზე, ცვლადების ცვლილებათა დიაპაზონზე, ნომრერამის ტიპზე და ნასაზის ზომებზე, რომელიც ნომრერამის ასაგებად საჭირო პარამეტრების სიდიდეთა შერჩევაზეა დამოკიდებული.

საშუალოდ ნომრერამას შეუძლია უზრუნველყოს პასუხის 2-3 ნიშნადი ზუსტი ციფრით მიღება. ასეთი სიზუსტი ზშირად პრაქტიკულ საინჟინრო-ტექნიკურ ამოცანათა ფართო კლასისათვის სრულებით საგმარისია. მხედველობაშია მისაღები, რომ ნომრერამებს ახასიათებთ პასუხების მიღების სხვადასხვა სიზუსტე, სკალაბზე ის ასაღები თუ ბინარულ ველებში. ზოგჯერ პასუხის მიღების სიზუსტის გაზრდა ნომრერამში ცვლადების ჯამის, ფარდობის ან ნამრავლის შეტანით მიღწევა. ამ ოპერაციებს შეუძლია ბინარული ველი სკალებით შეცვალოს. სიზუსტის გაზრდის ერთ-ერთი ხერხია არა მთელი ფორმულის, არამედ მისი ცალკეული ნაწილების ნომრერაფირება. ბოლოს, სიზუსტის გაზრდისათვის ცვლადების ცვალებადობათა დიაპაზონს ჰქონება და ნომრერამების სერიას აგებენ.

როდესაც საქმე გვაქვს მიახლოებით ნომრერაფირებასთან (იგი ემყარება რაღაც დასაშვები ცდომილებით მოცემული არანომრერაფირებადი დამოკიდებულების შეცვლას ნომრერაფირებადი დამოკიდებულებით), პასუხის მიღების სიზუსტის შეფასებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ არა მარტი ნომრერამით პასუხის მიღების ცდომილება, არამედ აპროექტირების ცდომილებაც.

მხედველობაშია მისაღები ისიც, რომ ნომრერამა ასლის გადაღებისა და ნასაზის მასშტაბის შეცვლისას (სკანირებისას) რამდენადმე კარგავს სიზუსტეს, თუმცა ცდომილება რჩება ტექნიკურად მისაღებ ფარგლებში.

როდესაც ნომრერამა ვერ უზრუნველყოფს გამოვლენების საჭირო სიზუსტეს, ის შეიძლება გამოიყენოთ, როგორც დამტებითი გამომოვლენი საშუალება მიახლოებითი ანგარიშის, ნულოვანი მიახლოების პოვნისა და გამოვლენის კონტროლისათვის – უხეში შეცვლის გამოვლენის ჩაზრით.

ნომრერამებით სარგებლობისას საქმე გვაქვს თანაბარზომიერ და არათანაბარზომიერ სკალებთან. მათზე ანათვლების აღების ფარდობითი და აბსოლუტურ ცდომილებები სხვადასხვა და ასევე სხვადასხვა მათი ცვლილების სასიათიც.

თანაბარზომიერ სკალაზე, რომლის მთელ სიგრძეზე დანაყოფის საფასური მუდმივია, ანათვლის აბსოლუტური შეცვლებიც მუდმივია. რაც შევხება ფარდობით ცდომილებებს, ასეთ სკალაზე მათი სიდიდე ცვალებადია და შემდეგ კანონზომილებებს ემორჩილება:

1) ჩანანიშნების რიცხვით მნიშვნელობათა რამდენჯერმე გაზრდა სკალის ივივე სიგრძის დატოვებით, ანათვლის ფარდობით ცდომილებას არ ზრდის;

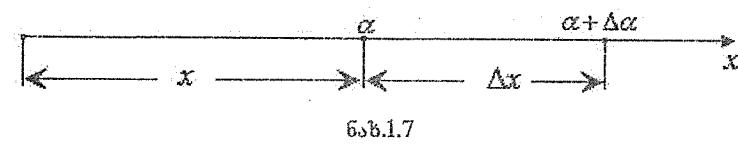
2) ერთი და იგივე სკალაზე ანათვლის ფარდობითი ცდომილება ჩანანიშნების მნიშვნელობათა გაზრდისას მცირდება. ამ დროს შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ სკალების ქვედა ანუ მცირე ჩანანიშნებისათვის ფარდობითი ცდომილება დიდი და პრაქტიკული თვალისაზრისით გამოუსადევარი იქნება. აქედან გამომდინარე, ცვლადების ცვალებადობათა დიაპაზონის დაღებინა, განსაკუთრებით კი ქვედა ზღვრისა – მნიშვნელოვანი საკითხია.

პრაქტიკულად, ნომრერამებით სარგებლობისას მიღწეულია, რომ 5% და მეტი ფარდობითი ცდომილება – დიდი ცდომილებაა და ამიტომ სკალების იმ ნაწილის გამოყენება, სადაც ასეთ ცდომილებას ვღებულობთ, არ არის მიზანმეტონილი.

იმისათვის, რომ ნომრერამა საკმარის ფარდობით ცდომილებას გვაძლევდეს, მიმართავენ სკალის მოღულის გაზრდას. თუ ასეთი ღონისძიება სასურველ შედეგს არ იძლევა, მაშინ ცვლადების ცვლილებათა ზღვრების დანაწილებას და მათგანი ცალ-ცალკე ნომრერამების აგებას მიმართავენ.

არათანაბარზომიერ სკალაზე ანათვლის აღების აბსოლუტური ცდომილებები ცვალებადია, ფარდობითი კი – მუდმივი. ზოგადად, ფარდობითი ცდომილება დამოკიდებულია სკალის მოღულზე (მასშტაბზე). მოღულის გაზრდით ან შეცირდებით იზრდება ან მცირდება ანათვლის აღების სიზუსტე.

არათანაბარზომიერი სკალის ყველაზე გაცრუცელებული მაგალითია ლოგარითმული სკალა. მისი განმასხვავებული თვისება თანაბარზომიერ სკალასთან შედარებით, ანათვლის აღების მუდმივი ფარდობითი ცდომილებაა. რაც შევხება აბსოლუტურ ცდომილებას, მისი სიდიდე ცვალებადია, რადგან ცვალებადია დანაყოფია სიგრძები მათი უცვლელი საფასურის დროს. მართლაც, ვთქვათ მოცემულია ლოგარითმული $\alpha = m \lg x$ და ნომრერამების ცალკეულებაა $x = mlg \alpha$.



ნახ.1.7

დავუშვათ, α სკალით სარგებლობისას მუდმივ გეომეტრიულ Δx შეცვლის უცვლელი, მაშინ $\alpha + \Delta \alpha$ მნიშვნელობის ნაცვლად $\alpha + \Delta \alpha$ სიდიდეს წავიკითხავთ. სკალის განტოლებიდან გამომდინარე, გვექნება

$$\Delta x = (mlg \alpha)' . \quad \Delta x = \frac{m}{\ln 10} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\alpha} ,$$

საიდანაც

$$\Delta \alpha = \frac{m}{\ln 10} \Delta x \cdot \alpha \approx \frac{2,30}{m} \Delta x \cdot \alpha .$$

ფარდობითი ცდომილება პროცენტებში ტოლი იქნება

$$\delta \alpha = \frac{230}{\alpha} \cdot 100\% = \frac{230}{m} \Delta x \% .$$

მიღებული შედეგიდან გამოდის, რომ ლოგარითმულ სკალაზე ანაფვლის აღების ფარდობითი ცდომილება, ცნობილი m მოდულის დროს, მხოლოდ Δx გეომეტრული ცდომილებით განისაზღვრება და წერტილის სკალაზე მდებარეობაზე არ არის დამოკიდებული.

განვიხილოთ მაგალითი. განვსაზღვროთ $\delta \propto$ ფარდობითი ცდომილება ლოგარითმულ სკალაზე, რომელიც $m = 250$ მმ მოდულითაა აგებული $\Delta x = 1$ მმ გეომეტრიული შეცდომის დროს (ეს შეცდომა თვალისათვის მიღებულ 0,2-0,3 მმ შეცდომაზე გაცილებით მეტია).

გვიჩნება

$$\delta \propto \frac{230}{250} \cdot 1\% = 0,92\%,$$

ე.ი. 1მმ გეომეტრიული შეცდომა 250მმ მოდულის მქონე ლოგარითმულ სკალაზე ~1% ფარდობით ცდომილებას გვაძლევს, რაც საინჟინრო-ტექნიკური გამოთვლებისათვის სრულებით მისაღები ცდომილებაა.

ყოველივე ზემოთქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ორი-სამი ნიშნადი ციფრის ნომრერამაზე მიღება უძრაველეს შემთხვევაში შესაძლებელია, რაც საინჟინრო გამოთვლების სიზუსტეს აქმაყოფილებს. ასევე მისაღებია ნომრერამებით გამოთვლებისას პასუხის მიღების აბსოლუტური და ფარდობითი სიზუსტეები.

1.4. ბადური ნომოგრამა და მისი აგების მეთოდიება

ბადური ტიპის ნომოგრამა პრაქტიკულად ნებისმიერი სამცვლადიანი დამოკიდებულების

$$F(U, V, W) = 0 \quad (1.5)$$

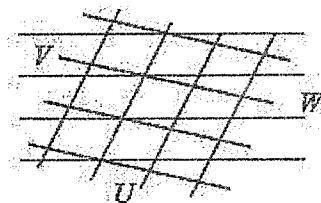
გრაფიკულად გამოსახვის საშუალებას იძლევა. (1.5) გამოსახულება წარმოვალგინოთ V -ს მიმართ ამოსახსნელად

$$V = \phi(U, W). \quad (1.6)$$

ჩაგთვალით U პირველ, V - მეორე და W - მესამე ცვლადად.

(1.5) გამოსახულების ბადური ნომოგრამის ზოგადი სახის ასაგებად ავიღებთ U , V ცვლადების ნებისმიერ ბინარულ კვლ. W ცვლადს ვაძლევთ W_1, W_2, \dots, W_n ფიქსირებულ მნიშვნელობებს და (U, V) ბინარულ კვლ. ვაგებთ (1.6) დამოკიდებულების გრაფიკს W შერჩეული ფიქსირებული მნიშვნელობებისათვის. შედეგად 1.8 ნახაზზე მოცემულ ბადურ ნომოგრამას მივიღეთ, რომელიც U , V , W წირთა სამი ოჯახისგან შედგება.

ნომოგრამის აგების სერხიდან გამომდინარეობს სარგებლობის წესი. თუ U , V და W ცვლადები აქმაყოფილებენ (1.5) განტოლებას, მაშინ ამ ცვლადების ჩანანიშნებიანი წირები ერთ წერტილში გაივლიან და მას ამონახსნი ეწოდება.



ნახ. 1.8 (1.5) განტოლების ნომოგრამის სქემა.

ბადურ ნომოგრამაში U, V და W ცვლადებიდან საძიებო შეიძლება ნებისმიერი იფის ანუ ნებისმიერი ორი ცვლადის გადაკვეთის წერტილში გამაგალი მესამის მნიშვნელობა იქნება პასუხი.

თუ (U, V) ბინარული კვლი მოცემულია დეკარტის მართვულზა კოორდინატთა XOY სისტემაში განტოლებებით:

$$\begin{aligned} x &= f(U, V); \\ y &= g(U, V), \end{aligned} \quad (1.7)$$

მაშინ W წირთა ოჯახს აგავებთ მისი პარამეტრული განტოლებით, რომელსაც მივიღებთ (1.7) განტოლებებში V -ს ნაცვლად (1.6)-ის ჩასმით:

$$\begin{aligned} x &= f[U, \phi(U, W)], \\ y &= g[U, \phi(U, W)]. \end{aligned} \quad (1.8)$$

ამ განტოლებებში U ცვლადი განიხილება, როგორც პარამეტრი. მისი გამორიცხვით, მივიღებთ W წირთა ოჯახის განტოლებას

$$F_3(X, Y, W) = 0.$$

U და V წირთა ოჯახების განტოლებების მისაღებად U და V ცვლადები თანამიმდევრობით უნდა გამოვრიცხოთ (1.7) განტოლებებიდან. მივიღებთ

$$F_1(X, Y, U),$$

$$F_2(X, Y, V).$$

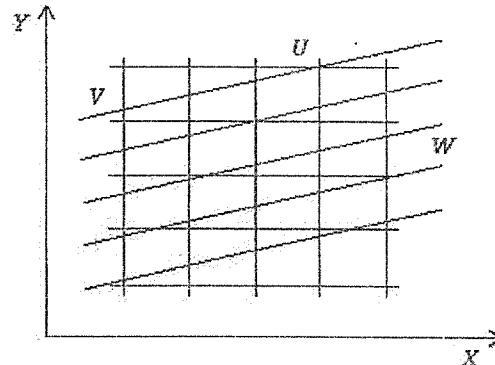
F_1 , F_2 და F_3 ფუნქციების ინდექსები მიუთითებინ შესაბამის ცვლადებზე (U, V, W).

ბადური ნომოგრამის კონსტრუირებისას (1.5) დამოკიდებულებაში სამი ცვლადიდან ნებისმიერი ორი შეირჩევა სწორხაზოვნად, მესამე, ზოგადად იქნება მრუდხაზოვნი.

ბადური ნომოგრამა თრი ზერხით აიგოს.

პირველი ზერხი სინთეზურია და მისი გამოყენებისას (U, V) ბინარული კვლი აიგება ნებისმიერად U და V ცვლადების ცვლილებათა მოცემულ ზღვრებში (შეიძლება ფუნქციონალური ბალის გამოყენებაც). (U, V) ბინარულ კვლში (1.6) განტოლების დახმარებით ვაგებთ W წირთა ოჯახის. ამ დროს მართვულზა კოორდინატთა სისტემით არ ვარგვებლობთ.

მეორე ზერხი ანალიზურია და გამოიყენება მართვულზა კოორდინატთა XOY სისტემა. ამ სისტემაში ნებისმიერად ავიღებთ ორ წირთა ოჯახის განტოლებას, გპოულობთ მესამე ცვლადის წირთა ოჯახის განტოლებას გამოსავალ და წირთა ოჯახების ორი განტოლებიდან. შემდეგ ვაგებთ ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად წირთა სამ ოჯახს, რაც იძლევა ბადურ ნომოგრამას.



ნახ. 1.9 დეკარტის აბაკის სქემა.

თუ (U, V) ბინარულ კელში წირთა ოჯახების განტოლებებს შეცარჩევთ ისე, რომ ორთოგონალური ბადე მივიღოთ და აგავებთ W წირთა ოჯახს (1.6) განტოლების დახმარებით, მივიღებთ ბალური ტიპის ნომოგრამას (ნახ. 1.9), რომელსაც დეკარტის აბაკა ეწოდება.

დეკარტის აბაკის მისაღებად (U, V) ბინარული კელის განტოლებებს შემდეგი სახე უნდა ჰქონდეს:

$$\begin{aligned} X &= m[F_1(U) - a], \\ Y &= n[F_2(V) - b]. \end{aligned} \quad (1.9)$$

სადაც m, n, a, b გარდაქმნის პარამეტრებია.

თუ (1.9) სისტემაში მივიღებთ $F_1(U) = U$ და $F_2(V) = V$, მივიღებთ მარტივ დეკარტის აბაკს (U, V) თანაბარზომიერი ბადით. თუ $F_1(U) = \lg U$ და $F_2(V) = \lg V$, გვექნება დეკარტის აბაკა (U, V) ლოგარითმული ბადით.

a, b, m და n პარამეტრების გეომეტრიული აზრი ასეთია: a და b – განსაზღვრავენ კოორდინატთა სათავეს, ხოლო m და n – ბადის ზომებს აბსცისისა და ორდინატის ლერტების მიმართულებით.

დავუშვათ, $F_1(U)$ და $F_2(V)$ – მონოტონური და ზრდადი ფუნქციებია და იცვლებიან ზღვრტბში

$$\begin{aligned} U_1 &\leq U \leq U_2, \\ V_1 &\leq V \leq V_2. \end{aligned}$$

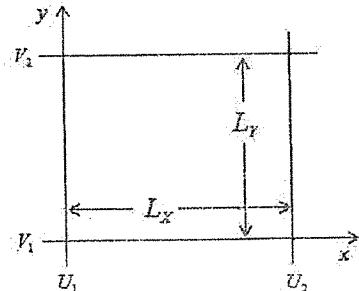
მოვითხოვთ, რომ კოორდინატთა სათავეში იყოს წერტილი U_1 და V_1 ჩანაწიშნებით. მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ

$$\begin{aligned} 0 &= m[F_1(U_1) - a], \\ 0 &= n[F_2(V_1) - b]. \end{aligned}$$

აქედან გვექნება

$$\begin{aligned} a &= F_1(U_1), \\ b &= F_2(V_1). \end{aligned}$$

m და n პარამეტრების განსაზღვრისათვის დავუშვათ L_X არის ბადის სიგრძე აბსცისთა ლერძის გასწროვ, ხოლო L_Y – ორდინატთა ლერძის გასწროვ (ნახ. 1.10)



ნახ. 1.10. (U, V) ბადის კონსტრუქცია W ბადის ასაგებად (1.6) ტოლობით.

m და n პარამეტრების სიდიდეები, რომლის დროს ბადეს ექნება $L_X \cdot L_Y$ ზომები, განისაზღვრება განტოლებებიდან:

$$\begin{aligned} L_X &= m[F_1(U_2) - F_1(U_1)], \\ L_Y &= n[F_2(V_2) - F_2(V_1)], \end{aligned}$$

საიდანაც გვექნება

$$m = \frac{L_X}{F_1(U_2) - F_1(U_1)},$$

$$n = \frac{L_Y}{F_2(V_2) - F_2(V_1)}.$$

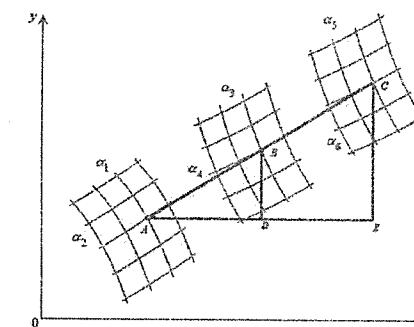
L_X და L_Y აიღება ნებისმიერად ნომოგრამის ხელსაყრელად განლაგების ოცალსაზრისით. ბალური ტიპის ნომოგრამები წიგნში წარმოადგენილია, ძირითადად, დეკარტის აბაკის სასით და მას ეძღვნება მეორე თავი.

1.5. გასწორებული წერტილების ნომოგრამა და მისი აგების მეთოდები

გასწორებული წერტილების პრინციპი, როგორც 1.2 პარაგრაფში აღვნიშნეთ, ეჭვარება წერტილების ერთ წრფეზე გასწორებას.

დავუშვათ, მართკუთხა კოორდინატების XOY სისტემაში (ნახ. 1.11) მოცემულია (α_1, α_2) , (α_3, α_4) , და (α_5, α_6) ბინარული ველები განტოლებებით:

$$\begin{aligned} \text{ველი } (\alpha_1, \alpha_2): \quad X_{12} &= f_{12}, \quad Y_{12} = g_{12}; \\ \text{ველი } (\alpha_3, \alpha_4): \quad X_{34} &= f_{34}, \quad Y_{34} = g_{34}; \\ \text{ველი } (\alpha_5, \alpha_6): \quad X_{56} &= f_{56}, \quad Y_{56} = g_{56}. \end{aligned} \quad (1.10)$$



ნახ. 1.11. სამ ბინარულველიანი გასწორებული წერტილების ნომოგრამის სქემა.

ნახ. 1.11-ზე მოცემული ნომოგრამით სარგებლობის სქემა ასეთია: ვპოვლობთ (α_1, α_2) ბინარულ გელში α_1 და α_2 მოცემული სიღიძეებით მათი გადაკვეთის A წერტილს, ხოლო (α_3, α_4) ბინარულ გელში იგივე პრინციპით B წერტილს. დავადებთ A და B წერტილებზე სახაჩავს, რომლის გადაკვეთა მოცემულ α_5 წრფესთან მოგვცემს C წერტილს. α_6 წირთა ოჯახის სიღიძე, ათვლილი C წერტილზე, მოგვცემს ბასუს. საბასუს წერტილი შეიძლება იყოს ნებისმიერი $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6)$.

A, B და C წერტილები ერთ წრფეზე მდებარეობენ და მათი კოორდინატებია: X_{12} და Y_{12} ; X_{34} და Y_{34} ; X_{56} და Y_{56} . გავატაროთ X ლერძის პარალელური AE წრფე და Y ლერძის

პარალელური BD და CE წრფები. მიღებული ABD და ACE სამკუთხედების მსგავსებიდან გვაქვს

$$\frac{AD}{DB} = \frac{AE}{EC}$$

თუ ამ ფარდობაში AD, DB, AE და EC მონაცემებს გამოვსახავთ კოორდინატებით, მივიღებთ

$$\frac{x_{34} - x_{12}}{y_{34} - y_{12}} = \frac{x_{56} - x_{12}}{y_{56} - y_{12}}.$$

$$y_{34} - y_{12} = y_{56} - y_{12}.$$

თუ x და y კოორდინატების ნაცვლად (1.10) ტოლობებიდან შესაბამის ფუნქციებს ჩავსვამთ, გვიჩნება

$$\frac{f_{34} - f_{12}}{g_{34} - g_{12}} = \frac{f_{56} - f_{12}}{g_{56} - g_{12}} \quad (1.11)$$

თუ ბინარული ველების მაგივრად გვაქვს სპალება, დავწერთ

$$\frac{f_2 - f_1}{g_2 - g_1} = \frac{f_3 - f_1}{g_3 - g_1} \quad (1.12)$$

(1.11) და (1.12) ტოლობებს გასწორებული წერტილების ნომოგრამის კანონიკური ფორმები ეწოდებათ. როდესაც გვინდა რომელიმე ფორმულის შესაბამისი გასწორებული წერტილების ნომოგრამა ავაგოთ, ეს ფორმულა უნდა დავიყვანოთ რომელიმე კანონიკურ ფორმაზე. ზოგადად გასწორებული წერტილების ნომოგრამა შეიძლება აგებულ იქნეს 6 ცვლადიანი განტოლებისათვის.

(1.12) ფორმა შეიძლება ჩავწეროთ დეტირშინტის სახით

$$\begin{vmatrix} f_1 & g_1 & 1 \\ f_2 & g_2 & 1 \\ f_3 & g_3 & 1 \end{vmatrix} = 0. \quad (1.13)$$

ჩაწერის ანალოგიური ფორმა შეიძლება გამოვიყენოთ (1.11) ფორმისთვისაც

$$\begin{vmatrix} f_{12} & g_{12} & 1 \\ f_{34} & g_{34} & 1 \\ f_{56} & g_{56} & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1.14)$$

საერთოდ, ამ სახის ნომოგრამებისათვის ძირითად კანონიკურ ფორმად ითვლება (1.11), ხოლო (1.12) ფორმა მისი კერძო შემთხვევაა.

გასწორებული წერტილების ნომოგრამები რამდენიმე სახისაა, კერძოდ ელემენტარული და შედგენილი; სკალებიანი და ბინარულებიანი; ერთი განტოლების და განტოლებათა სისტემების. სკალებიანი და ბინარულებიანი ნომოგრამები შეიძლება წარმოადგენდნენ ერთ განტოლებას, ან განტოლებათა სისტემას, ელემენტარულ (სახაზავის ერთი დადგინდით) ან შედგენილ (სახაზავის რამდენჯერმე დადგინდით) ნომოგრამას. ასევე ერთი განტოლების ან განტოლებათა სისტემის ნომოგრამები შეიძლება იყოს როგორც სკალებიანი, ისე ბინარულებიანი, ელემენტარული ან შედგენილი. ხოლო ელემენტარული და შედგენილი ნომოგრამები შეიძლება იყოს როგორც სკალებიანი, ისე ბინარულებიანი, ერთი განტოლების ან განტოლებათა სისტემის.

წინამდებარე წიგნში ჩვენ განვიხილავთ ისეთი გასწორებული წერტილების ნომოგრამების აგების მეთოდიკას, რომლის შესაბამისი კონკრეტული გეოდეზიური ამოცანაც არის წარმოდგენილი წიგნში.

ქვემოთ მოცემულია ასეთი ნომოგრამების აგების მეთოდიკა და სარგებლობის პრინციპები.

1) გასწორებული წერტილების ელემენტარული ნომოგრამა ორი პარალელური სკალითა და ბინარული ველით.

(1.11) ან, რაც იგივეა, (1.14) ექსცელადიანი კანონიკური ფორმის მნიშვნელოვანი კერძო შემთხვევა თხზულადიანი, ე.წ. კოშის ფორმის კანონიკური სახე

$$f_1 f_{34} + f_2 g_{34} + h_{34} = 0, \quad (1.15)$$

სადაც f, g და h არის ფუნქციები, ხოლო $1, 2, 3, 4$ – ინდექსები.

იმისათვის, რომ (1.15) ფორმა დავიყვანოთ (1.11) ნომოგრაფირებად სახეზე, გარდავქმნათ იგი. გავამრავლოთ (1.15) ტოლობა $(-H)$ -ზე, სადაც H ნომოგრამის ასაგებად საჭირო ერთ-ერთი პარამეტრია და წარმოადგენს გეომეტრიულად ორ სწორ პარალელურ სკალას შორის მანძილს.

$$-H f_1 f_{34} - H f_2 g_{34} - H h_{34} = 0. \quad (1.16)$$

(1.16) ტოლობის ორივე მხარეს დავუმატოთ $(-H f_1 g_{34})$,

$$-H h_{34} - H f_1 f_{34} - H f_1 g_{34} = H f_2 g_{34} - H f_1 g_{34}. \quad (1.17)$$

გარდავქმნათ (1.17) ტოლობა

$$-H h_{34} - H f_1 (f_{34} + g_{34}) = H g_{34} (f_2 - f_1).$$

გავყოთ ტოლობის ორივე მხარე $(f_{34} + g_{34})$ -ზე და დავწეროთ შემდეგი სახით

$$H \left(\frac{-h_{34}}{f_{34} + g_{34}} - f_1 \right) = \frac{H g_{34}}{f_{34} + g_{34}} (f_2 - f_1).$$

დავწეროთ უკანასკნელი ტოლობა შემდეგი სახით

$$\frac{H}{f_2 - f_1} = \frac{\frac{H g_{34}}{f_{34} + g_{34}}}{\frac{-h_{34}}{f_{34} + g_{34}} - f_1}.$$

დაბოლოს, დავიყვანოთ უკანასკნელი ტოლობა (1.11) ნომოგრაფირებად კანონიკურ სახეზე

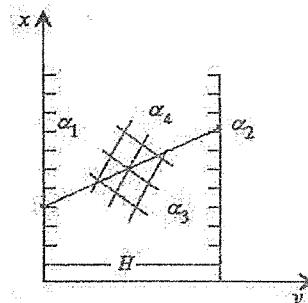
$$\frac{H - 0}{f_2 - f_1} = \frac{\frac{H g_{34}}{f_{34} + g_{34}} - 0}{\frac{-h_{34}}{f_{34} + g_{34}} - f_1}. \quad (1.18)$$

ნომოგრამის ელემენტების უმარტივესი განტოლებები ასე ჩაიწერება:

$$\left. \begin{array}{l} \text{სკალა } \alpha_1 : \quad x = 0, \quad y = f_1; \\ \text{სკალა } \alpha_2 : \quad x = H, \quad y = f_2; \end{array} \right\}$$

$$\text{გელი } (\alpha_3, \alpha_4): \quad x = \frac{H g_{34}}{f_{34} + g_{34}}, \quad y = \frac{-h_{34}}{f_{34} + g_{34}}.$$

ნომოგრამის სქემა მოცემულია ნახ.1.12-ზე.



ნახ.1.12. გამართული წერტილების ნომოგრამის სქემა ორი პარალელური სკალითა და ბინარული ველით (1.15) კოშის ფორმისათვის.

შევიტანოთ ნომოგრამის ელექტროლებშის განტოლებებში გეომეტრიული პარამეტრები – m , n , a და b , სადაც a და b ნებისმიერი, ხოლო m და n დადგენითი რიცხვებია. ამისათვის (1.15) განტოლება ჩავწეროთ მისივე ტოლფასი სახით

$$[m(f_1 - a)] \frac{f_{34}}{m} + [n(f_2 - b)] \frac{g_{34}}{n} + \\ + (af_{34} + bg_{34} + h_{34}) = 0. \quad (1.20)$$

(1.20) განტოლებას ისევ (1.15) კანონიკური ფორმა აქვს. ამიტომ ნომოგრამის ელექტროლების ახალი განტოლებები, რომლებიც გარდაქმნის პარამეტრებს შეიცავენ, ჩაიწერება ასე:

$$\left. \begin{array}{l} \text{სკალა } \alpha_1 : \quad x = 0, \quad y = m(f_1 - a); \\ \text{სკალა } \alpha_2 : \quad x = H, \quad y = n(f_2 - b); \\ \text{ველი } (\alpha_3, \alpha_4) : \quad x = \frac{mHg_{34}}{nf_{34} + mg_{34}}, \\ \qquad \qquad \qquad y = \frac{-mn(af_{34} + bg_{34} + h_{34})}{nf_{34} + mg_{34}}. \end{array} \right\} \quad (1.21)$$

(1.21) სკალებისა და ბინარული ველის განტოლებებში H პარამეტრი განსაზღვრავს ორ პარალელურ ას და ას სკალას შორის მანძილს, m და n პარამეტრები – ამ სკალების ზომებს (მოდული, მასშტაბი), ხოლო a და b პარამეტრები – სკალების ვერტიკალურ მდებარეობას. ნომოგრამის კონსტრუირება მდგომარეობს ჩამოთვლილი პარამეტრების სიდიდეთა შერჩევაში. ამ დროს ცდილობენ ნომოგრამის ყველა ელექტროლები განალაგონ ნახაზის საზღვრებში. ჩვეულებრივ m და n მოდულთა სიდიდეებს შეარჩევნ ისე, რომ α_1 და α_2 სკალები დაახლოებით ტოლი სიგრძის იყოს. a და b პარამეტრები საშუალებას გვაძლევენ განვალაგოთ α_1 და α_2 სკალების ნებისმიერი წერტილი x დერტეზ. სჭრად, x დერტეზ განალაგებენ სკალების სიდიდეებს.

ზოგჯერ შესაძლებელია (1.15) კოშის ფორმაში ნიშნები შეცვალოს f_1 და f_{34} ან f_2 და g_{34} ფუნქციები. ამიტომ საჭიროა ვიცოდეთ, რომ ნომოგრაფირება შესაძლებელია, თუ (1.15) განტოლებას ექნება სახე:

$$(-f_1)(-f_{34}) + f_2 g_{34} + h_{34} = 0$$

ან

$$f_1 f_{34} + (-f_2)(-g_{34}) + h_{34} = 0.$$

ზემოთ განხილული მეთოდიკის გამოყენებით არის აგებული მესამე თავის 3.1. პარაგრაფში წარმოდგენილი ამოცანის ნომოგრამა (ნახ. 3.2)

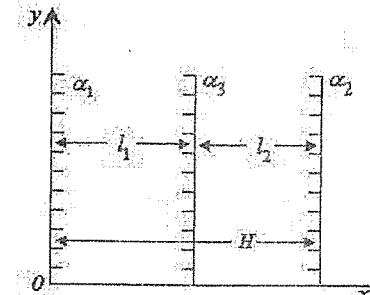
2) გასწორებული წერტილების ელექტროლებული ნომოგრამა სამი პარალელური სკალით განტოლებათა სისტემისათვის.

განტოლებათა სისტემისათვის ნომოგრამის აგების მეთოდიკის გაცნობამდე განვიხილოთ ერთი სამუცნობიანი დამოკიდებულებისათვის ნომოგრამის აგების მეთოდიკა.

(1.15) კოშის ფორმის კანონიკურ განტოლებაში თუ დავუშვებთ, რომ $f_{34} = 1$, $g_{34} = 1$ და $h_{34} = -f_3$, მივიღებთ ფორმას

$$f_1 + f_2 = f_3 \quad (1.22)$$

(1.22) ფორმის ნომოგრამა გამოისახება სამი სწორი პარალელური სკალით და მისი სქემა მოცემულია ნახ.1.13-ზე.



ნახ.1.13 გასწორებული წერტილების ნომოგრამის სქემა (1.22) ფორმისათვის.

(1.22) ფორმისათვის ნომოგრამის სკალების განტოლებები იქნება:

$$\left. \begin{array}{l} \text{სკალა } \alpha_1 : \quad x = 0, \quad y = m(f_1 - a); \\ \text{სკალა } \alpha_2 : \quad x = H, \quad y = n(f_2 - b); \\ \text{სკალა } \alpha_3 : \quad x = \frac{mH}{m+n}, \quad y = \frac{mn}{m+n}(f_3 - a - b). \end{array} \right\} \quad (1.23)$$

ადგილი შესამჩნევია მსგავსნა (1.23) და (1.21) სკალების განტოლებებში. ორივე შემთხვევაში α_1 და α_2 სკალების განტოლებები იღენტურია. რაც შეეხება (1.21)-ის (α_3, α_4) ბინარულ ველს, იგი გადაიცა (1.23)-ის α_3 სკალად, რომლის განტოლებები მიიღება ზემოთ მოცემული დაშვებების ($f_{34} = 1$, $g_{34} = 1$, $h_{34} = -f_3$) გათვალისწინებით.

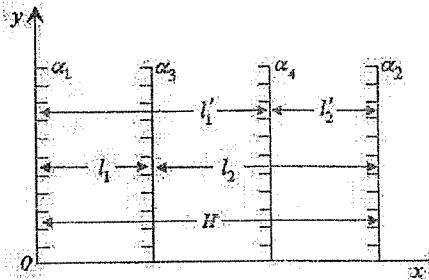
ნახ. 1.13-ზე მოცემული სქემის მიხედვით და (1.23) სკალების განტოლებებიდან, რადგან α_3 სკალის $x = l_1 = \frac{mH}{m+n}$, ამიტომ α_2 და α_3 სკალების შორის მანძილი ტოლი იქნება – $l_2 = H - l_1 = \frac{nH}{m+n}$, ხოლო $\frac{l_1}{l_2} = \frac{m}{n}$.

თუ (1.22) განტოლებას ჩავწერთ $f_1 + (-f_3) = (-f_2)$ სახით ან $f_2 + (-f_3) = (-f_1)$ სახით, მივიღებთ ნომოგრამებს, რომლებშიც შეისაბამისად, შეაღეთ სკალები α_2 ან α_1 (მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ სკალის ნიშნის შეცვლისას იცვლება მისი დაგრადუირების მიმართულება).

სამი პარალელურსკალიანი ნომოგრამის ((1.22) ფორმისათვის) აგების მეთოდიების გაცნობის შემდეგ არავითარ სისტემებს არ წარმოადგენს ასეთივე სახის განტოლებათა სისტემისათვის ნომოგრამების აგება:

$$\left. \begin{array}{l} Af_1(\alpha_1) + Bf_2(\alpha_2) = f_3(\alpha_3), \\ Cf_1(\alpha_1) + Df_2(\alpha_2) = f_4(\alpha_4). \end{array} \right\} \quad (1.24)$$

სადაც A , B , C და D არიან რიცხვითი კოეფიციენტები; f_1 , f_2 , f_3 , f_4 – ფუნქციებია, ხოლო α_1 , α_2 , α_3 , α_4 – სკალები. ეს სისტემა შეიძლება წარმოვადგინოთ პარალელურსკალებიანი ნომოგრამით α_1 , α_2 , α_3 და α_4 სკალებით, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან ურთმანეთთან და ამოიხსნება სახაზების ერთი დადგენით. თუმცა არის შემთხვევები (წვეულებრივი ან ლოგარითმული სკალების დროს), როცა $f_1(\alpha_1)$ ან $f_2(\alpha_2)$ სკალები მოითხოვნ სხვადასხვა დიაპაზონებში გრადუირებას, რის გამოც (1.24) სისტემის ცალკეულ განტოლებას აქვს თავისი ამონსინის გასაღები (ამათვან ერთ-ერთი სკალა უცვლელია). (1.24) სისტემის ნომოგრამა მოცემულია 1.14 ნახაზზე.



ნახ. 1.14 გასწორებული წერტილების ნომოგრამის სქემა
(1.24) სისტემისათვის.

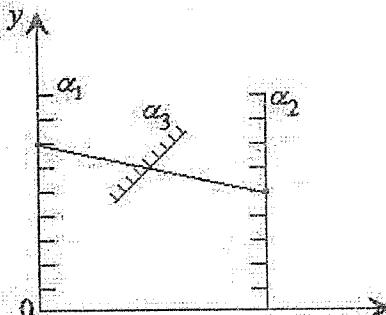
სკალების განტოლებები (1.24) სისტემის ცალკეული ტოლობებისათვის ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) და ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_4$) დაწერება (1.23)-ის ანალოგიურად, მხოლოდ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ გეომეტრიული პარამეტრები $-H, l_i, m_i, n_i, a_i$ და b_i უნდა შერჩეულ იქნეს ნომოგრამის სკალების კომპაქტურად განლაგების გათვალისწინებით. განტოლებათა სისტემის განხილული ნომოგრამა წიგნში წარმოდგენილია 3.4 და 3.5 ნახაზებით.

3) გასწორებული წერტილების ნომოგრამა ორი პარალელური და ერთი დახრილი სკალით.

თუ კოშის კანონიკურ (1.15) ფორმაში დაგუვევებთ $f_{34} = 1, g_{34} = -f_3$ და $h_{34} = 0$, მივიღებთ

$$f_1 = f_2 f_3 \quad (1.25)$$

ფორმას, რომლის სქემა მოცემულია 1.15 ნახაზზე



ნახ. 1.15 გასწორებული წერტილების ნომოგრამა (1.25) ფორმისათვის.

ზემოთ მოცემული დაშვებებისა და (1.21)-ის გათვალისწინებით (1.25) ფორმის სკალების განტოლებები იქნება:

$$\left. \begin{array}{l} \text{სკალ } \alpha_1 : \quad x = 0, \quad y = m(f_1 - a); \\ \text{სკალ } \alpha_2 : \quad x = H, \quad y = n(f_2 - b); \\ \text{სკალ } \alpha_3 : \quad x = \frac{mHf_3}{mf_3 - n}, \quad y = \frac{mn(a - bf_3)}{mf_3 - n}. \end{array} \right\} \quad (1.26)$$

წინა შემთხვევების მსგავსად, ნომოგრამის ვარიანტის შერჩევისას უნდა მხედველობაში გვქონდეს, რომ (1.25) შეიძლება წარმოვადგინოთ

$$(-f_1) = f_2 (-f_3)$$

ან

$$f_1 = (-f_2)(-f_3)$$

სახით. აქედან გამოდის, რომ ნომოგრამის ელემენტების განტოლებები შეიძლება ერთდროულად შევცვალოთ f_1 და f_3 ან f_2 და f_3 უუნქციების ნიშნები. ეს შემთხვევა ცალკე ნომოგრამის სახით წიგნში წარმოდგენილი არ გვაქნს, მაგრამ იგი შედის შედგენილ ნომოგრამაში, რომელიც განხილულია ქვემოთ.

4) გასწორებული წერტილების შედგენილი ნომოგრამა.

გასწორებული წერტილების შედგენილი ნომოგრამები, რომლებიც (1.15) ზოგადი ფორმის და მისი კერძო შემთხვევების (1.22), (1.25) ან სხვა ფორმებისგან წარმოიქმნება, პრაქტიკაში საკმაოდ ხშირად გვხვდება. ასეთი ნომოგრამების ასაგებად მოცემულ განტოლებას ჰყოფენ ელემენტარული ნომოგრამების შემცველ (1.22), (1.25) და სხვ. სასის განტოლებებად დასმარე ცვლადების I, II და ა.შ. – ე.წ. „მუნჯი“ სკალების შემოღების გზით. ელემენტარული ნომოგრამების გაერთიანებით ისე, რომ ერთნაირი სკალები მათში ემთხვეოდნენ ერთმანეთს, ვდებულობთ შედგენილ ნომოგრამას. დამატებითი ცვლადების მუნჯ სკალებს არ აგრძელებენ, მაგრამ ეს აუცილებელია თუ მათ რაიმე ფიზიკური არსი გააჩნიათ.

განვიხილოთ მრავალთაგან ერთ-ერთი ფორმის შედგენილი ნომოგრამის აგების მეთოდია

$$f_1 f_2 = f_3 + f_4. \quad (1.27)$$

შემოვთოთ დამსმარე I (ვლადი

$$f_1 f_2 = I = f_3 + f_4.$$

მიღებული ორი განტოლებიდან პირველი დაგვაგავს (1.25) სახეზე

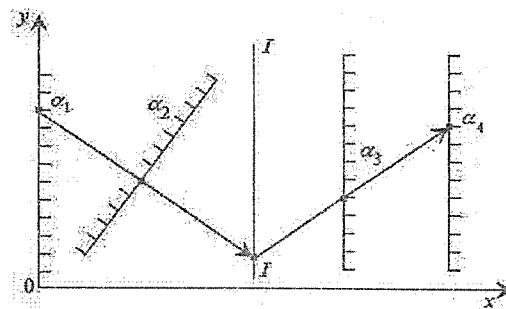
$$f_1 = I \cdot \frac{1}{f_2},$$

ხოლო მეორე (1.22) სახეზე

$$I + (-f_4) = f_3.$$

პირველი განტოლება შეიძლება წარმოიდგინოთ α_1 და I პარალელური სკალებით და α_2 სწორხასოვანი დახრილი სკალით, მეორე განტოლება კი $-I, \alpha_3$ და α_4 სამი პარალელური სკალით. I მუნჯი სკალა ასეთი სასის ნომოგრამებში უნდა იყოს საერთო ორივე განტოლებისათვის. შედეგად მივიღებთ შედგენილ ნომოგრამას, რომლის სქემა მოცემულია 1.16 ნახაზზე.

ანალოგიურად ნომოგრაფირდება (1.27)-ისგან განსხვავებული სხვა ფორმებიც, მაგალითად $f_1 + f_2 = f_3 + f_4$.



ნახ. 1.16 გასწორებული წერტილების შედგენილი ნომოგრამის სქემა (1.27) ფორმისათვის.

შედგენილი ნომოგრამით სარგებლობის გასაღები შემდეგში მდგომარეობს: მოცემული α_1 და α_2 სიღიღებით სახაზავის ერთი დადებით ვპოულობთ მუნჯ I სკალაზე წერტილს, ხოლო სახაზავის მეორე დადებით მიღებულ წერტილსა და მოცემულ α_3 ან α_4 სკალაზე, ვიპოვთ პასუხს α_4 ან α_3 სკალაზე. როგორც ვხედავთ, თუ ელემენტარულ ნომოგრამაზე პასუხს სახაზავის ერთი დადებით ვპოულობდთ, შედგენილ ნომოგრამაზე ორჯერ ან მეტჯერ (როდესაც რამდენიმე მუნჯი სკალა გვაქვს) გვიჩდება ამ თანაციის შესრულება.

შედგენილი ნომოგრამის მაგალითი წიგნში წარმოდგენილია 3.6 ნახაზით.

1.6. ტრანსპარანტული ნომოგრამა და მისი აგების მეთოდით

როგორც (1.2 პარაგრაფში) აღვნიშნეთ, ორიენტირებული ტრანსპარანტული ნომოგრამების აგების პრინციპი ემყარება დეკარტის კოორდინატთა სისტემის x და y დერძების გასწრივ გადაადგილებას დერძების მოპრუნების გარეშე. თუ დერძების მოპრუნებასაც ვქნება ადგილი, მაშინ ზოგადი სახის ტრანსპარანტულ ნომოგრამასთან გვაქვს საქმე.

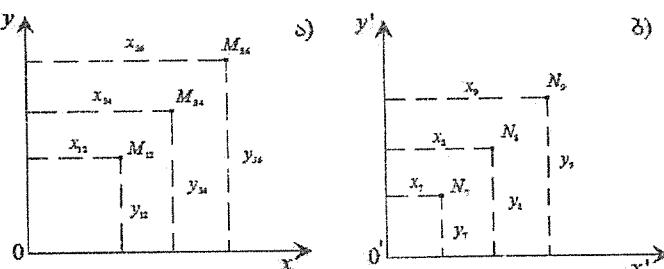
წინამდებარე წიგნში სათანადო ამოცანებში, გამოყენებულია ორიენტირებული ტრანსპარანტული ნომოგრამები, როგორც გამჭვირვალე, ისე გაუმჭვირვალე ტრანსპარანტებით, რომელთა მოძრავ ნაწილზე ანუ ტრანსპარანტზე განლაგებულია როგორც ბინარული ველები, ისე სკალები. ამიტომ ქვემოთ ძირითადად, ასეთი სახის ნომოგრამების აგების მეთოდიკას განვიხილავთ.

მრავალი საინჟინრო-გეოლოგიური ამოცანა შეიძლება დაყვანილ იქნეს ტრანსპარანტული ნომოგრამის შემდეგ სახეზე:

$$\begin{aligned} f_{12} - f_7 &= f_{34} - f_8 = f_{56} - f_9; \\ g_{12} - g_7 &= g_{34} - g_8 = g_{56} - g_9. \end{aligned} \quad (1.28)$$

სადაც f_{12} არის $f_{12}(\alpha_1, \alpha_2)$ ორცვლადანი ფუნქციის შემოკლებული აღნიშვნა ; f_7 არის $f_7(\alpha_7)$ ერთცვლადიანი ფუნქციის აღნიშვნა და ა.შ. კერძო შემთხვევებში $f_{12}, f_{34}, f_{56}, g_{12}, g_{34}, g_{56}$ ფუნქციებიდან რომელიმე ერთი ან რამდენიმე შეიძლება იყოს ერთცვლადიანი ან ზოგჯერ მუდმივი სიღიღევი, ასევე $f_7, f_8, f_9, g_7, g_8, g_9$ ერთცვლადიანი ფუნქციებიდან ზოგიერთი შეიძლება იყოს მუდმივი სიღიღე.

დავუშვათ, გვაქვს ორი სიბრტყე – ერთი xoy კოორდინატთა სისტემით და მეორე $x'oy'$ კოორდინატთა სისტემით (ნახ. 1.17)



ნახ. 1.17 წერტილები თავისინთი კოორდინატებით ნომოგრამაზე:
ა) უძრავი ნაწილი; ბ) მოძრავი ნაწილი – ტრანსპარანტი.

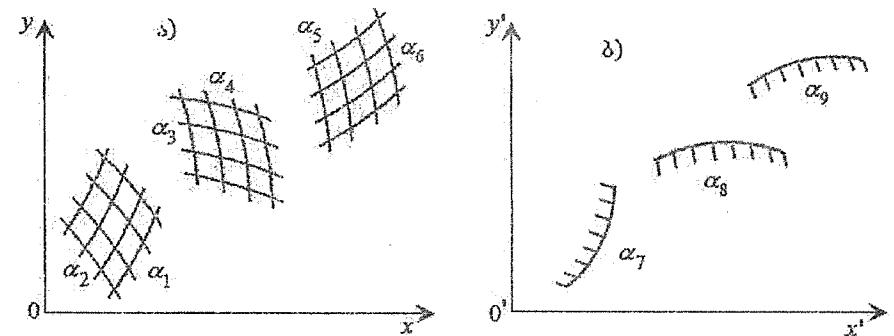
ნახ. 1.17- ზე x_{12} და y_{12} არის M_{12} წერტილის კოორდინატები, ასევე x_{34} და y_{34} – M_{34} -ის, x_{56} და y_{56} – M_{56} -ის, ხოლო მოძრავ ნაწილზე x_7, y_7, x_8, y_8 და x_9, y_9 არიან N_7, N_8 და N_9 წერტილების კოორდინატები.

მივიღოთ f_{12} და g_{12} ფუნქციები M_{12} წერტილის მიმდინარე კოორდინატებად, ასევე f_{34} და g_{34} – M_{34} -ის, ხოლო f_{56} , და g_{56} – M_{56} -ის. მსგავსად, f_7 და g_7 , f_8 და g_8 , f_9 და g_9 ფუნქციები მივიღოთ N_7, N_8 და N_9 წერტილების მიმდინარე კოორდინატებად, მაშინ (1.28)-ის ნაცვლად გვექნება

$$\begin{aligned} x_{12} - x_7 &= x_{34} - x_8 = x_{56} - x_9, \\ y_{12} - y_7 &= y_{34} - y_8 = y_{56} - y_9. \end{aligned} \quad (1.29)$$

(1.29) დამოკიდებულებები კავშირს ამყარებს უძრავ ნაწილზე განლაგებული M_{12}, M_{34}, M_{56} წერტილების კოორდინატებსა და მოძრავ ნაწილზე განლაგებული N_7, N_8 და N_9 წერტილების კოორდინატებს შორის. აღნიშნულის გვომეტრიული ინტერპრეტაცია ასეთია: თუ ნომოგრამის ბ) მოძრავ ნაწილს ისე დავდებთ ა) უძრავ ნაწილზე, რომ $o'x'$ ღერძი პარალელური იქნება ox ღერძის, N_7 წერტილი დამტკვეთა M_{12} წერტილს, მაშინ N_8 და M_{34} , აგრეთვე N_9 და M_{56} წერტილებიც დამტკვეთი ერთმანეთს. უკანასკნელი, უშაულოდ გამომდინარეობს (1.29)-ის წერტილთა კოორდინატების სხვაობების ტოლობის პირობიდან.

ზოგადად, $x_{12} = f_{12}$, $y_{12} = g_{12}$ და ა.შ. ტოლობებს შეესაბამება უძრავ ნაწილზე (α_1, α_2), (α_3, α_4), (α_5, α_6) ბინარული ველები (ნახ. 1.18 ა), ხოლო $x_7 = f_7$, $y_7 = g_7$ და ა.შ. ტოლობებს შეესაბამება ნომოგრამის მოძრავ ნაწილზე ანუ ტრანსპარანტზე – $\alpha_7, \alpha_8, \alpha_9$ სკალები შეესაბამისად (ნახ. 1.18 ბ).



ნახ. 1.18. ორიენტირებულ ტრანსპარანტიანი ნომოგრამის სქემა:
ა) უძრავი ნაწილი; ბ) ტრანსპარანტი.

ამგარად, M_{12}, M_{34} და M_{56} წერტილების გვომეტრიული ადგილი უძრავ ნაწილზე (α_1, α_2), (α_3, α_4) და (α_5, α_6) ბინარული ველებია. ასევე N_7, N_8 და N_9 წერტილების გვომეტრიული ადგილი მოძრავ ნაწილზე – α_7, α_8 და α_9 სკალებია. (1.29) ტოლობები კი (1.28) ტოლობების გვომეტრიული ინტერპრეტაციაა. 1.18 ნახაზზე წარმოდგენილ ნომოგრაფიულ კონსტრუქციას ეწოდება ნომოგრამა ორიენტირებული ტრანსპარანტით, სადაც ტრანსპარანტს ზოგჯერ შეიძლება პერსის სახაზავის სახე, რომლის ზედა (ან ქვედა) ნაწილში x ღერძის პარალელურად იქნება განლაგებული სკალები ან ფიქსირებული წერტილები.

ტრანსპარანტის უძრავ ნაწილზე დადგებისას ორიენტირება ხდება ox და $o'x'$ ღერძების პარალელურობით. ამისათვის უძრავ ნაწილზე ატარებენ ox ღერძის პარალელურ გ.წ. საორიენტირო ხაზებს. როდესაც ტრანსპარანტს აქვს სახაზავის სახე, იგი შეიძლება

შესრულდეს ჩვეულებრივ გაუმჯობერვალე ქაღალდზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში სრულდება გამჭვირვალე ქაღალდზე.

(1.28) განტოლებათა სისტემა შეიცავს 9 ცვლადს. შემდება სისტემა შეიცვლება როგორც 9-ზე მეტ, ისე ნაკლებ ცვლადს (მინიმუმია საში, მაქსიმუმი კი არ არის განსაზღვრული).

(1.28) სისტემის ნომოგრამის ელემენტების კოორდინატები გამოიგანისა ცხრილი 1.1-ის სახით

ცხრილი 1.1

x	f_{12}	f_7	f_{34}	f_8	f_{56}	f_9
y	g_{12}	g_7	g_{34}	g_8	g_{56}	g_9

ნომოგრამით სარგებლობის გასაღების მისაღებად (1.28) სისტემაში f ნიშანს ორი ინდექსით შეცვლით M -ით, ხოლო იგივე f ნიშანს ერთი ინდექსით – N -ით, რის შედეგად შეგვიძლია ნომოგრამის უძრავი და მოძრავი ნაწილების კონტაქტი ისე გამოივახოთ

$$M_{12} = |N_7|, \quad M_{34} = |N_8|, \quad M_{56} = |N_9|.$$

ცვლადებით გამოსახვისას გვერდება

$$(\alpha_1, \alpha_2) = |\alpha_7, (\alpha_3, \alpha_4)| = |\alpha_8, (\alpha_5, \alpha_6)| = |\alpha_9,$$

სადაც $| = |$ ნიშანი ორმაგი კონტაქტის ანუ უძრავ და მოძრავ ნაწილებზე წერტილების კონტაქტია. არის წერტილის ზაზთან კონტაქტის აღმნიშვნელი ნიშანიც $| - |$, რომელსაც უძრავო კონტაქტი ჰქია.

სხარებისათვის მოტერზებული ტრანსპარანტული ნომოგრამის ასაგებად საჭიროა შინა ამა თუ იმ სახით გარდაქმნა.

შევიტანოთ (1.28) სისტემის განტოლებებში შემდეგი ნებისმიერი პარამეტრები

$$\delta_x, \delta_y, \mu_x, \mu_y, a, b, c, d, a_0, b_0, a'_0 \text{ და } b'_0$$

(1.28)-ის პირველი ტოლობა ვავამრავლოთ δ_y -ზე, ხოლო მეორე – δ_x -ზე:

$$\begin{aligned} \delta_y f_{12} - \delta_y f_7 &= \delta_y f_{34} - \delta_y f_8 = \delta_y f_{56} - \delta_y f_9, \\ \delta_x g_{12} - \delta_x g_7 &= \delta_x g_{34} - \delta_x g_8 = \delta_x g_{56} - \delta_x g_9. \end{aligned} \quad (1.30)$$

შევგრიბოთ (1.28)-ის პირველი ტოლობის წევრები და (1.30)-ის მეორე ტოლობის წევრები, ასევე (1.28)-ის მეორე ტოლობის და (1.30)-ის პირველი ტოლობის წევრები:

$$\begin{aligned} (f_{12} + \delta_x g_{12}) - (f_7 + \delta_x g_7) &= (f_{34} + \delta_x g_{34}) - (f_8 + \delta_x g_8) = \\ &= (f_{56} + \delta_x g_{56}) - (f_9 + \delta_x g_9); \\ (\delta_y f_{12} + g_{12}) - (\delta_y f_7 + g_7) &= (\delta_y f_{34} + g_{34}) - (\delta_y f_8 + g_8) = \\ &= (\delta_y f_{56} + g_{56}) - (\delta_y f_9 + g_9). \end{aligned} \quad (1.31)$$

გავმრავლოთ (1.31)-ის პირველი ტოლობა μ_x -ზე, ხოლო მეორე – μ_y -ზე:

$$\begin{aligned} (\mu_x f_{12} + \mu_x \delta_x g_{12}) - (\mu_x f_7 + \mu_x \delta_x g_7) &= (\mu_x f_{34} + \mu_x \delta_x g_{34}) - (\mu_x f_8 + \mu_x \delta_x g_8) = \\ &= (\mu_x f_{56} + \mu_x \delta_x g_{56}) - (\mu_x f_9 + \mu_x \delta_x g_9), \\ (\mu_y \delta_y f_{12} + \mu_y g_{12}) - (\mu_y \delta_y f_7 + \mu_y g_7) &= (\mu_y \delta_y f_{34} + \mu_y g_{34}) - (\mu_y \delta_y f_8 + \mu_y g_8) = \\ &= (\mu_y \delta_y f_{56} + \mu_y g_{56}) - (\mu_y \delta_y f_9 + \mu_y g_9). \end{aligned} \quad (1.32)$$

$a, b, c, d, a_0, b_0, a'_0$ და b'_0 პარამეტრების შესატანად დავწეროთ იგივეობა

$$\begin{aligned} a_0 - a'_0 &= (a_0 + a) - (a'_0 + a) = (a_0 + c) - (a'_0 + c), \\ b_0 - b'_0 &= (b_0 + b) - (b'_0 + b) = (b_0 + d) - (b'_0 + d). \end{aligned} \quad (1.33)$$

შევაჯამოთ (1.32) და (1.33) სისტემების პირველი და მეორე ტოლობების წევრები:

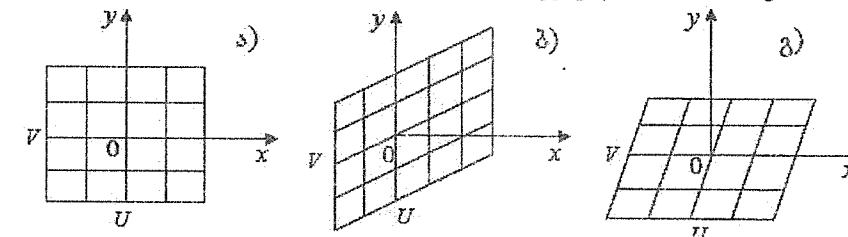
$$\begin{aligned} (a_0 + \mu_x f_{12} + \mu_x \delta_x g_{12}) - (a'_0 + \mu_x f_7 + \mu_x \delta_x g_7) &= \\ = (a_0 + a + \mu_x f_{34} + \mu_x \delta_x g_{34}) - (a'_0 + a + \mu_x f_8 + \mu_x \delta_x g_8) &= \\ = (a_0 + c + \mu_x f_{56} + \mu_x \delta_x g_{56}) - (a'_0 + c + \mu_x f_9 + \mu_x \delta_x g_9), & \\ \left. \begin{aligned} (b_0 + \mu_y \delta_y f_{12} + \mu_y g_{12}) - (b'_0 + \mu_y \delta_y f_7 + \mu_y g_7) &= \\ = (b_0 + b + \mu_y \delta_y f_{34} + \mu_y g_{34}) - (b'_0 + b + \mu_y \delta_y f_8 + \mu_y g_8) &= \\ = (b_0 + d + \mu_y \delta_y f_{56} + \mu_y g_{56}) - (b'_0 + d + \mu_y \delta_y f_9 + \mu_y g_9). & \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (1.34)$$

(1.34) განტოლებათა სისტემა იგივეურად გარდაქმნილი (1.28) სისტემა და მისი ნომოგრამა იგივე დამოკიდებულების გეომეტრიული გამოშსახველი იქნება. გარდაქმნილი ნომოგრამის ელემენტების განტოლებები მოცემულია 1.2 ცხრილში.

ცხრ.1.2

ნომოგრამის უძრავი ნაწილი			
	ველი (α_1, α_2)	ველი (α_3, α_4)	ველი (α_5, α_6)
x	$a_0 + \mu_x f_{12} + \mu_x \delta_x g_{12}$	$a_0 + a + \mu_x f_{34} + \mu_x \delta_x g_{34}$	$a_0 + c + \mu_x f_{56} + \mu_x \delta_x g_{56}$
y	$b_0 + \mu_y \delta_y f_{12} + \mu_y g_{12}$	$b_0 + b + \mu_y \delta_y f_{34} + \mu_y g_{34}$	$b_0 + d + \mu_y \delta_y f_{56} + \mu_y g_{56}$
ნომოგრამის მოძრავი ნაწილი (ტრანსპარანტი)			
	საქალა ას ₇	საქალა ას ₈	საქალა ას ₉
x	$a'_0 + \mu_x f_7 + \mu_x \delta_x g_7$	$a'_0 + a + \mu_x f_8 + \mu_x \delta_x g_8$	$a'_0 + c + \mu_x f_9 + \mu_x \delta_x g_9$
y	$b'_0 + \mu_y \delta_y f_7 + \mu_y g_7$	$b'_0 + b + \mu_y \delta_y f_8 + \mu_y g_8$	$b'_0 + d + \mu_y \delta_y f_9 + \mu_y g_9$

ნომოგრამის გარდამქმნელი პარამეტრების გეომეტრიული არსი შემდეგია: μ_x და μ_y პარამეტრები აბსცისთა და ორდინატთა ღრეულების გასწვრივ მასშტაბს (მოდულს) განსაზღვრავენ, δ_x პარამეტრი წარმოადგენს ox ღრემის გასწვრივ მვრას ($\delta_y = 0$ ღროს), ხოლო δ_y პარამეტრი – oy ღრემის გასწვრივ ($\delta_x = 0$ ღროს). δ_x და δ_y პარამეტრების ნომოგრამის ელემენტებზე ზეგავლენის იღუსტრაცია მოცემული 1.19 ნახაზზე.



ნახ. 1.19 ქვედრატის გარდაქმნა ღრეულების გასწვრივ მვრისას:

ა) (U, V) ველი გარდაქმნაზე;

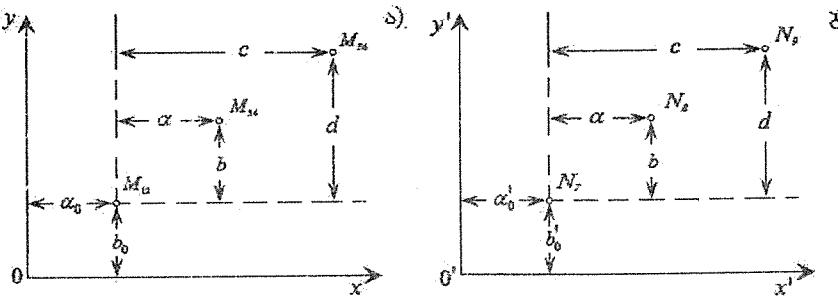
ბ) იგივე ველი ox ღრემის გასწვრივ მვრისას (δ_x).

გ) ველი oy ღრემის გასწვრივ მვრისას (δ_y).

1.19 ა) ნახაზზე გამოსახულია (U, V) ბინარული ველი δ_x და δ_y პარამეტრების შეტანამდე $x = \mu_x U$, $y = \mu_y V$;

1.19 ბ) და 1.19 გ) ნახაზებზე იგივე ველია გამოსახული δ_x და δ_y პარამეტრების შეტანის შემდეგ: $x = \mu_x(U + \delta_x V)$, $y = \mu_y V$; $x = \mu_x U$, $y = \mu_y(\delta_y U + V)$.

ა, b , c , d , a_0 , b_0 , a'_0 და b'_0 პარამეტრების გეომეტრიული არსი მოცემულია 1.20 ნახაზზე.



ნახ. 1.20. $a_0, b_0, a'_0, b'_0, a, b, c, d$ პარამეტრების გეომეტრიული არსი:

ა) ნომოგრამის უძრავი ნაწილი; ბ) ტრანსპარანტი.

ნახაზზე მოცემული პარამეტრებით აიგება ბინარული ველებისა და სკალარის განტოლებები უძრავ და მოძრავ ნაწილებზე.

ცხრილი 1.2-დან და ნახ. 1.20-დან ჩანს, რომ a_0 და b_0 განსაზღვრავენ უძრავ ნაწილზე კოორდინატთა სათავეს, ხოლო a'_0 და b'_0 პარამეტრები – ტრანსპარანტზე. a, b, c და d პარამეტრები საშუალებას გვაძლევენ მოხერხებულად განვალაგოთ (α_1, α_2) , (α_3, α_4) და (α_5, α_6) ბინარული ველები ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე და შესაბამისდ α_7, α_8 და α_9 სკალარი ტრანსპარანტზე.

(1.28) კანონიგური ფორმაზეა დაყვანილი და აგებულია შესაბამისი ნომოგრამები წიგნის მეოთხე თავის შემდეგი ამოცანებისათვის:

1. საშენებლო ბაზის ელემენტების სიზუსტეთა ანგარიში;
2. ემპირიული ფორმულის პარამეტრების ანგარიში ვრცელიკალური დაწევებითა და სიჩქარით ექსპონენციალური დამოკიდებულებისათვის;
3. ემპირიული ფორმულის პარამეტრების ანგარიში პაპერბოლური დამოკიდებულებისათვის.

(1.28) კანონიგური ფორმის კერძო შემთხვევა გამოყენებული დეფორმაციული პარამეტრების ანგარიშისას დაწევის, დაწევის სიჩქარისა და დაწევის აჩქრების გამოყენებით, რომელიც ოთხი და ოთხი სკალითა წარმოდგენილი უძრავ და მოძრავ ნაწილებზე.

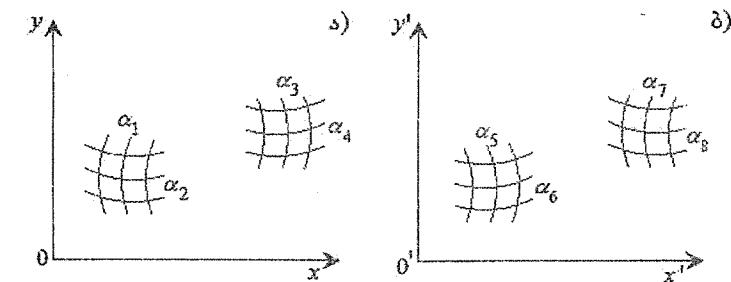
ტრანსპარანტული ნომოგრამის ზოგადის სახის ფორმა, რომლისგანაც კერძო შემთხვევების სახით მიიღება როგორც ბინარულებინარ, ისე სკალარიანი (რამდენიმე ბინარული ველითა და სკალით) ნომოგრამები, მოცემულია ქვემოთ (კანონიგური ფორმა (1.35))

$$\begin{aligned} f_{12} - f_{1+2n,2+2n} &= f_{2K-1,2K} - f_{2K-1+2n,2K+2n}, \\ g_{12} - g_{1+2n,2+2n} &= g_{2K-1,2K} - g_{2K-1+2n,2K+2n}, \\ K &= 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (1.35)$$

როდესაც (1.35) სისტემაში $n = 2$, მივიღებთ შემდეგ ფორმას

$$\begin{aligned} f_{12} - f_{56} &= f_{34} - f_{78} \\ g_{12} - g_{56} &= g_{34} - g_{78} \end{aligned} \quad (1.36)$$

(1.36) ფორმის ტრანსპარანტული ნომოგრამის უძრავ და მოძრავ ნაწილებზე გვექნება ორ-ორი ბინარული ველი (შესაძლებელია რომელიმე ბინარული ველი შეცვალოს სკალარ), რომლის სქემა მოცემულია 1.21 ნახაზზე.



ნახ. 1.21. (1.36) კანონიგური ფორმის ტრანსპარანტული ნომოგრამის სქემა:

ა) უძრავი ნაწილი; ბ) ტრანსპარანტი.

1.21. ნახაზზე მოცემული ნომოგრამით სარგებლობის გასაღება:

$$\alpha x || \alpha' x'; (\alpha_1, \alpha_2) | = |(\alpha_5, \alpha_6); (\alpha_3, \alpha_4) | = |(\alpha_7, \alpha_8).$$

(1.36) ფორმის ნომოგრამის აგების მეთოდიკა იგივეა, რაც (1.28)-თვის იმ განსხვავებით, რომ (1.28) სისტემა მოიცავდა უძრავ ნაწილზე 3 ბინარულ ველს, ხოლო მოძრავზე – სამ სკალარს.

(1.36) სისტემა კი როგორც უძრავ, ისე მოძრავ ნაწილზე უეცავს ორ-ორი ბინარულ ველს. ნომოგრამის შემადგენელი ბინარული ველების გლეხმუნტებების განტოლებები კოორდინატებში და გარდაქმნის პარამეტრები მოცემულია 1.3 ცხრილში.

$\mu_x, \mu_y, \delta_x, \delta_y, a_0, b_0, a'_0, b'_0, a, b$, გარდაქმნის პარამეტრების არსი იგივეა, რაც ზემოთ იყო განმარტებული. ამ პარამეტრების შერჩევაზეა დამოკიდებული, თუ რამდენად მოხერხდებული იქნება ნომოგრამა ხმარებისას.

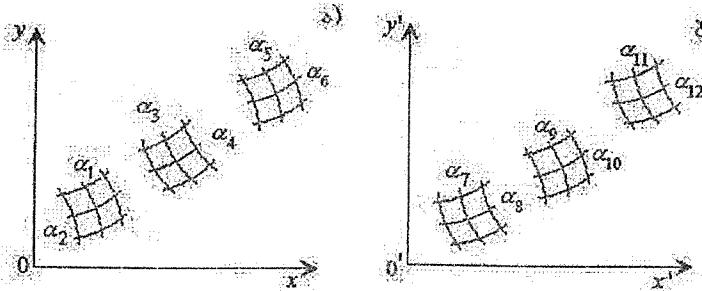
ცხრილი 1.3

ნომოგრამის უძრავი ნაწილი		
კოორდინატები	ბინარული ველი (α_1, α_2)	ბინარული ველი (α_3, α_4)
x	$a_0 + \mu_x(f_{12} + \delta_x g_{12})$	$a_0 + a + \mu_x(f_{34} + \delta_x g_{34})$
y	$b_0 + \mu_y(\delta_y f_{12} + g_{12})$	$b_0 + b + \mu_y(\delta_y f_{34} + g_{34})$
ტრანსპარანტი		
კოორდინატები	ბინარული ველი (α_5, α_6)	ბინარული ველი (α_7, α_8)
x	$a'_0 + \mu_x(f_{56} + \delta_x g_{56})$	$a'_0 + a + \mu_x(f_{78} + \delta_x g_{78})$
y	$b'_0 + \mu_y(\delta_y f_{56} + g_{56})$	$b'_0 + b + \mu_y(\delta_y f_{78} + g_{78})$

(1.36) ტიპის ნომოგრამაა გამოყენებული წიგნში გადმოცემული ვერტიკალური დაწევების ექსპონენციალური ფორმულის პარამეტრების სიდიდეთა დასადგენად.

თუ (1.35) ზოგადი სახის ტრანსპარანტული ნომოგრამის ფორმაში მივიღებთ, რომ $n = 3$ გვექნება სამ-სამი ბინარული ველების შეცველი ნომოგრამა, რომლის სქემა გამოსახულია 1.22 ნახაზზე და რომლის კანონიგური ფორმა:

$$\begin{aligned} f_{12} - f_{78} &= f_{34} - f_{9,10} = f_{56} - f_{11,12}, \\ g_{12} - g_{78} &= g_{34} - g_{9,10} = g_{56} - g_{11,12}. \end{aligned} \quad (1.37)$$



ნახ. 1.22. (1.37) კანონიგური ფორმის ტრანსპარანტული ნომოგრამის სქემა:
ა) უძრავი ნაწილი; ბ) ტრანსპარანტი.

ნომოგრამით სარგებლობის გასაღებია:

$$\begin{aligned} ox \parallel o'x' ; (\alpha_1, \alpha_2) &=|(\alpha_7, \alpha_8); (\alpha_3, \alpha_4) =|(\alpha_9, \alpha_{10}); \\ (\alpha_5, \alpha_6) &=|(\alpha_{11}, \alpha_{12}). \end{aligned}$$

(1.37) ფორმის ნომოგრამის ელემენტების განტოლებები მოცემულია 1.4 ცხრილში.

ცხრილ 1.4.

ნომოგრამის უძრავი ნაწილი			
კოორდინატები	ველი (α_1, α_2)	ველი (α_3, α_4)	ველი (α_5, α_6)
x	$a_0 + \mu_x(f_{12} + \delta_x g_{12})$	$a_0 + a + \mu_x(f_{34} + \delta_x g_{34})$	$a_0 + c + \mu_x(f_{56} + \delta_x g_{56})$
y	$b_0 + \mu_y(\delta_y f_{12} + g_{12})$	$b_0 + b + \mu_y(\delta_y f_{34} + g_{34})$	$b_0 + d + \mu_y(\delta_y f_{56} + g_{56})$
ტრანსპარანტი			
კოორდინატები	ველი (α_7, α_8)	ველი (α_9, α_{10})	ველი (α_{11}, α_{12})
x	$a'_0 + \mu_x(f_{78} + \delta_x g_{78})$	$a'_0 + a + \mu_x(f_{9,10} + \delta_x g_{9,10})$	$a'_0 + c + \mu_x(f_{11,12} + \delta_x g_{11,12})$
y	$b'_0 + \mu_y(\delta_y f_{78} + g_{78})$	$b'_0 + b + \mu_y(\delta_y f_{9,10} + g_{9,10})$	$b'_0 + d + \mu_y(\delta_y f_{11,12} + g_{11,12})$

პარამეტრების სათანადოთ შერჩევით მიეღობთ 1.22 ნახაზზე გამოსახულ ტრანსპარანტული ნომოგრამის შეგავსს.

ამ ტიპის ნომოგრამითაა წარმოდგენილი წიგნის მეოთხე თავში მოცემული საწმენდი სანგრევის პარამეტრების საოპტიმიზაციო ამოცანა (ნახ. 4.7).

ყოველივე ზემონათქვამიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ორიენტირებული ტრანსპარანტული ნომოგრამებით შეგვიძლია წარმოგადგინოთ მრავალცვლადიანი განტოლებები და განტოლებათა სისტემები, როგორც ბინარული ველებითა და სკალებით, ისე გამჭვირვალე და გაუმჭვირვალე (სახაზავის სახის) ტრანსპარანტებით. (1.35) ზოგადი კანონიგური ფორმის ტრანსპარანტული ნომოგრამების კერძო შემთხვევებიდან ჩვენ, საჭიროებიდან გამომდინარე, განვიხილეთ მხოლოდ (1.36) 8 უცნობის შემცველი ფორმისა და (1.37) 12 უცნობის შემცველი ფორმის ნომოგრამების აგების მეთოდიგა უძრავ და მოძრავ ნაწილებზე ბინარული ველებით,

აგრეთვე (1.28) კანონიგური ფორმისა 9 უცნობით უძრავ ნაწილზე ველებითა და მოძრავზე – სკალებით.

დაბოლოს, გვინდა აღვნიშნოთ, რომ უამრავი სახის ნომოგრამებიდან ჩვენ განვიხილეთ მხოლოდ იმ ტიპის ნომოგრამების აგების მეთოდიკა, რომლებიც წარმოდგენილია წიგნში სათანადო საინჟინრო-გეოდეზიური ამოცანებით. განვიღეული ნომოგრამების გამოყენება შესაძლებელია როგორც გამოთვლითი მიზნით, ისე უუნჯციონალურ დამოკიდებულებათა ანალიზისათვეის.

გამოთვლითი მიზნით ნომოგრამების გამოყენების არე განისაზღვრება პასუხის მიღების იმ სიზუსტით, რომელსაც ნომოგრამა იძლევა. ეს სიზუსტე კი დამოკიდებულია ნომოგრაფირებადი ფორმულის სახეზე, უცნობების ცვალებადობათა ზღვრებზე, ნომოგრამის შერჩევულ ტიპზე (ერთი და იგივე ფორმულისათვის ზოგვერ რამდენიმე სახის ნომოგრამის აგება შეიძლება), ნახაზის ზომებზე და სხვა. გამოთვლების მიზნით შერჩევული ნომოგრამებიდან ფველაზე მოხერხებულ და მისადაგებულ ნომოგრამებად ითვლება გასწორებული წერტილების ელემენტარული და ორიენტირებული ტრანსპარანტული ნომოგრამება.

ნომოგრამა, რომლის დანიშნულება უუნჯციონალური დამოკიდებულების გაანალიზებაა, ამ დამოკიდებულების თვალსაჩინო გეომეტრიულ გამოსახულებას უნდა იძლეოდეს. უცნობების ცვალებადობათა ზღვრები სასურველია სრული იყოს, რომ მოვიცვათ ყველა შესაძლო შემთხვევა. ასეთ შემთხვევებშიც ყველაზე მოხერხებული სახის ნომოგრამებია – გასწორებული წერტილებისა და ორიენტირებული ტრანსპარანტის.

ფართო გამოყენებას პარულობს ნომოგრაფიული მეთოდები ემპირიული ფორმულის პარამეტრების შერჩევის ამოცანებში, რომლებიც საგმაოდაა წარმოდგენილი წიგნში (ნახ. 4.3; 4.4; 4.5; 4.6).

უნდა აღინიშნოს, რომ 3 ცვლადიანი დამოკიდებულებები ყოველთვის შევეღიძლია გამოვსახოთ ბალური ნომოგრამით ან, ზოგვერ გასწორებული წერტილებისა და ტრანსპარანტული ნომოგრამებით. თუ გვაქვს 4 და მეტ ცვლადიანი დამოკიდებულებები მათი წარმოდგენა ნომოგრამებით ყოველთვის არ ხერხდება.

განსაკუთრებული ყურადღება ნომოგრამის აგებისას უნდა მიექცეუს ცვლადების ცლილებათა დაიაპაზონისა და გარდაქმნის პარამეტრების შერჩევას.

მიახლოებითი ნომოგრაფირების შემთხვევაში პასუხის მიღების სიზუსტის შეფასებისას, აუცილებელია არა მარტო აპროქსიმაციის ცდომილების, არამედ ნომოგრამით სარგებლობის ცდომილების გათვალისწინებაც.

ნომოგრამების საბოლოო სახით გაფორმება ისე უნდა მოხდეს, რომ მაქსიმალურად გამარტივდეს მათი გამოყენება. ნახაზს თან უნდა ერთვოდეს სარგებლობის თვალსაჩინო გასაღები და კონკრეტული მაგალითი.

თავი 2. საინჟინრო გეოლოგიის ამოცანები, უარმოდგენილი გადური ნომობრამები

ბადური ტიპის ნომოგრამების ერთ-ერთი კერძო შემთხვევის – დეკარტის მართკუთხა აბაკების სახით არის წარმოდგენილი ქვემოთ მოცემული გეოლოგიური ამოცანების გრაფიკული ამოხსნები. ეს ამოცანებია: მრავალსაფეხურიან გეოლოგიურ ქველში ცალკეული საფეხურის სიზუსტის ანგარიში; ტრილატერაციის ქსელში კუთხების განსაზღვრის სიზუსტეთა ანგარიში; პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ფარდობითი ცდომილების ანგარიში; გაჭირულ პოლიგონმცემრიულ ქსელში დირექციული კუთხის შეკვეთის ანგარიში.

2.1. მრავალსაფეხურიან ქსელში ცალკეული

საფეხურის სიზუსტის ანგარიში

მსხვილმასშტაბიანი აგეგმების იმ ტერიტორიაზე, რომელზეც გეოლოგიური გეგმური საფეხურის საყრდენი პუნქტები არ გავაქს, ცალკეულ საფეხურში მოთხოვნილი სიზუსტის საანგარიშოდ ვიყენებოთ შემდეგ პირობას – მრავალსაფეხურიანი ქსელის ბოლო საფეხურზე 1 კმ-ით დაშორებული ორი პუნქტის ურთიერთმდებარების ცდომილება ყველა წინა საფეხურებში განაზომთა შეცდომების გათვალისწინებით, არ აღემატება m_0 სიღრმეს. თითოეულ საფეხურში განაზომთა შეცდომების გავლენა m_0 ჯამურ სიღრმეზე აღვნიშნოთ m_1, m_2, \dots, m_n -ით, სადაც m -ის ინდექსი საფეხურის რიგით ნომერს აღნიშნავს. რადგანაც ისინი ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი სიღრმეებია, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ [12, 14, 15]

$$m_0 = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2}. \quad (2.1)$$

m_i ($i = 1, 2, \dots, n$) სიღრმე საფეხურის განვითარების ნებისმიერ საფეხურზე შეიძლება გამოვთვალით ფორმულით [12, 13, 15]

$$m_i = \frac{m_0 \cdot k^{i-1}}{\sqrt{1 + k^2 + k^4 + \dots + k^{2(n-1)}}}, \quad (2.2)$$

სადაც m_0 არის საფეხურის განვითარების ბოლო საფეხურზე 1 კმ-ით დაშორებული ორი პუნქტის ურთიერთმდებარების საერთო ჯამური შეცდომა; k – სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი წინა საფეხურიან მომდევნოზე გადასვლისას; i – საფეხურის რიგითი ნომერია; n – საფეხურების რაოდნობა ერთიან ქსელში.

m_0 სიღრმე გეგმაზე 0,2 მმ მიღება, რაც 1:500 მასშტაბისთვის 10სმ-ია. როგორც (2.2) ფორმულიდან ჩანს, m_i -ის სიღრმე მცირედაა დამოკიდებული n -ზე ანუ საფეხურების რაოდნობაზე და დაზღად არის დამოკიდებული სიზუსტის უზრუნველყოფის k კოეფიციენტზე.

როგორც ბადური ტიპის ნომოგრამების აგების მეთოდიკშია მითითებული (1.4), მისი დახმარებით შესაძლებელია ნებისმიერი სამი ცვლადის შემცველი განტოლების წარმოდგენა გრაფიკულად. რადგან (2.2) განტოლება შეიცავს ოთხ ცვლადს – m_0, k, m_i და n , ამიტომ მეოთხე ცვლადის – n საფეხურების რაოდნობის გარირებით ავგებთ შესაბამისი რაოდნობის გრაფიკული ამონაზნების სერიას. აგებას გახდენთ ორთოვონალური კოორდინატთა ბადის გამოყენებით, რომლის X ღერძს გამთხვევთ m_0 -ს, Y ღერძს – k -ს. m_i ($i = 1, 2, \dots, n$) გამოყენებით, რომლის X ღერძს გამთხვევთ m_0 -ს, Y ღერძს – k -ს. m_i ($i = 1, 2, \dots, n$) მრუდნაზოვანი წირები აიგება (m_0, k) პინარულ ველში, იგივე დეკარტის მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში აბაკების სახით.

ქვემოთ წარმოდგენილი ყველა შემთხვევისათვის ნომოგრამის გარდაქმნის პარამეტრების – m, n, a, b სიღრმეები აგების მეთოდიების მიხედვით ტოლია: $a = 0$; $b = 1$. კოორდინატთა დერძების გასწრივ ბადის სიგრძეები ტოლია $L_x = L_y = 100$ მმ. აქედან გაძომლინარე, აგებული ნახაზებისთვის X ღერძის გასწრივ მასშტაბი $m = 2$, ხოლო Y ღერძის გასწრივ – $n = 40$.

ამ პარამეტრების მიხედვთავა აგებული (2.2) გამოსახულების ბადური ტიპის ნომოგრამები და წარმოდგენილია ქვემოთ ნახაზებზე. ცვლადების ცვლილებათა დაბაზონი ყველა შემთხვევაში აღებულია $m_0 = 0 - 50$ მმ, $K = 1 - 3,5$.

2.1 და 2.2 ნახაზებზე მოცემულია ნომოგრამები თრსაფეხურიანი ქსელის თითოეული საფეხურის – m_1 და m_2 სიზუსტეების განსაზღვრისათვის ($n = 2$):

$$m_1 = m_0 / \sqrt{1 + K^2}; \quad (2.3)$$

$$m_2 = m_0 \cdot k / \sqrt{1 + K^2}. \quad (2.4)$$

2.3, 2.4 და 2.5 ნახაზებზე მოცემულია ნომოგრამები სამსაფეხურიანი ქსელის თითოეული საფეხურის – m_1, m_2 და m_3 სიზუსტეების განსაზღვრისათვის ($n = 3$):

$$m_1 = m_0 / \sqrt{1 + K^2 + K^4}; \quad (2.5)$$

$$m_2 = m_0 \cdot K / \sqrt{1 + K^2 + K^4}; \quad (2.6)$$

$$m_3 = m_0 \cdot K^2 / \sqrt{1 + K^2 + K^4}. \quad (2.7)$$

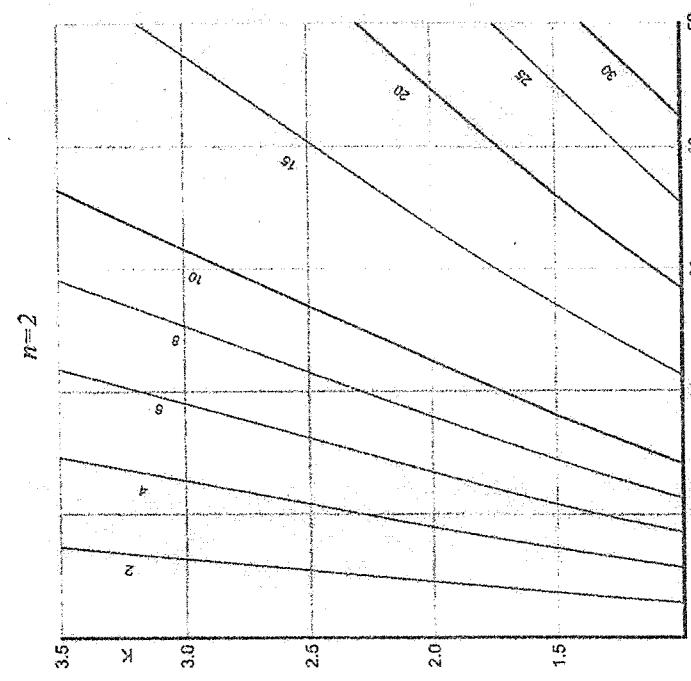
2.6, 2.7, 2.8 და 2.9 ნახაზებზე კა მოცემულია ბადური ტიპის ნომოგრამები თოხსაფეხურიანი ქსელის თითოეული საფეხურის – m_1, m_2, m_3 და m_4 სიზუსტეების განსაზღვრისათვის ($n = 4$):

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 + K^2 + K^4 + K^6}}; \quad (2.8)$$

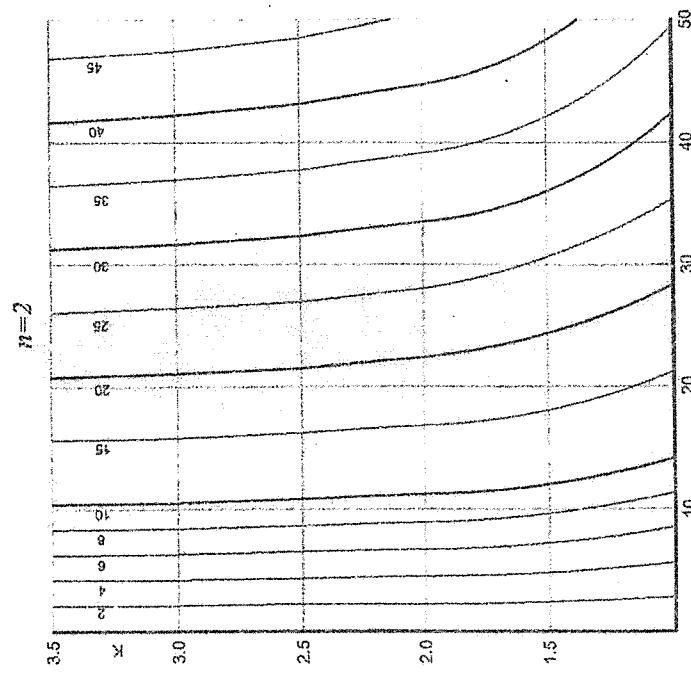
$$m_2 = m_0 \cdot \frac{K}{\sqrt{1 + K^2 + K^4 + K^6}}; \quad (2.9)$$

$$m_3 = m_0 \cdot \frac{K^2}{\sqrt{1 + K^2 + K^4 + K^6}}; \quad (2.10)$$

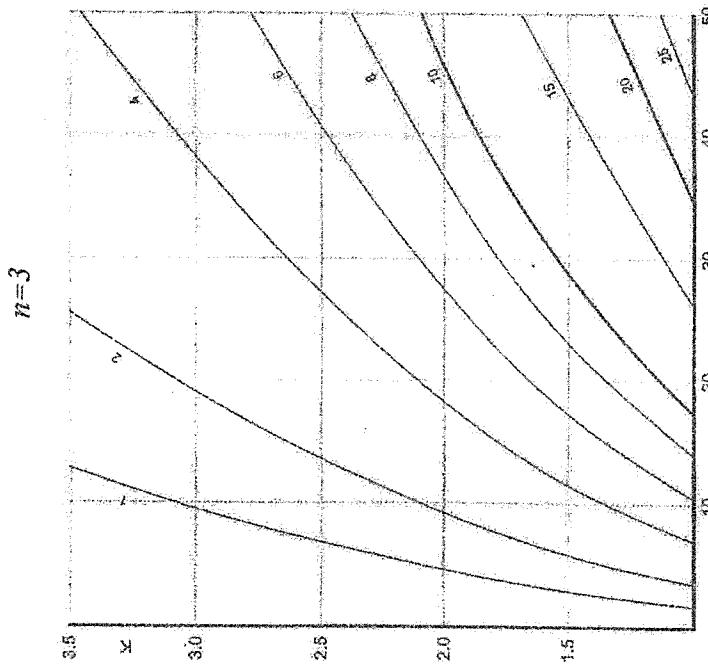
$$m_4 = m_0 \cdot \frac{K^3}{\sqrt{1 + K^2 + K^4 + K^6}}. \quad (2.11)$$



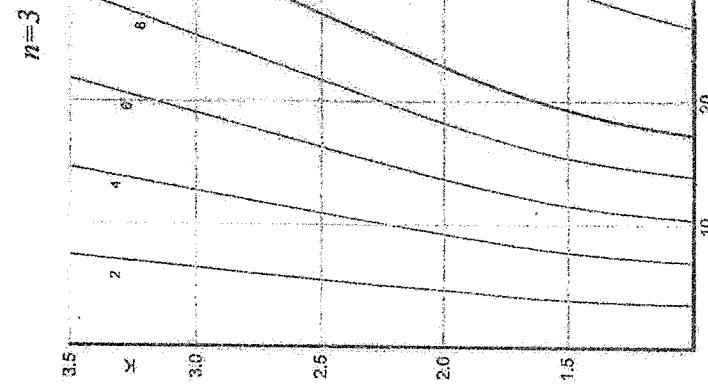
ნახ. 2.1 ნიმუშების (2.3) დაზიანებულების სივრცი



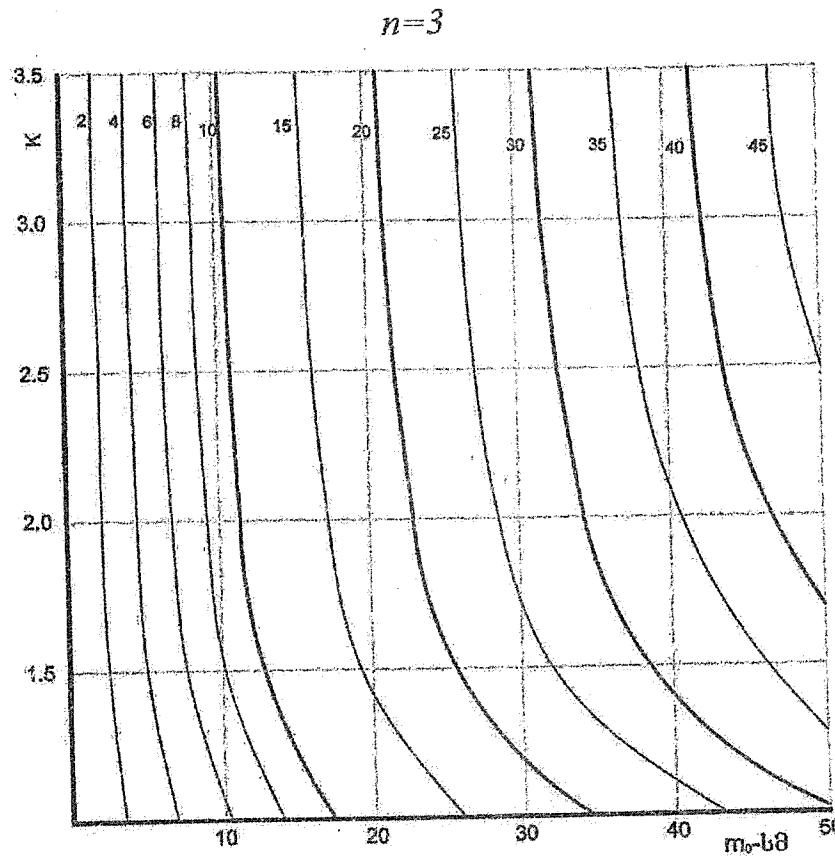
ნახ. 2.2 ნიმუშების (2.4) დაზიანებულების სივრცი



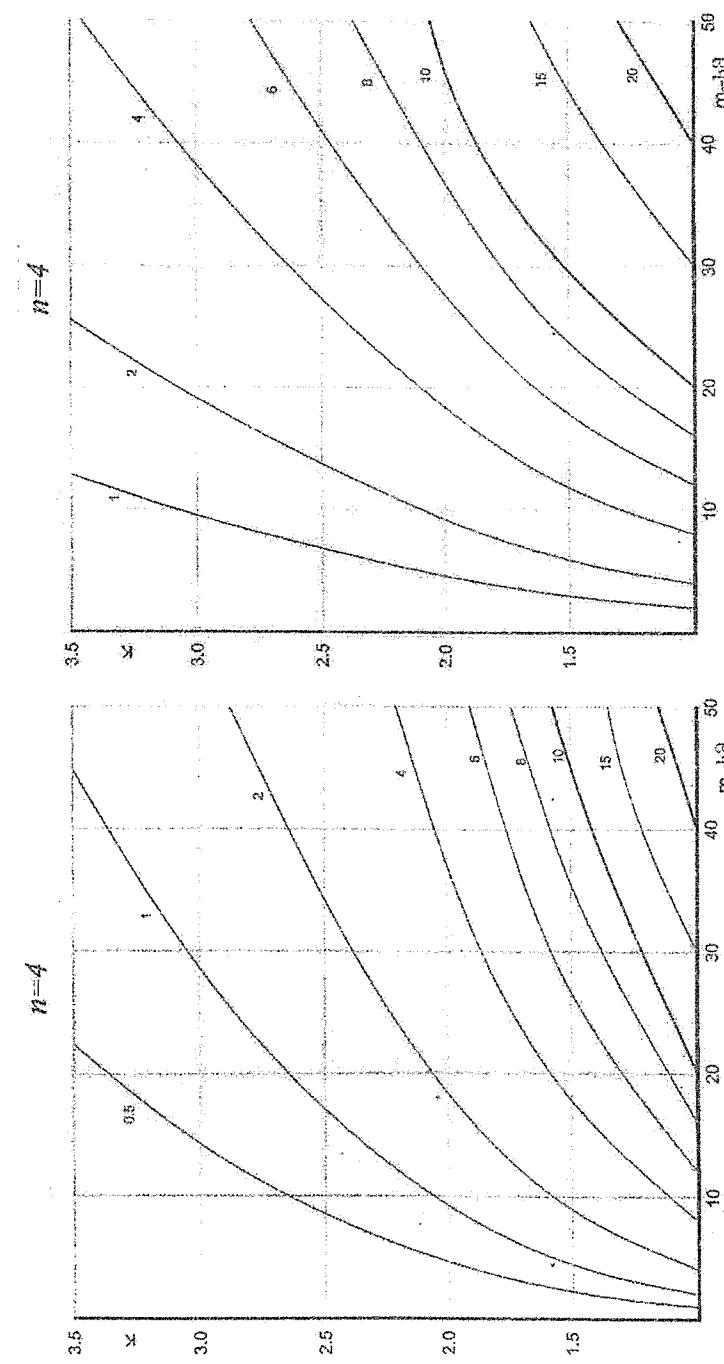
ნახ. 2.3 ნიმუშების (2.5) დაზიანებულების სივრცი



ნახ. 2.4 ნიმუშების (2.6) დაზიანებულების სივრცი

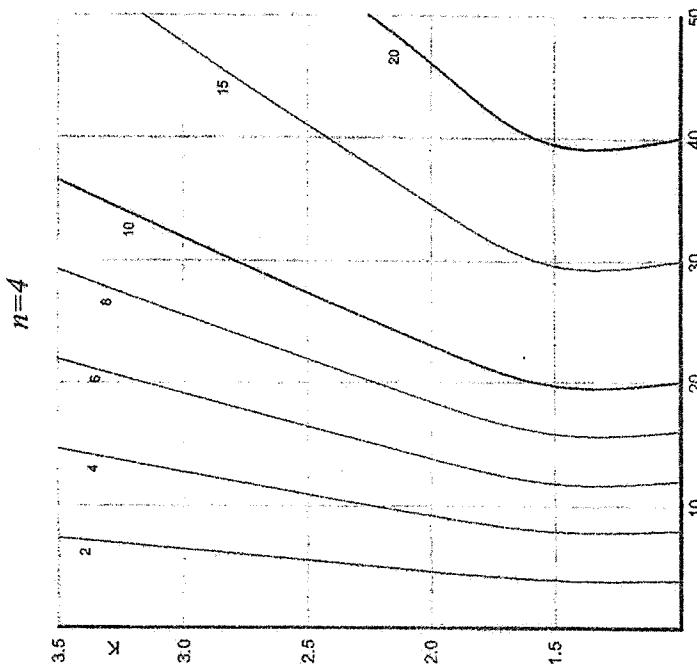


ნახ. 2.5 ნომივრამა (2.7) დამოკიდებულებებისათვის.

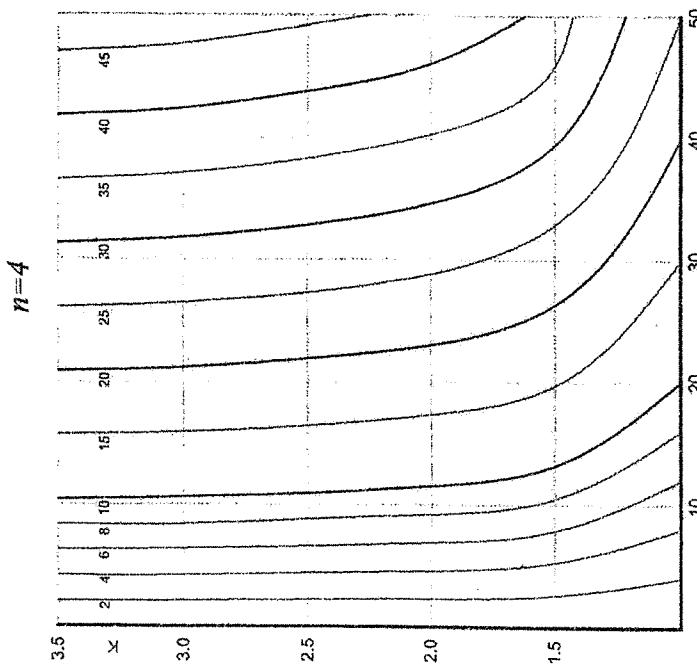


ნახ. 2.6 ნომივრამა (2.8) დამოკიდებულებებისათვის.

ნახ. 2.7 ნომივრამა (2.9) დამოკიდებულებებისათვის.



ნახ. 2.8 ნომერის (2.10) დაზღვეულებულებისათვის



ნახ. 2.9 ნომერის (2.11) დაზღვეულებულებისათვის

ზემოთ მოცემული ბაზური ტიპის ნომერამებით სარგებლობის პრინციპი მარტივია: მოცემული m_0 და K პარამეტრების ნებისმიერი სილიდებით ვაღენთ საფეხურებში სიზუსტეებს; თუ წინასწარ არის ცნობილი საფეხურებში სიზუსტეები და ერთ-ერთი პარამეტრი m_0 ან K , შევვიძლია დაგვადგინოთ მეორე პარამეტრის $-K$ ან m_0 -ის სილიდე. რაც შეეხება ნომოვრმის სიზუსტეს, მასზე წარმოდგენას გვაძლევს ცხრილი 2.1, რომელშიც მოცემულია m_i სიზუსტეების ფორმულებით გამოთვლილი სილიდები $-m_i$ შესაბამისად გრაფიკულად ვამოთვლილი $-m_i$ მრიცხველში. იქნა წილადის მარჯვნივ მოცემულია შეცდომის სიდიდეები პრიცენტებში, რომელიც $1 - 2\%$ -ს იმედითად აღემატება. ასევე მცირე განსხვავებაა (2.1) ფორმულითა და გრაფიკულად განსაზღვრულ m_0 ჯამური შეცდომები სილიდეებს შორის.

ცხრილი 2.1

m_0 , სმ	k	$n = 2$			$n = 3$			$n = 4$					
		m_1	m_2	m_0	m_1	m_2	m_3	m_0	m_1	m_2	m_3	m_4	
10	1,5	$\frac{5,6}{5,5} 1,8$	$\frac{8,1}{8,3} 2,4$	$\frac{9,8}{10,0} 2,0$	$\frac{3,4}{3,5} 2,9$	$\frac{5,1}{5,2} 1,9$	$\frac{7,9}{7,6} 1,3$	$\frac{10,0}{10,0} 0$	$\frac{2,2}{2,25} 2,2$	$\frac{3,3}{3,4} 2,9$	$\frac{5,0}{5,1} 2,0$	$\frac{7,5}{7,6} 1,3$	$\frac{9,8}{10,0} 2,0$
30	2,0	$\frac{13,0}{13,4} 3,0$	$\frac{27,0}{26,8} 0,7$	$\frac{30,0}{30,0} 0$	$\frac{6,3}{6,5} 3,1$	$\frac{13,0}{13,0} 0$	$\frac{26,0}{26,0} 0$	$\frac{29,7}{29,8} 0,3$	$\frac{3,2}{3,25} 1,5$	$\frac{6,5}{6,5} 0$	$\frac{13,0}{13,0} 0$	$\frac{26,0}{26,0} 0$	$\frac{30}{30,2} 0,7$
50	2,5	$\frac{18,0}{18,6} 3,2$	$\frac{46,0}{46,4} 0,9$	$\frac{49,4}{50,0} 1,2$	$\frac{7,5}{7,3} 2,7$	$\frac{18,0}{18,4} 2,2$	$\frac{46,0}{45,9} 0,2$	$\frac{50,0}{50,0} 0$	$\frac{3,2}{3,0} 6,7$	$\frac{7,0}{7,3} 4,1$	$\frac{17,5}{18,3} 4,4$	$\frac{46,0}{45,8} 0,4$	$\frac{49,8}{49,9} 0,2$

2.2 დირექციული კუთხის შეცვლობა გაჭიმულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში

პოლიგონომეტრიას გეგმური გეოლეზიური საფუძვლის აგებისას ფართო გამოყენება აქვს. სამრეწველო და ქალაქის ტერიტორიაზე კუთხებისა და გვერდების გაზომვებისას წარმოიქმნება თავისებურებები, რომელთაც დიდა მნიშვნელობა აქვს პუნქტების კოორდინატების მოთხოვნილი სიზუსტით განსაზღვრის უზრუნველსაყოფად. პოლიგონომეტრიული ქსელების დაპროექტებისას უნდა გათვალისწინებულ იქნეს, რომ ტოლგვერდებიან გაჭიმულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში გვერდის დირექციული კუთხის განსაზღვრის ცდომილება შეიძლება ჩაითვალოს ყველა გვერდისათვის ერთნაირი, თუ ქსელი გაწონასწორდება გამოსავალი დირექციული კუთხეებისა და კოორდინატების პირობებით და იგი გამოისახება ფორმულით [15]

$$m_\alpha = m_\beta \cdot \sqrt{\frac{n^3 - 4n}{16(n^2 - 1)}}, \quad (2.6)$$

სადაც m_α არის პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების დირექციული კუთხის განსაზღვრის სკმ; m_β – პოლიგონომეტრიულ სვლაში კუთხეების გაზომვის სკმ; n – სვლაში გვერდების რაოდენობა.

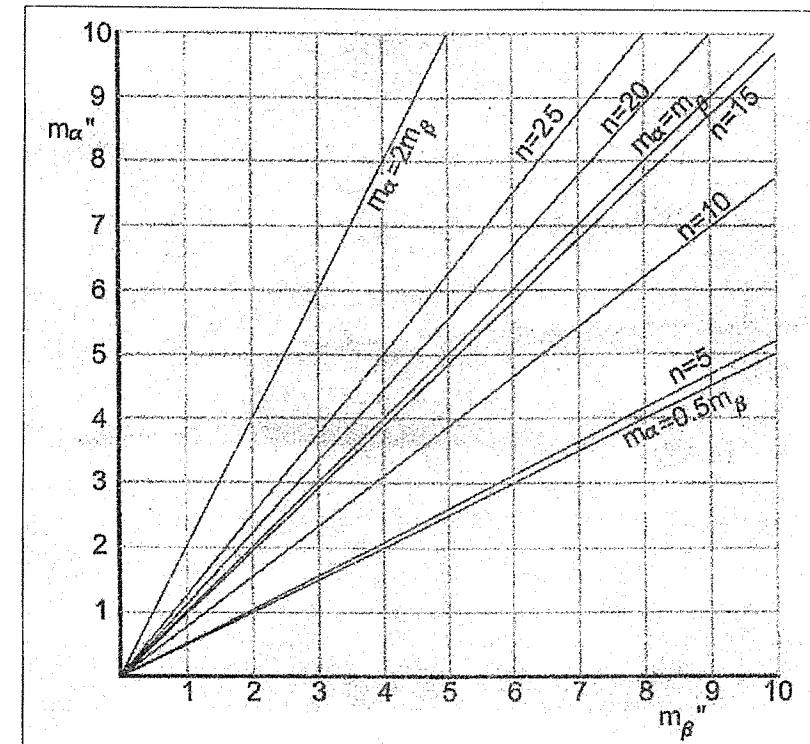
(2.6) ფორმულა შეიცავს სამ ცვლადს და იგი შეიძლება წარმოვადგინოთ ბადური ტიპის ნომოგრამით დეკარტის აბაკის სახით. ნომოგრამის ასაგები პარამეტრებია: $m = n = 10$; $a = b = 0$.

2.10 ნახაზზე მოცემულია (2.6) გამოსახულების ნომოგრამა, რომელითაც მოცემული m_β და n სიდიდეებით შევვიძლია განვსაზღვროთ m_α . ცვლადები მოცემულია შემდეგი ზღვრებში: $m_\beta = 0 \div 10$; $m_\alpha = 0 \div 10$; $n = 5 \div 25$. ნომოგრამაზე ნაჩვენებია დირექციული კუთხისა და კუთხის გაზომვის სკმ გრაფიკები შემდეგი პირობებისათვის: $m_\alpha = 0,5m_\beta (n \approx 5)$; $m_\alpha = m_\beta (n \approx 15)$; $m_\alpha = 2m_\beta (n \approx 65)$.

ნომოგრამით შეგვიძლია განვსაზღვროთ აგრეთვე რა სიზუსტით უნდა გაიზომოს m_β კუთხეები მოცემული m_α და n სიდიდეების დროს ან ის, თუ რამდენგვერდინი ქსელი დაგვჭირდება მოცემული m_β და m_α სიდიდეებისას.

ქვემოთ 2.10 ნახაზზე წარმოდგენილია განხილული ნომოგრამა.

ნომოგრამაზე ჩატარებული გამოთვლების ანალიზმა აჩვენა, რომ გამოთვლების ცდომილება (2.6) ფორმულით გამოთვლილთან შედარებით არ აღემატება 1 – 2%-ს.



ნახ. 2.10 ნომოგრამა (2.6) გამოსახულებისათვის.

2.3. ტრილატერაციის ქსელში კუთხის განსაზღვრის სიზუსტე

სპეციალური საინჟინრო-გეოდეზიური დაკალებისთვის გეოდეზური საფუძვლის ქსელების აგებისას დიდ მნიშვნელობას იქნება განაზომთა გაწონასწორებაში ჩართული გვერდების სიგრძეებისა და კუთხეების განსაზღვრის სიზუსტეთა თანაბარზომიერების საკითხი, მათი სიზუსტეების უთანადობა ართულებს დაკალების თრგანიზაციასა და წარმოებას.

მაგალითისათვის, თუ გვაქვს ტოლდგერდა სამკუთხედებისაგან შემდგარი ქსელი, რომელიც ბოლოებით გაზომილ ბაზისებს ეყრდნობა, ასეთ ქსელში სამკუთხედების გეომეტრიული კაგშირის შეცდომები არ გვაძლევს სამკუთხედების გვერდების ერთნარი სიზუსტით განსაზღვრის საშუალებას, მაშინ როცა კუთხეები ქსელის ქვედა სამკუთხედში შევვიძლია კრთი და იგივე სიზუსტით გაზომოთ. ამიტომ გვერდების და კუთხეების სიზუსტეთა თანაფარდობა ქსელის სპეციალური უბანზე სწორი საფუძვლია.

შემთხვევაში ტრილატერაციის ქსელში უართოდ დაწერგვაში ტრიანგულაციის ქსელში შეცვალა ტრილატერაციით ან ხაზოვან-კუთხური აგებებით, თუმცა ამით ზერთ დასმული პრობლემა არ გადაჭრილა და გვერდებისა და კუთხეების სიზუსტეების თანაფარდობის საკითხი ისევ აქტიულურია.

სამკუთხედში, სადაც სამივე გვერდია გაზომილი, კუთხის განსაზღვრის ცდომილებას ანგარიშობენ ფორმულით [12,13]

$$m_A = \rho \frac{m_s}{S} \sqrt{2 \sqrt{ctg^2 B + ctg^2 C + ctg B \cdot ctg C}}, \quad (2.7)$$

სადაც m_A არის ტრილატერაციის სამკუთხედში A კუთხის განსაზღვრის შეცდომა, როდესაც სამივე გვერდი გაზომილია ერთი და იგივე ფარდობითი შეცდომით; m_s/S – გვერდის გაზომვის ფარდობითი შეცდომა; A, B, C – სამკუთხედის კუთხეები; ρ – რადიანი. (2.7)-ის მსგავსი ფორმულებით განისაზღვრებიან m_B და m_c . ტოლდგერდა სამკუთხედისათვის (2.7) ფორმულა შემდეგ სახეს იღებს ($A = B = C = 60^\circ$) – $m_\beta = \rho \sqrt{2} \cdot m_s/S$. ამ შემთხვევაში კუთხის გაზომვის შეცდომა მხოლოდ გვერდის გაზომვის ფარდობით შეცდომაშია დამოკიდებული. $m_\beta \approx 3''$, როდესაც $m_s/S = 1:100000$, $m_\beta \approx 1,5''$, როდესაც $m_s/S = 1:200000$ და $m_\beta \approx 1''$, როდესაც $m_s/S = 1:300000$.

როდესაც სამკუთხედის გვერდები სწორია და გაზომილია ერთი და იგივე ფარდობითი შეცდომით, მაშინ კუთხეებისა და გვერდების სიზუსტეთა თანაფარდობის შესანარჩუნებლად, სამკუთხედში კუთხეები უნდა გაიზომოს სწორია სიზუსტით.

განვიხილოთ სამკუთხედი, რომლის კუთხეებია $A = 90^\circ$, $B = 60^\circ$ და $C = 30^\circ$. (2.7) ფორმულით მივიღებთ: $m_A = 2,9\rho m_s/S$; $m_B = 2,4\rho m_s/S$; $m_c = 0,8\rho m_s/S$.

თუ მოვიღებთ, რომ გვერდები გაზომილია ერთი და იგივე ფარდობითი შეცდომით – $1:100000$, ვვეჯნება: $m_A \approx 6''$; $m_B \approx 5''$; $m_c \approx 1,6''$. კუთხეების გაზომვის ასეთი არატოლზუსტობა, მიუხედავად გვერდებისა და კუთხეების სიზუსტეთა თანაბარზომიერების დაცვის მოთხოვნილი პრინციპისა, პრატიკულად გაუმართლებელია.

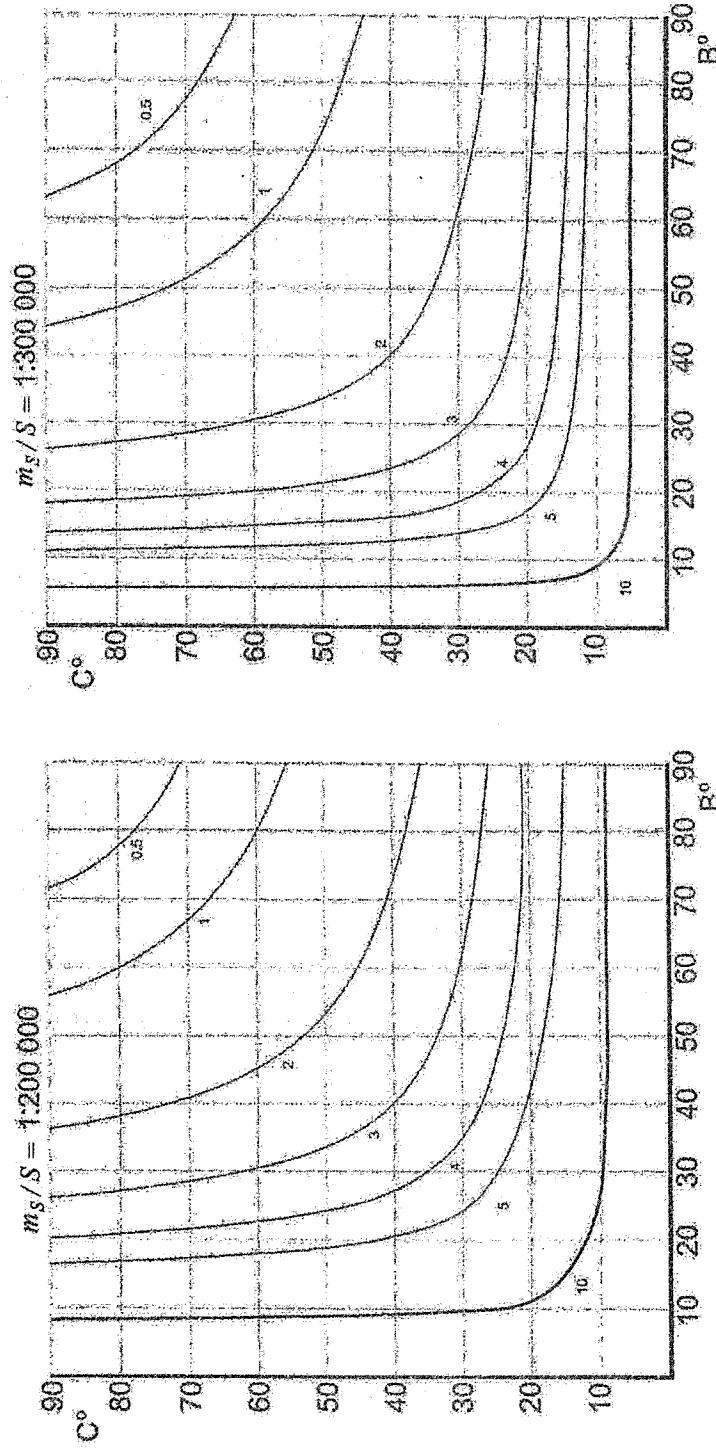
თუ მოვიღებთ, რომ სამკუთხედში კუთხეები გაზომილია ტოლზუსტად, მაგალითად, $m_\beta = 2''$ -ით, მაშინ იგივე პრინციპის დაცვით ხაზოვანი გაზომვების ფარდობითი შეცდომები სწორია იქნება: $m_a/a = 1:300000$; $m_b/b = 1:250000$; $m_c/c = 1:80000$. გვერდების

ვაზომებების ფარდობითი სიზუსტეების ასეთი სპეციალურია აქაც ვერ იქნება რეკომენდებული. ამის დარეგულირება შესაძლებელი იქნებოდა განაზომებში წონების გათვალისწინებით, მაგრამ ტრილატერაციის სამკუთხედში სამივე გვერდის გაზომვა არ იძლევა თავისუფალ წევრს ანუ არ არის წარმომადგენლობითი წონის სამედო სილიდის განსაზღვრისათვის. ამ პირობებში, ხაზოვანი და კუთხური გაზომების ურთდროსულ გაწონასწორებას, წონების მშედველობაში მიღებითაც კი, შეუძლია გამოიწყოთ გაწონასწორები დამაზინჯება, რასაც უნდა ვერიდოთ სპეციალურ გეგმურ გვერდების საფუძვლის ქსელებში. ყოველივე ზემოთქმულიდან შეიძლება ასეთი დასკვნა გამოვიტაროთ:

- ხაზოვან-კუთხური აგებების არატოლგვერდა სამკუთხედში არ არის მიზანშეწონილი გაიზომოს სამკუთხედის სამივე გვერდი. ეკონომიურად საფუძვლიანია გაიზომოს ერთი – ყველაზე ბლაგვი კუთხის პირდაპირ მდებარე გვერდი, ამასთან მისი სიზუსტე უნდა შეუსაბამოდ კუთხეების გაზომვის სიზუსტეს;

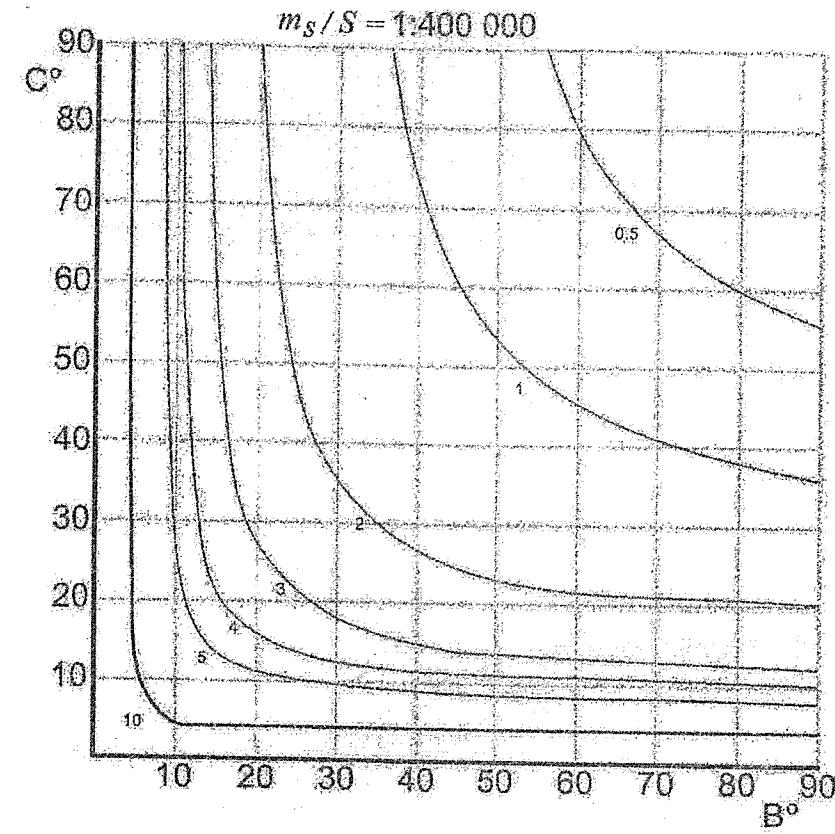
- ტოლგვერდა სამკუთხედის არსებობისას, აუნქებების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტის ასამაღლებლად და გვერდითი რეფრაქციის გავლენის შესასუსტებლად მიზანშეწონილია გაიზომოს სამივე კუთხე და სამივე გვერდი სამკუთხედში, ამასთან კუთხური და ხაზოვანი გაზომების სიზუსტეები უნდა თანაბარზომიერი იყოს.

ვინაიდან კუთხის განსაზღვრის სიზუსტე, როგორც ტრილატერაციის, ასევე ხაზოვან-კუთხური ქსელების დროს დამოკიდებულია ხაზომების ფარდობითი ცდომილების გარდა კუთხეების სიღლიერებზე, ამიტომ (2.7) ფორმულით საანგარიშოდ იგი წარმოდგენილია გრაფიკული ამონაზნის სახით ბაზური სახის ნომოგრამით, რომელიც მნიშვნელოვნად ამარტიცებს გამოთვლებს. რადგან (2.7) ფორმულა შეიცავს ოთხ ცვლადს (m_A , $\frac{m_s}{S}$, $ctg B$, $ctg C$), ამიტომ იგი წარმოდგენილია m_s/S გვერდის გაზომვის ფარდობითი ცდომილების მიხედვით სერიული ნომოგრამების სახით და მოცემულია ქვემოთ 2.11, 2.12 და 2.13 ნახაზებზე.



баб. 2.11 ნომერის (2.7) დამოუკიდებულებისათვის.

баб. 2.12 ნომერის (2.7) დამოუკიდებულებისათვის.



баб. 2.13 ნომერის (2.7) დამოუკიდებულებისათვის.

2.11, 2.12 და 2.13 ნახაზების გამოყენება აპსინ-განმარტებას არ საჭიროებს. რაც შეეხება გრაფიკული ამოხსნების სიზუსტეს, მათზე წარმოდგენას გვაძლევს ქვემოთ მოცემული ცხრ.2.2.

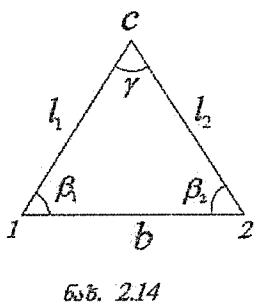
ცხრილი 2.2										
ეუსხება		1:200000			1:300000			1:400000		
B	C	m_A^* ნომრ.	m_A^* ფურ.	შეცდომა %	m_A^* ნომრ.	m_A^* ფურ.	შეცდომა %	m_A^* ნომრ.	m_A^* ფურ.	შეცდომა %
20	40	5,0	5,1	2	3,4	3,4	0	2,5	2,6	4
30	50	3,3	3,3	0	2,2	2,2	0	1,7	1,6	6
40	60	2,3	2,3	0	1,5	1,5	0	1,2	1,1	8
50	70	1,6	1,6	0	1,1	1,1	10	0,8	0,8	0
60	80	1,0	1,0	0	0,7	0,7	0	0,5	0,5	0

როგორც ცხრილიდან ჩანს, გვერდების გაზომვის ფარდობითი ცდომილების შეცირებისას იზრდება გამოთვლის გრაფიკული შეცდომა, რაც დაკაშირებულია მასთან, რომ გამოთვლილი კუთხების ცდომილებათა ასოლუტური სიდიდები საზოგანი გაზომვის ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელის გაზრდასთან ერთად მნიშვნელოვნად მცირდება, რაც ზრდის შეცდომის პროცენტულ სიდიდეს. მაგალითად 1:200000 ფარდობითი ცდომილებისას გამოთვლილი $m_A = 5$ -ის შეცდომა 0,1"-ით თუ 2% შეადგენს, 1:400000 ფარდობითი ცდომილებისას $m_A = 1,2$ " გამოივლა 0,1" სიზუსტით იძლევა 8% ცდომილებას. ზოგადად, ტექნიკური გამოთვლების სიზუსტეები კმაყოფილდება გრაფიკული გამოთვლებით. ამასთან გრაფიკულად წარმოდგენა ამოცანის ანალიზის შესაძლებლობას იძლევა.

2.4 პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ფარდობითი შეცდომა

პირდაპირი კუთხური გადაკვეთა ერთ-ერთი ფართოდ გამოყენებული საინჟინრო-გეოდეზიური მეთოდია გეგმური საფუძვლის შექმნის (ქსელში პუნქტების ჩასმა, სამშენებლო ბაზის აგება), დაკავალებისა (ხიდები, პიღიროტექნიკური ნაგებობები) და ექსპლუატაციაში მყოფი ნაგებობის დეფორმაციებზე დაკვირვებისას. სქემატურად იგი წარმოდგენილია 2.14 ნახაზზე.

ცნობილია, რომ პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის სკმ ტოლია



ნახ. 2.14

$$m^2 = \frac{m_\beta^2(l_1^2 + l_2^2)}{\rho^2 \sin^2 \gamma} \quad (2.8)$$

ან კუთხურ განხომილებაში გამოსახული გამოსახულია ბაზისითა და კუთხებით)

$$m^2 = \frac{m_\beta^2 b^2 (\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2)}{\rho^2 \sin^4 \gamma}, \quad (2.9)$$

სადაც m_β არის β_1 და β_2 კუთხების b ბაზისიდან გადაზომვის სკმ; γ - გადაკვეთის კუთხია, ხოლო b -გადაკვეთის ბაზისი [14].

(2.8) და (2.9) ფორმულების ანალიზი აჩვენებს, რომ გადაკვეთის ყველაზე ოპტიმალურ ფიგურას წარმოადგენს ტოლფერდა სამკუთხედი, სადაც $\beta_1 = \beta_2$, $\gamma = 180^\circ - 2\beta$ და $l_1 = l_2$. ამ შემთხვევაში (2.8) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$m_{(l)} = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{l\sqrt{2}}{\sin 2\beta}, \quad (2.10)$$

ხოლო (2.9) ფორმულა სახეს

$$m_{(\beta)} = \frac{m_\beta b \sqrt{2}}{\rho} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin^2 2\beta}. \quad (2.11)$$

ამ ფორმულებში m_β გამოსახავს პირდაპირი გადაკვეთის ცდომილებას გვერდების გამოყენებისას, ხოლო $m_{(\beta)}$ -ქუთხეების გამოყენებისას.

გამოვსახოთ (2.10) და (2.11) ფორმულები ფარდობითი ცდომილებით, სადაც $b = l\sqrt{2}$ ($\beta = 45^\circ$)

$$\frac{m_{(l)}}{l} = \frac{m_\beta \sqrt{2}}{\rho \sin 2\beta} \quad (2.12)$$

და

$$\frac{m_{(\beta)}}{l} = \frac{2m_\beta \sin \beta}{\rho \sin^2 2\beta}. \quad (2.13)$$

(2.12) ტოლობაში ფარდობითი ცდომილების მინიმალური მნიშვნელობა გვაქს, როდესაც $\frac{1}{\sin 2\beta} = 1$ ანუ როდესაც $\beta = 45^\circ$ და $\gamma = 90^\circ$. ამ დროს ფარდობითი შეცდომის მინიმალური სიდიდე ტოლია

$$\frac{m_l}{l} = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \sqrt{2} \approx 1,4 \frac{m_\beta}{\rho}. \quad (2.14)$$

(2.13) ფორმულის ანალიზით ფარდობითი ცდომილების მინიმალურ მნიშვნელობას ვღებულობთ მაშინ, როდესაც $\frac{\sin \beta}{\sin^2 2\beta} = 1$ აქეს მინიმუმი ანუ, როდესაც $\beta = 35,25^\circ$, ხოლო $\gamma = 109,5^\circ$. ამ დროს შეცდომის ასოლუტური სიდიდე (2.11) ფორმულით ტოლია

$$m_{(\beta)} = \frac{m_\beta b}{\rho} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad (2.15)$$

ხოლო მანძილი გადაკვეთის წერტილამდე ტოლი იქნება

$$l = \frac{b}{2 \cos 35,25^\circ} = \frac{b\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}. \quad (2.16)$$

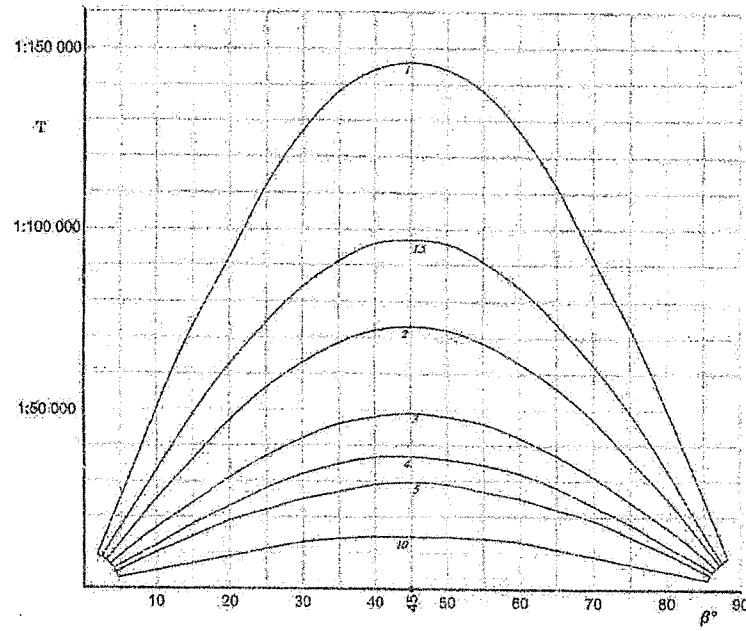
ფარდობითი ცდომილების სიდიდე, თუ ფისარგებლები (2.15) და (2.16) ფორმულებით ტოლი იქნება

$$\frac{m_\beta}{l} = \frac{3}{2} \frac{m_\beta}{\rho} = 1,5 \frac{m_\beta}{\rho}. \quad (2.17)$$

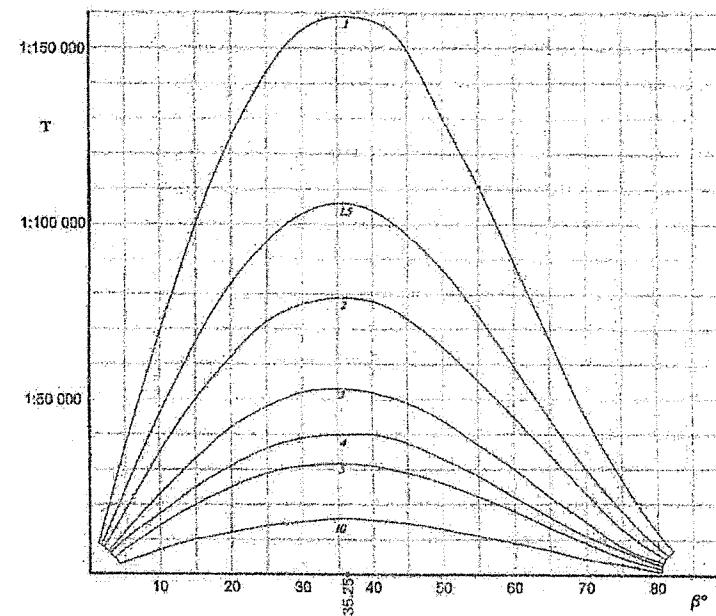
ეს სიდიდე კი 1,07-ჯერ მეტა, ვიღერ ფარდობითი ცდომილება, როდესაც $\gamma = 90^\circ$.

აქედან გამომდინარეობს დასკრნა, რომ პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ფარდობითი ცდომილება მინიმალურია, როდესაც გადაკვეთის კუთხი $\gamma = 109,5^\circ$ და მისი სიდიდე დამოკიდებულია m_β კუთხური გაზომვების სკმ-ზე.

(2.12) და (2.13) ფარდობითი ცდომილებების დამოკიდებულებები ქვემოთ წარმოდგენილია ბალური სახის ნომორამებით (ნახ.2.15 და 2.16), რომელთა გარდასახვის პარამეტრებია $m = 0,5$, $n = 0,001$, $a = b = 0$.



ნახ.2.15. ნომოგრამა (2.12) დამოკიდებულებისათვის



ნახ.2.16. ნომოგრამა (2.13) დამოკიდებულებისათვის

როგორც ნახაზებიდან ჩანს, პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ფარდობით ცდომილებას ხაზოვანი განაზომების მიხედვით მინიმუმი აქვს $\gamma = 90^\circ$ დროს, (ნახ.2.15), სოლო კუთხური განაზომების მიხედვით, როცა $\gamma \approx 110^\circ$ (ნახ.2.16).

ორივე ნომოგრამით სარგებლობისას ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრას სიზუსტეზე β და m_β ცვალებადობის მიხედვით, წარმოდგენას მოგვცემს ქვემოთ 2.3 ცხრილში მოცემული სიდიდეები, სადაც ნომოგრამით განსაზღვრული ფარდობითი ცდომილების გვერდით წარმოდგენილია ფორმულებით განსაზღვრული მათი სიღილეები.

ცხრილი 2.3

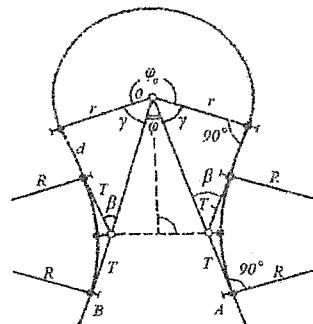
m_β''	β^0	$\frac{m_{(l)}}{l}$ ნომობ.	$\frac{m_{(l)}}{l}$ ფორმ.	$\frac{m_{(\beta)}}{l}$ ნომობ.	$\frac{m_{(\beta)}}{l}$ ფორმ.
1	30	1:126000	1:125000	1:155000	1:154700
5	50	1:29000	1:29000	1:26000	1:26100
10	70	1:9000	1:9300	1:4500	1:4530

თავი 3. ბერძნული ამოცანები, ზარმოლენი გასწორებული ჭრატილების ნომობრამში

ამ თავში წარმოდგენილი საინჟინო-გეოდეზიური ამოცანები მოცემულია გასწორებული წერტილების მარტივი და შედგენილი ნომოგრამების თანამდევრობით, კერძოდ მოხვევის კუთხის ანგარიში სერპანტინის დაკვალუისას მოცემულია კოშის ტიპის მარტივი ნომოგრამით – ორი პარალელური სკალითა და ბინარული ველით; ტრასის მოხვევისას მრუდის ელემენტების ანგარიში წარმოდგენილია მარტივი ტიპის ნომოგრამით – სამ-სამი პარალელური სკალით; ტაქსომეტრული აგეგმენისას მანილებისა და აღმატების სამაგარიშო ფორმულების ნომოგრამაც ასევე სამ-სამი პარალელური სკალის მარტივი ტიპითა წარმოდგენილი და ბოლოს გეგმური საყრდენი ქსელის საფეხურების რაოდენობისა და სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტის სამაგარიშო წარმოდგენილი ნომოგრამა განვითარებული წერტილების შედგენილი ნომოგრამის ტიპს.

3.1. მრუდის მოხვევის კუთხის ანგარიში სერპანტინის ელემენტების დადგენისას

სერპანტინი მთიანი რელიეფის პირობებში საგზაო ტრასის შემადგენელი ნაწილია. იგი შედგება ძირითადი და დამხმარე მრუდებისაგან, რომელთა ელემენტებია; r რადიუსიანი ძირითადი წრთული მრუდი; R რადიუსიანი ორი დამხმარე მრუდი (სიმეტრული სერპანტინის დროს); d სწორი მონაკვეთი ძირითად და დამხმარე მრუდებს შორის; β დამხმარე მრუდების მოხვევის კუთხე (ნახ.3.1).



ნახ. 3.1

სომეტრიული სერპანტინის ანგარიშისას მოცემულია R , r , d და φ მოხვევის კუთხე. β დამხმარე მრუდის მოხვევის კუთხე იანგარიშება ფორმულით [16,17]

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{r}{d+T} = \frac{r}{d+R\operatorname{tg}\beta/2}. \quad (3.1)$$

$\operatorname{tg}\beta$ გამოესახოთ ნახევარკუთხის ტანგენსით $\operatorname{tg}\beta = \frac{2\operatorname{tg}\beta/2}{1-\operatorname{tg}^2\beta/2}$ და შევიტანოთ (3.1) ტოლობაში.

შედეგად მივიღებთ β კუთხის სამაგარიშო კვადრატულ განტოლებას

$$(2R+r)\operatorname{tg}^2\beta/2 + 2d\operatorname{tg}\beta/2 - r = 0, \quad (3.2)$$

რომლის ამოხსნა გვაძლევს სერპანტინის დაკვალვისათვის საჭირო β კუთხის სიღილეს.

(3.2) ფორმულიდან β კუთხის გამოსათვლელად იგი წარმოვადგინოთ გასწორებული წერტილების ნომოგრამით, რისთვისაც ფორმულა უნდა დავიყვანოთ კოშის ტიპის (1.15) ნომოგრაფირებად სახეზე.

$$f_1 f_{34} + f_2 g_{34} + h_{34} = 0.$$

ამ მასშით (3.2) ფორმულა წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$R \cdot \operatorname{tg}^2\beta/2 + d \cdot \operatorname{tg}\beta/2 + \frac{r}{2}(\operatorname{tg}^2\beta/2 - 1) = 0. \quad (3.3)$$

(3.3) ფორმულაში: f_1 ფუნქციას შეესაბამება R ; f_2 ფუნქციას – d ; f_{34} ფუნქციას – $\operatorname{tg}^2\beta/2$, g_{34} ფუნქციას – $\operatorname{tg}\beta/2$, ხოლო h_{34} ფუნქციას – $r/2(\operatorname{tg}^2\beta/2 - 1)$.

ზემოთქმულისა და ბირეულ თავში მოცემული ნომოგრამის აგების მეთოდიკის საფუძველზე (1.19) ფორმულების მიხედვით შეგვიძლია დაგწეროთ ნომოგრამის სკალებისა და ბინარული გელის განტოლებები:

სკალა R : $x = 0$; $y = m(R-a)$.

სკალა d : $x = H$; $y = n(d-b)$.

ველი (r, β) :

$$x = \frac{H m \operatorname{tg}\beta/2}{n \operatorname{tg}^2\beta/2 + m \operatorname{tg}\beta/2};$$

$$y = \frac{-m n [\operatorname{atg}^2\beta/2 + b \operatorname{tg}\beta/2 + r/2(\operatorname{tg}^2\beta/2 - 1)]}{n \cdot \operatorname{tg}^2\beta/2 + m \cdot \operatorname{tg}\beta/2}.$$

სკალებისა და ველის კოორდინატთა ფორმულებში მოცემული ნომოგრამის გარდამქმნელი პარამეტრები შერჩეულია ნომოგრამის კომპაქტურად განლაგების მიზნით და ტოლია: $m = 0,1$; $n = 0,5$; $a = 10$; $b = 5$; $H = 150\text{მმ}$.

(3.3) ფორმულაში მოცემული R , r , d , β ცვლადების ცვლილებათა დიაპაზონი აღებულია შემდეგ ფარგლებში:

$$10 \leq R \leq 1000\text{მ};$$

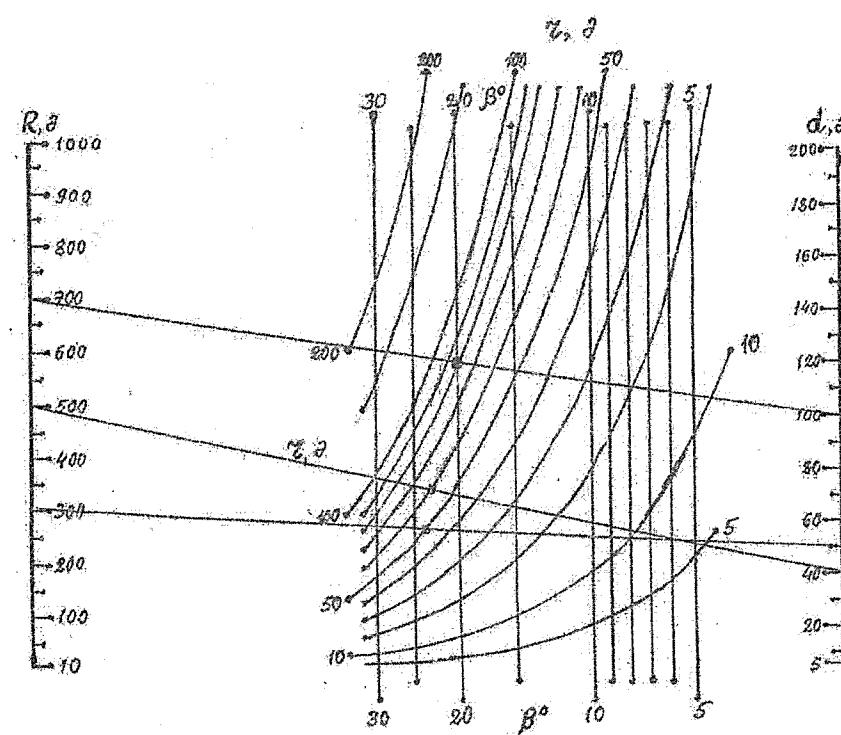
$$5 \leq d \leq 200\text{მ};$$

$$5 \leq r \leq 200\text{მ};$$

$$5 \leq \beta \leq 30^\circ.$$

R , d სკალებისა და (r, β) ბინარული ველის ზემოთ მოცემული განტოლებების მიხედვით განვარიშებული კოორდინატებით აგებულია გასწორებული წერტილების ნომოგრამა (ნახ.3.2).

β კუთხის გრაფიკულად განსაზღვრის ამოცანა იხსნება სახაზავის ქრო დადგით, ნახაზზე ნაჩვენებია სამი მაგალითი:

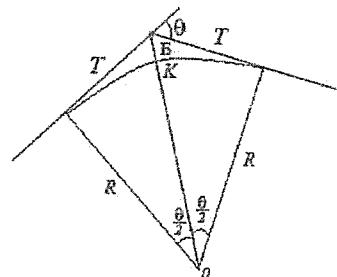


ნახ. 3.2 ნომოგრამა (3.2) დამოკიდებულებისათვის.

- 1) მოცემულია $R = 700\text{m}$, $r = 80\text{m}$, $d = 100\text{m}$. R და d სკალუბის მოცემულ სიდიდეებს ვადებთ სახაზავს, რომელიც ბინარულ ველში $r = 80\text{m}$ აღმნიშვნელი მრუდის გადაპევობაზე გვაძლევს $\beta = 20^\circ$. (3.2) ფორმულის ანალიზური ამონასხით $\beta = 19,8^\circ$, რომლისგანაც გრაფიკული ამონენა მზოლოდ 1%-ით განსხვავდება;
 - 2) მოცემულია $R = 500\text{m}$, $r = 60\text{m}$, $d = 40\text{m}$. ნომოგრამის სარგებლობისას ზემოთ აღწერილი ზერჩით ვლებულობით $\beta = 23^\circ$ როგორც გრაფიკულად, ისე ანალიზურად.
 - 3) მოცემულია $R = 300\text{m}$, $r = 50\text{m}$, $d = 50\text{m}$. ამ მონაცემებით გრაფიკული ამონენით $\beta = 23,5^\circ$, ხოლო ანალიზურით $\beta = 23,8^\circ$, რაც მზოლოდ 1,3% შეცვლის გვაძლევს.
3. ნომოგრამის ღირსება მზოლოდ β კუთხის მარტივად და საკმაოდ ზუსტად განსაზღვრაში არ მდგომარეობს. მისი გამოყენება შეგვაძლია 4 ცვლადიდან ნებისმიერი 3 სიდიდით მეოთხის განსასაზღვრავად. თუ, მაგალითად შევიწროებული ადგილმდებარეობის გამო დამშვარე მრუდების მოხვევის β კუთხე და სწორი მონაკვთის d სიგრძე წინასწარ შევვიძლია ავიღოთ, მაშინ მთავარი მრუდის r რადიუსით განვსაზღვრავთ დამშვარე მრუდის R რადიუსს ან პირიქით.

3.2 წრიული მრუდის ელემენტების ანგარიში

საავტომობილო და სარკინიგზო გზებზე, აგრეთვე ზოგიერთი წრფივი ნაგებობის (მაგისტრალური მილსადენები, სარწყავი არხები და სხვ) ტრასაზე მრუდების ადგილზე დაკვალვისათვის საჭიროა ვიცოდეთ მრუდის მთავარი წერტილები და ტრასის ელემენტები [16], რომლებიც მოცემულია 3.3 ნახაზზე და (3.4) ფორმულებით.



ნახ.3.3 ტრასის მოხვევის ელემენტები

$$\left. \begin{aligned} \text{მრუდის ტანგენსი} - T &= R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \\ \text{მრუდის სიგრძე} - K &= R \theta \frac{\pi}{180^\circ}; \\ \text{მრუდის ბისექტრისა} - E &= R \left(\frac{1}{\cos \theta/2} - 1 \right); \\ \text{მრუდის მინაზომი} - D &= 2T - K = R \left(2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} - \frac{\pi \theta}{180^\circ} \right). \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

როგორც (3.4) ფორმულებიდან ჩანს, მრუდის ელემენტები ერთი და იგვე R და θ პარამეტრებზეა დამოკიდებული და აიღება მათვის შედენილი საცნიარო ცხრილებიდან. ხშირად ცხრილებან საჭირო სიდიდეები ინტერპოლაციის მილება. (3.4) ფორმულების გრაფიკულად წარმოდგენა გასწორებული წერტილების ნომოგრამების დახმარებით ამარტივებს მრუდის ელემენტების მიღებას, არ საჭიროა ინტერპოლაციას, ხოლო სიზუსტე ტექნიკური ოვალსაზრისით მისაღებია.

იმისათვის, რომ (3.4) ფორმულები მივიყვანოთ ნომოგრამის აგების მეთოდის (1.22) ნომოგრაფირებად სახეზე, წარმოვადგინოთ ისინი შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} \lg R + (-\lg T) &= \lg \frac{1}{\tg \theta/2}; \\ \lg R + (-\lg K) &= \lg \frac{180}{\pi \theta}; \\ \lg R + (-\lg B) &= \lg \frac{\cos \theta/2}{1 - \cos \theta/2}; \\ \lg R + (-\lg D) &= \lg \frac{1}{2 \tg \theta/2 - \pi \theta/180}. \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

ამ ფორმულებით აგებული ნომოგრამა შედგება T , K , B , D პარალელური სკალებისაგან – ნაზ.3.4. რადგან (3.5) განტოლებათა სისტემას ერთი საერთო R პარამეტრი აქვთ, ამიტომ ნომოგრამაზე იგი საერთო სკალაა, ხოლო θ კუთხის სკალები განსხვავებული იქნება მრუდის თითოეული ელემენტისათვის.

R და θ გამოსავალი სიდიდეების ცვალებადობათა დღაპაზონი აღებულია შემდეგ ზღვებში: $100 \leq R \leq 1000 \Omega$, $10^0 \leq \theta \leq 50^0$.

(3.5)-ის თითოეული ფორმულისათვის R -ისა და T , K , B , D სკალების სიგრძეები ერთი და იგივეა, განსხვავდებინ θ_T , θ_K , θ_B , და θ_D -ის სკალების სიგრძეები (ნაზ.3.4). ეს გამოწვეულია მოხერხებულად განლაგების მოთხოვნით.

ნომოგრამით სარგებლობას წესი შემდეგია – R და θ შესაბამის სიდიდეებზე სახაზავის დადებით წავივითხავთ პასუხებს საძიებო სიდიდეების – T , K , B და D სკალებზე.

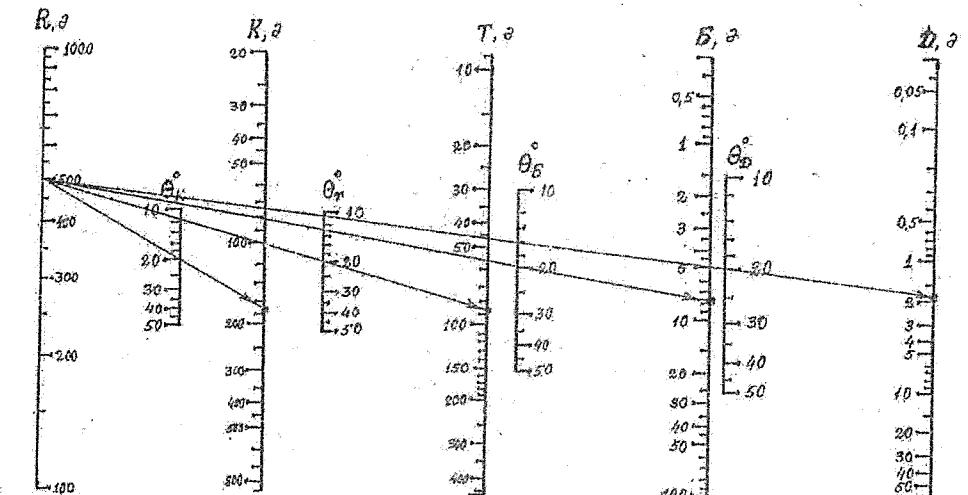
ნომოგრამა წარმოდგენილია 3.4 ნახაზზე. აქევა ნაჩვენები ნომოგრამით სარგებლობის წესი მაგალითების ამოხსნით. კერძოდ,

$$R = 500\Omega, \theta_T = 20^0, T = 87\Omega, \text{ფორმულით } \text{გამოთვლილი } T = 88,2, \text{ შეცდომა } \Delta = 1,4\%;$$

$$R = 500\Omega, \theta_K = 20^0, K = 175\Omega, \text{ფორმულით } \text{გამოთვლილი } K = 174,5, \text{ შეცდომა } \Delta = 0,5\%;$$

$$R = 500\Omega, \theta_B = 20^0, B = 7,7\Omega, \text{ფორმულით } \text{გამოთვლილი } B = 7,7\Omega, \text{ შეცდომა } \Delta = 0;$$

$$R = 500\Omega, \theta_D = 20^0, D = 1,9\Omega, \text{ფორმულით } \text{გამოთვლილი } D = 1,9\Omega, \text{ შეცდომა } \Delta = 0.$$



ნაზ. 3.4. ნომოგრამა მრუდის ელემენტების (3.4) დამოკიდებულებებისათვის.

3.3. ტაქეომეტრიული აგეგმვისას მანძილებისა და აღმატებების ანგარიში

ტოპოგრაფიული გეგმების შესაღენად გამოყენებული აგეგმვის მეთოდებიდან ერთ-ერთი ტაქეომეტრიული მეთოდია. ამჟამად გამოყენებული ელექტრონული ტაქეომეტრებით ავტომატურად კლებულობთ მანძილებსა და აღმატებებს. მაგრამ კირ კილო ზმარბაში არსებული ოპტიკური ტაქეომეტრებით სარგებლობისას მანძილებისა და აღმატებების საანგარიშოდ (მაგალითად, სტუდენტების საკულტიკის გავლისას) სარგებლობენ შემდეგი ფორმულებით [12,16]:

$$\left. \begin{aligned} D &= n \cos^2 \gamma; \\ h &= \frac{n}{2} \sin 2\gamma. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

ამ ფორმულებით D და h საანგარიშო იუნიტების საცნობარო ცხრილებს, რომელშიც n (ლარტკუზე დანაყოფების რაოდენობა) და γ (დახრის კუთხე) პარამეტრებით პოულობენ მანძილებსა (D) და აღმატებებს (h).

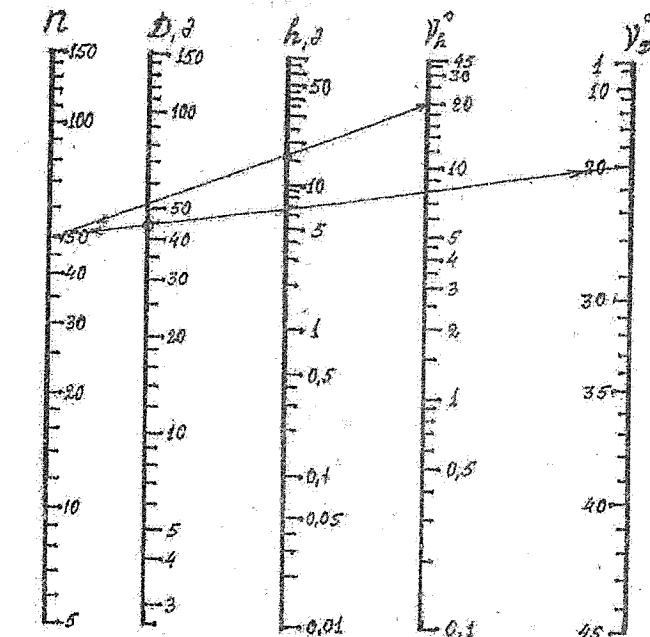
(3.6) ფორმულები ჩვენ მიერ ქვემოთ წარმოდგენილია გასწორებული წერტილების საში პარალელურსკალიანი ნომოგრამით (ნახ.3.5).

წინა ამოცანის მსგავსად, აქაც (3.6) ფორმულები დაყვანილია (1.22) ნომოგრაფირებად სახეზე:

$$\left. \begin{aligned} \lg n + \lg \cos^2 \gamma &= \lg D; \\ \lg n + \lg \sin 2\gamma / 2 &= \lg h. \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

(3.7) განტილებათა სისტემის ნომოგრამა წარმოდგენილია 3.5 ნახაზზე საერთო n სკალით, γ_D და γ_h დასრის კუთხეების სკალებით და D და h საძიებო სილილების სკალებით. ნომოგრამა აგებულია პირველ თაგში მოცემული მეთოდიკის საფუძველზე. ნომოგრამის გარდამშენელი პარამეტრები აღებულია იმ მოთხოვნების მიხედვით, რომ მისი გამოყენება იყოს მოხერხებული. ნომოგრამით სარგებლობის მაგალითები მოცემულია ნახაზზე.

კერძოდ $n = 50$, $\gamma_D = 20^\circ$, $D = 45 \text{ მ}$, (3.6) ფორმულით $D = 44,2$, შეცდომა $\Delta = 1,8\%$. $n = 50$, $\gamma_h = 20^\circ$, $h = 16,5 \text{ მ}$, (3.6) ფორმულით გამოთვლილი $h = 16,1 \text{ მ}$, შეცდომა $\Delta = 2,5\%$. როგორც მაგალითებიდან ჩანს ფარდობითი შეცდომა 2 – 3%-ის ფარგლებშია.



ნახ.3.5. ნომოგრამა ტაქეომეტრის (3.6) ფორმულებისათვის.

3.4. სააგეგმვო ქსელებში საფეხურების რაოდენობისა და სიზუსტის უზრუნველყოფის კოცუაციენტის ანგარიში

გეგმური საინჟინრო-გეოლოგიური ქსელების დაპროცესტებისას მნიშვნელოვანია იმის გარევა, თუ როგორი სანე ექნება ქსელი - სახელმწიფო ქსელის პუნქტებზე იქნება დაყრდნობილი, თუ უნდა შეიქმნას როგორც ლოკალური ქსელი. საორიენტაციოდ ამას ადგენტ საყრდენი და დასაპროექტებული ქსელების სიზუსტეების შედარებით [12,14].

თუ ქსელის განვითარების პროცესში სიზუსტისადმი მოთხოვნები იზრდება, მაშინ ფრაველი შემდგომი საფეხურის შექმნა დაკავშირებული იქნება ლოკალური ქსელების აგებასთან, ხოლო თუ ქსელის განვითარება უფრო ჟუსტიდან ნაკლები სიზუსტისკენ გადასვლის პრინციპით ჩდება, მაშინ საფეხურების რაოდენობისა და სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტის სიღიფე დამოკიდებული იქნება საწყისი და საბოლოო ქსელების სიზუსტეებზე და გამოისახება ფორმულით

$$K = \sqrt[n]{\frac{T_v}{T_d}}, \quad (3.8)$$

სადაც K არის სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი; n - ქსელში საფეხურების რაოდენობა; T_v - საწყისი ქსელის ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელი, ხოლო T_d - ბოლო დასაპროექტებული ქსელის ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელი.

(3.8) ფორმულა ოთხ ცვლადს შეიცავს და მისი აგება შესაძლებელია გასწორებული წერტილების შედგენილი ნომოგრამით 1.5 პარაგრაფში მოცემული მეთოდიკის საფუძველზე.

(3.8) ფორმულის გალოგარითმებით, მივიღებთ გამოსახულებას.

$$\lg K = \frac{1}{n} (\lg T_v - \lg T_d),$$

რომლის დაყვანა (1.27) ნომოგრაფიული სახეზე მარტივია
 $n \cdot \lg K = \lg T_v - \lg T_d.$

დამსახურე I ცვლადის შემოღებით დავწერთ

$$\lg T_v + (-\lg T_d) = I = n \cdot \lg K.$$

ორი სახის ნომოგრამის $\lg T_v + (-\lg T_d) = I$ და $I = n \cdot \lg K$ აგებით მივიღებთ I მუნჯი სკალით გაერთიანებულ შედგენილ ნომოგრამას.

ამ ნომოგრამების განტოლებებია:

$$1) \lg T_v + (-\lg T_d) = I.$$

მუნჯი I სკალა არ გრადუირდება

სკალა T_v : $x = 0; Y = m(\lg T_v - a)$.

სკალა T_d : $x = H; Y = n'(-\lg T_d) - b$.

ნომოგრამის პარამეტრები ტოლია: სკალების სიგრძე $L = 100$ მმ; სკალებს შორის მანძილი $H = 100$ მმ; $m = 50$; $n' = 50$; $a = 3,7$; $b = -5$.

$$2) I = n \cdot \lg K.$$

სკალა n : $x = H; y = n'(n - b)$.

$$\text{სკალა } K: x = \frac{mH\lg k}{mlg K - n'}; Y = \frac{mn'(a - b\lg K)}{mlg k - n'}$$

ამ შემთხვევაში პარამეტრების სიღიფეები ტოლია: $L = 100$ მმ; $H = 100$ მმ; $m = 25$; $n' = 33,3$; $a = -1,3$; $b = 1$.

(3.8) ფორმულაში შემავალი ცვლადები აღებულია შემდეგი დიაპაზონით:

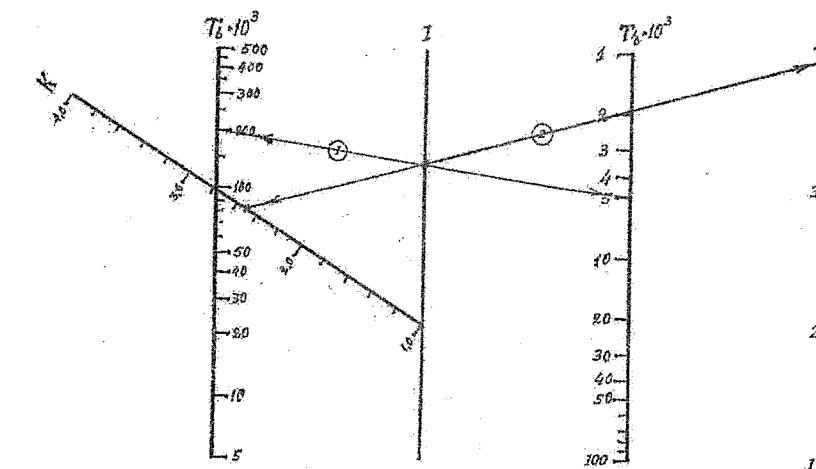
$$5000 \leq T_v \leq 500000;$$

$$1000 \leq T_d \leq 100000;$$

$$1 \leq n \leq 4;$$

$$1 \leq K \leq 4.$$

ამ მონაცემთა საფუძველზე აგებული გასწორებული წერტილების შედეგენილი ნომოგრამა წარმოდგენილია 3.6 ნახაზზე. სარგებლობის გასაღები მოცემულია ნახაზზე და ასეთია: წრეში ჩასმული ერთიანია - ① სრულდება პირველი თანამდებობისა - მოცემულ T_v და T_d -ზე სახაზავს დადებით დავნიშნავთ გადატევის წერტილს I მუნჯ სკალაზე; წრეში ჩასმული ორიანია - ② აღნიშნავს მეორე თანამდებობის - I მუნჯ სკალაზე დანიშნული და n სკალაზე მონიშნულ წერტილებზე სახაზავის დაღებით K სკალის გადაკვეთაზე მივიღებთ სამიებელ K სიღიფეს.



ნახ. 3.6 შედგენილი ნომოგრამა (3.8) დამოკიდებულებისათვის.

თუ მეორე თანამდებობის შესრულებისას K სიღიფე იქნება ცნობილი, მაშინ I მუნჯ სკალაზე და K სკალის ცნობილ სიღიფეზე სახაზავის დაღებით, პასუხს წავიკითხავთ n სკალაზე. საერთოდ ამ ნომოგრამით წერტილები სამი ცვლადით განისაზღვრება მეთობები.

3.6 ნახაზზე მოცემულია $T_v = 200000$, $T_d = 5000$, $n = 4$. გრაფიკული ამონსით $K = 2,50$, (3.8) ფორმულით იგივე მონაცემებით $K = 2,51$, რაც გვაძლევს ~ 1% ცდომილებას.

თავი 4. გეოლოგიურ-მარტინიურული აზოვანები, უარმოლის ტრანსპარანტული ნომობრამები

როგორც ცნობილია, ნებისმიერი ნომოგრამა პირველ ყოვლისა საანგარიშო ინსტრუმეტთა, რომლის დაწმარებით მარტივად, სწრაფად და საკმარისი სიზუსტით განისაზღვრება საძიებელი სიღიფე. მაგრამ, როგორც აღვნიშვნეთ გამოთვლების გარდა, ნომოგრამების გამოყენება შესაძლებელია ფუნქციონალურ დამოიდებულებათ ანალიზისათვის და, ზოგადად, სამუცინერო-კვლევითი მიზნებისათვის. კერძოდ, ამ თავში წარმოადგენილი ამოცნებით გვინდა ვაჩვენოთ ნომოგრამების შესაძლებლობა ფუნქციაში შესავალი პარამეტრების ექსტრემალური თვისებების ანალიზისას, გმირისული პარამეტრების შერჩევისას და თაპტიმიზაციის ამოცნაში შემავალი პარამეტრების ოპტიმალური სიღიდეების დადგნისას.

ამ თავში განხილული ყველა ამოცანა წარმოადგენილია ტრანსპარანტული ნომოგრამებით. მათგან პირველი თრი ამოცანის ნომოგრამები ძირითადად საანგარიშოა. კერძოდ, ეს ამოცანებია:

- 1) სამშენებლო ბაზის ელემენტების სიზუსტეების გამოთვლა;
- 2) აღმატებათა ანგარიში ბარომეტრული ნიველობისას;

რაც შეეხება დანარჩენ ამოცანებს, მათთვის აგებული ტრანსპარანტული ნომოგრამების გამოყენება შესაძლებელია როგორც პირდაპირ საანგარიშო, ისე სამუცინერო-კვლევითი მიზნით. ეს ამოცანებია:

- 1) სამშენებლო ნაგებობათა დაწევების ექსპონციალური ფუნქციით პროგნოზირებისას ემპირიული პარამეტრების დადგნენა;
- 2) იგრევ ამოცანა დაწევებისა და დაწევის სიჩქარეების გამოყენებით;
- 3) იგრევ ამოცანა დაწევების, სიჩქარეებისა და აჩქარებების გამოყენებით;
- 4) დაწევების პიპრალური ფუნქციით პროგნოზირებისას ემპირიული პარამეტრების დადგნენა დაწევებისა და დაწევის სიჩქარეების გამოყენებით.
- 5) საწმენდი სანგრევის პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობების დადგენა.

4.1. სამშენებლო ბაზის ელემენტების განაზომთა სიზუსტის ანგარიში

ამ ამოცანის განსილებისას იგულისხმება, რომ სამშენებლო ბაზე აგებულია უდიაგონალური ოთხკუთხედების ხერხით იმ განსხვავებით, რომ ბაზის პერიმეტრზე გაყვანილია პოლიგონეტრიული სელა, რომელშიც კუთხები იზომება მეტი სიზუსტით, ვიდრე ბაზის შუაში. განაზომთა შედეგების დამუშავება ხდება ორ ეტაპად. ჯერ, გამოსავალი პუნქტის განაზომთა შედეგების გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხით გააწონასწორებენ პერიმეტრზე კარგასულ პოლიგონეტრიულ სელას, ხოლო შემდეგ მათზე დაყრდნობით გამოთვლიან შემავსებელი ქსელის პუნქტების კოორდინატების.

სამშენებლო ბაზის ელემენტების განაზომთა სიზუსტეს აფასებენ ფორმულებით, რომლებიც მიღებულია უდიაგონალური ოთხკუთხედების ხერხისთვის [18]:

$$\left. \begin{aligned} m_s &\leq \frac{S}{T\sqrt{2(1+K^2)}}; \\ m_\beta &\leq \frac{K\rho}{T\sqrt{2n(1+K^2)}}, \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

სადაც m_s და m_β კარგასის გვერდებისა და კუთხების განაზომთა შეცდომებია; S – სამშენებლო ბაზის გვერდის სიგრძე, ρ ; T – გვერდის ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელი; n – გაზომილი კუთხების რაოდენობა; K – კუთხური და ხაზოვანი განაზომების სიზუსტეთა ფარდობის კოეფიციენტი.

(4.1) განტოლებათა სისტემის ტრანსპარანტული ნომოგრამის ასაგებად იგი უნდა დავიყვანოთ ნომოგრაფიულებად სახეზე. ამისათვის საჭიროა დავწეროთ იგი შემდეგი სახით

$$T\sqrt{2(1+K^2)} \geq \frac{S}{m_s} \geq \frac{\rho K}{m_\beta \sqrt{n}}.$$

იმისათვის, რომ მიღებული გამოსახულება დავიყვანოთ ნომოგრამის აგების მეთოდიკაში მოცემულ (1.28) სახეზე, დავწეროთ ის ზღვრულად ტოლობის სახით

$$\frac{T\sqrt{2(1+K^2)}}{1} = \frac{S}{m_s} = \frac{\rho K}{m_\beta \sqrt{n}}.$$

მივუწეროთ მიღებულ ტოლობას რეცენი ტოლობა და გავაღოვარითმოთ $\frac{K}{1} = \frac{K}{1} = \frac{K}{1}$,

შედეგად მივიღებთ

$$\left. \begin{aligned} \lg[T\sqrt{2(1+K^2)}] - 0 &= \lg S - \lg m_s = \lg\left(\frac{\rho K}{\sqrt{n}}\right) - \lg m_\beta, \\ \lg K - 0 &= \lg K - 0 = \lg K - 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

(4.2) სისტემა იღენტურია (1.28) სისტემისა –

$$f_{12} - f_7 = f_{34} - f_8 = f_{56} - f_9,$$

$$g_{12} - g_7 = g_{34} - g_8 = g_{56} - g_9.$$

(4.2) და (1.28) სისტემების შედარებით შედეგისას დავწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} f_{12} &= \lg[T\sqrt{2(1+K^2)}]; f_{34} = \lg S; f_{56} = \lg\left(\frac{\rho K}{\sqrt{n}}\right). \\ g_{12} &= \lg K; \quad g_{34} = \lg K; \quad g_{56} = \lg K. \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

$$\left. \begin{aligned} f_7 &= 0; \quad f_8 = \lg m_s; \quad f_9 = \lg m_\beta. \\ g_7 &= 0; \quad g_8 = 0; \quad g_9 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

(4.3) წარმოდგენილი იქნება ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე (T, K), (S, K) და (n, K) პინარული გელების სახით, ხოლო ნომოგრამის მოძრავ ნაწილზე – ეწ. ტრანსპარანტზე განლაგდება (0,0) წერტილი, m_s და m_β სკალები პირიზონტალურად, რადგანაც მათთვის ორდინატები ნულის ტოლია. ტრანსპარანტის (1) წერტილი შეესაბამება (T, K) პინარულ ველს, m_s სკალა შეესაბამება (S, K) პინარულ ველს, ხოლო m_β სკალა – (n, K) პინარულ ველს.

პინარული გელებისა და სკალების განტოლებები შედგება ნომოგრამის აგების მეთოდიკაში მოცემული 1.2 ცხრილის თანახმად.

(4.1) განტოლებათა სისტემაში შემავალი ცვლადების ცვალებადობათა დაპაზონი მოცემულია ქვემოთ:

$$0,2 \leq m_s \leq 50 \text{ მმ;}$$

$$20 \leq S \leq 400 \text{ ჰ;}$$

$$5000 \leq T \leq 20000;$$

$$1 \leq K \leq 3;$$

$$1 \leq m_\beta \leq 30 \text{ სეკ;}$$

$$2 \leq n \leq 20.$$

ნომოგრამა აგებულია გარდამქმნელი პარამეტრების შემცირებით:

$$a_0 = -150 \text{ მმ,} \quad b_0 = 0,$$

$$a'_0 = 0, \quad b'_0 = 0,$$

$$a = 50, \quad b = 30,$$

$$c = 90, \quad d = 0,$$

$$\mu_x = 50, \quad \mu_y = 200,$$

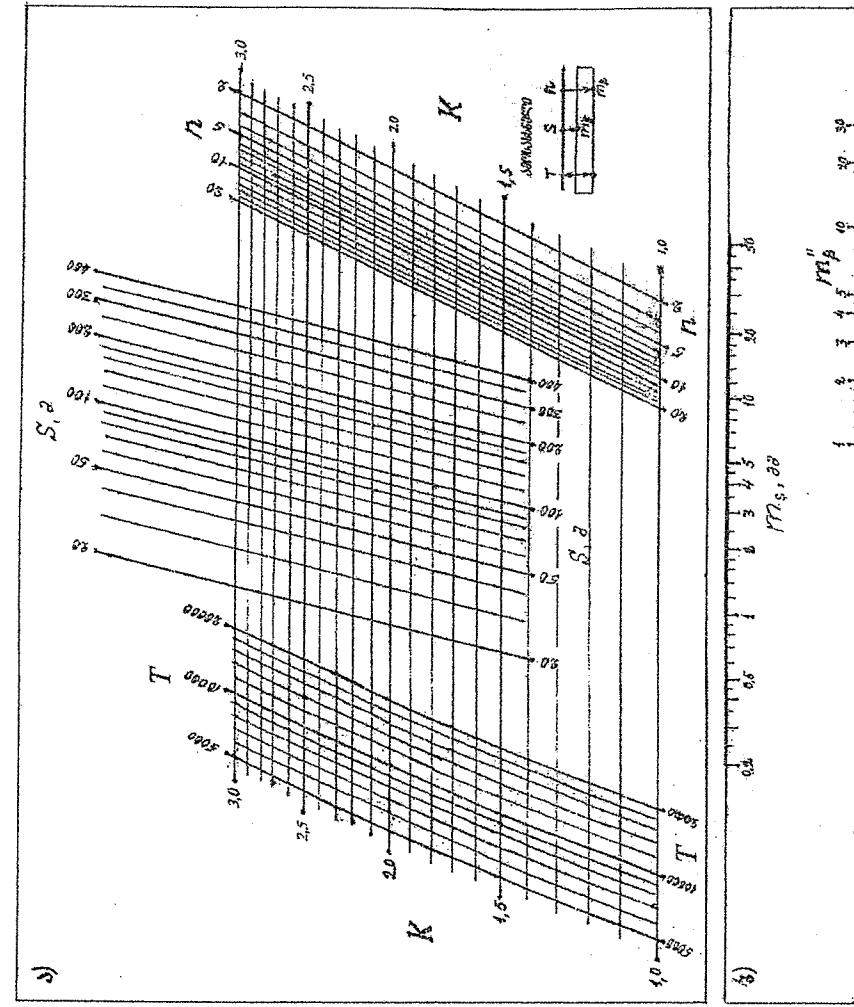
$$\delta_x = 1, \quad \delta_y = 0.$$

ამ მონაცემებით აგებული ტრანსპარანტული ნომოგრამა (4.1) სისტემისათვის მოცემულია 4.1 ნახაზზე. ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე გვაქვს სამი ბინარული გელი – (T, K) , (S, K) და (n, K) , ხოლო მომრავ ნაწილზე – ფიქსირებული წერტილი, m_s და m_β სკალები. ნომოგრამით სარგებლობის სქემა მოცემულია უშუალოდ ნახაზზე: ტრანსპარანტზე მოცემულ ფიქსირებულ წერტილსა და სკალებს გამოვსაზარეთ გამჭირვალე (შეძლება ჩვეულებრივზეც) ქაღალდზე, შემდეგ მოცემული T და K გადაკვეთის წერტილს (T, K) ბინარულ ველში დაგმობევეთ ტრანსპარანტზე ფიქსირებულ წერტილს, ტრანსპარანტის სკალებს ვორიენტირებთ K ხაზების პარალელურად, ამ დროს მოცემული S -ის პირდაპირ ტრანსპარანტზე ზემოთ წავიკითხოთ m_s -ის პასუხს, ხოლო ქვემოთ ერთდროულად, მოცემული n -ის გადაკვეთაზე წავიკითხავთ პასუხს m_β სკალაზე.

4.1 ნახაზზე მოცემული ტრანსპარანტული ნომოგრამის გამოთვლების სიზუსტეზე წარმოდგენას მოგვცემს 4.1 ცხრილში მოტანილი მონაცემები.

ცხრილი 4.1

$S, \text{ ჰ}$	T	K	n	$m_s, \text{ მმ}$			$m_\beta, \text{ სეკ}$		
				ნომოგ. გამოთვ.	ფორმ. გამოთვ.	შეცდომა %	ნომოგ. გამოთვ	ფორმ. გამოთვ	შეცდომა %
20	5000	1,5	5	1,5	1,57	4,4	11,0	10,85	1,4
50	7000	1,8	8	2,4	2,45	2,1	6,3	6,44	2,2
100	8000	2,0	10	3,9	3,95	1,3	5,1	5,16	1,2
200	10000	2,3	15	5,2	5,64	2,8	3,4	3,45	1,4
300	15000	2,5	20	5,1	5,25	2,8	2,0	2,02	1,0



ნახ. 4.1 ნომოგრამა (4.1) დამტკიცებულებებისათვის:

ა) უძრავი ნაწილი, ბ) ტრანსპარანტი

4.2. ბარომეტრული ნიველომით აღმატების ანგარიში

მთიან ადგილებში წერტილთა აღმატები ისაზღვრება ბარომეტრული ნიველომით. ამ დროს წერტილებზე იზომება წნევა და ტემპერატურა და ეტ. ბაბინეს ფორმულით გამოითვლება აღმატება [16].

$$h = K(1 + \varepsilon T) \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}, \quad (4.5)$$

სადაც B_1 და B_2 არის პირველ და მეორე წერტილზე გაზომილი წნევები; T - ამ წერტილებზე საშუალო ტემპერატურა; კოეფიციენტი K ტოლია

$$K = \frac{2qp_0}{\Delta_0},$$

სადაც $q = 13,596$ კერცხლისტყოლის სიმკერივე; $p_0 = 760$ მმ წნევაა ძირითად დონებრივ ჟედაპირზე; ხოლო $\Delta_0 = 0,001293$ სიმკერივეა იგივე ზედაპირზე. ამ მონაცემების ჩასმით, ვლებულოთ $K = 16025$. (4.5) ფორმულაში ε არის გაზების გაფართოების კოეფიციენტი და ტოლია $\varepsilon = 0,003665$.

კინაფან ჩვენი ამიცანა (4.5). აღმატების საანგარიშო ფორმულა წარმოგადვინოთ გრაფიკულად, ამიტომ დავიყონოთ იგი ტრანსპარანტული ნომოგრამების ერთ-ერთ კანონიკურ ფორმაზე, კერძოდ ნომოგრამის აგების მეოდიკის (1.28)-ის შემოქმებულ ფორმაზე 4 უცნობის:

$$f_{12} - f_5 = f_{34} - f_6,$$

$$g_{12} - g_5 = g_{34} - g_6.$$

(4.5) ფორმულა დაგწეროთ ასეთი სახით

$$\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2} = \frac{h}{K(1 + \varepsilon T)},$$

გავალოგარითმით ეს ტოლობა და ჭვეშ მივუწეროთ ივივობა $lg B_1 = lg B_1$

$$\left. \begin{aligned} lg \left(\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2} \right) - 0 &= lg h - lg K(1 + \varepsilon T), \\ lg B_1 - 0 &= lg B_1 - 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

(4.6) სისტემიდან ტრანსპარანტული ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე განლაგდება (B_1, B_2) და (h, B_1) ბინარული ველები, ხოლო მოძრავ ნაწილზე ფიქსირებული წერტილი და T საჭარა.

B_1, B_2, T და h -ის ცვლილებათა დიაპაზონს ვიღეთ შემდეგ ფარგლებში:

$$500 \leq B_1 \leq 760 \text{ მმ კერც. სევტ.}$$

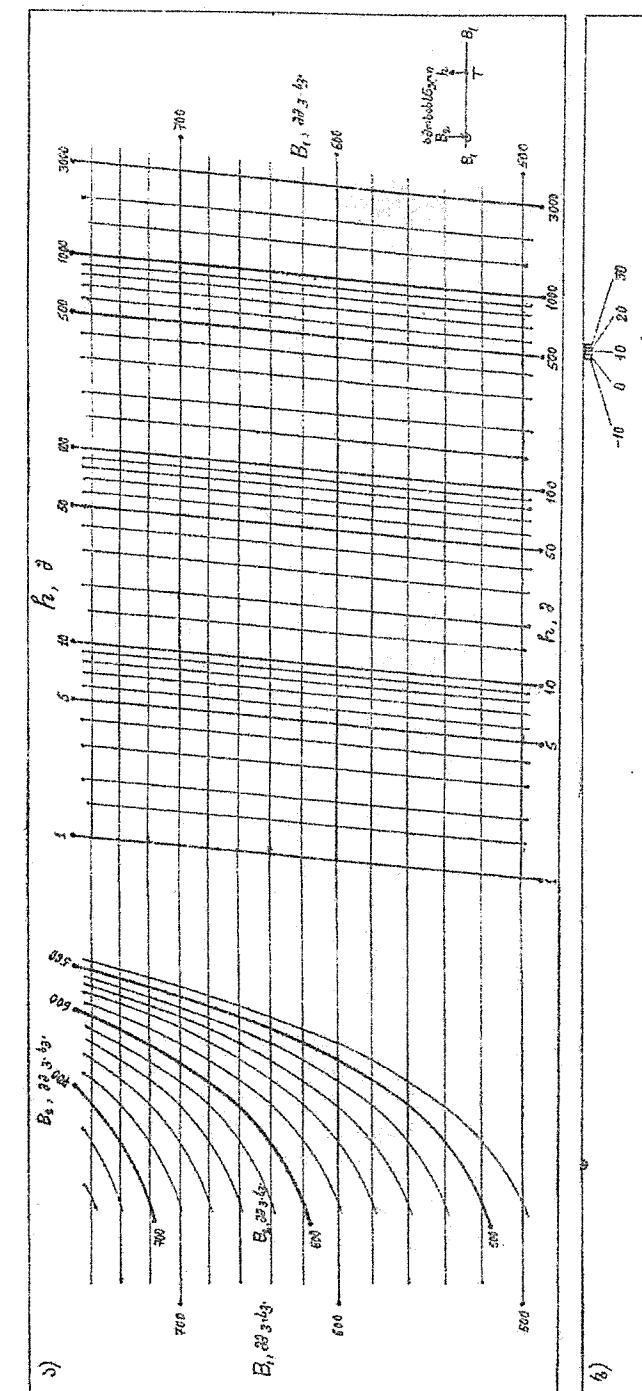
$$480 \leq B_2 \leq 740 \quad (B_1 > B_2)$$

$$-10^\circ \leq T \leq 30^\circ$$

$$1 \leq h \leq 3000 \text{ მ}$$

ნომოგრამის ასაგები პარამეტრებია: $a_0 = 0$; $b_0 = -1619,4$; $a'_0 = 0$; $b'_0 = 0$; $a = 0$; $b = 0$; $\mu_x = 50$; $\mu_y = 600$; $\delta_x = 1$; $\delta_y = 0$.

ამ პარამეტრებით აგებული ტრანსპარანტული ნომოგრამა (4.5) ფორმულისათვის მოცემულია 4.2 ნაბაზზე. ნომოგრამით სარგებლობის გასაღები ნაჩენებია ნაზაზზე და შემდეგში მდგომარეობს: სასაზავ-ტრანსპარანტზე ფიქსირებულ წერტილს გუთავსებთ (B_1, B_2) ბინარულ ველში ამ სიღრიეთა გადაკვეთის წერტილს, მაშინ სასაზავ-ტრანსპარანტის გასწვრივ T ტემპერატურის მაჩვენებლის გადაკვეთაზე h საზოან წაგირდის სიღრიეს.



ნამ. 4.2 ნიმუშები (4.5) დამოკიდებულებების საფუძვლი:

ა) უძრავი ნაწილი, ბ) ტრანსპარანტი

ქვემოთ მოცემულია (4.5) ფორმულითა და გრაფიკულად აღმატების განსაზღვრის სიზუსტეები, რომელიც 1 – 8%-ის ფარგლებშია (ცხრილი 4.2).

ცხრილი 4.2

№	B_1	B_2	T	აღმატება, გამოთვლილი		
				ნომიგრამა თ	ფორმულით	შეცვლა, Δ%
1	600	580	-10	240	262	8,4
2	750	700	0	540	553	2,4
3	700	620	10	1000	1007	0,7
4	750	650	15	1250	1208	3,5
5	720	700	20	240	242	1,0
6	730	680	25	630	620	1,6
7	740	710	30	400	368	8,0

4.3. საინჟინრო ნაგებობათა დეფორმაციების პროგნოზირების ექსპონენციალური მოდელის ემპირიული პარამეტრების დადგენა გრაფიკულად

ნაგებობათა დეფორმაციების პროგნოზირების ამოცანა განთქილება საინჟინრო ობიექტის ფუნქციონირების კანონზომირებების გვლევისა და დაკვირვებათა სიზმირის დადგენისას. მისი მიზანია აგრეთვე ნაგებობის საიმედოობის ხარისხის დადგენა და ობიექტის გამაგრებითი სამუშაოების რაციონალური დაგევმვა [4, 5, 14].

დეფორმაციებზე დაკვირვების ციკლებს შორის ინტერვალი (დაკვირვებები მნიშვნელოვან ხარჯებათანაა დაკავშირებული) ზშირად დამოკიდებულია დაწევებისა და მათი ინტენსიტეტის პროგნოზირების სარისზე. მოსალოდნელი დეფორმაციების მაღალი ხარისხით შესრულებულ პროგნოზს შეუძლია ოპტიმალური გახადოს დაკვირვებათა სიშირე და მათზე გაწეული ხარჯები.

მეგარად, დაწევების პროგნოზირება მნიშვნელოვანი საინჟინრო ამოცანაა, რომლის ხარისხი დამოკიდებულია შერჩეული მოდელის სახეზე (ექსპონენციალური, პარაბოლური, პიპერონლური), დაკვირვებების დროითი რიგის წევრთა რაოდნობაზე და ემპირიული პარამეტრების დადგენის სიზუსტეზე.

მათემატიკური მოდელის შერჩევისას მირთადი კრიტერიუმი საბოლოო შედეგის კარგი შესამება ნატურულ დაკვირვებებთან. ამ მიზნით, დაკვირვებების დროითი რიგის მიზევვით, შეირჩევა საპროგნოზო მოდელის ის ანალიზური სახე, რომელიც ყველაზე კარგად აღწერს დაკვირვების შედეგებს.

ამა თუ იმ მოდელის გარგისიანობა დამოკიდებულია დაწევებისა და სიჩქარეების განვითარების ხასიათზე, რაც სხვა ფაქტორებთან ერთად, განპირობებულია გრუნტების თვისებებით, კერძოდ მისი ფარდობითი კუმშევის კოეფიციენტით.

როცა შერჩეულია ემპირიული ფორმულის ზოგადი სახე – ექსპონენციალურია თუ პიპერონლური – ჩვენ წინაშე დგება ფორმულაში შემავალი პარამეტრების დადგენის საკითხი.

ამ საკითხის დადებითად გადაწყვეტა უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ხდება, რაც შველაზე ზუსტი, მაგრამ შრომატებადი პროცესია. ნაკლები, მაგრამ საინჟინრო გამოთვლებისათვის საკმარისი სიზუსტით იგივე საკითხის გადაჭრა შესაძლებელია გრაფიკული მეთოდითაც, რაშიც დასმარებას ტრანსპარანტული სახის ნომორამა გაგვიწევს.

ამ მაზნით შევარჩიეთ ექსპონენციალური და პიპერონლური სახის მათემატიკური მოდელები და შევეცდებით დავაღინოთ ემპირიული პარამეტრების სიდიდეები, როგორც ნაგებობის დაწევების სიდიდეების, ისე დაწევების განვითარების სიჩქარისა და აჩქარებების გამოყენებით, რაც ქვემოთ არის განხილული.

4.3.1. ემპირიული პარამეტრების დადგენა დაწევებით

პრაქტიკაში დაწევების პროგნოზირების რამდენიმე მათემატიკურ მოდელის იყენებენ, რომელთა საბოლოო შედეგები კარგად ემთხვევა ნატურული დაკვირვების მასალებს, თუმცა ზოგადი მნიშვნელოვანი გადახრებსაც აქვს ადგილი.

პროგნოზირების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს ისეთი ფაქტორების გათვალისწინებას, როგორიცაა ქვაბულის ფსევრის უკუდებორმაცად, პიროლოლოგიური პირობები, ნაგებობის ტიპი, მისი აგების მეთოდი, გრუნტების ფარდობითი კუმშევალი და ა.შ.

შველაზე ხშირად დაწევების t დროში პპროქსიმაციისათვის იყენებენ მრუდის ექსპონენციალურ სახეს [14].

$S_t = S_k(1 - e^{-\alpha t})$,
(4.7)
სადაც S_t არის დროში მმდინარე დაწევები, მმ ; S_k – მსგავს პირობებში აგებული მსგავსი ტიპის ნაგებობის საბოლოო დაწევის სიდიდეა, მმ, რომელიც თეორიულად შეიძლება ვიანგარიშოთ ემპივალენტური შრის ან შრეობრივი დაკვირვების მეთოდებით; α – გრუნტის ფარდობითი კუმშევალის კოეფიციენტია; t – დროა (თვე ან წელი).

S_t და α არიან ის პარამეტრები, რომელთა დადგენაც გვიჩვდა გრაფიკული მეთოდით. ამისათვის (4.7) უნდა დავიყვანოთ ნომორამის აგების მეთოდიკაში მოცემულ (1.36) სახეზე:

$$f_{12} - f_{56} = f_{34} - f_{78},$$

$$g_{12} - g_{56} = g_{34} - g_{78}.$$

(1.36) სახეზე დასყვანად (4.7) დაგწეროთ იგიგურად, გალოგარითმების შემდეგ და მიუწეროთ $\alpha = 0 = -0$ იგივერი ტოლობა

$$0 - \lg S_t = \lg(1 - e^{-\alpha t}) - \lg S_t, \\ \alpha = 0 = -0. \quad (4.8)$$

(1.36) კანონიკური ფორმისა და (4.8)-ის შედარებით გვაქვს:

$$\left. \begin{array}{l} f_{12} = 0; \quad f_{34} = \lg(1 - e^{-\alpha t}); \\ g_{12} = \alpha; \quad g_{34} = \alpha. \end{array} \right\} \quad \text{ტრანსპარანტის უმრავი ნაწილი}$$

$$\left. \begin{array}{l} f_{56} = \lg S_k; \quad f_{78} = \lg S_t; \\ g_{56} = 0; \quad g_{78} = 0. \end{array} \right\} \quad \text{ტრანსპარანტის მოძრავი ნაწილი}$$

ნომოგრამის ასაგებად საჭირო მარეგულირებელი პარამეტრების მნიშვნელობები მოცემულია ქვემოთ:

$$a_0 = b_0 = a'_0 = b'_0 = 0;$$

$$\mu_x = 150; \quad \mu_y = 200; \quad \delta_x = 1; \quad \delta_y = 0.$$

(4.7) ფორმულაში შემავალი S_t , S_k , α , t სიდიდეებისათვის ცვალებადობათა დიაპაზონი აღებულია შემდეგ ზღვრიში:

$$0,05 \leq \alpha \leq 0,5;$$

$$1 \leq t \leq 10, \text{ წ};$$

$$1 \leq S_t, S_k \leq 100, \text{ მმ}.$$

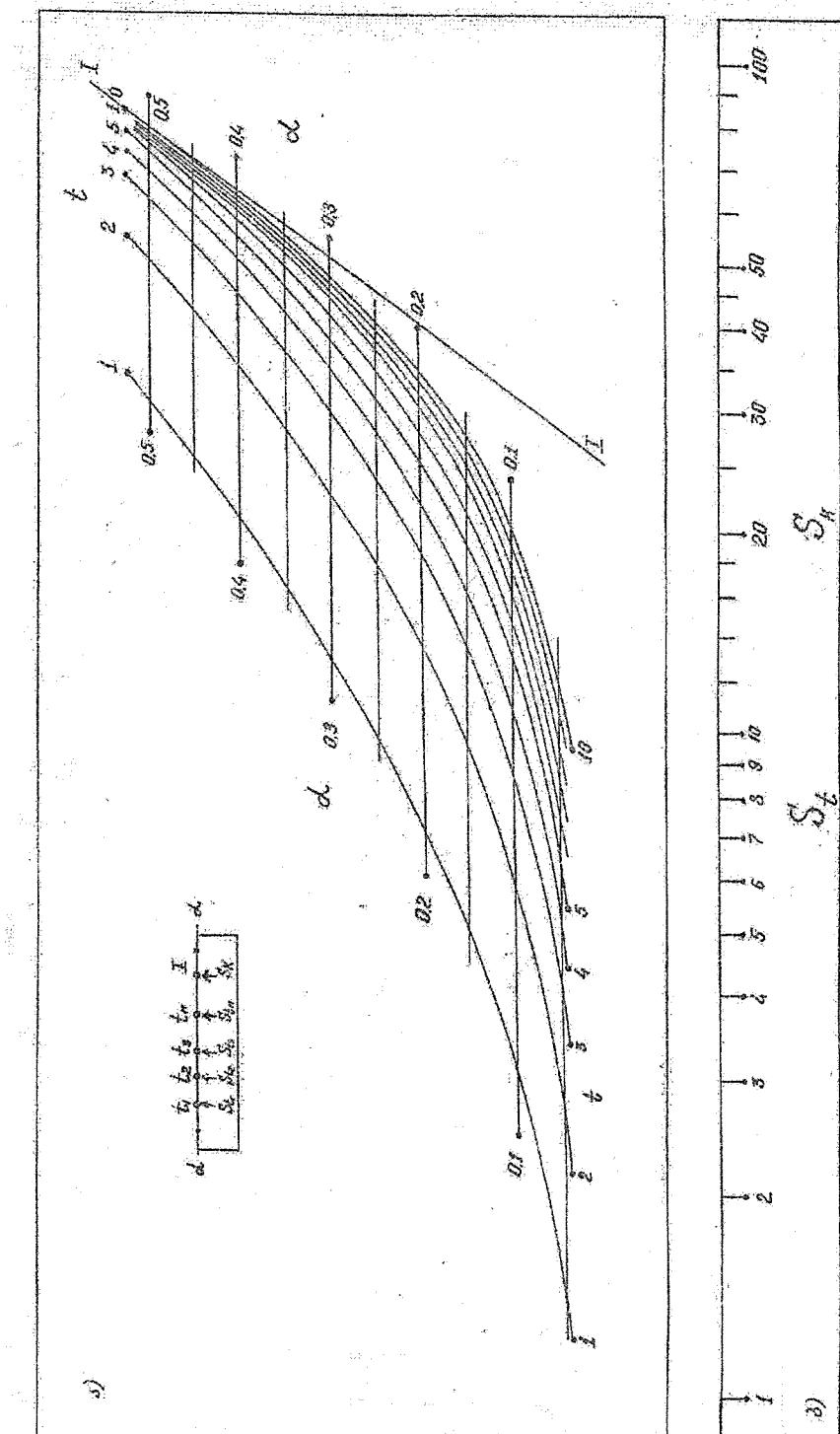
ზემოთ განხილულის გათვალისწინებით აგებული (4.7) დამოკიდებულების ტრანსპარანტული ნომოგრამა მოცემულია ქვემოთ 4.3 ნახატზე.

აქვე მოცემულია ნომოგრამით სარგებლობის გასაღები, რომელიც შემდეგში მდგრმარეობს: როცა ნომოგრამით გვინდა გამოვთვალოთ S_t დაწევის სიდიდე მოცემული S_k , α , t სიდიდეებით, S_k მოცემულ სიდიდეს დავადებთ α მოცემულ მნიშვნელობას (S_k სეალას დავადებთ α -ს აღმნიშენელ საზს). და დაგაფიქსირებთ S_k -ს I-I მუნჯი სეალის გადაკვეთაზე. ამ მომენტში t დროის აღნიშვნელი მრუდის გადატევათ S_t სეალასთან მოგვცემს S_t მნიშვნელობას.

ეს არის ნომოგრამის გამოყენება პირდაპირ დანიშნულებით — გამოთვლის მიზნით. სისუსტეები წარმოდგენილია 4.3 ცხრილში.

ცხრილი 4.3

№	S_k	α	t	S_t		
				ნომოგრამით გამოივლილი	ფორმულით გამოივლილი	შედლიმა $\Delta\%$
1	100	0,5	5	92	91,8	0,02
2	80	0,4	4	63	63,8	1,2
3	50	0,3	2	22	22,6	2,6
4	20	0,2	1	3,5	3,6	2,8
5	70	0,35	3	45	45,5	1,1



ნახ. 4.3 ნომოგრამა (4.7) დამოკიდებულებების დანიშნულების დროის მიზნით
1) არჩევის ნაწილი 2) ტრანსპარანტი

ახლა განვიხილოთ ნომოგრამის გამოყენება (4.7) ფორმულაში შემავალი პარამეტრების (S_k , α) დასადგენიდან. ამისათვის ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე ვამომრავებთ პორიტონტალურად ორიენტირებულ სახაზაგ-ტრანსპარანტის ზემოთ და ქვემოთ მანამ, სანამ არ ვიპოვთ იმ მდგრადებიანს, რომლის დროსაც ერთმანეთს დატმობულია $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ დროის აღმნიშნებილი მრულები (α, t) ბინარულ ველში ტრანსპარანტის S_t სკალაზე – $S_{t_1}, S_{t_2}, S_{t_3} \dots S_{t_n}$ დაწევების მოცემულ სიდიდეებს. ამ დროს ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე პორიტონტალური ხაზის გასწვრივ წავიკითხავთ ა მნიშვნელობას, ხოლო I-I მუნჯი სკალის S_k სკალისთვის გადაკვეთის წერტილში – S_k მნიშვნელობას. უნდა აღვნიშნოთ, რომ t და S_t შეთავსებები წევილებისათვის არ იწეუბა იდეალურად ზუსტი, მაგრამ, როგორც ჩატარებული ანალიზი აჩვნებს, ამ გზით დადგენილი პარამეტრების სიზუსტე $\sim 10\%$ -ის ფარგლებშია (ცხრილი 4.4), რაც სრულებით აკმაყოფილი პროცენტირებული სიდიდეების მოთხოვნილ სიზუსტეს.

ქვემოთ, 4.4 ცხრილში მოცემული S_{t_j} და t_j სიდიდეებით ვრაფიკულად 4.3 ნახაზზე მოცემული ტრანსპარანტული ნომოგრამით დადგენილია ა და S_k პარამეტრები. შემდეგ ამ პარამეტრებით (4.7) ფორმულით გამოთვლილი S_t სიდიდეები შედარებულია მოცემულ S_{t_j} სიდიდეებთან და გამოყვანილია ცდომილებები %-ში, რაც 10%-ს არ აღემატება.

ცხრილი 4.4

№	$\frac{t_j}{S_{t_j}}$					გრაფიკულად ნამუშავი პარამეტრები		(4.7) ფორმულით გამოთვლილი S_t სიდიდეები					შეცდომები %-ში				
	t_1/S_{t_1}	t_2/S_{t_2}	t_3/S_{t_3}	t_4/S_{t_4}	t_5/S_{t_5}	α	S_k	\hat{S}_{t_1}	\hat{S}_{t_2}	\hat{S}_{t_3}	\hat{S}_{t_4}	\hat{S}_{t_5}	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5
1	3/35	4/38	5/40	6/41	7/43	0,50	45	35,0	38,9	41,3	42,8	43,6	0	2	3	4	1
2	3/32	4/35	5/37	6/38	7/38	0,44	43	31,5	35,6	38,2	39,9	41,0	2	2	3	5	8
3	4/33	5/35	6/36	7/36	8/37	0,50	38	32,9	34,9	36,1	36,9	37,3	0	0	0	2	1
4	5/36	6/37	7/38	8/39	9/40	0,40	42	36,3	38,2	39,4	40,3	40,9	1	3	4	3	2
5	6/41	7/42	8/43	9/44	10/45	0,34	47	40,9	42,7	43,9	44,8	45,4	0	2	2	2	1
6	4/37	5/40	6/42	7/44	8/44	0,43	47	38,6	41,5	43,4	44,7	45,5	4	4	3	2	3
7	1/12	2/23	3/29	4/35	5/35	0,40	40	13,2	22,0	28,0	31,9	34,6	10	4	4	9	1
8	2/29	3/36	4/45	5/46	6/46	0,44	50	29,3	36,6	41,4	44,5	46,4	1	2	8	3	1
9	2/29	3/36	4/47	5/52	6/54	0,50	51	32,2	39,6	44,1	46,8	48,5	11	10	6	10	6
10	1/21	2/40	3/55	4/65	5/69	0,33	80	22,5	38,7	50,3	58,6	64,6	7	3	9	10	6

4.3.2. ემპირიული პარამეტრების დადგენა დაწევებითა და სიჩქარეებით

ივევე ემპირიული პარამეტრების გრაფიკული მეოდით დადგენა შესაძლებელია არა მარტო დაწევებით, არამედ სიჩქარეებითაც [5].

დაწევების სიჩქარეების მისაღებად (4.7) მათემატიკური მოდელი გავაწარმოოთ დროის ფაქტორით –

$$\frac{\partial S_t}{\partial t} = V = S_k e^{-\alpha t}. \quad (4.9)$$

ტრანსპარანტული ნომოგრამის ასაგებად (4.7) და (4.9) ტოლობები განვიხილოთ, როგორც განტოლებათა სისტემა:

$$\left. \begin{aligned} S_t &= S_k (1 - e^{-\alpha t}); \\ V &= S_k e^{-\alpha t}. \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

(4.10) სისტემის ტოლობების დასაყვანად (1.28) კანონიკურ ფორმაზე, დაგწეროთ იგი შემდეგი სახით

$$\frac{1}{S_k} = \frac{1 - e^{-\alpha t}}{S_t} = \frac{\alpha e^{-\alpha t}}{V}.$$

ამ უკანასკნელის გაღოგარითმებით და მას ქვეშ $\alpha = \alpha = \alpha$ იგივეობის მიწერით მივიღებთ (1.28)-ის მსგავს ფორმას:

$$\left. \begin{aligned} 0 - \lg S_k &= \lg(1 - e^{-\alpha t}) - \lg S_t = \lg \alpha e^{-\alpha t} - \lg V; \\ \alpha - 0 &= -0 = \alpha - 0 = \alpha - 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

(4.11) და (1.28) ფორმები შესატყვისა და გვაქვს:

$$f_{12} = 0; \quad f_{34} = \lg(1 - e^{-\alpha t}); \quad f_{56} = \lg \alpha e^{-\alpha t}.$$

$$g_{12} = \alpha; \quad g_{34} = \alpha; \quad g_{56} = \alpha.$$

ეს ბინარული ველები ერთი საერთო α პარამეტრით განლაგდება ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე.

$$f_7 = \lg S_k; \quad f_8 = \lg S_t; \quad f_9 = \lg V.$$

$$g_7 = 0; \quad g_8 = 0; \quad g_9 = 0.$$

ეს პორიტონტალური სკალები კი განლაგდებიან ნომოგრამის მოძრავ ნაწილზე – ტრანსპარანტზე. ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე განლაგდებული ბინარული ველებისა და ტრანსპარანტზე განლაგდებული სკალების კორრიდორების განტოლებანი მოცემულია 1.2 ცხრილში. ნომოგრამის ასაგებად შერჩეული გარდაქმნის პარამეტრებია: $a_0 = b_0 = a'_0 = b'_0 = a = b = 0; c = 300 \text{ მმ}; d = 30 \text{ მმ}; \mu_x = 75; \mu_y = 200; \delta_x = 1; \delta_y = 0$.

მათემატიკურ მოდელებში მოცემული ცელადების ცელადებადლათა დიაპაზონი აღებულია ზღვრებში:

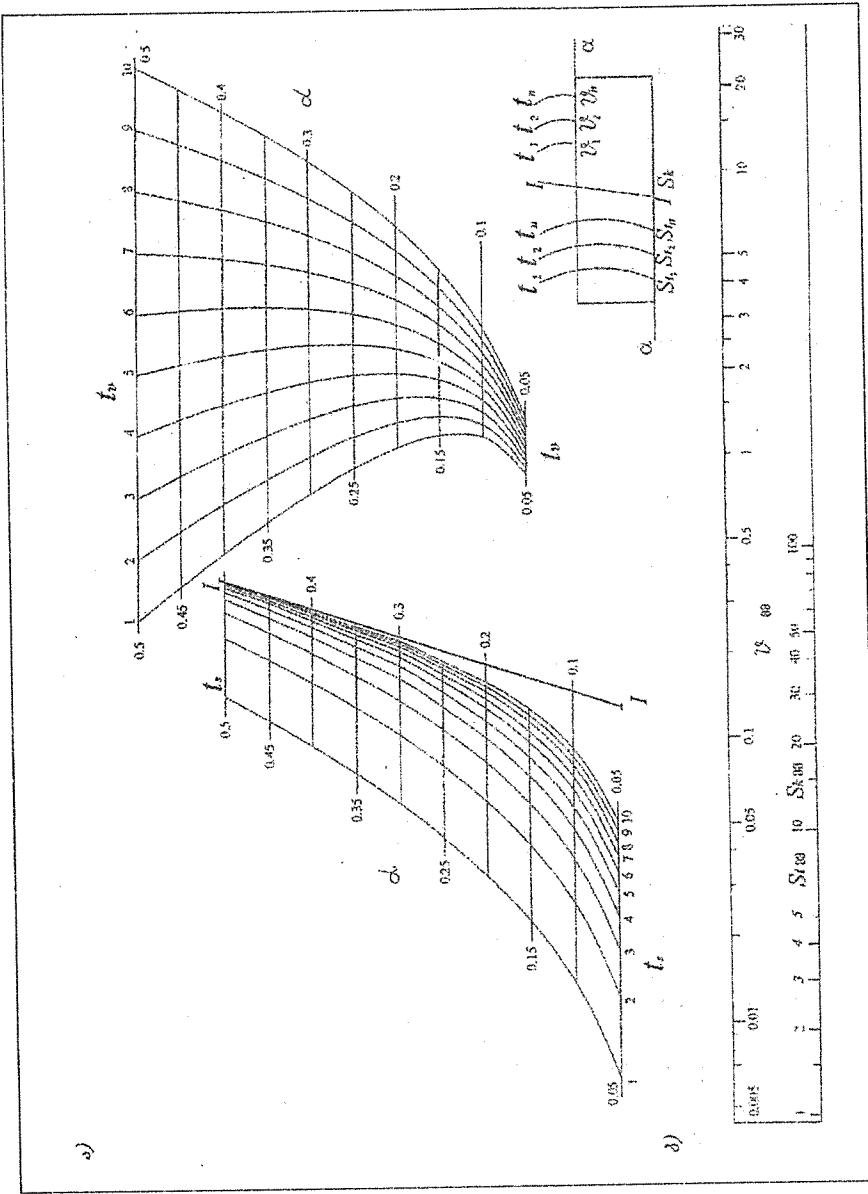
$$0,05 \leq \alpha \leq 0,50;$$

$$1 \leq t \leq 10 \text{ წელი};$$

$$1 \leq S_k, S_t \leq 100 \text{ მმ};$$

$$0,001 \leq v \leq 30 \text{ მმ/წ}.$$

ამ მონაცემებით აგებული ტრანსპარანტული ნომოგრამა მოცემულია 4.4 ნახაზზე. 4.3 ნომოგრამისაგან განსხვავებით აქ ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე დამატებით გვაქვს (t_v, α) ბინარული ველი და შესაბმისად ტრანსპარანტზე დამატებითი v სკალი.



ნაბ. 4.4 ტრანსპორტული ნომინატურა (4.10) სიტყვისათვეში:
ა) უძრავი ნაწილი, ბ) ტრანსპორტული

ნომიგრამის გამოყენება S_t და η სიღიღების სანგარიშოდ ზღება ისევე, როგორც წინა შემოხევაში. კერძოდ, S_k , α და t მოცემული მნიშვნელობებისათვის ტრანსპარანტს (რომელიც უნდა გამოჭრილი იქნეს თავისი ზომებით) ვადებთ ნომიგრამის უძრავ ნაწილზე ისე, რომ S_t და S_k სკალების ხაზი შეუთავსდეს მოცემული α -ს აღმნიშვნელ პორიზონტალურ ხაზს (α, t_s) ვეღში, შემდეგ α -ს გასწორივ გამომრავებთ მანამ, სანამ ცნობილი S_k სიღიღე არ შეუთავსდება I-I ეტ. მუნჯ სკალას, დაგვიფიქსირებთ რა ამ მდგომარეობას, სამიერელ S_t და η სიღიღებს წავიკითხავთ მოცემული t მრულების გადაკვეთაზე შესაბამისად, (α, t_s) და (α, t_v) ბინარულ ვეღში. გმოთვლის ცდომილება, როგორც ეს 4.3 ცხრილშია, აქაც 2 – 3%-ის ფარგლებშია.

როგორც აღნიშნულ ტრანსპარანტული სახის ნომიგრამების გამოყენება შესაძლებელია ემპირიულ ფორმულაში შემსვალი პარამეტრების დასადგინადაც. ამისათვის ვაორიზნტირებთ ნომიგრამის მოძრავ ნაწილს ანუ ტრანსპარანტს უძრავ ნაწილზე პორიზონტალურად ისე, რომ მოცემულ $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ დროის აღმნიშვნელი მრულის ხაზები (α, t_v) ვეღში საუკეთესოდ შეუთავსდეს ტრანსპარანტზე გამოსახული დაწევების სიჩქარების აღმნიშვნელი η სკალის $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ სიღიღებში.

ამ მდგომარეობის დაფიქსირების შემდეგ η სკალის გასწორივ წავიკითხავთ α პარამეტრის მნიშვნელობას, ხოლო I-I და S_k სკალების გადაკვეთის წერტილში – S_k პარამეტრის მნიშვნელობას. ზუსტ შეთავსებებს ყოველი t და η წყვილებისათვის ადგილი არ ექნება, მაგრამ უნდა ვეცადოთ შევარჩით ისეთი მდებარეობა, როცა ეს შეთავსებები თპტიმალური იქნება. სიზუსტის ანალიზი წარმოდგენილია 4.5 ცხრილში, საიდანაც ჩანს, რომ პარამეტრის დადგნის ცდომილება 10-12%-ის ფარგლებშია, საშუალოდ კი შეადგენს 3-5%-ს.

ცხრილი. 4.5

მაგისტრული	$\frac{t_j}{v_{tj}}$					α	S_k	\bar{v}_{t_1}	\bar{v}_{t_2}	\bar{v}_{t_3}	\bar{v}_{t_4}	\bar{v}_{t_5}	უარმულოდ გამოთვლილი მნიშვნელობები					შეკლომები %-ში				
	t_1/v_{t_1}	t_1/v_{t_2}	t_1/v_{t_3}	t_1/v_{t_4}	t_1/v_{t_5}								Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5	$\Delta_j = \frac{ v_{tj} - \bar{v}_{tj} }{v_{tj}} \cdot 100$				
1	1	2	3	4	5	0,41	19	5,0	3,0	2,0	1,5	1,0	0	0	0	0	0	0				
	5	3	2	1,5	1																	
2	2	3	4	5	6	0,38	43	8,0	5,0	3,5	2,5	1,6	0	0	0	0	0	7				
	8	5	3,5	2,5	1,5																	
3	3	4	5	6	7	0,4	82	9,8	6,65	4,4	3,0	2,0	2	6	12	0	0	0				
	10	7	5	3	2																	
4	5	6	7	8	9	0,38	68	5,7	3,9	2,6	1,8	1,2	8	8	4	6	9					
	5,3	3,6	2,5	1,7	1,1																	
5	6	7	8	9	10	0,27	41	2,9	2,2	1,7	1,3	1,0	3	4	6	7	0					
	3	2,3	1,8	1,4	1																	
6	4	5	6	7	8	0,35	100	4,3	3,0	2,1	1,5	1,0	8	0	5	6	0					
	4	3	2	1,6	1																	
7	1	2	3	4	5	0,34	17	4,1	2,9	2,1	1,5	1,1	2	3	5	0	10					
	4	3	2	1,5	1																	
8	2	3	4	5	6	0,4	16	2,9	1,9	1,3	0,9	0,6	3	10	7	0	0					
	3	2,1	1,4	0,9	0,6																	
9	2	3	4	5	6	0,43	33	3,7	2,6	1,7	1,1	0,7	8	7	11	8	0					
	4	2,8	1,9	1,2	0,7																	
10	1	2	3	4	5	0,35	24	2,1	1,4	1,0	0,7	0,5	5	7	0	0	0					
	2	1,5	1	0,7	0,5																	

4.3.3. ემპირიული პარამეტრების დადგენა დაწევებით, სიჩქარეებითა და აჩქარებებით

როგორც ზემოთ ვნახეთ, დაწევების პროცენტის ექსპონენციალური ფუნქციის ემპირიული პარამეტრების (α და S_k) სიღილეთა დადგენა შესაძლებელია როგორც დაწევების სიღილების, ასევე დაწევათა სიჩქარის გამოყენებით. საბოლოო ალბათ ლოგიკური იქნება მათი საშუალო სიღილების გამოყენება პრაქტიკული მიზნით.

როცა ერთი და იგივე პროცესის გამომხატველი ფუნქციის პარამეტრების (α და S_k) დადგენა შეგვიძლია რამდენიმე მაჩვენებლის (დაწევების, სიჩქარეების) გამოყენებით, ჩვენი აზრით ეს ზრდის ამ პარამეტრების ოპტიმალურ სიღილეებთან შეახლოების აღბათობას. ამ აზრითა ნაკარნაზევი ამ ქვეპარაგრაფში წარმოდგენილი საკითხი, რომლის აზრი მდგომარეობის ვისარგებლოთ აღნიშნული ა და S_k პარამეტრების სიღილეთა დადგენისათვის კიდევ ერთი დამატებითი მაჩვენებლით - დაწევების აჩქარებებით, რომელიც ანასიათებს ნაგებობის წერტილთა დაწევების სიჩქარეების ცვლილების სისწრავეს. უნდა ვივარაუდოთ, რომ დაწევებისას წერტილები დაახლოებით სწორხაზოვნად მოძრაობენ. ასეთი მოძრაობისას საშუალო აჩქარება ჭოლია ამ სიჩქარის ნაზრდის ფარდობისა და Δt დროის იმ შუალედთან, რომლის განსაკუთრებული ეს ნაზრდი წარმოშვა - $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{m}{t}$.

ამრიგად, ჩვენი მიზნია დავადგინოთ ა და S_k ემპირიული პარამეტრების სიღილეები დაწევით, დაწევათა სიჩქარეებითა და აჩქარებებით:

$$\left. \begin{aligned} S_t &= S_k(1 - e^{-\alpha t}); \\ \frac{\partial S_t}{\partial t} &= S_k \alpha e^{-\alpha t}; \\ \frac{\partial v_t}{\partial t} &= S_k \alpha^2 e^{-\alpha t}. \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

წინა შემთხვევების მსგავსად და ნომოგრამის აგების მეთოდით (§1.6) მიხედვით (4.12) განტოლებათა სისტემისათვის აგვაზული ტრანსპარანტული ნომოგრამა წარმოდგენილია 4.5 ნახაზზე. ნომოგრამა აგვაზულია გარდაქმნის პარამეტრების შემცვევი მნიშვნელობებისათვის:
 $a_0 = b_0 = a'_0 = b'_0 = 0$; $a = b = 0$; $c = 200$; $d = 30$; $e = 370$; $f = 0$; $\mu_x = 75$; $\mu_y = 200$;
 $\delta_x = 1$; $\delta_y = 0$.

(4.12) სისტემაში შემავალი ცვლილებათა დაიაპაზონია:

$$\begin{aligned} 0,05 &\leq \alpha \leq 0,5; \\ 1 &\leq t \leq 10; \\ 1 &\leq S_k, S_t \leq 100; \\ 0,001 &\leq v_t \leq 30; \\ 0,002 &\leq a_t \leq 15. \end{aligned}$$

როგორც წინა შემთხვევებში, 4.5 ნახაზზე წარმოდგენილი ნომოგრამა შეგვიძლია გამოვიყენოთ (4.12) სისტემის ძირითადი მაჩვენებლების - S_t დაწევების, v_t სიჩქარეების და a_t აჩქარებების სამართლები. ამისათვის ვიქცევთ ასე: 4.5 ნახაზის ბ) მოძრავ ნაწილს, ეწ. ტრანსპარანტს გამოვჭრით თავისი ზომებით; ტრანსპარანტის S_k , S_t სკალებს ვორივნტირებთ უძრავი ნაწილის ა პორიზონტულური ხაზების მიხედვით, გადავაადგილებთ ორიენტირებულ ტრანსპარანტს მოცემული ა - ს გასწორივ და შეუთავსტოთ S_k მოცემულ სიღილეს I-I მუნჯ სკალასთან. ამით ვაფიქსირებთ ტრანსპარანტს უძრავ ნაწილზე. ამის შემდეგ, წავიკითხავთ

პასუხებს - S_t დაწევის სიღილეს t მრუდის გადაკვეთაზე; v - დაწევის სიჩქარეს მოცემული t_v მრუდის გადაკვეთაზე (t -ს სიღილეა იგივე); a - დაწევის აჩქარებების სიღილეს მოცემულ t მრუდის გადაკვეთაზე (t_a , t_v და t_a ერთი და იგივე მაგალითისათვის ერთი და იგივე).

ნომოგრამით გამოთვლების სიზუსტეთა ანალიზისათვის ქვემოთ 4.6 ცხრილში ამოცსნილია რამდენიმე მაგალითი ნომოგრამითა და (4.12) ფორმულებით. როგორც შეცდომების ანალიზი აჩვენებს, ნომოგრამით გამოთვლების სიზუსტე, პრაქტიკული გამოთვლებისათვის მისაღებია - 3 - 5%.

ცხრილი 4.6

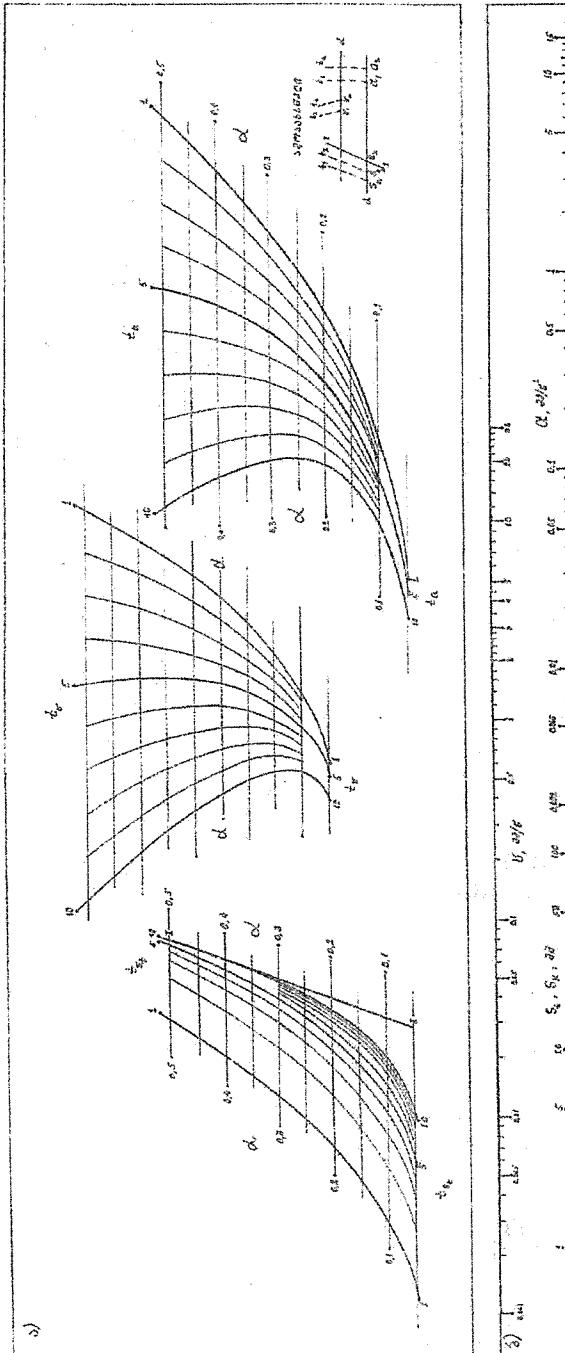
№	მოცემული სიღილეები			სიჩქარები სიღილეები								
	t	α	S_k	S_t			v			a		
				ნომ	ფორმ	$\Delta\%$	ნომ	ფორმ	$\Delta\%$	ნომ	ფორმ	$\Delta\%$
1	2	0,2	30	10	9,9	1,0	3,9	4,04	3,5	0,8	0,82	2,5
2	3	0,3	40	26	23,7	9,7	4,9	4,91	0,2	1,5	1,46	2,7
3	5	0,4	50	44	43,2	1,8	2,7	2,72	0,7	1,1	1,08	1,8
4	7	0,45	70	64	67,0	4,5	1,35	1,35	0	0,6	0,61	1,7
5	9	0,5	85	83	84,0	1,2	0,47	0,47	0	0,23	0,24	4,2

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ტრანსპარანტული ნომოგრამების უპირატესობა გამოიხატება მათი გამოყენების შესაბლებლობით კვლევითი მიზნებისათვის, კონკრეტულად რამე პროცესის მათებულიცური მოდელის ემისირიული პარამეტრების მნიშვნელობათა დადგენისათვის. ამ მიზნით ჩვენ გამოვიყენეთ დაწევებისა და დაწევების სიჩქარეების მოდელების ნომოგრამები. ესლა იმავე მიზნისთვის გამოვიყენოთ დაწევების აჩქარებათა მოდელის ნომოგრამა (ნახ.4.5). ა და S_k პარამეტრების დადგენისთვის ერთდროულად გამოყენებული იქნა (t_{S_k} , S_t ; t_v , v) და (t_a , a) ბინარული ველები. შედეგები წარმოდგენილია 4.7 ცხრილში.

როგორც ცხრილით ჩანს, ერთი და იგივე ნომოგრამის სხვადასხვა ბინარული ველების გამოყენებით დადგენილი ემისირიული პარამეტრები უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან. გრაფიკულად დადგენილი ა და S_k პარამეტრებით (4.12) ფორმულით გამოთვლილი S_t , v და a სიღილეები ახლოსაა იმავე სიღილეების იმ მნიშვნელობებთან, რომელიც შერჩეული იქნა ა და S_k პარამეტრების დადგენისათვის ერთდროულად გამოყენებული იქნა (t_{S_k} , S_t ; t_v , v) და (t_a , a) ბინარული ველები. შედეგები წარმოდგენილია 4.7 ცხრილში.

ცხრილი 4.7

მაჩვენებლები	$t_j/S_{tj}, v_j, a_j$						გრაფიკული მიღებადასა პარამეტრი	ფორმულით გამოთვლილი S_t, v, a						შეცდომისა და მიმდინარეობის დროის განვითარებისათვის		
	1	2	3	4	5	6		α	S_k	1	2	3	4	5		
t_{S_k}	(t_{S_k} , S_t)	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{3}{22}$	$\frac{5}{28}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{10}{34}$	0,30	36	9,3	16,2	21,4	28,0	31,6	34,2	3,2
t_v	(t_v , v)	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{6}$	$\frac{3}{4,5}$	$\frac{5}{2,3}$	$\frac{7}{1,3}$	$\frac{10}{0,5}$	0,31	35	8,0	5,8	4,3	2,3	1,2	0,5	0
t_a	(t_a , a)	$\frac{1}{2,5}$	$\frac{2}{1,7}$	$\frac{3}{1,1}$	$\frac{5}{0,7}$	$\frac{7}{0,4}$	$\frac{10}{0,15}$	0,29	36	2,3	1,7	1,3	0,7	0,4	0,17	8,7
															0	15,4
															0	0
															11,8	



ნაბ. 4.5 ნომოგრამა (4.12) დამზადებულებებისასთვის:
ა) უძრავი ნაწილი, ბ) ტრანსპორტი

4.4. დეფორმაციების პროგნოზირების პიპერბოლური მოდელის ემპირიული პარამეტრების დადგენა გრაფიკულად

საინჟინრო ნაგებობათა დაწევების ხასიათი, როგორც ცნობილია, განისაზღვრება მათი სიდიდითა და სიჩქარით ანუ პროცესის ცვლილებით შერჩეულ დროის ერთეულში. ამასთან დაწევების ინტენსიურობის სიდიდეები უფრო არსებით როლს თამაშობს, ვიღრე შისი აბსოლუტური სიდიდეები. აქედან გამომდინარე, რა და S_k ემპირიული პარამეტრების გრაფიკული დადგენა უფრო ზუსტად მოხდება დაწევებითა და მათი სიჩქარეებით. ეს საკითხი გვითხოვთ განხილული წინა პარაგრაფში, სადაც დაწევები და მათი სიჩქარეები წარმოდგენილი იყო ექსპონენციალური ფუნქციით. აქაც იგივე საკითხს განვიხილავთ იმ განსხვავებით, რომ დაწევები და მათი სიჩქარეები წარმოდგენილი იქნებიან წაპერბოლური ფუნქციით [19]

$$S_t = S_k \frac{t}{\alpha + t}, \quad (4.13)$$

სადაც S_t არის t დროში მიმღინარე დაწევა, α ; S_k -მსგავს პირობებში მსგავსი ტიპის ნაგებობისათვის დაწევის საბოლოო სიდიდე, α ; t – დრო, თვე ან წელი; α – ემპირიული კოეფიციენტი, რომელის სიდიდე დამოკიდებულია ნაგებობის ტიპზე, გრუნტის თვისებებზე და სხვა ფაქტორებზე და იცვლება 0-დან 0.5-მდე.

(4.13) ფორმულის მიხედვით დაწევების η სიჩქარე ტოლი იქნება

$$\frac{\partial S_t}{\partial t} = v = S_k \frac{\alpha}{(\alpha + t)^2}. \quad (4.14)$$

იმისათვის, რომ (4.13) და (4.14) დამოკიდებულებები წარმოვადგინოთ ტრანსპარანტული ნომოგრამით, ისინი უნდა დავიყვანოთ 1.6 პარაგრაფში მოცემული მეთოდიკით (1.28) კანონიკურ სახეზე. ამისათვის, (4.13) და (4.14) წარმოვადგინოთ ასეთი სახით

$$\frac{1}{S_k} = \frac{t}{S_t(\alpha + t)} = \frac{\alpha}{v(\alpha + t)^2}.$$

გალოგარითმებულ ბოლო ტოლობას ქვეშ მიღებულოთ $\alpha = \alpha = \alpha$ იგივეობა, შედეგად გვმენება

$$0 - lg S_k = lg \left(\frac{t}{\alpha + t} \right) - lg S_t = lg \left(\frac{\alpha}{(\alpha + t)^2} \right) - lg v, \quad (4.15)$$

(4.15) ანალოგიურია (1.28) ფორმულის

$$f_{12} - f_7 = f_{34} - f_8 = f_{56} - f_9,$$

$$g_{12} - g_7 = g_{34} - g_8 = g_{56} - g_9.$$

(4.15) და (1.28) ფორმულის შედარებით გვაძება:

$$f_{12} = 0; f_{34} = lg \frac{t}{\alpha + t}; f_{56} = lg \frac{\alpha}{(\alpha + t)^2}; \quad (4.16)$$

$$g_{12} = \alpha; g_{34} = \alpha; g_{56} = \alpha.$$

(4.16) კანლაგდება ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე I-I მუნჯი სკალის; (α, t_{s_t}) ბინარული ველისა და (α, t_v) ბინარული ველის სახით, ხოლო

$$f_7 = lg S_k; f_8 = lg S_t; f_9 = lg v; \quad (4.17)$$

$$g_7 = 0; g_8 = 0; g_9 = 0,$$

(4.17) განლაგდება ნომოგრამის მომრავ ნაწილზე – ტრანსპარანტული პორიზონტულური სკალების სახით.

ნომოგრამის ასაგები კოორდინატები როგორც უძრავ, ისე მოძრავ ნაწილზე მოცემულია 1.2 ცხრილში (§1.6). ცხრილში წარმოდგენილი პარამეტრების მნიშვნელობებია:

$$a_0 = b_0 = a'_0 = b'_0 = a = b = 0; c = 520 \text{ მმ}; d = 30 \text{ მმ}; \mu_x = 150; \mu_y = 200; \delta_x = 1; \delta_y = 0.$$

(4.13) და (4.14) ფორმულებში შემავალი ცვლადებისა და ემპირიული პარამეტრების ცვლადებადათა დიაპაზონი აღებული გვაქვს შემდეგ ფარგლებში:

$$0,05 \leq \alpha \leq 0,5;$$

$$1 \leq t \leq 10 \text{ წელი};$$

$$1 \leq S_k, S_t \leq 100 \text{ მმ};$$

$$0,001 \leq v \leq 1 \text{ მმ/წ.}$$

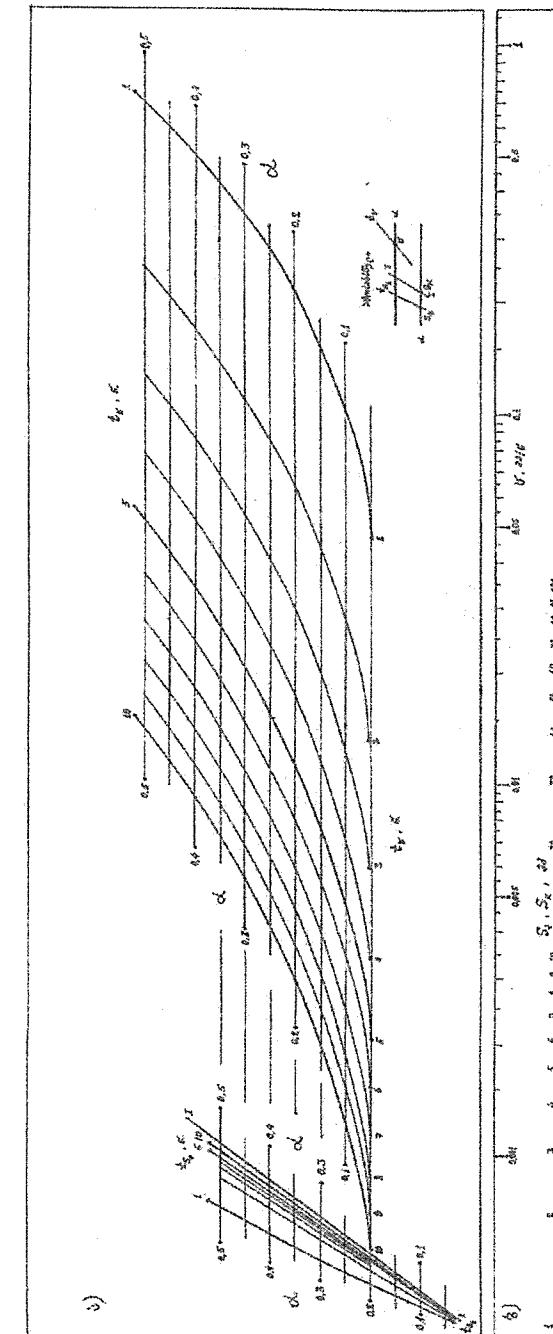
ცვლადებისა და პარამეტრების ასეთი მნიშვნელობებისათვის აგებული ტრანსპარანტული ნომოგრამა წარმოდგენილია 4.6 ნახაზზე.

4.6 ნახაზზე წამოდგენილი ნომოგრამა შეგვიძლია გამოვიყენოთ როგორც S_t დაწევებისა და v დაწევის სიჩქარეების საანგარიშოდ (4.13) და (4.14) ფორმულების ნაცვლად, ისე ამ ფორმულებში შემავალი ემპირიული α და S_K პარამეტრების სიდიდეთა დასაფეხური უმცირეს კვადრატულ მეთოდის ნაცვლად.

პირველ შემთხვევაში ტრანსპარანტის S_k სკალის გამოიწინებოთ უძრავ ნაწილზე α პორიზონტალური ხაზების გასწვრივ, შემდეგ მოცემულ S_k სიდიდეს დავმოთხვევთ მოცემული α და I-I მუნჯი სკალის გადაკვეთის წერტილს, რის შემდეგ მოცემული t გადაკვეთაზე (α, t_{S_t}) ველში S_t სკალასთან წაგიკითხავთ S_t პასუხს, ხოლო იგივე t სიდიდის გადაკვეთაზე (α, t_v) ველში v სკალასთან წაგიკითხავთ v სიჩქარის პასუხს. ფორმულით გამოთვლილთან შედარებით (ერთი გამონაკლისის გარდა) ვდებულობთ უმნიშვნელო განსხვავებას 1 – 2% ფარგლებში. გამონაკლისის სახით ერთ შემთხვევაში მივიღოთ 15% ცდომილება, რისი მიზეზიც v -ს მცირე მნიშვნელობაა – $v \approx 0,1 \text{ მმ/წ.}$ (ცხრ. 4.8).

ცხრილი 4.8

ჟავალითები	მოცემული სიდიდეები			გამოთვლილი სიდიდეები					
	S_k	α	t	S_t			v		
				ნომოგრ.	ფორმულით	$\Delta\%$	ნომოგრ.	ფორმულით	$\Delta\%$
1	60	0,5	7	57	56	1,8	0,52	0,53	1,9
2	50	0,35	5	46,5	46,7	0,4	0,60	0,61	1,7
3	68	0,45	5	62	62,4	0,6	1,0	1,03	3,0
4	90	0,4	6	84	84,4	0,5	0,90	0,88	2,3
5	30	0,3	8	28,3	28,9	2,1	0,15	0,13	15,4



ნახ. 4.6 ნომოგრამა (4.13) და (4.14) დაწევის ფარგლებების სიზოდულობა:

ა) უძრავი ნაწილი, ბ) სიზოდული, გ) სიზოდული

მეორე შემთხვევაში ანუ როცა ნომოგრამას ვიყენებთ ემპირიული პარამეტრების სიღილეთა დასადგენად, შეგვიძლია გამოვიყენოთ როგორც (t_s, α) ველი და S_t სკალა, ისე (t_v, α) ველი და v სკალა. ორივე შემთხვევაში ვიქცევით ასე:

ვალირიენტირებთ ნომოგრამის მომრავ ნაწილს უძრავზე ისე, რომ მოცემული t_j ($j = 1, 2, \dots$) მრავები პირველ ბინარულ ველში საუკეთესოდ შეუტავსლეს მოცემულ S_{tj} სიღილეებს. ამ მდგომარეობის დაფიქსირებით, მუნჯი სკალის გასწვრივ წავიკითხავთ S_k პარამეტრის მნიშვნელობას, ხოლო α -ს გასწვრივ გვჩვნება მისი სიღილე. როცა ვიყენებთ მეორე (t_v, α) ველს, მოცემული t_j სიღილეები უნდა საუკეთესოდ შეუტავსოთ ასევე მოცემულ v_j სიღილეებს, რომლის დაფიქსირებით მივიღებთ ივივე α და S_k პარამეტრების მნიშვნელობებს. აღნიშნული წარმოდგენლიდა ცხრ.4.9-ში, სადაც ნაჩერებია გრაფიკულად დადგნილი პარამეტრებით გამოთვლილ სიღილეთა (S_t და v) განსხვავება ივივე სიღილეების მოცემულ მნიშვნელობებთან $\%-\text{ში}$. როგორც ცხრილიდან ჩანს ეს განსხვავებები შეზურუბს 5 – 10% ფარგლებში.

ცხრილი 4.9

მაჩვნებლები		$t_j / S_{tj}, v_j$				გრაფიკულად განსაზღვრული პარამეტრები		ფორმულით გამოთვლილი S_t, v				ცდომილება $\Delta_j, \%$			
მაგალითები		1	2	3	4	α	S_k	1	2	3	4	1	2	3	4
ჯენერალური	t_s, S_t	$\frac{3}{12}$	$\frac{5}{13}$	$\frac{7}{13}$	$\frac{10}{13}$	0,36	14	12,5	13,0	13,3	13,5	4,0	0	2,3	3,7
	t_v, v	$\frac{3}{0,4}$	$\frac{5}{0,15}$	$\frac{7}{0,085}$	$\frac{10}{0,045}$	0,35	14	0,44	0,17	0,09	0,046	9,1	11,8	5,5	2,23

4.5. გრაფიკული მეთოდის გამოყენება ოპტიმალური პარამეტრების დასადგენად

დასმული ამოცანა მიეკუთვნება სამთო დარგს, კერძოდ მიწისქვეშა საბადოთა დამუშავების ოპტიმიზაციის საკითხს. განშილულ ამოცანებთან მას აკავშირებს გრაფიკული მეთოდების გამოყენების შესაძლებლობა სამეცნიერო კვლევითი მიზნით. კონკრეტულად, მათი დასხმარებით შესაძლებელია დავადგინოთ საწმენდი სანგრევის პარამეტრების ის ოპტიმალური სიღილეები, რომლებიც მინიჭებს ანიჭებს სარვენის [3].

ამოცანის არის შემდეგში მდგომარეობს – სასარგებლო წიაღისეულის ამოსაღები ველის ფარგლებში შრომისა და მასალების ყველა დანახარჯის გათვალისწინებას მიღებვართ ოპტიმალობის კრიტერიუმის (მაგალითად, სარვენის მინიჭები), მოცემული პირობებისათვის ფიქსირებული ფენის (ან შრის) სისქისა, სართულის დახრილი სიმაღლისა და ამოსაღები ველის სიგრძისას, საწმენდი სანგრევის სიგრძესა და მის დღეღამურ წინსვლასთან შემდეგ დამოკიდებულებასთან:

$$g_0 = \frac{C_1}{l} + \frac{C_2}{v} + \frac{C_3}{lv}, \quad (4.18)$$

სადაც g_0 არის სასარგებლო წიაღისეულის თვითონირებულება, $\text{ლ}/\text{ტ}$; l – საწმენდი სანგრევის სიგრძე, $\text{მ}; v$ – სანგრევის დღეღამური გადაადგილება, $\text{მ}/\text{დღ}$; C_1, C_2, C_3 – მოცემული პირობებისათვის ფიქსირებული კოეფიციენტებია, რომლებშიც განივთბულია შრომითი და მატერიალური ხარჯები ამა თუ იმ სამთო-გეოლოგიურ და სამთო-ტექნიკურ პირობებში.

ამოცანა მდგომარეობს (4.18) დამოკიდებულების მინიჭაციაში სანგრევის დატვირთვაზე შემდეგი შესღევის პირობებში:

$$\gamma m l v \leq A \quad \text{ანუ} \quad C_4 l v \leq 1, \quad (4.19)$$

სადაც $C_4 = \frac{\gamma m}{A}$; γ – არის სასარგებლო წიაღისეულის მოცეულობითი წონა, $\text{ტ}/\text{მ}^3$; m – ფენის სიმძლავრე, $\text{მ}; A$ – მაქსიმალური დატვირთვა სანგრევზე, რომელიც შეიძლება იყოს დამოკიდებული გაზშემცველობის ფაქტორზე, მაგნის ჭრაუნარიანობაზე; უნის ტვირთვამტარუნარიანობაზე და სხვა ფაქტორებზე, $\text{ტ}/\text{დღ}$.

ერთობლიობაში ამოცანა ფორმულირდება შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} g_0 &= \frac{C_1}{l} + \frac{C_2}{v} + \frac{C_3}{lv} \rightarrow \min, \\ \text{შეზღუდვით} \\ g_1 &= C_4 l v \leq 1. \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

დასმული ამოცანა ვანეკუთვნება ოპტიმიზაციის ამოცანებს და იგი ამოისნება გეომეტრიული პროგრამირების მეთოდით. შედეგად ვღებულობთ g_0^* პირობით მინიჭებს l^* და v^* ოპტიმალური მიშვნელობებისას.

ამჟამად, ჩვენი ამოცანაა (4.20) დამოკიდებულებების წარმოდგენა ტრანსპარანტული ნომოგრამის საშით, რომლითაც ამოცანას ამოვხსნით არა კლასიკური ოპტიმიზაციის მეთოდებით, არამედ გრაფიკულად. რაც მთავარია, გრაფიკული გადაწყვეტა საშუალებას გვაძლევს თვალი ვაღებოთ გრაფიკულად (4.20) ფუნქციონალური დამოკიდებულების ექსტრემალურ თვისებებზე პარამეტრების გავლენას, რითაც გამოვავლენთ ექსტრემუმის ახლოს ფუნქციის ცვლილების სასიათს.

ადრე განხილული ამოცანებისათვის ტრანსპარანტული ნომოგრამების აგებისას ტრანსპარანტი ყოველთვის სახაზავის სახის იყო და არ იყო აუცილებელი მისი გამჭირვალობა. ამჟამინდელი ნომოგრამის როგორც უძრავი, ისე მოძრავი ნაწილები შეიცავენ როგორც ბინარულ ველებს, ასევე სკალებსაც და ამდენად მისი მოძრავი ნაწილი, იგივე ტრანსპარანტი უნდა შესრულდეს გამჭირვალე ქაღალდზე.

ნომოგრამის ასაგებად წარმოგადგინოთ (4.20) შემდეგი სახით

$$\left. \begin{aligned} \frac{C_1}{l} + \frac{C_2}{v} &= g_0 - \beta = I, \\ l\nu &= \frac{C_3}{\beta} = \frac{1}{C_4}. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

სადაც $\beta = \frac{C_3}{l\nu}$, ხოლო (4.20)-ის შეზღუდვა აუღიერ ზღვრული მნიშვნელობით ($C_4 l\nu \approx 1$).

(4.21) სისტემა ტრანსპარანტული ნომოგრამის ასაგებად, უნდა დავიყვანოთ (1.37) სახეზე:

$$f_{12} - f_{78} = f_{34} - f_{9.10} = f_{56} - f_{11.12};$$

$$g_{12} - g_{78} = g_{34} - g_{9.10} = g_{56} - g_{11.12},$$

სადაც f_{ij} და g_{ij} არიან ნომოგრამის ულემენტების წერტილთა აბსცისები და ორდინატები და წარმოდგენილია 1.4 ცხრილში.

მივიყვანოთ (4.21) სისტემა (1.37) კანონიკურ სახეზე:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{C_1}{l} - \frac{C_2}{v} &= 0 - (g_0 - \beta) = 0 - I; \\ lgl - (-lg\nu) &= lgC_3 - lg\beta = (-lgC_4) - 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

(4.22)-ის შედარება (1.37)-თან, გვაძლევს:

$$f_{12} = -\frac{C_1}{l}; \quad f_{34} = 0; \quad f_{56} = 0;$$

$$g_{12} = lgl; \quad g_{34} = lgC_3; \quad g_{56} = -lgC_4.$$

ამრიგად, (C_1, l) ბინარული ველი, C_3 და C_4 სკალები განლაგდება ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე, ხოლო

$$f_{78} = \frac{C_2}{v}; \quad f_{9.10} = g_0 - \beta; \quad f_{11.12} = I;$$

$$g_{78} = -lg\nu; \quad g_{9.10} = lg\beta; \quad g_{11.12} = 0.$$

(C_2, v) ბინარული ველი, g_0 წრფეთა ოჯახი და ე.წ. “მუნკი სკალა” I განლაგდებიან ნომოგრამის მოძრავ ნაწილზე – გამჭირვალე ტრანსპარანტზე.

ნომოგრამა აგებულია (4.22) სისტემის შემადგენელი ულემენტების შემდეგი განტოლებებით:

ა) ნომოგრამის უძრავი ნაწილი:

1) (C_1, l) ბინარული ველი:

$$x = -20 \frac{C_1}{l}, \text{მმ}; \quad y = 200lgI, \text{მმ};$$

2) C_3 სკალა:

$$x = 250 \text{ მმ}; \quad y = 200lgC_3 - 100 \text{ მმ};$$

3) C_4 სკალა:

$$x = 200 \text{ მმ}; \quad y = -(200lgC_4 + 100), \text{მმ}.$$

ბ) ნომოგრამის გამჭირვალე ტრანსპარანტი:

1) (C_2, v) ბინარული ველი:

$$x' = 20 \frac{C_2}{v} \text{ მმ}; \quad y' = -200lg\nu, \text{მმ}.$$

2) g_0 წირთა ოვეანი:

$$x' = 250 + 20(g_0 - \beta), \text{მმ}; \quad y' = 200lg\beta - 100, \text{მმ}.$$

3) I მუნკი სკალა:

$$x' = 200 + 20I, \text{მმ}; \quad y' = -100 \text{ მმ}.$$

I-I მუნკი სკალა არ გრადუირდება. გარდამეტი ბარამეტრები აღებულია იმ გათვლით, რომ ნომოგრამის ულემენტები განლაგდეს ნახაზზე მოხერხებულად.

ნომოგრამის ულემენტების ცვალებადობათა დააპაზრონი აღებულია შემდეგ ზღვრებში:

$$0 \leq C_1 \leq 150; \quad 0 \leq C_2 \leq 5; \quad 50 \leq C_3 \leq 250;$$

$$0,001 \leq C_4 \leq 0,01;$$

$$0,15 \leq \beta \leq 5; \quad 20 \leq l \leq 250; \quad 0,5 \leq v \leq 10;$$

$$0,40 \leq g_0 \leq 5,60.$$

ამ მონაცემებით აგებული ნომოგრამა მოცემულია 4.7 ნახაზზე.

ამოცანის პირობებისან დამოკიდებით, ნომოგრამით სარგებლობის სერიი შემდეგში მდგომარეობს:

1) მოცემულია C_1, C_2, C_3, C_4, l და v . უნდა ვიპოვოთ g_0 მინიმალური სარჯები. ვადებთ გამჭირვალე ტრანსპარანტს უძრავ ნაწილზე ისე, რომ (C_1, l) ბინარულ ველში C_1 და l გადაკვეთის წერტილს შეუთავსდეს ტრანსპარანტის (C_2, l) ბინარულ ველში C_2 და v გადაკვეთის წერტილით, ხოლო C_4 სკალაზე მოცემულ წერტილს – I მუნკი სკალა, ამასთან ორივე ნაწილზე არსებული პირიზონტალური მიმშართველი წრფეები უნდა იყვნენ პარალელური. ამ მომენტში g_0 წირთა ოჯახის წირთა, რომელიც გადაკვეთს მოცემულ C_3 სკალას, მოგვცემს g_0 -ის მინიმალურ სიდიდეს – ლ/ტ.

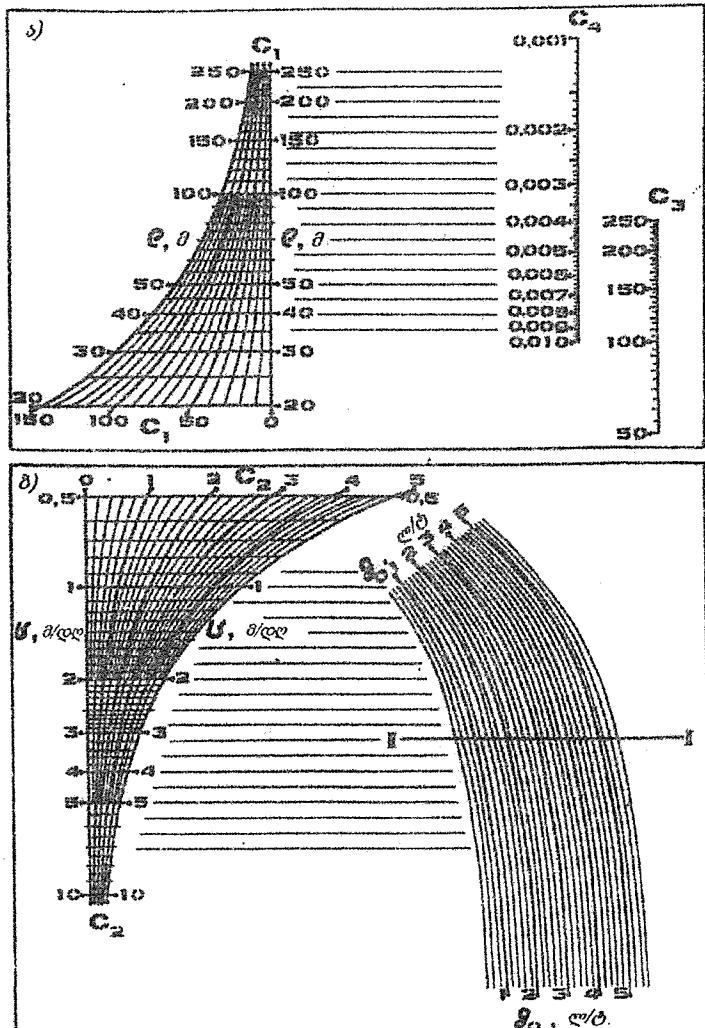
2) მოცემულია C_1, C_2, C_3 , და C_4 მნიშვნელობები. საჭიროა ვიპოვოთ g_0 სიდიდე, l და v ოპტიმალური მნიშვნელობებისას. სწორედ ეს არის ნომოგრამის აგების მთავარი მიზანი.

აღვნიშნოთ l და v პარამეტრების აპტიმალური სიდიდეები l^* და v^* , რომლებიც გვაძლევან გვი მინიმალურ სიდიდეს. l^*, v^* და g_0^* იქნებიან C_1, C_2, C_3 და C_4 ფიქსირებული კოეფიციენტების ფუნქციები. ამ შემთხვევაში ნომოგრამა გვაძლევებს შესაძლებლობას არა მარტო ვიპოვოთ l^*, v^* და g_0^* მოცემული C_1 სიდიდეებისას, არამედ გამოვალინოთ თუ როგორც მოქმედებებს l და v გადასრუბი მათივე ოპტიმალური სიდიდეებიდან g_0 სიდიდეზე.

კონკრეტულობისათვის ავიღოთ კერძო მაგალითი. $C_1 = 50$, $C_2 = 2$, $C_3 = 150$, $C_4 = 0,005$. უნდა ვიპოვოთ g_0^* , l^* და v^* .

გადავადგილოთ ორიგინალური გამჭირვალე ტრანსპარანტი ნომოგრამის უძრავ ნაწილზე ისე, რომ I მუნკი სკალა შეუთავსდეს მოცემულ 0,005-ს C_4 სკალაზე. გადავწევთ ტრანსპარანტს მარჯვნივ ან მარცხნივ (თვალი უნდა ვაღენიოთ, რომ 0,005 დარჩეს I სკალაზე და მიმმართველი წრფეები დარჩენ პარალელური). მანამდე, სანამ არ მივიღებთ g_0 -ის მინიმალურ სიდიდეს $C_3 = 150$ ჩანანიშნის g_0 წრფეებთან გადაკვეთაზე. ამასთან უნდა გადაიკვეთოს $C_1 = 50$ აღმნიშვნელი მრუდი (C_1, l) ბინარულ ველში $C_2 = 2$ აღმნიშვნელ მრუდთან (C_2, v) ბინარულ ველში. C_2 და C_3 შეზების წერტილში წავიკითხავთ $l^* = 70,7$ მ, $v^* = 2,83$ მდღ და $g_0^* = 2,18$ ლ/ტ. იმავდროობად ვადგენთ, რომ $60 \leq l \leq 80$ და $2,5 \leq v \leq 3,1$ ზღვრებში l და v ცვლილება ცვლის $g_0^* = 2,18$ ლ/ტ 3 – 5%-ის ფარგლებში.

ამრიგად, მინიმალური ხარჯებისა და იმავდროულად, ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა ანალიზური ამოცანიდან დავიყენეთ გრაფიკულად ამოცანაზე ტრანსპარანტული ნომოგრამის აგებით და მასზე მარტივი გეომეტრიული ოპტიმისტის შესრულებით. ამის გარდა, საშუალება გვეძლება გავაანალიზოთ მიზნობრივი ფუნქცია, კერძოდ როგორ მოქმედებს ფიქსირებული C_1 კოეფიციენტების ცვლილება საოპტიმიზაციო პარამეტრების ცვლილებზე, აგრეთვე როგორ იცვლება მინიმალური C_1^* და C_2^* პარამეტრების ცვლილებისას.



ნახ. 4.6 ნომოგრამა (4.20) დამოკიდებულებებისათვის:
ა) უძრავი ნაწილი, ბ) ტრანსპარანტი

ბ ო ლ ი თ ქ მ ა

წიგნში წარმოდგენილი საინჟინრო-გეოლოგიური ამოცანების გრაფიკული გადაწყვეტის გზა აჩვენებს მათ უფერტურობას სიმარტივისა და თვალსაჩინოების თვალსაზრისით. მრავალ შემთხვევაში გრაფიკული მეთოდები საშუალებას გვაძლევს გამოვიყვლით მუცეული მათებატიკური მოღვალების უქსტრემალური თვისტები, გავაანალიზოთ მოღვალში შემაგალი პარამეტრების ურთიერთდამოკიდებულებები და მათი ვაკლენა ფუნქციაზე.

წიგნში მოცუმული მრავალი მაგალითიდან ნათლად ჩანს, თუ რა საინტერესო ინფორმაცია შეიძლება წარმოვაჩინოთ გრაფიკულად, თავისთვის არცთუ საინტერესო ციფრული მონაცემებისგან, რომელთა ანალიზური დამუშავება სხის ამოცანას, მაგრამ ამავე დროს შევრ საინტერესო დეტალს ფარავს. გრაფიკულ ამონასნს მაშინ აქვს უმაღლესი ღირებულება, როდესაც გვაიძულების შევამჩნიოთ ის, რასაც ნაკლებად გვლობით დაგვენახა.

ასევე მნიშვნელოვანია გრაფიკული მეთოდები ფუნქციონალურ დამოკიდებულებათა ისეთი კლუვებისათვის, როგორიცაა: ფუნქციაში შემავალი პარამეტრების უქსტრემალურ თვისტებათა კლუვა; ემიტირული ფორმულის პარამეტრების დადგენა; პარამეტრების ცვლილებათა საძიებელ სიდიდეზე გავლების დადგენა ა.შ.

ამიტომაც საყოველთაო კომპიუტერიზაციის პირობებშიც კი შემცნების თვალსაზრისით აქტუალურ ამოცანად გვესახება ვრაფიკული მეთოდების გამოყენების შემდგომი განვითარება და მათი პრაქტიკული გამოყენების გაფართოება. ამ შემთხვევაში კომპიუტერი იძენს მასტიმულირებელ მნიშვნელობას, რადგანაც მისი დახმარებით გაცილებით ითლია ნომოგრამების აგება. ნომოგრამები ასეთ დროს კომპიუტერის ისეთივე პროდუქცია იქნება, როგორც რიცხომრივი ამონახსნები და მათ საუკმედო შედგენილი ცხრილები.

ნომოგრამების ავტომატური აგებისათვის პროცედურების დამუშავება მათი კოშპიუტურული კონსტრუირების რეალურ შესაძლებლობას მოგვცემს, რითაც ნომოგრამები გასძება მანქანური ნომოგრაფიის უფრო მარტივად სელმისაწვდომი პროდუქცია.

ლიტერატურა

1. Хованский Г.С. Номография и ее возможности. М., Наука, 1977.
 2. Блох Л.С. Практическая номография. „Высш. школа“, М., 1971.
 3. Месхи М.А. Установление оптимальных параметров систем разработки мажных наклонных пластов (на примере Ткибули - Шаорского каменноуг. м-ния), Дисс. на соиск. уч. степ. К.Т.Н. Тбилиси, 1982.
 4. მ. თევზაძე, გ. მესხი. საინჟინრო ნაგებობათა დაწევების პროცენტირებისას პარამეტრების დაფენის გრაფიკული მეთოდი. სტუ-ს მრომბი №1 (406), 1995წ.
 5. გ. მესხი, გ. ჭავაურელი. ნაგებობათა დაწევორმაციების პროცენტირებისათვის ემპირიული პარამეტრების დაფენის გრაფიკული მეთოდი. სტუ-ს მრომბი №1 (475), 2010წ. გვ.54-58.
 6. Герсеванов Н.М. Основания номографического исчисления с приложением их к инженерному делу, Петербург, 1906.
 7. Хованский Г.С. Основы номографии. М. Недра. 1976.
 8. Козлова Е.Г. Подлевских Л.В. Синько В.И. Применение номограмм в управлении запасами на машиностроит. предпр. М. Машиностр, 1981.
 9. Хованский Г.С. Номограммы с ориентированным транспарантом. М., 1957.
 10. Хованский Г.С. Применение номограмм для исследования экстремальных свойств функций зависимостей, в кн.: номогр. сб. №3. М., ВЦ АН ССР, 1965, 76-102.
 11. Гусев С.И. Номографический метод определения оптимальных параметров дренажа, в кн.: номограф. сб. №6. М., ВЦ АН ССР, 1969, 47-54.
 12. თევზაძე გ. საინჟინრო გეოლოგია. ტ. IX „განათლება“, თბ. 1980.
 13. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. Под редакц. В.Д. Больщакова. М., Недра, 1976.
 14. თევზაძე გ. საინჟინრო გეოლოგიის კურსი, I ნაწილი. საინჟინრო-გეოლოგიური სამუშაოების ძირითადი მეთოდები და პრინციპები. „ტექნ. უნივერს“, თბ., 2011.
 15. Практикум по курсу прикладной геодезии. Авт.: Н.Н. Лебедев, В.Е. Новак, Г.П. Левчук и др. М., Недра, 1977.
 16. თევზაძე გ. საინჟინრო გეოლოგია. ტ. VIII „განათლება“, თბ., 1979.
 17. თევზაძე გ. გამოყენებითი გეოლოგიის კურსი, II ნაწილი. გეოლოგიური სამუშაოების საინჟინრო ნაგებობათა შესწებლობისას. „ტექნ. უნივერს“. თბ., 2012.
 18. Применение геодезических засечек, их обобщенные схемы и способы машинного решения (П.И. Баран, В.И. Мацкевич, Ю.В. Полищук и др.) М., Недра 1986.
 19. Андреева Ф.В., Борисенко Б.Г. Бузятов В.Г. и др. Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского промышленного строительства. М., Недра, 1988.

୧୯୬୮

წინათქმა	3
შესავალი	5
თავი 1. მირიტაზი ცხოვები ნომირზაზიდაზე	8
1.1. ნომიგრაცია და მისი შესაძლებლობები	8
1.2. ნომიგრაციის ძარითად ცნებები	11
1.3. ნომიგრაციული გამოკოდების სიზუსტე	17
1.4. ბაზური ნომიგრაცია და მისი აგების მეთოდიკა	20
1.5. განტირებული წერტილების ნომიგრაცია	23
1.6. ტრანსპარანტული ნომიგრაცია და მისი აგების მეთოდიკა	30
თავი 2. საინიციატივო გეოგრაფიული ამონანები, ზარმოწევილობის გადასაცემი	38
2.1. მრავალსაუკუნეების ქსელში ცალკეული საუკუნეების სიზუსტის ანგარიში	38
2.2. დონეებიული კუთხის შეცდომა განვიძელ პოლიგონობრივ სკაპი	46
2.3. ტრილატერაციის ქსელში კუთხის განსაზღვრის სიზუსტე	48
2.4. პირდაპირი კუთხური გადაკეთის ფარალობითი შეცდომა	52
თავი 3. მოწოდებისათვის ამონანები, ზარმოწევილობის განვითარების დამატილების გონიობრივი	56
3.1. მრულის მოხვევების კუთხის ანგარიში სერპანტინის ელემენტების დადგენისას	56
3.2. წრიული მრულის ფრაქტულტების ანგარიში	59
3.3. ტექტონიკული აუგამებისას მნიშვნელობისა და აღმატებების ანგარიში	62
3.4. საგამოზო ქსელებით საუკუნეების რაოდენობისა და სიზუსტის უზრუნველყოფის კოფიციენტების ანგარიში	64
თავი 4. გეოგრაფიული პარამეტრების განვითარების ამონანები ზარმოწევილობის ურაცხოა-ნებული ნომირზაზი	66
4.1. სამშენებლო ბაზის ელემენტების განაზომება სიზუსტის ანგარიში	66
4.2. ბარომეტრული ნიველიზაცია დამატების ანგარიში	70
4.3. სანიჟინრო ნაგებობათა დაფურიშვილების პროცენტირების ექსპონენციალური მოდელის გმპრიოული პარამეტრების დადგენი გრაფიკულად	72
4.3.1. გმპრიოული პარამეტრების დადგენი დატევებით	73
4.3.2. გმპრიოული პარამეტრების დადგენი დატევებითა და სიჩქარეებით	77
4.3.3. გმპრიოული პარამეტრების დადგენი დატევებით, სიჩქარეებითა და აჩქარებებით	80
4.4. დფურიშვილების პროცენტირების პიპროცენტური მოდელის გმპრიოული პარამეტრების დაფურისა გრაფიკულად	83
4.5. გრაფიკული მეთოდის გამოყენება ოპტიმალური პარამეტრების დასაღენად ბოლოებებს	87
ლიტერატურა	91
სარჩევა	92

ତୀରାଶୀ 50 ମିମ୍ବ
O.B. "ପରିବା ଏକାଧିକାରୀଙ୍କାରୀ"