

ნ. თევეძე

მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებული მოღვაწე,
ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

საინჟინრო გეოდეზია

II

(სწავრიოლუი, სწაკალი და სიბრჯყისიერი
გეოდეზიის ელემენტები)

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური
განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სა-
ხელმძღვანელოდ უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლე-
ბის სტუდენტებისათვის

საინჟინრო გეოდეზიის მეორე წიგნი წარმოადგენს ძირითად სახელმძღვანელოს საინჟინრო გეოდეზიური და სამარკ-შეიდერო სპეციალობის სტუდენტებისათვის; იგი სრულად აკმაყოფილებს პოლიტექნიკური ინსტიტუტების სხვადასხვა სპეციალობის პროგრამებს, სადაც კი იკითხება საინჟინრო გეოდეზია.

წიგნში განხილულია სფეროიდული, სფერული და სიბრტყისმიერი გეოდეზიის საკითხები და შეიცავს საჭირო მახალლებს თეორიული გეოდეზიიდან.

წიგნი სარგებლობას მოუტანს გეოდეზიური და სამარკ-შეიდერო წარმოების მეცნიერ და პრაქტიკოს მუშაკებსაც.

თაზი I

1. 1.	გეოგრაფიული კოორდინატებისა და აზიმუტების ორგანიზაცია	7
1. 2.	გეოდეზიური კოორდინატებისა და აზიმუტის განსაზღვრა ასტრონომიული მონაცემებით	11
	A. გეოდეზიური კოორდინატების განსაზღვრა	13
	B. გეოდეზიური აზიმუტის განსაზღვრა. ლაპლასის განტოლება	15
1. 3.	შეუღლის სრული ფარდობითი გადახრების გრავიმეტრიული, ასტრონომიულ-გეოდეზიური და ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მეთოდებით განსაზღვრის არსი	19
	A. გრავიმეტრიული მეთოდის არსი	19
	B. ასტრონომიულ-გეოდეზიური მეთოდის არსი	20
	C. ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მეთოდის არსი	21
1. 4.	დელამიწის ტანში რეფრაქციული ინდექსის ორიენტაციის არსი	25
1. 5.	სიმაღლეები	30
	A. სიმაღლეების გამოსათვლელი ფორმულის ზოგადი სახე	30
	B. სიმაღლეების გამოსათვლელი სამუშაო ფორმულები	32
	C. სიმაღლეების სისტემები	37
	a. მიხლოებითი სიმაღლეები	37
	b. ორთომეტრიული სიმაღლეები	38
	c. ნორმალური სიმაღლეები	39
	d. დინამიკური სიმაღლეები	40
1. 6.	გეოიდის თანამედროვე განსაზღვრება. ფუნქციები	42
1. 7.	ლითოსფეროს ვერტიკალური მოძრაობების არსი და შესწავლა გეოდეზიური და ოკეანეგრაფიული მეთოდებით	47
1. 8.	ასტრონომიულ-გეოდეზიური და ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული ნიველობის არსი და ფორმულები	51
	A. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობა	52
	a. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობით გეოიდის სახის დადგენის შესახებ	52
	b. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობით დელამიწის ნამდვილი სახის დადგენის შესახებ	57
	c. ასტრონომიულ გეოდეზიური ნიველობით კვაზიგეოიდის სახის დადგენის შესახებ	59
	B. ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული ნიველობით კვაზიგეოიდის სახის დადგენის შესახებ	59
2. 1. 9.	რუსეთის, საბჭოთა კავშირისა და სხვა მეცნიერთა როლი ფიზიკურ მეთოდით დელამიწის ნამდვილი სახის დადგენის საქმეში	63

თაზი II

ზოგიერთი მრუდები და ზედაპირები

2. 2. 1.	ბრტყელი და სივრცითი მრუდები. ნორმალური კვეთილობები	63
	A. ბრტყელი და სივრცითი მრუდები	69
	B. ნორმალური კვეთილობები	70
	a. მთავარ ნორმალ კვეთილობათა სიმრუდის რადიუსები	70
	b. ეილერის ფორმულა	72
2. 2. 2.	მერიდიანისა და პარალელის რკალის სიგრძის გამოსათვლელი ფორმულები	73
2. 2. 3.	ელიფსოიდზე ორ წერტილის შორის ზოგიერთი მრუდი	75
	A. ურთიერთნორმალური კვეთილობები	75
	B. გეოდეზიური ხაზი	77

C. გასწვრივობის ხაზი	81
D. გეოდეზიური ხაზების უპირატესობანი.	81
E. გეოდეზიური წრეხაზი და გეოდეზიური პარალელი	83
2. 2. 4. სფერო, როგორც გეგმილი ზედაპირი თანამედროვე თვალსაზრისით	83
2. 2. 5. მცირე ზომის სფერული სამკუთხედები და მათი ამოხსნა	86
A. ლეანდრეს თეორემა	86
B. ადრამენტების ხერხი	92
2. 2. 6. ელემენტარული სფერული სამკუთხედები და მათი ამოხსნა	96
2. 2. 7. სფერული გეგმილი ზედაპირის ნაწილი, რომელიც მიიღება სიბრტყელ, და მასთან დაკავშირებული დამახინჯებები	98
A. თარაზული დამახინჯება	99
B. სფერული სიშრელის გაუღწეა წერტილების სიმაღლეებზე (ვერტიკალური დამახინჯება)	101

თ ა ვ ი III

გეოდეზიური ხაზუშაოების მოკლე მიმოხილვა

2. 3. 1. ძირითადი გეოდეზიური ხაზუშაოები	102
A. საყრდენი პუნქტების გეგმური მდებარეობის ასტრონომიულა მეთოდით განსაზღვრის არსი	102
B. საყრდენი პუნქტების გეგმური მდებარეობის გეოდეზიური მეთოდებით განსაზღვრის არსი	104
C. საყრდენი პუნქტების სიმაღლური მდებარეობის გეოდეზიური მეთოდებით განსაზღვრის არსი	105
2. 3. 2. ცნებები აგეკმუებისა და მათი სახეობების შესახებ 'ე'	106
2. 3. 3. გეგმების, რუკების, პროფილების შედგენასთან დაკავშირებული ზოგადი ცნებები	103
2. 3. 4. მასშტაბები	116
A. რიცხვითი და სახელდებული მასშტაბები	116
B. ხაზითი მასშტაბები	118
ა. მეტრული ხაზოვანი მასშტაბი	115
ბ. ხაზოვანი მასშტაბის ზღერული სიზუსტე	119
გ. სოლისებრი მასშტაბი	122
დ. ვანიუ მასშტაბი	122
ე. მასშტაბი წილად ფუტზე	126
ფ. მასშტაბის ფუძის დაყოფის შესახებ	127

თ ა ვ ი IV

წერტილია მდებარეობის განსაზღვრის ხაკითხისათვის

2. 4. 1. ადგილზე ხაზი. მიმართული მონაკვეთები. ღერძი	130
2. 4. 2. მიმართულება. თარაზული მიმართულება (ორიენტირება). ვერტიკალური მიმართულება. სიერკეში (ადგილზე) მიმართულება	132
A. გეოგრაფიული აზომეტი და რუმბი (გეოგრაფიული ორიენტირება)	133
B. დირექციული კუთხე. გეოგრაფიულ აზომეტებსა და დირექციულ კუთხეებს შორის დამოკიდებულება. დირექციული რუმბი (გეოგრაფიული ორიენტირება)	137
C. მაგნიტური აზომეტი და რუმბი (მაგნიტური ორიენტირება)	141
D. დირექციულ კუთხეებსა და მაგნიტურ აზომეტებს შორის დამოკიდებულება	143
E. აზომეტებით, დირექციული კუთხეებით და რუმბებით თარაზული კუთხეების განსაზღვრა	145
F. მიმართების კუთხე	147
G. დედამიწის მაგნიტიზმი	147
2. 4. 3. გიროსკოპიული ორიენტირების ცნება	156

კორდინატთა სისტემები ხანწინრო გეოდეზიაში

2. 5. 1. მართკუთხა კორდინატები	167
A. დეკარტის კორდინატები რიცხვთა ღერძზე	167
B. დეკარტის მართკუთხა კორდინატები სიბრტყეზე	168
C. დეკარტის მართკუთხა კორდინატები სივრცეში	160
D. მართკუთხა კორდინატები სფეროიდასა და სფეროზე	161
2. 5. 2. პოლარი კორდინატები	162
A. პოლარი კორდინატები სიბრტყეზე	162
B. პოლარი კორდინატები სივრცეში	163
C. პოლარი კორდინატები სფეროიდასა და სფეროზე	164
2. 5. 3. ბიპოლარული კორდინატები	164
2. 5. 4. გაუსის ბრტყელი მართკუთხა კორდინატების ზონალური სისტემა	165
A. გაუსის პროექციებში სიბრტყეზე გეოდეზიური ქსელის გამოსახვის არსი	168
a. გაუსის პროექციებში გამოსახულების მასშტაბი. ელიფსოიდის ზედაპირიდან მანძილების სიბრტყეზე გადასაყვანი ფორმულები. მანძილების რედუქციების ფორმულები	170
b. მიმართულებების შესწორებების გამოსათვლელი ფორმულები სიბრტყეზე გეოდეზიური ხაზების გამოსახულების სიმრუდისათვის	176
c. მერიდიანების შეხლოების კუთხის გამოსათვლელი ფორმულები	180
d. გეოდეზიურ აზიმუტსა და დირექციულ კუთხეს შორის დამოკიდებულება დიდ მანძილებზე (მეორე შემთხვევა)	184
B. ზონების, ზონების გამოსახულება სიბრტყეზე. გაუსის კორდინატები	186
2. 5. 5. საბჭოთა კავშირის ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების კლასიფიკაცია, მათი დაყოფა, აღნიშვნა-დანომრვა და ნომენკლატურა	190
A. რუკებისა და გეგმების კლასიფიკაცია	190
B. მიმოხილვით-ტოპოგრაფიული და ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების დაყოფა, აღნიშვნა-დანომრვა და ნომენკლატურა	192
2. 5. 6. ტოპოგრაფიულ რუკებზე კორდინატთა ბადეების აგება	201
A. გეოგრაფიული ჩარჩოს წერტილების გაუსის კორდინატების განსაზღვრა მათი გეოდეზიური კორდინატების საშუალებით	201
B. ჩარჩოს ფარგლებში კილომეტრული ბადის ოთხივე განაპირა წერტილების გაუსის კორდინატების განსაზღვრა	206
C. კონცენტრული ბადისა და ჩარჩოს აგება-გაფორმება და წარწერები. წერტილის გეოგრაფიული და მართკუთხა კორდინატების განსაზღვრა	208
2. 5. 7. წერტილის გაუსის კორდინატების გამოთვლა მისი გეოდეზიური კორდინატების ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის. წერტილის გეოდეზიური კორდინატების გამოთვლა გაუსის კორდინატების საშუალებით	214
A. წერტილისგაუსის კორდინატების გამოთვლა მისი გეოდეზიური კორდინატებით	214
B. წერტილის გეოდეზიური კორდინატების გამოთვლა გაუსის კორდინატების საშუალებით	220
2. 5. 8. გაუსის პროექციებში ექვსკრადუსიანი ზონის წერტილის ბრტყელი მართკუთხა კორდინატების გარდაქმნა ჩონიჩნავე ექვსკრადუსიანი ზონის ბრტყელი მართკუთხა კორდინატების საშუალებით	222
A. ზონების საზღვრის მახლობელი ზომიჩნავე რუკების კორდინატთა ბადეების გადაფარვის, ანუ ორმავ ბადის ხერხი	223
B. გადასაყვანი ფორმულებისა და სათანადო ცხრილების გამოყენების ხერხი	224

მთავარი გეოდეზიური ამოცანები

2. 6. 1. პირდაპირი და შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე დეკარტის მართკუთხა კორდინატებით	231
A. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე	231
B. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე	234

2. 6. 2. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა ელიფსოიდის ზედაპირზე გაუსის ბრტყელში მართულთხა კოორდინატებით	235
A. გამოსავალ წერტილში გაუსით მერიდიანთა შეახლოების გამოთვლა	236
B. ხაზის ბოლო წერტილის ნიახლოებითი კოორდინატების გამოთვლა	238
C. მანძილისა და მიმართულების რედუქციების განსაზღვრა	238
D. სიბრტყეზე ხაზის სიგრძისა და მისი დირექციული კუთხის გამოთვლა	241
E. ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის კოორდინატების საბოლოო ოდენობების გამოთვლა	241
F. ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის კოორდინატების სათანადო ექვსკრადუსიან ზონაში გადაანგარიშება	241
2. 6. 3. შებრუნებულ გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა ელიფსოიდის ზედაპირზე გაუსის ბრტყელში მართულთხა კოორდინატებით	243
A. ხაზის პირველი წერტილის კოორდინატების გადაანგარიშება დასაუღეთ ზონიდან აღმოსავლეთ ზონაში	244
B. მერიდიანთა შეახლოების გამოთვლა—(1) სქემა	244
C. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე—(1') სქემა	244
D. მანძილებისა და მიმართულებების რედუქციის გამოთვლა	246
E. გეოდეზიური ხაზის აზმუტისა და სიგრძის გამოთვლა	247
2. 6. 4. სფეროიდზე მთავარი გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნა გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით	247
A. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სფეროიდზე გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით	248
B. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სფეროიდზე გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით	255
2. 6. 5. მთავარი გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნა სიერკეში	255
A. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანა სიერკეში	281
B. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანა სიერკეში	281

თ ა ვ ი VII

პირობითი აღნიშვნები

2. 7. 1. მასშტაბური, ზოლური, უმასშტაბო და განმარტებითი პირობითი აღნიშვნები	266
A. წარწერები რუკებზე	268
2. 7. 2. უსწორმასწორობის (რელიეფის) გამოშახველი პირობითი აღნიშვნები	272
A. ნიშნულებიანი გეგმილები	274
B. წერტილი. ხაზი	275
ბ გრადუირება	284
ვ. ინტერვალების ცხრილი და დიაგრამა დაქანებთა და ქანობების მიხედვით	292
დ. ხაზები	294
ე. სიბრტყე	297
ფ. სიბრტყეები	300
გ. სიბრტყე და ხაზი	304
ჰ. შეთავსების მეთოდის გამოყენება ზოგიერთი მეტრული ამოცანის ამოსახსნელად	305
ი. ზოგიერთი გეომეტრიული სხეულების ზედაპირები	311
2. 7. 3. იზოპიფსების მეთოდი	312
2. 7. 4. კეთის სიმაღლის შერჩევა	318
2. 7. 5. რელიეფის სხვადასხვა ფორმების იზოპიფსებით გამოსახვა	319
2. 7. 6. რელიეფის სხვადასხვა ფორმების ვარდნილობის ხაზები და უდიდესი ვარდნილობის ხაზი	323
2. 7. 7. ტოპოგრაფიულ რუკაზე წერტილების ნიშნულების განსაზღვრა	324
2. 7. 8. პროფილის აგება	326
2. 7. 9. რუკაზე მოკეპული მიმართულებით საჭირო დაქანების ან ქანობის მქონე ხაზის დანიშვნა და წყალსაერთი ხაზის დაქანების ან ქანობის განსაზღვრა	327
2. 7. 10. ადგილის მოშანდაკება თარაზულად (ნიველირება)	325
2. 7. 11. ადგილის მოშანდაკება დახრილ სიბრტყეში (ფენის გამოსავლის ხაზის დანიშვნა რუკაზე)	329
2. 7. 12. რუკაზე წყალს კრები აუზის დანიშვნა	331
გამოყენებული ლიტერატურა	332

**2. 1. 1. გეოგრაფიული კოორდინატებისა და აზიმუტების
ორგანიზაციის სახე**

დედამიწის ხილულ ზედაპირზე შესრულებული განაზომების რეფერენც-ელიფსოიდზე რედუცირებისათვის, როგორც ცნობილია, მთავარ მიმართულებად მიღებულია ნორმალის. ადგილზე ნებისმიერი (როგორც გეოდეზიური, ისე ასტრონომიული) გაზომვები კი დაკავშირებულია შვეულუბთან, როგორც სიძიმის ძალის ბუნებრივ მიმართულებებთან, მაშასადამე, თეორიული თვალთახედვით რედუცირებასთან დაკავშირებით შეიძლება ვთქვათ, რომ გეოდეზიაში მთავარ მიმართულებად მიღებულია ნორმალის რეფერენცელიფსოიდის მიმართ, ხოლო გაზომვებთან დაკავშირებით, როგორც გეოდეზიაში, ისე ასტრონომიაში—შვეული, რაც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია კვაზიგეოიდთან (პრაქტიკულად კი რედუცირების დროს ნორმალსა და შვეულს შორის განსხვავებას უგულებელყოფენ, 1. 6. 6 პარაგრაფი). ამ მიმართულებათა შორის იქმნება S_i კუთხე, რასაც ეწოდება შვეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრა და რომელიც შეიძლება დაიშალოს ξ_i და η_i მდგენლებად. პირველი არის S_i სიდიდის გეგმილი გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყეზე და უწოდებენ შვეულის გადახრას მერიდიანის სიბრტყეში, ხოლო მეორე მდგენელია S_i სიდიდის გეგმილი მთავარი (პირველი) ვერტიკალის სიბრტყეზე და ეწოდება შვეულის გადახრა პირველი ვერტიკალის სიბრტყეში.

როგორც ვხედავთ, შვეულისა და ნორმალის ცნებების შესაბამისად, უნდა დაზუსტდეს გეოგრაფიული კოორდინატებისა და აზიმუტების საკითხი ასტრონომიული და გეოდეზიური მერიდიანების ცნების შემოტანით.

ასტრონომიული (კეშპარიტი) მერიდიანის სიბრტყე წარმოდგენით გადის (ნახ. 2. 1. 2. 1) დგომის D წერტილის შვეულზე (უფრო სწორად ძალური ზაზის, ანუ შვეულის მხებზე), მაშასადამე, დამკვირვებლის ასტრონომიულ Z ზენიტსა და ნადირზე და სამყაროს P_{Σ} ჩრდილო და სამხრეთ პოლუსებზე (ნახ. 2.1.2.1, დაზაზულია სამყაროს მხოლოდ ჩრდილო ნახევარი). როგორც ვხედავთ, ადგილის ნებისმიერი წერტილის ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყე საერთოდ პარალელურია დედამიწის P_0P_0 ბრუნვის ღერძისა (ნახ. 1. 3. 3. 2), ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა შვეულის მიმართულება ჰკვეთს დედამიწის ბრუნვის ღერძს, მაშინ ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყე გადის დედამიწის ბრუნვის ღერძზე.

გეოდეზიური მერიდიანის შესაბამისი სიბრტყე კი წარმოდგენით გადის რაიმე პუნქტიდან (დგომის D წერტილიდან) რეფერენც-ელიფსოიდისადმი (ან სფეროსადმი) დაშვებულ ნორმალზე, ანუ დამკვირვებლის გეოდე-

ხიურ Z_8 ზენიტსა და შესაბამის ნადირზე (ნახ. 2.1.2.1) და რეფერენც-ელიფსოიდის (ან სფეროს) PP_1 ღერძზე. გეოდეზიური მერიდიანის მიმართ თუ ლება ისაზღვრება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე დაგეგმილებული გეოდეზიური კსელების გამოთვლებით.

ზემოსხენებულ ცნებათა შესაბამისად დავასკვნით, რომ გეოგრაფიული კოორდინატები და გეოგრაფიული აზიმუტები ორგვარია: ასტრონომიული, ანუ კვაზიგეოიდური, და გეოდეზიური, ანუ სფეროიდული ან სფერული.

ადგილის ნებისმიერი წერტილის კვაზიგეოიდზე გეგმილის ასტრონომიული φ განედი წარმოადგენს ბრყელ კუთხეს, რომელსაც ამ წერტილზე გატარებული შვეული ქმნის ეკვატორის სიბრტყესთან, ხოლო იმავე წერტილის ასტრონომიული λ გრძედი იქნება ორწახნაგა კუთხე, რომელსაც ამ წერტილის ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყე ქმნის საწყისი წერტილის (გრინვიჩის) ასტრონომიულ მერიდიანის სიბრტყესთან (1.3.5. პარაგრაფი და 1.3.5.1 ნახაზი).

პუნქტის ასტრონომიული A აზიმუტი იზომება კვაზიგეოიდის მხებ, ანუ ჰორიზონტის სიბრტყეზე. ეს სიბრტყე გეომეტრიული წარმოდგენით მხებია იმ წერტილისა, რომელიც მიღებულია ადგილის რაიმე საწყისი (გამოსავალი) წერტილის კვაზიგეოიდზე შვეული მიმართულებით დაგეგმილებით.

A ასტრონომიული აზიმუტი ტოლია ზემოსხენებულ სიბრტყეზე მდებარე იმ ხაზოვანი კუთხისა, რომელსაც დგომის წერტილის ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყესთან ქმნის ამ წერტილიდან რაიმე სამიზნე წერტილზე (პუნქტზე) გატარებული შვეული (კვაზიგეოიდისადმი ნორმალი) სიბრტყე.

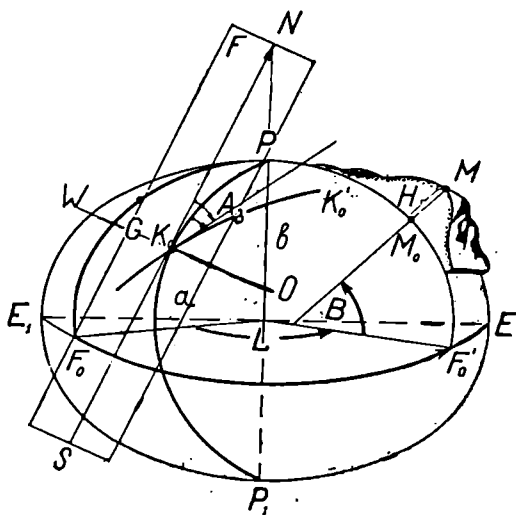
პუნქტის ასტრონომიული A აზიმუტი მიიღება მნათობის a აზიმუტისა და მნათობსა და პუნქტზე მიმართებებს შორის თარაზული Q კუთხის შეჯამებით (იხ. 8.1.2.1 ტოლობა).

ცნობილია, რომ პუნქტის ასტრონომიული განედის ოდენობა იცვლება ეკვატორიდან ჩრდილოეთითა და სამხრეთით 90° -მდე; ასტრონომიული გრძედი კი იცვლება გრინვიჩის მერიდიანიდან აღმოსავლეთით $+180^\circ$ ანუ $+12^\circ$, დასავლეთით -180° ანუ -12° (ევროპაში მიღებულია ნიშნები პირიქით), ხოლო მნათობების აზიმუტი იცვლება ადგილის ციური მერიდიანის ჩრდილოეთ ან სამხრეთ მიმართულებიდან 360° -მდე. პუნქტების (წერტილების) ასტრონომიული აზიმუტისა და კოორდინატების განსაზღვრის, ანუ ოდენობების დადგენის საკითხი განხილულია (8.1) თავში.

ადგილის ნებისმიერი წერტილის (პუნქტის) რეფერენც-ელიფსოიდზე გეგმილის გეოდეზიური B განედი წარმოადგენს ბრტყელ კუთხეს, რომელსაც წერტილზე გატარებული რეფერენც-ელიფსოიდისადმი MM_0 ნორმალი λ ქმნის ეკვატორის სიბრტყესთან, ხოლო იმავე წერტილის გეოდეზიური L გრძედი იქნება ორწახნაგა კუთხე, რომელსაც ამ წერტილის გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყე ქმნის გრინვიჩის გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყესთან (ნახ. 1).

A გეოდეზიური აზიმუტი წარმოადგენს კუთხეს (ნახ. 1),

რეფერენც-ელიფსოიდის მხეებ სიბრტყეზე. ეს სიბრტყე გეომეტრიული წარმოდგენით გადის იმ წერტილზე, რომელიც მიღებულია ადგილის რაიმე საწყისი (გამოსავალი) წერტილის რეფერენც-ელიფსოიდზე ნორმალთ დაგვემიღების შედეგად. A_0 გეოდეზიური აზიმუტი ტოლია ზემოხსენებულ სიბრტყეზე მდებარე იმ ხაზოვანი კუთხისა, რკომელსაც დგომის (საწყისი) K_0 წერტილის გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყესთან ქმნის ამ წერტილში რეფერენც-ელიფსოიდისადმი ნორმალსა და რაიმე (სამიზნე) K_0' წერტილზე გატარებული სიბრტყე. ყველა კუთხე სფეროიდული კუთხეების ოდენობების გამომსახველია. ხოლო, როცა გვემით ზედაპირად სფე-



ნახ 2.1.1.1

როს ზედაპირს ვიღებთ, გეოდეზიურ B, L კოორდინატებსა და A_0 აზიმუტებს სფერულ კოორდინატებსა და აზიმუტებს უწოდებენ, რადგანაც ისინი სფერული კუთხეების ოდენობების გამომსახველნი იქნებიან.

(როგორც ვხედავთ, ასტრონომიულად გაზომილ გეოგრაფიულ კოორდინატებსა, აზიმუტებსა და გეოდეზიურად განსაზღვრულ გეოგრაფიულ კოორდინატებსა და აზიმუტებს შორის განსხვავება უნდა ვეძიოთ ნორმალებიდან შეეულებს გადახრის დადგენის საფუძველზე,) რაც შემდეგ პარაგრაფში იქნება განხილული. აქვე განმეორებით დავსძენთ, რომ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე პუნქტების ასტრონომიული კოორდინატები და აზიმუტები იზომება თვით დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე ასტრონომიული ხერხებით ციურ მნათობებზე დაკვირვებებით (8.1 თავი) და მნათობებსა და პუნქტებზე მიმართებათა შორის კუთხეების გაზომვით; იმავე პუნქტების გეოდეზიური კოორდინატებისა და აზიმუტების გაზომვები არ შეიძ-

ლება. ისინი გამოითვლებიან მათი ასტრონომიული კოორდინატებისა და სხვა გეოდეზიური განაზომების საშუალებით (2.2.2 და 2.6.5 პარაგრაფი), რომლებიც გამოსახავენ ზეოხსენებულ პუნქტების რეფერენც-ელიფსოიდზე პროექციების მდებარეობას.

გეოდეზიური სამუშაოების შესრულების დროს ასტრონომიულად და გეოდეზიურად განსაზღვრულ გეოგრაფიულ კოორდინატებს შორის განსხვავებას არ უგულებელყოფენ. ამ განსხვავებას დიდ ყურადღებას აქცევენ და საგანგებოდ სწავლობენ განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც იკვლევენ დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენის პრობლემას. /

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ ასტრონომიულ და გეოდეზიურ კოორდინატების ოდენობებს შორის განსხვავება, რაც ვანპირობებულია ნორმალურიდან შეველის გადახრებით, საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის დიდ ნაწილზე აღწევს 3"-3",5, რაც ხაზობრივ განზომილებაში დაახლოებით ± 100 მეტრია; ხოლო ზოგიერთ მთაგორიან ადგილებში და განსაკუთრებით სიმძიმის ძალის ანომალიურ რაიონებში 10"-20" და 40" აღწევს, რაც ხაზობრივ განზომილებაში დაახლოებით 300—600—1300 მეტრი იქნება.

გეოდეზიური კოორდინატების სისტემას დიდი თეორიული და პრაქტიკული გამოყენება აქვს, რაც შემდეგში გამოიხატება:

1. ეს სისტემა არის რეფერენც-ელიფსოიდის მთელი ზედაპირისათვის ერთიანი; ამის გამო იგი დედამიწის საერთო სახის კოორდინატთა სისტემაში აერთიანებს გეოდეზიურ, ტოპოგრაფიულ და კარტოგრაფიულ ქსელებსა და მასალებს; ცხადია, დედამიწის ერთი და იმავე წერტილების გეოდეზიური კოორდინატები იქნებიან განსხვავებული, თუ მოცემულ ელიფსოიდს შევცვლით სხვა პარამეტრებისა და დედამიწის ტანში სხვაგვარად ორიენტირებული ელიფსოიდით;

2. არ მოითხოვს რაიმე დამატებით და დამხმარე აგებებს; ამ სისტემაში საკოორდინატო ხაზები, ანუ მერდიანები და პარალელები უშუალოდ ემთხვევა ელიფსოიდის ზედაპირს და მათი გამოყენება როგორც ერთიანი და მთლიანი: გეოდეზიური, ტოპოგრაფიული და კარტოგრაფიული მასალის დამუშავების დროს მოხერხებულია მაშინაც კი, როცა განხილავი ტერიტორიები არ წარმოადგენს ერთ მთლიან მასივს;

3. გამოიყენება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირის მიმართ ნორმალის მდებარეობის (მიმართულების) დადგენისათვის, რაც მეტად საჭიროა დედამიწის ნამდვილი სახის (ფიგურის) პრობლემის ამოხსნისათვის, შეველის გადახრის დადგენისათვის და სხვადასხვა მეცნიერული და პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად.

შენიშვნა. ტერმინი „გეოგრაფიული განედი“, „გეოგრაფიული გრძედი“, ანუ „გეოგრაფიული კოორდინატები“ წარმოიშვა იმ დროიდან, როცა დედამიწის საერთო სახედ სფეროს სთვლიდნენ და დედამიწის წერტილების განელებს და გრძელებს ისაზღვრებოდა ასტრონომიული მეთოდებით. მეორე პერიოდში, ანუ როცა დედამიწის საერთო სახედ ნაცულად სფეროსა მიღებულ იქნა სფეროიდი, მაინც არ ასხვავებდნენ ერთმანეთისაგან წერტილების გეოდეზიურ B განედსა და L გრძედს ასტრონომიული φ განედისა და λ გრძედისაგან. იმის შემდეგ, რაც მნიშვნელოვნად გაიზარდა გეოდეზიური და ასტრონომიული გაზომვების სიზუსტე, გამოვლინდა მნიშვნელოვანი განსხვავება დედამიწის ზედაპირის ერთი და იმავე წერტილების ასტრონომიულ და გეოდე-

ზიურ კოორდინატებს შორის, მაგრამ მიანც ტერმინი „გეოგრაფიული კოორდინატები“ ამჟამადაც შემორჩენილია კოორდინატთა ორივე სისტემის მიმართ. მაშასადამე, გეოდეზიაში გეოგრაფიულ კოორდინატებს უწოდებენ განედებსა და გრძედებს, რომლებიც ისაზღვრებიან სფეროს, სფეროიდის ან კვაზიგეოიდის ზედაპირისადმი ნორმალების საშუალებით, ხოლო მათემატიკაში კი ნებისმიერი ბრუნვის ზედაპირის მიმართ.

2.1.2. გეოდეზიური კოორდინატებისა და აზიმუტის განსაზღვრა ასტრონომიული მონაცემებით

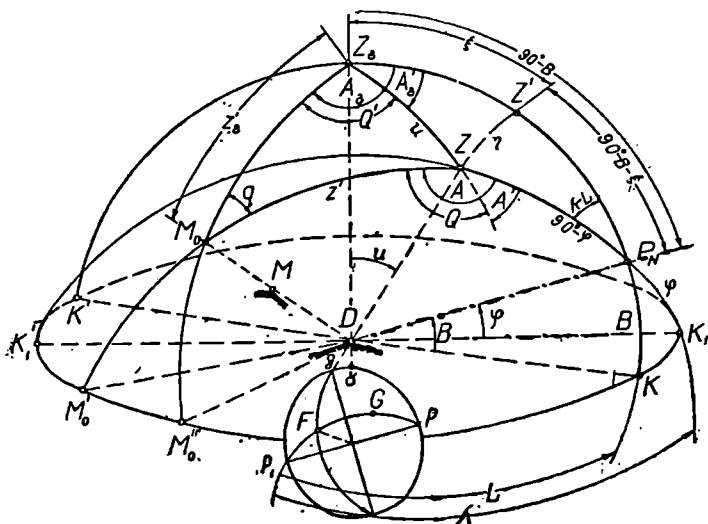
ცნობილია (1.6.7 პარაგრაფი), რომ შევეულის სრული აბსოლუტური, ანუ გრავიმეტრიული გადახრა წარმოადგენს კუთხეს, რომელსაც ადგილის ნებისმიერი წერტილიდან მსოფლიო ელიფსოიდზე დაშვებულ ნორმალთან ქნის იმავე წერტილში სიმპიზის ძალის მიმართულება, ანუ შევეული; ხოლო სრული ასტრონომიულ-გეოდეზიური ფარდობითი გადახრა გვექნება მაშინ, როცა რედუცირების ზედაპირად გამოყენებული გეაქვს რომელიმე რეფერენც-ელიფსოიდი. პუნქტების (წერტილთა) კოორდინატებისა და აზიმუტების ოდენობათა დადგენის ყველა ასტრონომიულ-გეოდეზიურ მოქმედებებს, რომლებიც დაკავშირებული არიან თარაზოთი და შევეულით წერტილზე დაყენებულ ინსტრუმენტთან, ეწოდება გეოდეზიური გაზომვები. განაზომები შეიძლება რედუცირებულ (დაყვანილ) იქნეს ძირითად დონებრივ (ოკეანეთა, კვაზიგეოიდის) ზედაპირზე, რაც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ წერტილთა ასტრონომიული კოორდინატები და აზიმუტები.

იმისათვის, რომ განაზომ ელემენტებზე სფეროიდული ან სფერული გეოდეზიის ფორმულებით ვაწარმოოთ გამოთვლითი სამუშაოები, საჭიროა ხსენებული კვაზიგეოიდიდან კიდევ გადასვლა რედუქციით რეფერენც-ელიფსოიდზე, რისთვისაც საჭიროა მადეველობაში მიღებულ იქნას შევეულის ზემოხსენებული გადახრები. აღნიშნულ გადახრათა მხედველობაში მიღებითა და ძირითადი გეოდეზიური საფუძვლის გამოსავალ პუნქტზე ავტონომიურად (დამოუკიდებლად) გაზომილი ასტრონომიული კოორდინატებით და აზიმუტებით ისაზღვრება (გამოითვლება) რეფერენც-ელიფსოიდზე გამოსავალი პუნქტის გეოდეზიური კოორდინატები და ამ პუნქტიდან ნებისმიერ პუნქტებზე გეოდეზიური აზიმუტები და მიმართებათა შორის თარაზული კუთხეები. ამის შემდეგ კი რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე საზღვრავენ ქსელის ნებისმიერი წერტილის გეოდეზიურ კოორდინატებს გამოსავალი პუნქტის გეოდეზიურ კოორდინატებზე დაყრდნობით (2.6.5 პარაგრაფი). საჭიროა შევნიშნოთ, რომ ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელის გამოსავალი გეოდეზიური დატების პუნქტიდან (გრინვიჩზე), ანუ ნულოვან (საწყის) წერტილზე ასტრონომიულ და გეოდეზიურ მერიდიანებს შორის განსხვავება არ არის; რადგანაც ამ გამოსავალ საორიენტირო (2.1.4 პარაგრაფი) პუნქტში ელიფსოიდისა და კვაზიგეოიდის ზედაპირების შერწყმის გამო შევეული და ნორმალი შერწყმულია. ასე, რომ აღნიშნულ პუნქტზე გრძედისა და აზიმუტის განსაზღვრების დროს დასაშვებია უბრალოდ საწყისი მერიდიანის სიბრტყის ხსენება.

მაშასადამე, ჩვენს წინაშეა ამოცანა, განვსაზღვროთ წერტილის ცნობი-

ლი ასტრონომიული კოორდინატებისა და აზიმუტების საშუალებით მისი გეოდეზიური კოორდინატები და აზიმუტები, სადაც, ცხადია, დაგვირღემა იმის დადგენა, თუ როგორ გავლენას მოახდენს შვეულის ზემოხსენებული გადახრები კოორდინატებსა და აზიმუტებზე კვაზიგეოიდიდან რეფერენც-ელიფსოიდზე გადასვლის დროს,

განვიხილოთ ტოპოცენტრული ცის სფერო (ნახ. 1), რომლის D ცენტრის φ, λ ასტრონომიული კოორდინატები და ადგილის M წერტილზე მიმართების A ასტრონომიული აზიმუტი გაზომილია (8.1) თავში აღწერილი ერთ-ერთი მეთოდით. D წერტილიდან მის ქვემოთ მოთავსებული რეფერენც-ელიფსოიდისადმი შვეულის გაგრძელებით ცის სფეროს გაკვეთის Z წერტილი იქნება ადგილის D წერტილის ასტრონომიული ზენიტი, ხოლო იმავე ელიფსოიდისადმი ნორმალის გაგრძელებისა და ცის სფეროს გადაკვეთის



ნახ. 2.1.2.1

Z_0 წერტილი იმავე D წერტილის გეოდეზიური ზენიტი იქნება. ცხადია, კუთხე U ზემოხსენებულ DZ შვეულსა და DZ_0 ნორმალს შორის იქნება შვეულის სრული ასტრონომიულ-გეოდეზიური ფარდობითი გადახრა, რომელიც იზომება შესაბამისი ZZ_0 დიდი წრის რკალით. P_N არის ცის სფეროს ჩრდილო პოლუსი, ე. ი. DP_N იქნება სამყაროს ღერძის ნახევარი. მაშასადამე, D წერტილის პორიზონტის სიბრტყე იქნება $KK_1K'K'_1M_0M_0''$ დიდი წრე; ასტრონომიული მერიდიანია $K_1P_NZK_1'$; გეოდეზიური მერიდიანი — KP_NZ_0K' ; P_N პოლუსის ასტრონომიული სიმაღლეა D წერტილის φ ასტრონომიული განედი, ხოლო გეოდეზიური სიმაღლე იქნება იმავე D წერტილის B გეოდეზიური განედი. სფერული P_NZZ_0 სამკუთხედის გვერდები იქნება

$P_N Z = 90^\circ - \varphi$; $P_N Z_0 = 90^\circ - B$ და $Z Z_0 = U$. ამავე სამკუთხედის კუთხე $P_N = \lambda - L$, რადგანაც ორივე გრძელი ათვლილია ერთი და იმავე, ანუ G გრძენიხის მერიდიანის სიბრტყის მიმართ, ხოლო Z_0 წვეროსთან A_0' არის შვეულის გადახრის $Z_0 D Z$ სიბრტყის გეოდეზიური აზიმუტი, რომელიც ათვლილია ადგილის D წერტილის $Z_0 D P_N$ გეოდეზიური მერიდიანის ჩრდილოეთიდან აღმოსავლეთ-სამხრეთ-დასავლეთისაკენ, ხოლო A' იქნება იმავე სიბრტყის ასტრონომიული აზიმუტი. გავატაროთ D წერტილის Z ასტრონომიული ზენიტიდან $Z_0 P_N$ გეოდეზიური მერიდიანის მიმართ მართობი $Z Z'$ დიდი წრის რკალი. აღენიშნოთ $Z_0 Z'$ და $Z Z'$, შესაბამისად, ξ და η სიბოლოთი. პირველი არის შვეულის U სრული გადახრის მდგენელი გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყეში, ხოლო მეორეა იმავე გადახრის მდგენელი Z' წერტილის პირველი ვერტიკალის სიბრტყეში.

DM მიმართების, ანუ, რაც იგივეა, მისი გაგრძელების DM_0 მიმართების A ასტრონომიული აზიმუტი იქნება DZ შვეულზე გატარებული $DM_0' M_0 Z$ სიბრტყის მიერ შედგენილი კუთხე იმავე შვეულზე გატარებულ D წერტილის $K_1 P_N Z K_1'$ ციურ ასტრონომიულ მერიდიანთან, ხოლო A_0 იქნება იმავე DM მიმართების გეოდეზიური აზიმუტი, შედგენილი DZ_0 ნორმალზე გატარებული $DM_0'' M_0 Z_0$ სიბრტყის მიერ იმავე ნორმალზე გატარებულ D წერტილის $K P_N Z_0 K'$ ციურ გეოდეზიურ მერიდიანთან. შესაბამისად, $Z' = Z M_0$ და $Z_0 = Z_0 M_0$ იქნება M_0 წერტილის ასტრონომიული და გეოდეზიური ზენიტური მანძილები, რომლებიც გაზომილნი არიან D წერტილიდან.

ა. გეოდეზიური კოორდინატების განსაზღვრა

მართკუთხა $Z Z' P_N$ სფერულ სამკუთხედში ნებისმიერი წესის შესაბამისად (1.2.8.8) დამოკიდებულებების უკანასკნელი ტოლობის ანალოგიურად დავწერთ:

$$\cos(\lambda - L) = \operatorname{ctg}(90^\circ - \varphi) \operatorname{ctg}[90^\circ - (90^\circ - B - \xi)],$$

ანუ

$$\cos(\lambda - L) = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg}(B + \xi), \quad (2.1.2.1)$$

ხოლო (1.2.8.9) დამოკიდებულებების მიხედვით

$$\cos(90^\circ - \eta) = \sin(\lambda - L) \sin(90^\circ - \varphi),$$

ანუ

$$\sin \eta = \sin(\lambda - L) \cos \varphi. \quad (2.1.2.2)$$

ვინაიდან ξ , η და $(\lambda - L)$ სიდიდეების ოდენობები მცირეა (თითოეული რამდენიმე სექუნდა), (1) და (2) ტოლობებში შემაჯავალი ფუნქციების მწკრივებად დაშლის მხოლოდ პირველი წევრები შეიძლება შევინარჩუნოთ:

$$\cos(\lambda - L) \approx 1; \sin \eta \approx \eta; \sin(\lambda - L) \approx \lambda - L, \quad (2.1.2.3)$$

ე. ი. (1) ტოლობიდან დაიწერება

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \operatorname{tg}(B + \xi),$$

მაშასადამე,

$$B = \varphi - \xi, \quad (2.1.2.4)$$

ხოლო (2) ტოლობიდან

$$\eta = (\lambda - L) \cos \varphi, \quad (2.1.2.5)$$

ანუ

$$L = \lambda - \eta \sec \varphi. \quad (2.1.2.6)$$

(4) და (6) ფორმულები გვიჩვენებს, თუ როგორ უნდა შეიცვალოს წერტილის განედი და გრძელი კვაზიგეოიდიდან რეფერენც-ელიფსოიდეზე გადასვლის დროს. მაშასადამე, (4) და (6) ფორმულებით შეიძლება გამოთვლილ იქნეს D წერტილის გეოდეზიური კოორდინატები. ამისათვის კი საჭიროა ვიცოდეთ შვეულის სრული ფარდობითი U გადახრის ξ და η მდგენელები, რომელთა ოდენობები ისაზღვრება ასტრონომიულ-გრავემეტრიული ნივთიერების და რომლებიც ეყრდნობიან თანადროულ ასტრონომიულ, გეოდეზიურ და გრავემეტრიულ გაზომვებს.

სფერული ZZ_0Z' სამკუთხედის ელემენტები მცირეა, ამიტომ როგორც ელემენტარულ სამკუთხედს, მას ვიხილავთ, როგორც ბრტყელს და დავწერთ:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= U \cos A_0' \\ \eta &= U \sin A_0' \\ \operatorname{tg} A_0' &= \frac{\eta}{\xi} \\ U &= \frac{\xi}{\cos A_0'} = \frac{\eta}{\sin A_0'} = \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.2.7)$$

ხოლო (5) და (4) ფორმულების მხედველობაში მიღებით (7) ფორმულები გადაიწერება ასე:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} A_0' &= \frac{(\lambda - L) \cos \varphi}{\varphi - B} \\ U &= \frac{\varphi - B}{\cos A_0'} = \frac{(\lambda - L) \cos \varphi}{\sin A_0'} \\ U &= \sqrt{(\varphi - B)^2 + (\lambda - L)^2 \cos^2 \varphi} \end{aligned} \right\}. \quad (2.1.2.8)$$

გამოვითვალოთ შვეულის U სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრის მდგენელი, მდებარე $Z_0 M_0 M_0'' D$ გეოდეზიური ვერტიკალის სიბრტყეში, რომელიც აღენიშნეთ ზ სიბოლოთი, ე. ი. $M_0 Z_0 Z'$ სამკუთხედიდან გამოვითვალოთ U -ს პროექცია A_0 აზიმუტის მქონე სიბრტყეზე:

$$\begin{aligned} \Phi &= U \cos Q' = U \cos (A_0 - A_0') = U \cos A_0 \cos A_0' + \\ &+ U \sin A_0 \sin A_0', \end{aligned}$$

ანუ (7) ფორმულის მხედველობაში მიღებით დავწერთ:

$$\Phi = \xi \cos A_0 + \eta \sin A_0. \quad (2.1.2.9)$$

ზ სიდიდე გამოხატავს შვეულის გადახრის გავლენას ზენიტურ მანძილების ოდენობებზე. (9) ფორმულით შეიძლება გამოვითვალოთ ნებისმიერ სიბრტყეში U სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრის ზ მდგე-

ნელი. მაგალითად, იმავე კომპონენტებით გამოისახება (9) ტოლობა $ZM_0M_0'D$ ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყეზე φ -ს განსაზღვრისათვის, ხოლო ამისათვის საჭირო იქნება მივიღოთ

$$U \cos(A_0 - A_0') \approx U \cos(A - A').$$

შვეულის U სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრისა და მისი ξ , η , მდგენელების ნიშანი კლუსია, როცა დაკვირვების D წერტილის Z ასტრონომიული ზენიტი Z_0 გეოდეზიური ზენიტიდან გადახრილია ჩრდილო-აღმოსავლეთით, ანუ როცა D წერტილში φ ნამდვილი სიძიმის ძალა (შვეული) გადახრილია φ ნორმალური ძალისაგან სამხრეთ-დასავლეთით, როგორც ეს (1) ნახაზზეა. ნიშნების ეს წესი ვრცელდება ნებისმიერ ვერტიკალში შვეულის გადახრის მდგენელების მიმართ.

B. გეოდეზიური აზიმუტის განსაზღვრა

(ლაპლასის განტოლება, ნახ. 1)

გეოდეზიური აზიმუტები ისაზღვრება ორგვარად: 1. დედამიწის ტანში ორიენტირებული რეფერენც-ელიფსოიდის (2.6.4 პარაგრაფი) საწყისი გეოდეზიური დატის მიმართ რაიმე წერტილზე $B_0 = \varphi_0$ აზიმუტისა და ამ ელიფსოიდზე რედუცირებული გეოდეზიური ქსელის გვერდებს შორის კუთხეების საშუალებით და 2. ლაპლასის განტოლებით. აქ განიხილება მეორე შემთხვევა. ნახაზიდან ;

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= Q' + A_0' \\ A &= Q + A' \end{aligned} \right\} \quad (2.1.2.10)$$

$Z_0 Z P_N$ სფერული სამკუთხედიდან, რომლის კუთხე Z წერტილთან არის ($180^\circ - A'$), კუთხეების კოსინუსების (1.2.8.2) ფორმულის შესაბამისად დავწერთ:

$$-\cos A' = -\cos A_0' \cos(\lambda - L) + \sin A_0' \sin(\lambda - L) \sin B. \quad (2.1.2.11)$$

ელემენტთა სიმცირის გამო (3) ტოლობის გამოყენებით და B გეოდეზიური და φ ასტრონომიული განედის ურთიერთ გატოლებით, ანუ $\sin B = \sin \varphi$ ტოლობის დაშვებით, დავწერთ

$$\begin{aligned} -\cos A' &= -\cos A_0' + (\lambda - L) \sin A_0' \sin \varphi, \\ \cos A_0' - \cos A' &= (\lambda - L) \sin A_0' \sin \varphi. \end{aligned} \quad (2.1.2.12)$$

(5) ტოლობის გამოყენებით მივიღებთ

$$\cos A_0' - \cos A' = \eta \operatorname{tg} \varphi \sin A_0',$$

ანუ

$$\cos A_0' - \cos A' = 2 \sin \frac{A_0' + A'}{2} \sin \frac{A' - A_0'}{2} = \eta \operatorname{tg} \varphi \sin A_0'.$$

დავუშვათ, რომ

$$\frac{A_0' + A'}{2} = A_0'; \quad \sin \frac{A' - A_0'}{2} = \frac{A' - A_0'}{2},$$

მივიღებთ:

$$A' - A_0' = \eta \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.1.2.13)$$

ისევ (5) ტოლობის გამოყენებით

$$A' - A_6' = (\lambda - L) \sin \varphi = (\lambda - L) \cos (90^\circ - \varphi). \quad (2.1.2.14)$$

სფერული $M_0 Z_6 Z$ სამკუთხედი ანალოგიურია სფერული $P_N Z_6 Z$ სამკუთხედის, ამიტომ M_0 და P_N წვერო, q და $(\lambda - L)$ კუთხე, α_6' და $(90^\circ - B)$ გვერდი, α' და $(90^\circ - \varphi)$ გვერდი, $(A' - A_6')$ და $(Q - Q')$ სხვაობა ურთიერთს შეესაბამება, რის საფუძველზე შეგვიძლია (14) ფორმულის ანალოგიურად $M_0 Z_6 Z$ სფერული სამკუთხედიდან დავწეროთ:

$$Q - Q' = q \cos \alpha'. \quad (2.1.2.15)$$

იმავე $M_0 Z_6 Z$ სფერული სამკუთხედიდან სინუსების (1.2.8.3) ფორმულის ანალოგიურად q და U კუთხეების სიმცირის გამო დავწეროთ

$$\sin q = q = \sin U \frac{\sin Q'}{\sin \alpha'} = U \frac{\sin Q'}{\sin \alpha'},$$

ამის გამო (15) ტოლობა გადაიწერება:

$$Q - Q' = \frac{U \sin Q'}{\operatorname{tg} \alpha'}. \quad (2.1.2.16)$$

შევიკრიბოთ (16) და (13) დამოკიდებულებები:

$$(Q - Q') + (A' - A_6') = \frac{U \sin Q'}{\operatorname{tg} \alpha'} + \eta \operatorname{tg} \varphi$$

და გამოვიყენოთ (10) გამოსახულება, მივიღებთ

$$A - A_6 = \eta \operatorname{tg} \varphi + \frac{U \sin (A_6 - A_6')}{\operatorname{tg} \alpha'}, \quad (2.1.2.17)$$

ანუ

$$A - A_6 = \eta \operatorname{tg} \varphi + \frac{U \sin A_6 \cos A_6' - U \cos A_6 \sin A_6'}{\operatorname{tg} \alpha'}, \quad (2.1.2.18)$$

ხოლო (5) და (7) ტოლობათა გამოყენებით დაიწერება

$$A_6 = A - (\lambda - L) \sin \varphi + \frac{\eta \cos A_6 - \xi \sin A_6}{\operatorname{tg} \alpha'}. \quad (2.1.2.19)$$

მიღებული ფორმულის მარჯვენა ნაწილის ბოლო წვერის მნიშვნელის დიდი რიცხვითი ოდენობისა (ზენიტური მანძილები დიდია და ამიტომ იგი აღემატება 50—200) და მრიცხველის სიმცირის (არაუმეტესია 0,02—0,03) გამო ბოლო წვერს უგულვებელყოფენ. მაშასადამე, (18) და (19) დამოკიდებულებების ნაცვლად ვიყენებთ:

$$\left. \begin{aligned} A_6 &= A - \eta \operatorname{tg} \varphi \\ A_6 &= A - (\lambda - L) \sin \varphi \\ A_6 &= A + (L - \lambda) \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.1.2.20)$$

უფრო ზუსტი ფორმულაა

$$A_3 = A + (L - \lambda) \sin \varphi + v_3, \quad (2.1.2.20')$$

სადაც v_3 — შეველის გადახრის გამო შესწორებაა მიმართულებაში.

მიღებულ დამოკიდებულებებს ეწოდება ლაპლასის ტოლობები, ხოლო ამ ფორმულებით გამოთვლილ გეოდეზიურ აზიმუტს უწოდებენ ლაპლასის აზიმუტს.

მაშასადამე, რაიმე მიმართულების A_3 გეოდეზიური, ანუ ლაპლასის, აზიმუტი უდრის იმავე მიმართულების A ასტრონომიულ აზიმუტს პლუს გამოსავალი წერტილის გეოდეზიურ L და ასტრონომიულ λ გრძედს შორის სხვაობის ნამრავლი იმავე წერტილის ასტრონომიული განედის სინუსზე.

დადგენილია, რომ ლაპლასის (20) ტოლობით გამოთვლილი A_3 გეოდეზიური აზიმუტის სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებულია ასტრონომიული A აზიმუტისა და λ გრძედის სიზუსტეზე და ძლიერ მცირედ არის დამოკიდებული გეოდეზიური ქსელის სხვა განაზომების სიზუსტეზე. მაშასადამე, ლაპლასის აზიმუტზე პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს ქსელებში გეოდეზიური გაზომვების შეცდომები. აგრეთვე სხვადასხვა პუნქტზე განსაზღვრული ასტრონომიული A აზიმუტი და λ გრძედი ურთიერთდამოუკიდებელია (ავტონომიურნი) ამიტომ სხვადასხვა პუნქტებიდან (20) ტოლობით განსაზღვრული გეოდეზიური A_3 აზიმუტი შეიძლება ჩაითვალოს დამოუკიდებლად (ავტონომიურად).

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ 200 კმ სიგრძის უზუსტეს (I კლასის) ქსელში კუთხეების გაზომვის შემთხვევითი შეცდომის გავლენა იწვევს ქსელის ბოლოწერტილების გრძივ გადაადგილებას $\pm 0,6-0,7$ მ. ეს გადაადგილება კი

$$\text{იწვევს ბოლო წერტილის გეოდეზიური } L \text{ გრძედის შეცვლას } \Delta L = \pm \frac{0,7}{31 \cos B},$$

რომელსაც შესაბამება ქსელის ბოლო წერტილის ლაპლასის აზიმუტის შეცვლა $\Delta A_3 = m_{A_3} = \pm \Delta L \sin B = \pm \frac{0,7}{31} \operatorname{tg} B$ სიდიდით, რომლის ოდენობა $B =$

$= 55^\circ$ განედის მქონე ქსელში არ აღემატება $\pm 0'',02$, მაშინ როდესაც ასტრონომიული A აზიმუტისა და λ გრძედის გაზომვების საშუალო კვადრატული შეცდომები, შესაბამისად, აღწევს $m_A = \pm 0'',5$ და $m_\lambda = \pm 0'',03 = \pm 0'',45$. ამიტომ ლაპლასის აზიმუტის საშუალო კვადრატული შეცდომის არგუმენტებად (20) ფორმულის მიხედვით იღებენ ამ უკანასკნელთ და წერენ

$$m_{A_3} = \pm \sqrt{m_A^2 + m_\lambda^2 \sin^2 \varphi}. \quad (2.1.2.21)$$

დადგენილია, რომ საშუალო განედებზე გეოდეზიური აზიმუტის გამოთვლის საშუალო კვადრატული შეცდომა (m_{A_3}) აღწევს $\pm 0'',7$.

ზემონათქვამის საფუძველზე სხვადასხვა წერტილის ლაპლასის აზიმუტს, იღებენ რა როგორც უშუალოდ გაზომილსა და ურთიერთდამოუკიდებელ ოდენობებად, იყენებენ როგორც გამოსავალს (დასაყრდენს) ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელების გაწონასწორებისათვის.

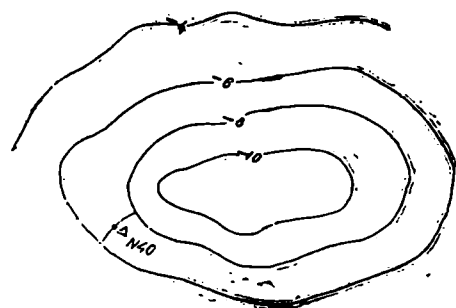
ლაპლასის აზიმუტის გამოყენებით იზრდება ძირითადი დასაყრდენი ქსელის ორიენტაციის სიზუსტე; იქმნება კუთხური გაზომვების საიმედო კონ-
2. ნ. თევზაძე

ტროლი; ძლიერ მცირდება და ხშირად სრულიად ისპობა თარაზული კუთხე-ების გაზომვებზე სისტემატური შეცდომების გავლენა. საერთოდ იგი აკონტროლებს ქსელში გაზომვების შედეგად გამოთვლილი გეოდეზიური აზიმუტების სიზუსტეს და აელენს ქსელის განივ დამახინჯებებს.

ასტრონომიული აზიმუტებიდან გეოდეზიურ აზიმუტებზე გადასვლა ხდება იმ შემთხვევაში, როცა შვეულის გადახრის გამო

$$\Delta A = (L - \lambda) \sin \varphi \quad (2.1.2.22)$$

შესწორება შეადგენს ასტრონომიული აზიმუტის განსაზღვრის დასაშვები სიზუსტის არანაკლებ 1:3. ამ შესწორების ოდენობა შეიძლება აღწევდეს 20" და ზოგჯერ მეტსაც. ნორმების მიხედვით შვეულის გადახრით გამოწვეული შესწორება შეტანილი უნდა იქნეს იმ აზიმუტებში, რომელთა გაზომვის საშუალო კვადრატული შეცდომა არ აღემატება $\pm 30''$. მაშასადამე, ის ასტრონომიული აზიმუტები, რომლებიც გაზომილია $\pm 30''$ და $\pm 60''$



ნახ. 2.1.2.2

სიზუსტით, მიღებულია გეოდეზიურ აზიმუტებად. ამ შემთხვევაში როგორც ასტრონომიულ, ისე გეოდეზიურ მერიდიანებს, კოორდინატებსა და აზიმუტებს მოკლედ უწოდებენ გეოგრაფიულ მერიდიანებს, კოორდინატებსა და აზიმუტებს. როგორც აღვნიშნეთ, (20) ფორმულისთვის, როცა გეოდეზიური აზიმუტის განსაზღვრა საჭიროა 5—15" სიზუსტით, მაშინ ასტრონომიული φ განივი გაზომილი უნდა იქნეს $\pm 5''$, ხოლო λ გრძედი $\pm 4''$, 5 სიზუსტით.

თუ ცნობილია პუნქტზე ξ და η შვეულის გადახრის მდგენელები, ამ პუნქტის ასტრონომიული კოორდინატები გამოითვლება (4) და (6) ფორმულების შესაბამისად

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= B + \xi \\ \lambda &= L + \eta \sec \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2.1.2.23)$$

რისთვისაც, გეოდეზიურ B და L კოორდინატებს იღებენ მსხვილმასშტაბიანი რუკებიდან, მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ამ რუკაზე განხილადი პუნქტი წინასწარ გადატანილია მართკუთხა კოორდინატებით.

A_0 გეოდეზიური აზიმუტის გამოთვლა უფრო მოხერხებულია (2) ნახაზის მიხედვით. ეს ნახაზი წარმოადგენს ადგილის იმ წერტილების შემაერთებულ მდოვრე მრუდეების სისტემას, რომელთაც ასტრონომიული აზიმუტების განსაზღვრისათვის აქვთ შვეულის გადახრების გამო ერთნაირი შესწორებები.

ამ ნახაზის საშუალებით ნებისმიერი პუნქტის ასტრონომიული აზიმუტის შესწორება ისაზღვრება მარტივი ხაზოვანი ინტერპოლაციით, მაგალითად, № 40 პუნქტზე $\Delta A = -7''$.

2.1.3. შვეულის სრული ფარდობითი გადახრების ზრახვიმეტრიული, ასტრონომიულ-გეოდეზიური და ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-ზრახვიმეტრიული მეთოდებით განსაზღვრის არსი

(1.6.7) პარაგრაფის (c) მუხლში გადმოცემული იყო შვეულის გადახრის ორგეარი სახის შესახებ. სადაც აღნიშნულია, რომ ჯერჯერობით არ არსებობს საშუალება შვეულის აბსოლუტური გადახრების დადგენისა და ეკმაყოფილებით შვეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრების დადგენით, რომელიც გამოყენებული იყო (2.1.2) პარაგრაფში ელიფსოიდის ზედაპირის წერტილთა გეოდეზიური კოორდინატებისა და აზიმუტების ლაპლასის ტოლობით განსაზღვრის დროს. აქ უფრო გავაფართოებთ ამ ცნებას იმ მხრივ, რომ მეორე სახის გადახრების ოდენობების დადგენაში დიდი როლი ეკუთვნის გრავიმეტრიასაც, ასე, რომ თანამიმდევრობით განვიხილავთ შვეულის გადახრის განსაზღვრის გრავიმეტრიულ, ასტრონომიულ-გეოდეზიურ და ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულ მეთოდებს და საბოლოოდ შვეულის გადახრის მეორე სახეს ეუწოდებთ სრულ ფარდობით ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულს.

ზედმეტი არ იქნება შევაჯამოთ წინა თავებში გადმოცემული ცნობები შვეულის გადახრების უაღრესად დიდი მნიშვნელობის შესახებ:

1. შვეულის გადახრები ისევე, როგორც წანომალიები, უშუალოდ გამოიყენება კვაზიგეოიდის ფიგურის დასადგენად და წარმოადგენს მოხერხებულ მახასიათებლებს დედამიწის ნამდვილი გრავიტაციული (მიზიდულობის) ველის ნორმალურისაგან გადახრების დადგენის საქმეში;

2. დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომთა, რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე დაგეგმილებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის აუცილებელია შვეულის გადახრების გამოყენება. მაგალითად, დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე ნებისმიერი სახის, როგორც ხაზოვანი, ისე კუთხური გაზომვები დაკავშირებულია შვეულთან, მაშინ როდესაც ელიფსოიდის ზედაპირის ძირითად საკოორდინატო ხაზს გამოსავალი წერტილისადმი ნორმალს წარმოადგენს. მაშასადამე, საჭიროა შვეულთან და თარაზოსთან დაკავშირებულ უშუალო განაზომებში შეტანილ იქნეს შესწორებები, რათა ელიფსოიდის ზედაპირზე დაყვანილი (რედუცირებული) ეს ელემენტები სათანადო მათემატიკური სიზუსტით დამუშავდეს;

3. თავისუფლად ხდება პუნქტის ასტრონომიული კოორდინატების საშუალებით გეოდეზიური კოორდინატების გამოთვლა, რასაც საერთოდ დიდი მნიშვნელობა აქვს და კერძოდ კი მაშინ, როცა ასტრონომიულ პუნქტს ვიყენებთ ტერიტორიების აგეგმვისათვის (2.1.2 პარაგრაფი);

4. ასევე ადვილად განისაზღვრება დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე უშუალოდ გაზომილი ასტრონომიული აზიმუტებით მათი გეოდეზიური აზიმუტები (ლაპლასის ფორმულა, 2.1.2 პარაგრაფი).

4. ზრახვიმეტრიული მეთოდის არსი

ვენინგ-მეინის (1.6.3.3) ფორმულიდან ნათლად ჩანს, რომ გრავიმეტრიული მეთოდით შვეულის გადახრის მდგენელების გამოსათვლელი ფორმულის ძირითადი არგუმენტია სიმძიმის ძალის Δg ანომალია. აღნიშნულ ფორ-

მულაში იგულისხმება, რომ სიმძიმის ძალის Δg ანომალია ცნობილია მთელი დედამიწის ზედაპირზე. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ დედამიწაზე თითქოს მთლიანად შესრულებულია გრავიმეტრიული აგეგმვები და, მაშასადამე, საშუალება გვაქვს დავადგინოთ შეეულის აბსოლუტური გადახრები. სინამდვილეში ასეთი აგეგმვები ჯერჯერობით შესრულებული არ არის. მრავალიც რომ იყოს გრავიმეტრიული პუნქტები, მაშინაც თითქმის შეუძლებელია მიზნის მიღწევა, რადგანაც ტრიანგულაციის ყოველ პუნქტზე საჭიროა ვიცოდეთ ანომალიის გავლენა.

B. ასტრონომიულ-გეოდეზიური მეთოდის არსი

(2.1.2) პარაგრაფის (2.1.2.4), (2.1.1.5), (2.1.1.7 მეოთხე ტოლობა) ტოლობები და (2.1.2.20) ლაპლასის ფორმულა გამოხატავს ასტრონომიული და გეოდეზიური კოორდინატებისა და აზიმუტების კავშირს შეეულის სრულ ფარდობით ასტრონომიულ-გეოდეზიურ გადახრასთან და მის მდგენელბთან. მაშასადამე, μ შეეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრებისა და მათი მდგენელბის განსახლვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ: უშუალოდ გაზომვის შედეგად პუნქტის ასტრონომიული კოორდინატები და აზიმუტი; ტრიანგულაციაში განაზომებით და გამოთვლებით გეოდეზიური კოორდინატები და აზიმუტი, რომელთაც შევატანთ ზემოხსენებულ ფორმულებში (2.6.4 პარაგრაფი).

როგორც ვხედავთ, განხილადი მეთოდებით შეეულის გადახრების განსახლვრებისათვის საჭიროა დიდი ტერიტორიების ყოველ პუნქტზე ვიცოდეთ ასტრონომიული კოორდინატები და აზიმუტები, რაც ჯერჯერობით მიუღწეველია. მაშასადამე, ცალ-ცალკე როგორც გრავიმეტრიული, ისე ასტრონომიულ-გეოდეზიური მეთოდი გამოუყენებელია პუნქტებზე შეეულის გადახრების დასადგენად.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტა საკმარისი სიზუსტით შეიძლება ერთობლივი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მეთოდის გამოყენებით. შენიშვნა. (2.1.2.4) და (2.1.2.5) ფორმულების მიხედვით დაიწერება

$$\xi = \varphi - B; \quad \eta = (\lambda - L) \cos \varphi. \quad (a)$$

(2.1.2) პარაგრაფში ამ ფორმულების გამოყენების დროს იგულისხმებოდა თითქოს ფიზიკურ ზედაპირზე დგომის D წერტილი შერწყმულია ელიფსოიდის სათანადო წერტილთან. სინამდვილეში კი ელიფსოიდის ზედაპირიდან D წერტილი დაშორებულია H გეოდეზიური სიმაღლით. მაშასადამე, საჭიროა წერტილის B გეოდეზიური განვლი რედუცირებულ (აგეგმილებულ) იქნეს რეფერენტ-ელიფსოიდიდან კვაზიგეოიდის (ამ შემთხვევაში დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე) D წერტილის ღონეზე, რისთვისაც საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული H გეოდეზიური სიმაღლე და ძალური ხაზების სიმრუდე. ცხადია, ξ -ს ოდენობა ამით კიდევ შემცირდება, ხოლო η უცვლელი დარჩება. გამოყენების გარეშე მოვიყვანთ ამ შესწორების გამოსათვლელ ფორმულას: $-0'', 171 H \sin 2\varphi$, სადაც H — გეოდეზიური სიმაღლე გამოისახება კილომეტრებში. მაშასადამე, ნაცვლად (2.1.2.4) ფორმულისა გვექნება

$$\xi = \varphi - B - 0'', 171 H \sin 2\varphi, \quad (2.1.3.1)$$

ხოლო (2.1.2.5) ფორმულა იგივე დარჩება.

C. ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-ზრავნიმეტრიული მეთოდის არსი

ქვეყნის იმ მხარეში, სადაც შესრულებულია მთლიანი გრავიმეტრიული აგეგმა და შექმნილია საყრდენი პუნქტების ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელი, მოთხოვნილი სიზუსტით შეიძლება განისაზღვროს შევეულის გადახრების ოდენობები. მაგალითად, საბჭოთა კავშირში (2.1.9 პარაგრაფი) სსრ კავშირის მთავრობის 1932 წლის 20 სექტემბრის დადგენილების შესაბამისად, 1933 წელს შედგენილი ინსტრუქციით გეგმიანად სრულდება გრავიმეტრიული აგეგმვები, რითაც დაფარულია ჩვენი ქვეყნის დიდი სივრცეები. ასევე, თითქმის მთავრდება პოლიგონური ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელების შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფილია ყოველ 200 კმ ლაპლასის პუნქტებით (2.1.2 პარაგრაფი) და მათ შორის პირველი კლასის ტრიანგულაციის მწკრივების გასწვრივ ყოველ 70—100 კმ დაშორებულ პუნქტებზე გაზომილია φ , λ ასტრონომიული კოორდინატები.

ზემოხსენებულ პირობებში, შევირჩიოთ ჩვენი ქვეყნის რომელიმე მხარეში C წერტილი და მიზნად დავისახოთ აქ არსებული ასტრონომიულ-გეოდეზიური და გრავიმეტრიული მასალის საფუძველზე განესაზღვროთ ამ წერტილში μ სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული გადახრა თავისი ξ , η მდგენელებით. საერთოდ, არ არის ცნობილი C წერტილის ასტრონომიული და გეოდეზიური კოორდინატები და მის მდებარეობას საზღვრავენ რომელიმე მსხვილმასშტაბიან, ვთქვათ, 1:100000 რუკაზე. მაგრამ გეოდეზიაში პრაქტიკულად აუცილებელია ვიცოდეთ შევეულის ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრები იმ წერტილებზე, რომლებზეც ცნობილია მხოლოდ B , L გეოდეზიური ან მხოლოდ φ , λ ასტრონომიული კოორდინატები. მაგალითად, ტრიანგულაციის პუნქტებზე, რომლებზეც ცნობილია B , L გეოდეზიური კოორდინატები, შევეულის გადახრები საჭიროა ვიცოდეთ რედუქციასთან დაკავშირებული შესწორებების და სიმაღლეების გამოთვლისათვის, ხოლო ასტრონომიულ პუნქტებზე შევეულის გადახრის ცოდნა საჭიროა მათი გეოდეზიური კოორდინატების განსაზღვრისათვის.

ვთქვათ, განხილავი C პუნქტი მდებარეობს დაახლოებით σ სივრცის ცენტრში.

შვეულის სრულ ფარდობით $\mu_{\text{გგ}}$ ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულ სიდიდეზე σ სივრცის Δg_{σ} სიმძიმის ძალის ანომალიის გავლენის სიდიდე აღვნიშნოთ $\mu_{\text{გგ}}$ სიმბოლოთი. დედამიწის ფხვიკური ზედაპირის დანარჩენი ნაწილი აღვნიშნოთ Σ სიმბოლოთი, რომლის შესაბამისი Δg_{Σ} სიმძიმის ძალის ანომალიის შევეულის სრულ გადახრაზე გავლენის სიდიდე (წილი) იყოს μ_{Σ} . როგორც ვიცით (1.4.4 პარაგრაფი, 1.4.4.18 ფორმულა), ორ წერტილს შორის მიზიდულობის ძალა მცირდება მათ შორის მანძილის კვადრატის პროპორციულად. ამ მიზეზით დავასკვნით, რომ, რაც უფრო დაეშორებით განხილავ C პუნქტს, მასზე მოთავსებული შევეულის გადახრაზე ანომალიების გამომწვევი, ანუ დედამიწის ანომალიური მასების გავლენა, გამოსახული სიმძიმის ძალის Δg ანომალიით, თანდათან შემცირდება და მიიღებს მშვიდ (მდოვრულ) ხასიათს. ამიტომ შეიძლება შევარჩიოთ σ სივრცის არეში ისეთი σ_0 უბანი, რომელშიც შევეულის გადახრაზე Σ სივრცის სიმძიმის ძალის Δg_{Σ} ანო-

მალიის გავლენის ცვალებადობა იყოს ხაზოვანი. შევეულის სრულ ფარდობით $u_{აგ}$ ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული გადახრაზე, გარდა ზემოთ აღნიშნული მიზეზებისა, შევეულის აბსოლუტური გადახრის ნაცვლად შეიძლება გავლენას ახდენდეს ფარდობითი გადახრა, რომელიც σ_0 უბანზე იცვლება ხაზოვანად იმ შემთხვევაშიც, როდესაც რეფრაქცი და მსოფლიო ელიფსოიდებს შორის ზომებში და დედამიწის ტანში ორიენტირების განსხვავება დიდია. ეს გავლენა აღენიშნოთ u_8 სიმბოლოთი. მაშასადამე, სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული გადახრის სიდიდე შეიძლება გამოვსახოთ სამი მდგენელით:

$$u_{აგ} = u_{აგ} + u_{\Sigma} + u_8. \quad (2.1.3.2)$$

რადგანაც (2) ტოლობის მარჯვენა მხარის უკანასკნელი ორი წევრი σ_0 უბანზე იცვლება ხაზოვანად, შეიძლება დაისყოს ამოცანა C პუნქტზე შევეულის გადახრაზე ერთობლივად მათი გავლენის განსაზღვრისა, ამიტომ შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$$\Delta u = u_{\Sigma} + u_8; \quad \Delta \xi = \xi_{\Sigma} + \xi_8; \quad \Delta \eta = \eta_{\Sigma} + \eta_8. \quad (a)$$

ე. ო. ლავწერტ

$$u_{აგ} = u_{აგ} + \Delta u \quad (2.1.3.3)$$

და

$$\left. \begin{aligned} \xi_{აგ} &= \xi_{აგ} + \Delta \xi \\ \eta_{აგ} &= \eta_{აგ} + \Delta \eta \end{aligned} \right\} \quad (2.1.3.4)$$

სივრცის შერჩევის ზემოხსენებული პირობების მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ამ სივრცის Δg_{σ} სიმძიმის ძალის გავლენა მის საზღვრებზეც უნდა მივიღოთ მხედველობაში მათი ნამდვილი ოდენობების მიხედვით. მაშასადამე, σ სივრცეზე, ვგულისხმობთ რა Δg_{σ} ანომალიას ცნობილად, შევეულის სრული მდგენელების სიდიდეები შეიძლება გამოისახოს ვენინგ-მეინესის (1.6.3.3) ფორმულების მიხედვით:

$$\left. \begin{aligned} \xi''_{აგ} &= -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos A dA \int_0^{\psi} \Delta g_{\sigma} Q(\psi) d\psi \\ \eta''_{აგ} &= -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin A dA \int_0^{\psi} \Delta g_{\sigma} Q(\psi) d\psi \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.3.5)$$

სადაც A და ψ — აზიმუტი და რკალის სიგრძეა (გრადუსობით), ანუ სფერული კოორდინატებია C წერტილში (ნახ. 1.6.3.1, 1.6.3.2).

$Q(\psi)$ — ვენინგ-მეინესის ფუნქციაა, გამოსახული ფორმულით:

$$Q''(\psi) = \frac{\rho''}{2\gamma_0} \cos^2 \frac{\psi}{2} \left[\operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} + 12 \sin \frac{\psi}{2} - 32 \sin^2 \frac{\psi}{2} + \frac{3}{1 + \sin \frac{\psi}{2}} - 12 \sin^2 \frac{\psi}{2} \ln \left(\sin \frac{\psi}{2} + \sin^2 \frac{\psi}{2} \right) \right], \quad (2.1.3.6)$$

სადაც $\rho'' = 206265''$ არის რადიანი;

γ_0 — განხილად σ სივრცეზე ნორმალური სიძიმის ძალა.

ვთქვათ, σ სივრცის რადიუსია r_σ , მაშინ მიღებულია, რომ მასში შემავალი σ_0 სივრცის რადიუსი უნდა იყოს 2—3-ჯერ ნაკლები, ე. ი. $r_{\sigma_0} \approx \frac{1}{2} r_\sigma$.

(5) ფორმულებში σ სივრცისათვის გრავიმეტრიული მონაცემების გამოყენებით ისაზღვრება შვეულის გადახრის გრავიმეტრიული მდგენელები, რომლებიც განსაზღვრის მეთოდის შესაბამისად აღვნიშნეთ ξ_{σ_0} , η_{σ_0} სიმბოლოებით.

როცა განხილადი σ სივრცე შედარებით მცირეა (ანუ, როცა $\psi < 10^\circ$),

(5) ფორმულებს აძლევენ მარტივ სახეს.

განვიხილოთ საკითხი (4) ტოლობების მარჯვენა მხარის მეორე $\Delta\xi$, $\Delta\eta$ შესაკრებების განსაზღვრის შესახებ, რომლებიც σ_0 უბნის შესაბამისად ერთობლივ გავლენას ახდენენ C წერტილში შვეულის სრულ გადახრაზე. ამ სიდიდეების განსაზღვრისათვის საჭიროა σ_0 უბანზე გვექნეს არანაკლებ 3 ასტრონომიულ-გეოდეზიური პუნქტისა, რომლებიც შესაძლებლობის ფარგლებში საჭიროა განლაგებულნი იყვნენ σ_0 უბნის საზღვრებიდან თანაბრად და შედარებით მცირე მანძილებით. ასეთი პუნქტისათვის ცნობილი უნდა იქნეს φ , λ ასტრონომიული და B , L გეოდეზიური კოორდინატები და H გეოდეზიური სიმაღლეები, რომელთა საშუალებით ყოველი პუნქტისათვის (1) და (2.1.2.5) ფორმულებით გამოითვლება შვეულის გადახრის ასტრონომიულ-გეოდეზიური მდგენელები:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{\sigma_0} &= \varphi - B - O'', 171H \sin 2\varphi \\ \eta_{\sigma_0} &= (\lambda - L) \cos \varphi \end{aligned} \right\}. \quad (2.1.3.7)$$

აგრეთვე იმავე სივრცის იმავე პუნქტებზე (5) ფორმულით განისაზღვრება ξ_{σ_0} და η_{σ_0} . ასე რომ, ერთი და იმავე სივრცის ერთი და იმავე პუნქტებზე განსაზღვრული გვაქვს შვეულის გადახრის მდგენელები როგორც გრავიმეტრიულად — (5) ფორმულები, ასევე ასტრონომიულ-გეოდეზიურად — (7) ფორმულები. რიცხობრივად მათ შორის სხვაობები დაახლოებით ტოლი იქნება (4) ტოლობების $\Delta\xi$, $\Delta\eta$ სიდიდეებისა, ე. ი. შეიძლება დაიწეროს:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\xi &= \xi_{\sigma_0} - \xi_{\sigma_0} \\ \Delta\eta &= \eta_{\sigma_0} - \eta_{\sigma_0} \end{aligned} \right\}. \quad (2.1.3.8)$$

შემდეგ კი (4) ტოლობით განისაზღვრება შვეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მდგენელები, მაშასადამე, დავწერთ

$$\left. \begin{aligned} \xi_{\sigma_0\sigma_0} &= \xi_{\sigma_0} + \Delta\xi \\ \eta_{\sigma_0\sigma_0} &= \eta_{\sigma_0} + \Delta\eta \end{aligned} \right\}. \quad (2.1.3.9)$$

პირობის თანახმად ზემოხსენებულ ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულ პუნქტებს შორის ეს შესწორებები σ_0 უბნის ფარგლებში ცვალებადობს ხაზობრივად. მაშასადამე, ამ პუნქტებს შორის ნებისმიერი წერტილისათვის მათი ოდენობები გამოითვლება ხაზოვანი ინტერპოლაციით, ანუ შუალედი პროპორციული ოდენობების განსაზღვრით. იმ შემთხვევაში, როცა σ_0 უბანზე პუნქტების რაოდენობა სამზე მეტია, მაშინ მათ შორის შესწორებათა კოეფი-

ციენტების დასადგენად იყენებენ უმცირეს კვადრატთა მეთოდს და აწარმოებენ შესწორებათა გამოთვლის სიზუსტეების შეფასებებს. მაგალითად, ვთქვათ, საყრდენი პუნქტების რაოდენობა არის n , მაშინ ყოველი პუნქტისათვის აღგენენ შემდეგი სახის ორ განტოლებას:

$$\left. \begin{aligned} a_1 + b_1 \varphi_i + c_1 \lambda_i &= \Delta \xi_i \\ a_2 + b_2 \varphi_i + c_2 \lambda_i &= \Delta \eta_i \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.3.10)$$

სადაც φ_i, λ_i — ნომრის მქონე პუნქტის ასტრონომიული კოორდინატებია.

მაშასადამე, გვექნება ნორმალურ განტოლებათა ორი სისტემა თითოში n რაოდენობის განტოლებებით. ამ სისტემების ამოხსნით განისაზღვრება $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ კოეფიციენტები, რომელთა დახმარებით (10) ფორმულებით განისაზღვრება განხილადი პუნქტების $\Delta \xi, \Delta \eta$ შესწორებები. ცნობილ შესწორებათა საშუალებით შეიძლება გატარდეს შესაბამისი იზოხაზები, რომელთა საშუალებით გრაფიკულად შეიძლება მოხდეს ხაზოვანი ინტერპოლაცია.

როგორც აღვნიშნეთ, შეეულის გადახრის განსაზღვრის ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მეთოდი დამუშავებულია მ. მოლოდენსკის მიერ, რითაც ვაქვ ადგილებში ვალწევით $0^{\circ},5$ სიზუსტეს.

ზემოხსენებულის საფუძველზე ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული ნიველობისათვის საჭიროა $\mu_{\text{ახ}}$ ოდენობა (2.1.2.9) ფორმულის შესაბამისად:

$$\mu_{\text{ახ}} = \xi_{\text{ახ}} \cos A_{\text{ახ}} + \eta_{\text{ახ}} \sin A_{\text{ახ}}, \quad (2.1.3.11)$$

სადაც, როგორც ცნობილია, $\mu_{\text{ახ}}$ არის შეეულის $\mu_{\text{ახ}}$ სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული გადახრის მდგენელი, ანუ პროექცია $A_{\text{ახ}}$ გეოდეზიური აზიმუტის მქონე ვერტიკალზე.

ამისათვის, რომ მივიღოთ კიდევ უფრო საიმედო ოდენობები შეეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული გადახრების მდგენელბისა σ განხილად ტერიტორიებზე, რომლის რადიუსი დაახლოებით უნდა იყოს 30—40 კილომეტრი, საჭიროა რაც შეიძლება გაზომილდეს გრავიმეტრიული პუნქტების რაოდენობა და ამ ტერიტორიაზე გაფართოვდეს ინტეგრირების სივრცეები. ასეთი ღონისძიებებით (9) ფორმულაში, გაიზრდება რა შეეულის გრავიმეტრიული გადახრებისა და ნაზრდების სიზუსტეები, შეიძლება მივალწიოთ $\xi_{\text{ახ}}, \eta_{\text{ახ}}$ ოდენობების დადგენას $0,2—0^{\circ},3$ სიზუსტით. აღსანიშნავია, რომ მთავარიან ადგილებში როგორც, საერთოდ, შეეულის გადახრების დადგენა, ისე სათანადო სიზუსტეების მიღწევა ძლიერ რთულდება ახლობელი მთების მასივების გავლენით. ამიტომ აქ საჭიროა როგორც ქსელის გრავიმეტრიული პუნქტების კიდევ უფრო გაზომობა, ასევე უფრო ზუსტი ფორმულების გამოყენება, სადაც მხედველობაში იქნება მიღებული რელიეფის გავლენა.

დღემიწის ნამდვილი სახის დადგენის პრობლემის ამოხსნის საქმეში, როგორც ეს აქამდე განხილული მასალებიდან ჩანს, შეეულის გადახრის ცოდნას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს.

დასასრულ მოვიყვანოთ მოკლე ცნობებს შეეულის გადახრის საჭიროების შესახებ ზენიტური მანძილების შესწორებებისა და, საერთოდ საინჟინრო-გეოდეზიური და ტოპოგრაფიული სამუშაოების შესრულების დროს.

(2.1.2.9) ფორმულის გამოყენებით (2.1.2.1 ნახაზი) შეიძლება D წერ-

ტილში გაზომილი ζ' ასტრონომიული ზენიტური მანძილით გამოთვლილ იქნეს ζ_6' გეოდეზიური ზენიტური მანძილები შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$\zeta_6' = \zeta' + \mu = \zeta' + \xi \cos A_6 + \eta \sin A_6. \quad (2.1.3.12)$$

ასეთი შესწორება ზენიტური მანძილისა საჭიროა დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისათვის H გეოდეზიური სიმაღლეების გამოთვლების დროს, ხოლო საინჟინრო-გეოდეზიური და ტოპოგრაფიული სამუშაოების შესრულების დროს [(2.1.5) პარაგრაფის (B) მუხლი] სიმაღლეებს ითელიან კვაზიგეოიდიდან, უფრო სწორად, ფუტპტოკის დონებრივი ზედაპირიდან H' ნორმალური სიმაღლეების გამოყენებით და მათი ოდენობების გამოთვლებისათვის გაზომილ ζ' ზენიტურ მანძილებში μ შესწორების შეტანა საჭირო არ არის.

საერთოდ ტოპოგრაფიული სამუშაოების შესრულების დროს შეეულის გადახრებს არ იღებენ მხედველობაში. იმ შემთხვევაში, როდესაც საწყის საყრდენ პუნქტად იყენებენ ასტრონომიულ პუნქტს, უკვე საჭირო ხდება შეეულის გადახრის მხედველობაში მიღება. მაგრამ გეოდეზიური საფუძვლისათვის გამოიყენება ასტრონომიული პუნქტი მხოლოდ ისეთი ტოპოგრაფიული აგებულებისათვის, რომლებიც არ არის გათვალისწინებული დეტალური საინჟინრო კვლევა-ძიებისა და სამრეწველო ნაგებობათა ტექნიკური პროექტების შედგენისათვის.

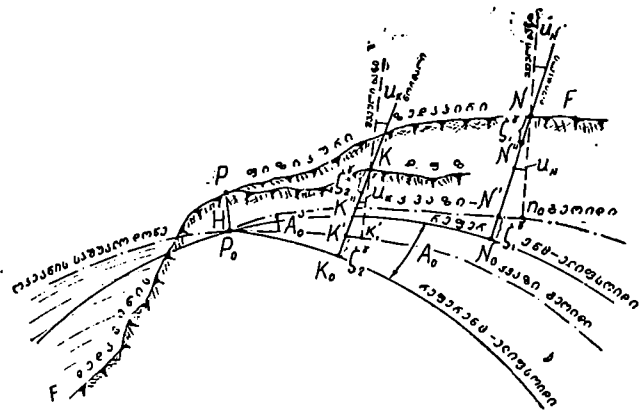
მთელ დედამიწაზე შეეულის გადახრების საშუალო ოდენობაა $4''$, ხოლო ცალკეულ რაიონებში და იმ შემთხვევაში, როცა რეფერენც-ელიფსოიდი ვერ არის კარგად შერჩეული და ორიენტირებული, იგი აღწევს ათეულ სექუნდსაც.

თანამედროვე საინჟინრო ნაგებობებში უდიდესი სივრცეების მომცველი ობიექტებია, სადაც მოითხოვება უზუსტესი გეოდეზიური საფუძვლის შექმნა. ცხადია, ამჟამად ასეთ შემთხვევაში შეეულის გადახრებს და საერთოდ რაიონის გრავიტაციული მიზნით შესწავლას უნდა მიენიჭოს დიდი მნიშვნელობა. მაგალითად, თანამედროვე ჰიდროტექნიკური მშენებლობა მოითხოვს დიდი სივრცეების მომცველი წყალსაცავების შექმნას, სადაც საჭირო იქნება მხედველობაში იქნეს მიღებული დონებრივი ზედაპირთა არაპარალელურობა; მთაგორიან რაიონებში გვირაბების გაყვანის დროს საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული ანომალური გავლენები, გამოწვეული მთიანი რელიეფის ქანების მიზიდულობით და სხვ.

2.1.4. დედამიწის ტანში რეფერენც-ელიფსოიდის ორიენტირების არსი

გარკვეული სივრცეებისათვის შერჩეული ბრუნვის ელიფსოიდი, რომ იყოს ზედმიწევნით გამომსახველი დედამიწის საერთო სახისა, მისი პარამეტრების a დიდი ნახევარღერძისა და e შეკუმშულობის ზუსტად განსაზღვრის გარდა საჭიროა იგი იყოს კარგად ორიენტირებული დედამიწის ტანში. ასეთ ელიფსოიდს ეწოდება რეფერენც-ელიფსოიდი. ორიენტირების ძირითადი მიზანია მივადწიოთ იმას, რომ კვაზიგეოიდის გადახრათა (ანომალიათა) კვადრატების ჯამი ბრუნვის ელიფსოიდიდან (ζ') იყოს მინიმუმი (ნახ. 1).

ვთქვათ, ღედამიწის ფიზიკური ზედაპირის FF ჰრისის P და N წერტილი მდებარეობს ერთსა და იმავე ასტრონომიულ მერიდიანზე. გამოსავალი P წერტილის უშუალოდ (ავტონომიურად) გაზომილი ასტრონომიული კოორდინატებია φ , λ_0 და K წერტილის, ანუ PK ვერტიკალური კვეთილობის, ასტრონომიული აზიმუტია A_0° , რომელიც კვაზიგეოიდზე ძევს. P_0 წერტილში



ნახ. 2.1.4.1

ბრუნვის ელიფსოიდისათვის გამოთვლებით მიღებული გეოდეზიური კოორდინატებია B_0 , L_0 და K_0 წერტილის, ანუ P_0K_0 ნორმალ კვეთილობის, გეოდეზიური აზიმუტია A_0 . $PP_0=H$ არის P წერტილის გეოდეზიური სიმაღლე. კარგი ორიენტირებისათვის მოითხოვება, რომ

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= \varphi_0 \\ L_0 &= \lambda_0 \\ A_0 &= A_0^{\circ} \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.1)$$

რაც შეეხება P_0 წერტილში კვაზიგეოიდის ბრუნვის ელიფსოიდიდან ζ' ანომალიას, შეიძლება მოვითხოვოთ, $\zeta' \neq 0$, ან $\zeta' = 0$, რაც იმას ნიშნავს, რომ სავალდებულო არ არის P_0 წერტილში კვაზიგეოიდისა და ბრუნვის ელიფსოიდის თანმხებევა (ნახაზზე ნაჩვენებია $\zeta' = 0$). (1) დამოკიდებულებები კი ნიშნავს იმას, რომ კვაზიგეოიდის PP_0KK_1' ნორმალ (შვეულ) სიბრტყე შევუთავსოთ ბრუნვის ელიფსოიდის PP_0KK_0 ნორმალ სიბრტყეს. პრაქტიკულად P_0 საერთო წერტილში ამ ნორმალ სიბრტყეების შეთავსებას ახდენენ იმით, რომ, ერთის მხრივ, PN ხაზზე გამავალი ასტრონომიული მერიდიანის სიბრტყეზე ამთხვევენ ამ ხაზის გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყეს, ე. ი. PNP_0N' წერტილები ერთ შვეულ სიბრტყეზეა; მეორე მხრივ, PK ხაზის გეოდეზიურ A_0 აზიმუტს ხდიან ამავე ხაზის A_0° ასტრონომიული აზიმუტის ტოლად, რითაც შვეულ სიბრტყეში (კვაზიგეოიდზე) მდებარე P_0K' კვეთილობაზე ამთხვევენ ბრუნვის ელიფსოიდის P_0K_0 კვეთილობას, ე. ი. $PKP_0K'K_0$

ერთ შვეულ სიბრტყეშია. სხვანაირად, (1) ტოლობა ნიშნავს იმას, რომ P წერტილში შვეულის α_0 სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრა ტოლია ნულის, ანუ მოითხოვება, რომ P_0 წერტილში მერიდიანისა და მთავარი ვერტიკალის სიბრტყეზე მისი მდგენელი შვეულის ფარდობითი გადახრები

$$\xi_0 = 0, \quad \eta_0 = 0.$$

ზემოსხენებული ღონისძიებების ჩატარების შემდეგ მოცემული სივრცეებისათვის ბრუნვის ელიფსოიდი გახდება რეფერენც-ელიფსოიდად.

გამოსავალი P_0 წერტილის $B_0 L_0$ გეოდეზიურ კოორდინატებს, ξ' რეფერენც-ელიფსოიდიდან კვაზიგეოიდის ანომალიას და გამოსავალი წერტილიდან K_0 წერტილზე A_0 გეოდეზიურ აზიმუტს ეწოდება გამოსავალი გეოდეზიური დატები (მონაცემები), რომელნიც საფუძვლად უდევს დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული განაზომების საშუალებით ნებისმიერი წერტილების გეოდეზიური კოორდინატების განსაზღვრას.

იმისათვის, რომ გეოდეზიური განაზომებისა და საწყისი გვერდის მოცემული გეოდეზიური აზიმუტის საშუალებით დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე სხვადასხვა ხაზების გამოთვლილი A_0 გეოდეზიური აზიმუტის ოდენობების სისწორე შეამოწმონ, დაახლოებით, ყოველ 70—80 კმ დაშორებულ წერტილებს შორის იყენებენ (2.1.2.20) ლაპლასის ფორმულით (ტოლობით) გამოთვლილ აზიმუტებს, რომელთაც უწოდებენ ლაპლასის აზიმუტებს. რომელიმე M წერტილში, ანუ ლაპლასის პუნქტზე რაიმე MN ხაზის გამოთვლილი აზიმუტი ხსენებული ფორმულით მოწმდება ასე:

$$A_{MN} = A_{MN}^0 + (L_M - \lambda_M) \sin \varphi_M, \quad (2.1.4.2)$$

სადაც A_{MN}^0 არის M ლაპლასის პუნქტზე ასტრონომიულად (ავტონომიურად)

გაზომილი MN ხაზის ასტრონომიული აზიმუტი;

λ_M და φ_M — იმავე პუნქტის ასტრონომიულად გაზომილი გეოგრაფიული კოორდინატები;

L_M — იმავე პუნქტის გეოდეზიური გრძედი, რომელიც გამოითვლება გეოდეზიური განაზომების მათემატიკური დამუშავებით.

გეოდეზიურად გამოთვლილი გეოგრაფიული კოორდინატების საკონტროლოდ კი იყენებენ (2.1.2.4), (2.1.2.6) ფორმულებს

$$\left. \begin{aligned} B_M &= \varphi_M - \xi_M \\ L_M &= \lambda_M - \eta_M \sec \varphi_M \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.4.3)$$

სადაც ξ_M , η_M — გრავიმეტრიულად განსაზღვრული მერიდიანისა და მთავარი ვერტიკალის სიბრტყეში შვეულის გადახრებია, რომელთა გამოთვლა შეიძლება, თუ ცნობილია φ , λ , B , L გეოგრაფიული კოორდინატები.

კვაზიგეოიდის ტანში ბრუნვის ელიფსოიდის ზემოსხენებული ორიენტირების დროს, რასაც მართკუთხედიანი ორიენტირება ჰქვია, მივიღეთ, რომ P_0 წერტილში რეფერენც-ელიფსოიდის ნორმალიდან შვეულის სრული ფარ-

ლობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადაზრა $\mu_0=0$, ანუ მერიდიანისა და მთავარი ვერტიკალის სიბრტყეში შვეულის გადახრები $\xi_0=0$ და $\eta_0=0$. აღნიშნულის შედეგად რეფერენც-ელიფსოიდის მცირე ღერძი და ეკვატორის სიბრტყე, შესაბამისად, პარალელური იქნება დედამიწის ბრუნვის ღერძისა და ეკვატორისა. ორიენტირების საკითხის ასე გადაწყვეტა საერთოდ მართებული არ არის, ამიტომ დედამიწის ტანში ბრუნვის ელიფსოიდის უფრო ზუსტ-ობსერვაციების მიზნით, რასაც რთული ორიენტირება ეწოდება, გამოისავალ P წერტილში ξ_0 , η_0 სიდიდეებს ზომავენ გრავიმეტრიულად, ხოლო ζ_0 ანომალიას კი — ასტრონომიულ-გრავიმეტრიული ნიველობით, რის შემდეგ გამოისავალ დატებს (მონაცემებს) ანგარიშობენ (2.1.3.1), 2.1.2.6), (2.1.2.20) ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= \varphi_0 - \xi_0 - 0'', 171 H_0 \sin 2\varphi \\ L_0 &= \lambda_0 - \eta_0 \sec \varphi_0 \\ A_0 &= A_0^* - \eta_0 \tan \varphi_0 \\ \zeta &= \zeta_0 \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.4)$$

კვაზიგეოიდის დანარჩენი წერტილების ζ , ანომალიები კი ისაზღვრება დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული ზემოხსენებული ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული ნიველობით.

საბჭოთა კავშირში კრასოვსკის ელიფსოიდის რთული ორიენტირება, რომელიც ეყრდნობოდა უდიდეს გრადუსულ, ანუ ასტრონომიულ, გეოდეზიურ და გრავიმეტრიულ განაზომებს, დამთავრდა 1942 წელს. ამ დროიდან, როგორც ეს (1.6.5) პარაგრაფში იყო ნათქვამი, ჩვენი ტერიტორიის ყველა გეოდეზიური ქსელი რედუცირდება არა ბესელის ელიფსოიდზე, რომელიც რეფერენც-ელიფსოიდად ჰქონდა გამოყენებული რუსეთსა და პირველ ხანებში საბჭოთა კავშირს, არამედ კრასოვსკის, ანუ საბჭოთა კავშირის რეფერენც-ელიფსოიდზე. ყოველ რეფერენც-ელიფსოიდს შეესაბამება თავისი კოორდინატა სისტემა, ამიტომ 1942 წლამდე არსებული „1932 წლის პულკოვოს გეოდეზიური კოორდინატების სისტემა“, რომელიც ბესელის ელიფსოიდს ეყრდნობოდა, შეიცვალა „1942 წლის პულკოვოს გეოდეზიური კოორდინატების სისტემით“, რომელსაც მოკლედ უწოდებენ „1942 წლის კოორდინატა სისტემას“. როგორც ვთქვით, ამ სისტემის რედუცირების ზედაპირად მიღებულია კრასოვსკის ელიფსოიდის ზედაპირი. საკოორდინატო სიბრტყეებს წარმოადგენენ ამ ელიფსოიდის ეკვატორის სიბრტყე და პულკოვოს ობსერვატორიის (A სიგნალის ცენტრი) გეოდეზიური მერიდიანის სიბრტყე.

ეს სისტემა ჩვენი მთავრობის დადგენილების საფუძველზე საერთო გამოყენებისათვის სავალდებულო გახდა 1946 წლიდან.

(4) ფორმულებით გამოთვლილი გამოისავალი მონაცემები 1942 წლის კოორდინატა სისტემის მიხედვით არის შემდეგი:

1. პულკოვოს ობსერვატორიის (A სიგნალის ცენტრის) გეოდეზიური კოორდინატებია:

$$B_0 = 59^{\circ} 46' 18'', 71 - 0'', 16 = 59^{\circ} 46' 18'', 55,$$

$$L_0 = 30^{\circ} 19' 38'', 55 + 3'', 54 = 30^{\circ} 19' 42'', 09.$$

გრინვიჩის ობსერვატორიასთან დაკავშირების მიზნით გრძედის ათვლის საწყისი გადატანილია დასავლეთით $30^{\circ} 19' 42'', 09$;

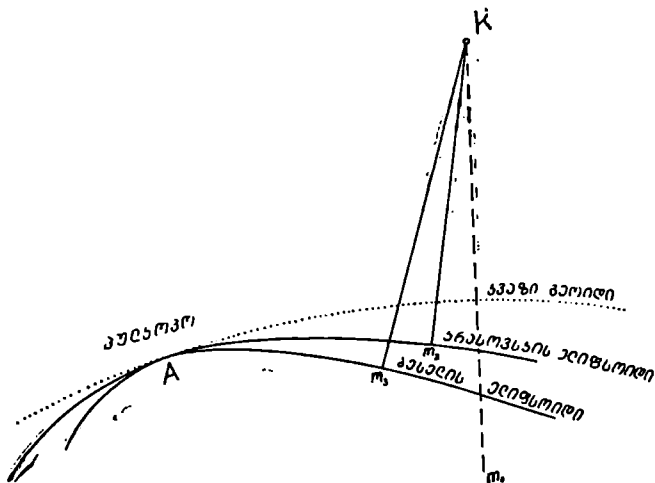
2. პულკოვო-ბუგრის (საბლინის საბაზისო ქსელის პუნქტი) გვერდის გეოდეზიური აზიმუტი

$$A_0 = 121^\circ 40' 36",13 + 2",66 = 121^\circ 40' 38",79;$$

3. კვაზიგეოიდის სიმაღლე რეფერენც-ელიფსოიდიდან პულკოვოს პუნქტზე მცირეა, ამიტომ მიღებულია

$$\zeta \approx 0.$$

ზემოთ მოყვანილი (1), (2), (3), (4) ფორმულებიდან ნათლად ჩანს, რომ დედაპიწის ერთ და იმავე წერტილში შვეული μ სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრების, ანუ მისი ξ , η მდგენელების, ოდენობების ცვალებადობა დამოკიდებულია ამ წერტილების გეოგრაფიული კოორდინატების ცვალებადობაზე; მაშასადამე, საბჭოთა კავშირში ახალი ელიფსოიდის მიღების, ე. ი. კოორდინატთა ახალი სისტემის მიღების, გამო შეიცვალა ყოვე-



ნახ. 2.1.4.2

ლი წერტილისათვის შვეულის μ სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური, ანუ მისი ξ , η მდგენელების ოდენობებიც (1.6.7 პარაგრაფი, C მუხლი). ცხადია, ერთი და იმავე წერტილში შვეულის ზემოხსენებული გადახრების ოდენობები ახალი სისტემის მიღებით უფრო მცირე იქნება, ვიდრე ძველი სისტემის დროს, რის შესახებ ნათელ წარმოდგენას იძლევა (2) ნახაზი.

იგულისხმება რა კვაზიგეოიდისა და მსოფლიო ელიფსოიდის ზედაპირების ურთიერთგადახრა მცირეა, ფიქრობენ, რომ შვეულის აბსოლუტური გადახრებიც იქნება მცირე ოდენობების. ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე ასკენიან, რომ საბჭოთა კავშირის შედარებით ვაკე ადგილებში შვეულის გადახრები იქნება 4—5", ზოგიერთ რაიონებში კი აღწევს 10—15", მთაგორიან რაიონებში აღწევს 30", ხოლო ზოგიერთ ადგილებში არის 60" და

ცოტა მეტიც. საერთოდ ჯერჯერობით არ არსებობს საფუძველი იმისა, რომ ვიფიქროთ დედამიწაზე იყოს წერტილები, სადაც შვეულის გადახრები სცილდებოდეს 90° .

რაც შეეხება შვეულის სრულ ფარდობით ასტრონომიულ-გეოდეზიურ გადახრებს, უნდა ვიფიქროთ, რომ მათი ოდენობები მეტი იქნება, ვიდრე აბსოლუტური გადახრები რეფერენც-ელიფსოიდის პარამეტრების განსაზღვრის შეცდომებისა და დედამიწის ტანში მისი ორიენტირების შეცდომების გამო.

2.1.5. სიმაღლეები

А. სიმაღლეების გამოსათვლელი ფორმულის ზოგადი სახე

დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენასთან დაკავშირებით არსებობს მრავალი ხერხი წერტილთა სიმაღლეების განსაზღვრისათვის. მათ შორის ერთ-ერთი ხერხია ე. წ. გეომეტრიული ნიველობა, სადაც გამოყენებულია თარაზული სხივი. აქ მიმართავენ კონგლომერაციის ხერხს, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ განხილად წერტილებზე შვეულად დაყენებულ ლარტყებზე თარაზული სხივით ანათვლებს აკლებენ ერთმანეთს და ამათ საზღვრავენ წერტილებს შორის აღმატებებს. გეომეტრიული ნიველობის ელემენტარული თეორიით აღრე და ამჟამადაც გულისხმობენ, თითქოს დედამიწა სფეროს წარმოადგენდეს; თითქოს დონებრივი ზედაპირები კონცენტრული სფეროებია; თითქოს სხვადასხვა სიმაღლის მქონე წერტილებზე გატარებული თარაზული სხივები ურთიერთპარალელურებია. (1.6) თავში დაწვრილებით არის განხილული საკითხი იმის შესახებ, რომ არცერთი შემოსენებული ვარაუდი სინამდვილეს არ შეესაბამება; დედამიწის ზედაპირის უალრესად სირთულის გამო მის საერთო სახედ მიღებულია ბრუნვის ელიფსოიდი და დონებრივი ზედაპირები; მაშასადამე, მზერის ღერძებიც ურთიერთპარალელურები არ არის. (1.6.3) პარაგრაფში დავადგინეთ, რომ დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის მიზეზია დედამიწის ბრუნვის შედეგად მისი სფეროიდულობა და ლითოსფეროში მასების არათანაბარი განაწილება.

დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის მრავალ შედეგთა შორის გეოდეზიური თვალთახედვით საყურადღებოა ორი: 1) ორ A და B წერტილის შორის ნიველობის შედეგი, ანუ სიმაღლეთა სხვაობა დამოკიდებულია ნიველიორსავალზე (ნახ. 1.6.6.2); 2) საერთოდ ერთი და იმავე დონებრივ ზედაპირზე განლაგებული წერტილების სიმაღლეები ურთიერთტოლები არ არის.

პირველი საკითხის შესახებ მოცემულია განმარტება (1.6.6) პარაგრაფში, მაგრამ აქ შედარების უფრო ვრცლად განვიხილავთ ამ საკითხს. ვთქვათ, საჭიროა განისაზღვროს B წერტილის აღმატება A -თან (ნახ. 1.6.6.2), რისთვისაც ნიველიორსავალად შევიჩიხეთ $AA'B$ ან AB_0B სვლა. როგორც $A'B$, ისე AB_0 დონებრივ ზედაპირზე ნიველობით აღმატებები იქნება ნული. ათვლის ზედაპირად მივიღოთ კვაზიგეოიდის AB_0 ზედაპირი, ე. ო. A წერტილის სიმაღლე იქნება ნული. მაშინ ნიველობის პირველი სვლით B წერტილის სიმაღლე მიიღება $AA' = H_2^A$ და მეორე სვლით კი $B_0B = H_1^B$. მაგრამ AB_0 და $A'B$ დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის გამო (1.6.3 პერაგრაფის C მუხლი) $H_2^A \neq H_1^B$. მაშასადამე, სხვადასხვა სვლით ნიველობის შედეგი სხვადასხვაა. მე-

სამე სვლა რომ შევასრულოთ, თვით დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე AB მიმართულებით აღმატება ედრება $\Sigma h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$, რომლის ოდენობა განსხვავებული იქნება წინა ორი სვლის შედეგისაგან. როგორც ვხედავთ, ორ წერტილს შორის ნიველობის შედეგი დამოკიდებულია სანიველო სვლაზე. AB სანიველო სვლით ვერ მივიღებთ ძალური B_0B ხაზის მიმართულებით ძიებულ H_1^p აღმატებას და საჭირო გახდება დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული ნიველობის შედეგად მიღებულ Σh ოდენობაში შევიტანოთ ΔH შესწორება დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის გამო.

მეორე შედეგი ანუ ის, რომ ერთი და იმავე დონებრივ ზედაპირზე მდებარე წერტილების სიმაღლეები ტოლები არ არის, თვით (1.6.6.2) ნახაზიდან ჩანს. მაგალითად, A' და B ერთი და იმავე დონებრივ ზედაპირზეა, მაგრამ მათი ფაქტობრივი სიმაღლეები შესაბამისი ძალური ხაზების გასწვრივ ტოლები არ არის; K წერტილის ფაქტობრივი სიმაღლე მეტია B წერტილისაზე მიუხედავად იმისა, რომ K წერტილი ძვეს ქვედა დონებრივ ზედაპირზე; ხშირად დიდ წყალსაცავებში სანაპირო ხაზის წერტილები ტოლი სიმაღლეების არ არის და ეს ხაზი არ ემთხვევა წყალსაცავის წყლის დონის რომელიმე წერტილში გატარებული ტოლი სიმაღლეების ხაზს. საილუსტრაციოდ შეიძლება მოვიყვანოთ სევანის ტბის მონაცემები (სომხეთი), რომლის სიგრძეა 65 კმ და კვაზიგეოიდიდან საშუალო სიმაღლე 1900 მეტრი. გეომეტრიული ნიველობით, რომელიც თანხლებულა იყო 4—5 მმ შეცდომით, გამოირკვა, რომ ამ ტბის სანაპირო ზოლის დონის სამხრეთ და ჩრდილოეთ ნაწილს შორის სიმაღლეთა სხვაობა არის 88 მმ. ასე რომ, ერთი და იმავე დონის წერტილებს შესაბამება სხვადასხვა სიმაღლე (იხ. ცხრილი 2.1.6.1).

(1.6.3) პარაგრაფში ნაჩვენებია, რომ წიაღში (ლითოსფეროში) მასების არათანაბარი განაწილების გამო სიმძიმის ძალის მიმართება მასების სიმკვრივეების ცვალებადობის შესაბამისად ცვალებადობს და მისი გამომსახველი შეეული ხაზები ძალური ხაზების სახით წარმოადგენს ორმაგი სიმრუდის მრუდეებს. ასე რომ, დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობით გამოწვეული შესწორების მეორე ელემენტი გამოითვლება (1.6.3.1) ფორმულით $\Delta g = g - \gamma$. ამ ორი შესწორების შემდეგ მივიღებთ ათვლის, ანუ ძირითადი დონებრივი ზედაპირიდან შეეული (ძალური ხაზის) მიმართულებით B წერტილის სიმაღლეს. (1.6.6.2) ნახაზზე ეს აღმატება იქნება $B_0B = H_1^p$ მანძილი. ზოგადად, A და B წერტილს შორის სიმაღლეთა სხვაობის გამოსათვლელი ფორმულის სახე ასეთი იქნება:

$$H_1^p = H_B - H_A = \Sigma h + \Delta H + \Delta g, \quad (a)$$

სადაც Σh არის გეომეტრიული ნიველობით დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის AB სვლით განსაზღვრული B წერტილის აღმატება A წერტილის მიმართ;

ΔH — შესწორება დონებრივ ზედაპირთა საერთოდ არაპარალელურობის გამო, სადაც იგულისხმება, რომ დედამიწის ტანში მასები სიმეტრიულადაა განლაგებული და დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის მიზეზია დედამიწის ბრუნვასთან დაკავშირებული ცენტრიდანული ძალის ცვლით განპირობე-

ბული სიმძიმის ძალის ცვალებადობა, ე. ი. ვლიფსოიდი გვაქვს ნორმალური, რომელსაც შეესაბამება კლეროს (1.6.2.36) და ჰელმერტის (1.6.2.37) ფორმულები;

1g — შესწორება ანომალიის (1.6.3.1 ფორმულა) სახით, რომელიც შედეგია ლითონფეროში მასების არათანაბრად განლაგების გამო ღონებრივ ზედამართა არაპარალელურობისა.

როგორც ვხედავთ, ΔH შესწორება ითვალისწინებს დედამიწის მხოლოდ ნორმალურ გრავიტაციულ ველს და წარმოდგენს ძირითად შესწორებას. Δg შესწორება კი ითვალისწინებს დედამიწის რეალური გრავიტაციული ველის გადახრას ნორმალური საგან და მისი ოდენობა შედარებით მცირეა პირველზე, მაგრამ ორივე ოდენობები შესწორებებისა ზუსტი ნიველობის დასაშვებ შეცდომებზე მეტია და მათი უგულებელყოფა არ შეიძლება, განსაკუთრებით მთავორიან ადგილებში; მაგალითად, ევერესტისათვის ΔH შესწორება აღწევს 20 მეტრამდე, ხოლო Δg შესწორება 2 მეტრია.

B. სიმაღლეების გამოხატვითი საფუძვალ ფორმულები

წინა მუხლში მოყვანილი (a) ფორმულა ზოგადი სახისაა. სიმაღლეების გამოხატვითი საფუძვალ ფორმულების გამოყენებისათვის საჭიროა პოტენციალის თეორიის გამოყენება.

(1.4.2.1) ნახაზისა და (1.4.2.1) ფორმულის მიხედვით დავწერთ:

$$\bar{g} = \bar{F} + \bar{Q}, \quad (2.1.5.1)$$

სადაც \bar{g} არის სიმძიმის ძალა (ვექტორი \bar{g});

\bar{F} — დედამიწის მიზიდულობის ძალა (ვექტორი \bar{F});

\bar{Q} — ცენტრიდანული ძალა (ვექტორი \bar{Q}).

მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამომსახველი (1.4.4.18) ფორმულის მიხედვით დავწერთ:

$$F = -f \frac{mM}{R^2}, \quad (2.1.5.2)$$

სადაც m არის მისაზიდი A წერტილის მასა;

M — დედამიწის მასა;

R — დედამიწის რადიუსი;

$f = 6,685 \cdot 10^{-8} \approx 6,7 \cdot 10^{-8}$ სმ³/გსკ² (დინი) — მიზიდულობის ანუ გრავიტაციული მუდმივა.

(2) ფორმულაში მიზიდულობის ძალის დადებით მიმართებად მიღებულია მიმართება დედამიწის ცენტრიდან, ამიტომ ცენტრისაკენ მიმართულ I' მიზიდულობის ძალა უარყოფითი ნიშნისაა.

ერთეულების — დინისა და გალის შესახებ (1.4.4) და (1.6.2) პარაგრაფებში მიღებული განსაზღვრებების შესაბამისად დავასკვნით, რომ, თუ მიზიდული სხეულის m მასა ტოლია ერთი გრამისა, მაშინ მიზიდულობის ძალა დინებში რიცხობრივად ტოლია მისი აჩქარებისა გალებში.

მექანიკის კანონის მიხედვით A წერტილში ცენტრიდანული ძალა

$$Q = m a^p, \quad (2.1.5.3)$$

სადაც p არის A წერტილიდან დედამიწის ბრუნვის ღერძამდე მანძილი,
 m — A წერტილის მასა (ჩვეულებრივ იგი ტოლია ერთის),
 ω — დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, გამოთვლილი ფორ-
 მულით:

$$\omega = \frac{2\pi}{86164}, \quad (2.1.5.4)$$

სადაც 86164 არის ვარსკვლავიერი (საშუალო) დღე-ღამე, სეკუნდებში.

თუ A წერტილის სივრცობრივ მდებარეობას (1.6.2) პარაგრაფის (b) მუხლის შესაბამისად გამოვსახავთ x, y, z კოორდინატა სისტემაში, რომლის სათავე იქნება დედამიწის მასის ცენტრში, კოორდინატა ღერძებზე g სიმძიმის ძალის g_x, g_y, g_z მდგენელები იქნება

$$W = V + U \quad (2.1.5.5)$$

სიმძიმის ძალის პოტენციალის გამომსახველი ფუნქციის კერძო წარმოებულე-
 ბი, სადაც V და U არის მიზიდულობის ძალისა და ცენტრიდანული ძალის
 პოტენციალები, რომელთა სიდიდე გამოისახება ფორმულებით:

$$V = f \int \frac{dm}{r} \quad \text{და} \quad U = \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2). \quad (2.1.5.6)$$

მაშასადამე, პოტენციალური ფუნქციების კერძო წარმოებულები კოორ-
 დინატა ღერძების მიმართ ტოლია შესაბამისი ძალების პროექციებისა ამ
 ღერძებზე, რითაც დასტურდება (1.6.2) პარაგრაფში გამოთქმული აზრი იმის
 შესახებ, რომ პოტენციალური ფუნქციის შემოღებით აღვილდება კვლევითი
 სამუშაოების ჩატარება, რადგანაც სამი g_x, g_y, g_z კომპონენტი გამოისახება
 W ანალიზური ფუნქციებით. აღნიშნოთ $(g, x), (g, y), (g, z)$ სიმბოლოებით
 კუთხეები, რომლებიც შედგენილია g სიმძიმის ძალის მიმართების მიერ კო-
 რდინატა ღერძებთან (1.6.2 პარაგრაფში მათ მაგიერ მიღებულია α, β, γ),
 მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} g_x &= g \cos(g, x) \\ g_y &= g \cos(g, y) \\ g_z &= g \cos(g, z) \end{aligned} \right\} \quad (2.1.5.7)$$

დადგენილია, რომ W სიმძიმის ძალის პოტენციალის წარ-
 მოებული ნებისმიერი S მიმართულებით ტოლია სიმძიმის
 ძალის პროექციისა ამ მიმართულებაზე, ე. ი.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dW}{dS} &= g \cdot \cos(g, S) = g_s \\ \text{ანუ} \quad dW &= g_s dS \end{aligned} \right\} \quad (2.1.5.8)$$

სადაც dW არის ელემენტარული მუშაობა, გაწეული ერთეული მასის მიტე-
 რიალური წერტილის სიმძიმის ძალის ველში. dS მანძილით
 გადაადგილებისათვის;

g_s — სიმძიმის ძალის მდგენელი dS მიმართულებით.

განხილავთ A წერტილში g სიმძიმის ძალის მიმართების მართობულად გადაადგილების შემთხვევაში, ანუ, როცა $\cos(g, S) = 0$, მივიღებთ

$$\frac{dW}{dS} = 0, \text{ ანუ } dW = 0.$$

მაშასადამე.

$$W = \text{const} = C. \quad (2.1.5.9)$$

მიღებული ტოლობა წარმოადგენს იმ დონებრივ ზედაპირთა სისტემის გამომსახველ ტოლობას, რომლებიც მიიღებიან C მუდმივის სხვადასხვა მნიშვნელობათა შესაბამისად. ეს ზედაპირები ერთმანეთს არასად არ კვეთს და მათ ყოველ წერტილში სიმძიმის ძალის მიმართება მის ნორმალს ემთხვევა. მაშასადამე, ყოველი ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში სიმძიმის ძალის მხეში მდგენელები ნულის ტოლი იქნება. ამ ზედაპირთა შორის ჩვენთვის საინტერესოა ის, რომელიც ოკეანეებისა და ზღვების წყნარ მდგომარეობაში მყოფ ზედაპირს ემთხვევა. და ხმელეთის ქვეშ გრძელდება, დაახლოებით, ზღვის დონეზე. ამ ზედაპირს ვუწოდებთ კარიზონტალურად, ანუ ძირითადი დონებრივი ზედაპირი (გეოიდი). მაშასადამე, (9) ტოლობა წარმოადგენს გეოიდის საერთო განტოლებას.

ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ განხილავთ A წერტილი გადაადგილებულია შვეული, ანუ g სიმძიმის ძალის, მიმართულებით, მაშინ მივიღებთ, რომ $\cos(g, n) = 1$ და (8) ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\frac{dW}{dS} = g. \quad (2.1.5.10)$$

ამ შემთხვევაში dS გამოხატავს განხილავთ A წერტილის სიმაღლის შეცვლას, ანუ ეს ოდენობა იქნება ორ უახლოეს დონებრივ ზედაპირთა შორის შვეული მიმართულებით ელემენტარული დაშორების ოდენობის გამომსახველი, რომელიც აღვნიშნოთ $-dh$ სიმბოლოთი. მინუსი დავეწერეთ dh ელემენტარულ სიდიდეს, რადგანაც სიმძიმის ძალა მიმართულია დედამიწის მყარი ტანის გულისაკენ. მაშასადამე, დავეწერთ:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{dW}{dh} &= g \\ dh &= -\frac{dW}{g} \\ dW &= -gdh \end{aligned} \right\} \quad (2.1.5.11)$$

(4), (9), (11) ტოლობების ანალიზით შეიძლება გავაკეთოთ (1.6) და ამ თავის წინა პარაგრაფებში აღნიშნული მოვლენების დამადასტურებელი დასკვნები:

1. დედამიწის სიმძიმის ძალა (g) იზრდება ეკვატორიდან პოლუსებისაკენ დედამიწის ბრუნვისა და მასთან დაკავშირებული ცენტრიდანული U ძალის პოტენციალის შემცირების გამო, რომელიც ეკვატორზე მაქსიმალურია და ბრუნვის ღერძზე (პოლუსებზე) კი უდრის ნულს; ზემოხსენებულის შედეგია ბრუნვის ღერძის მიმართებით დედამიწის კუმშვა;

2. ყოველ წვეთელ ახლოებელ დონებრივ ზედაპირებს შორის მანძილი dh ,

ურთიერთობები არ არის, რადგანაც (11) ფორმულაში დედამიწის სხვადასხვა წერტილში g სიმძიმის ძალები სხვადასხვა ოდენობისაა და dh_i იცვლება მისი ოდენობის უკუპროპორციულად, მაშასადამე, დონებრივი ზედაპირები ურთიერთპარალელური არ არის. (ნახ. 1.6.6.2);

3. დონებრივი ზედაპირები ურთიერთ არასდროს არ გადაიკვეთება, რადგანაც dh_i ელემენტარული სიმაღლე არასდროს არ გახდება ნული იმის გამო, რომ dW არ არის ნული და g სიმძიმის ძალა კი სასრულო სიდიდეა;

4. აქ დასტურდება წინა A მუხლში მოყვანილი მტკიცება იმის შესახებ, რომ თარაზული სხივით წერტილთა შორის სიმაღლეების განსაზღვრის დროს (გეომეტრიული ნიველობა) საჭიროა მხედველობაში იყოს მიღებული დონებრივი ზედაპირთა ურთიერთპარალელურობა, რადგანაც ყოველი dh_i ელემენტარული მანძილი (აღმატება) წარმოადგენს დონებრივ ზედაპირებზე შევუღად დაყენებულ უკანა და წინა ლარტყაზე ანათვლებს შორის სხვაობას, შესაბამისად, თარაზული სხივის მომცემი იარაღის (ნიველირის) ლარტყებს შორის თითო დგომისათვის. აქ ვგულისხმობთ, რომ ლარტყები და ნიველირი ყოველთვის დაყენებულია გეოიდის ზედაპირზე.

როგორც აღვნიშნეთ, გეოიდის ზედაპირი არის სულ მთლიანად, სულ ამობურცული და სულ პორიზონტალური, რომელსაც არა აქვს ნაკვები, წიბოები და წარმოადგენს დედამიწის ჩაკეტილ ძირითად დონებრივ ზედაპირს, რაც შემოხსენებული განსაზღვრების შესაბამისია; აგრეთვე, როგორც წინა მუხლში იყო განმარტებული, ეს გეომეტრიული თვალთახედვით ზედმიწევნით რთულია არა მარტო მის ტანში გატარებული დონებრივი ზედაპირების ურთიერთპარალელურობის გამო, რომელიც იცვლება ცენტრიდანული ძალის პოტენციალის ცვალებადობით, არამედ იმის გამოც, რომ დედამიწის ტანში მასები არათანაბრად არის განაწილებული. ამ უკანასკნელი მიზეზით გაპირობებულია W სიმძიმის ძალის პოტენციალის ოდენობისა და მიმართულების ცვალებადობა (ძალური ხაზების, ანუ შევუღლი ხაზების მიმართულებების ცვალებადობა) იმის მიხედვით, თუ როგორ არის ურთიერთ განლაგებული დედამიწის ტანში (უშთაერესად ლითოსფეროში) სხვადასხვა სიმკვრივის მქონე ქანები, რაც ჯერჯერობით შესწავლილი არ არის.

დედამიწის ქერქი (ლითოსფერო) არ იმყოვება იზოსტატიკურ წონასწორობაში. საერთოდ კი მასში არსებობს წონასწორობა, თუმცა იგი ცალკეულ უბნებზე დარღვეულია. დედამიწის ქერქის ასეთ მდგომარეობას, როგორც ეს წინა პარაგრაფებში იყო აღნიშნული, უწოდებენ იზოსტატიკურ წონასწორობას. თანამედროვე გეოდეზიური (შვეულის გადანრა) და გრავიმეტრიული გაზომვების მონაცემებით იზოსტაზიის ზედაპირის სიღრმე აღწევს 50—70 კმ. ამავე დროს თანამედროვე გეოფიზიკა ადასტურებს, რომ იზოსტატიკური წონასწორობა ჯერ კიდევ არ გვაძლევს სათანადოდ დასაბუთებულ ნათელ წარმოდგენას და სქემებს ასეთი წონასწორობის შესახებ.

აღსანიშნავია, რომ მასების არათანაბარი განაწილება, რომლის დროსაც ნივთიერებათა სიმკვრივეები იცვლება პორიზონტალური მიმართულებით (ერთი და იმავე სიღრმის ფენებში), მოიცავს მხოლოდ და მხოლოდ ლითოსფეროს, რომლის სისქე აღწევს 5—80 კმ და რომელიც შეადგენს დედამიწის მოცულობის 1:30, ხოლო მისი მასის 1:65 ნაწილს. სიმკვრივეების არათანაბარი განაწილების ეს შედარებით მცირე ოდენობაც კი გეოიდის ზედაპირს ხდის იმდენად რთულს, რომ მისი გამოყენება ფიზიკური ზედაპირიდან მასზე

განაზომთა რედუცირებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის შეუძლებელია. (11) დამოკიდებულებების მესამე ტოლობის ნებისმიერი MN არის მიხედვით ინტეგრებით მივიღებთ:

$$-\int_{MN} dW = \int_{MN} gdh, \quad (2.1.5.12)$$

სადაც dh უნდა წარმოვიდგინოთ, ზოგადად, (1.6.6.2) ნახაზის h_1, h_2, \dots შემცველ მანძილებად, რომლებიც ისაზღვრებიან მეზობელ წერტილებს შორის ნიველიარის თითო დგომით. g გამოსახავს ამ წერტილებში სიმძიმის ძალის ოდენობას.

ვთქვათ, სანიველო სვლა სრულდება დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის სხვადასხვა დონებრივ ზედაპირზე მდებარე A და B წერტილებს შორის (ნახ. 1.6.6.2), რომელთაც შეესაბამება სასრულო მანძილი, მაშინ (11) და (12) ფორმულების საფუძველზე დავწერთ:

$$-\int_{AB} dW = W_A - W_B = \int_{AB} gdh = \bar{g}(H_B - H_A),$$

საიდანაც

$$H_B - H_A = \frac{\int_{AB} gdh}{\bar{g}} = \frac{W_A - W_B}{\bar{g}} = -\frac{\int_{AB} dW}{\bar{g}}, \quad (2.1.5.13)$$

სადაც \bar{g} არის სიმძიმის ძალის გარკვეული სიდიდე, რომლის ოდენობის დადგენის მეთოდზეა დამოკიდებული, თუ სანიველო ათვლების რომელ სისტემასთან გვაქვს საქმე;

$H_B - H_A = H$ არის B წერტილის აღმატება A წერტილთან, რომლის ოდენობა დამოკიდებულია შერჩეულ \bar{g} -ზე, რადგანაც ($W_A - W_B$) პოტენციალების სხვაობა მუდმივია.

როცა A წერტილი არის ათვლის საწყისი, ანუ $H_A = 0$ და $W_A = W_0$,

მაშინ

$$\left. \begin{aligned} H_B &= \frac{W_0 - W_B}{\bar{g}} = \frac{\int_{OB} gdh}{\bar{g}} \\ W_0 - W_B &= \int_{OB} gdh \\ W_B &= W_0 - \int_{OB} gdh \end{aligned} \right\} \quad (2.1.5.14)$$

სადაც W_0, W_B — სიმძიმის ძალის პოტენციალებია O და B წერტილზე გავალი დონებრივი ზედაპირებისათვის;

g — სიმძიმის ძალის ოდენობა სანიველო სვლის სადგურებზე;

dh — ელემენტარული აღმატება;

\bar{g} — სიმძიმის ძალის გარკვეული ოდენობა.

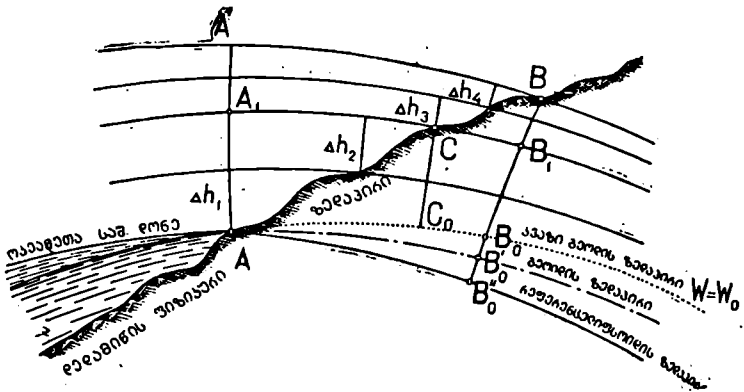
პოტენციალები არის უცვლელი შესაბამისი დონებრივი ზედაპირებისთვის, ამიტომ (14) ფორმულის $W_O - W_B = \Delta W = \int_{OB} g dh$ სიდიდის ოდენობა, რომელსაც უწოდებენ გეოპოტენციალს, არ არის დამოკიდებული ნიველირსავალის სხვადასხვაობაზე. მისი ოდენობა მხოლოდ და მხოლოდ დამოკიდებულია A საწყისი წერტილისა და B ბოლო წერტილის მდებარეობაზე. (13) და (14) სამუშაო ფორმულები წარმოადგენს სიმაღლეების სხვადასხვა სისტემის სამუშაო ფორმულების გამოსავალს.

C. სიმაღლეების სისტემები

არსებობს გეოპოტენციალური სიმაღლეების ოთხი სისტემა, რომელთა სახელწოდებაა: მიახლოებითი, ორთომეტრიული, ნორმალური და დინამიკური (ნახ. 1).

ა. მიახლოებითი სიმაღლეები

მიახლოებითი იქნება სიმაღლეები, თუ (ა) ფორმულაში არ მივიღებთ მხედველობაში სიმძიმის ძალის რეალურ გრავიტაციულ ველს, ანუ როცა ორ წერტილს შორის გეომეტრიული ნიველობით გაზომილ აღმატებაში შევიტანთ მხოლოდ ΔH შესწორებას. ამ განსაზღვრებიდან იგულისხმება, რომ $H_{გა}$ უნ-



ნახ. 2.1.5.1

და შესწორდეს მხოლოდ ნორმალური ველის დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის გამო.

მიახლოებითი სიმაღლეების გამოთვლებს მიმართავენ იმ შემთხვევაში, როცა ნიველირსავალის წერტილებში არ არის განსაზღვრული დედამიწის სიმძიმის ძალა. აგრეთვე ამ სისტემას იყენებენ, როგორც შუალედ ეტაპს სხვა სისტემებით სიმაღლეების გამოთვლის დროს.

ზემონათქვამის საფუძველზე (14) ფორმულის მიხედვით დავწერთ:

$$H_{\text{მთავ}}^B = \frac{U_O - U_B}{\gamma_m^B} = \frac{\Delta U}{\gamma_m^B} = \frac{\int_{OB} \gamma dh}{\gamma_m^B}, \quad (2.1.5.15)$$

სადაც $H_{\text{მთავ}}^B$ არის B წერტილის მიახლოებითი სიმაღლე გეოიდის ($B_0'B$) ან ევაზიგეოიდის ზედაპირიდან (B_0B);

ΔU — A და B წერტილების დონებრივ ზედაპირთა U_0 და U_B ნორმალური ველის პოტენციალების სხვაობა;

γ_m^B — ნორმალური სიმძიმის ძალის საშუალო ოდენობა BB_0 შვეული ხაზის მიმართულებით;

γ — ნორმალური პოტენციალის სიმძიმის ძალა ყოველ დონებრივ ზედაპირზე;

$dh \approx \Delta h$ — ელემენტარული აღმატებები.

ბ. ორთომეტრიული სიმაღლეები

ცნობილია (1.6.6 პარაგრაფი), რომ ორთომეტრიულ სიმაღლეებს უწოდებენ დედამიწის ფაზიკური ზედაპირის წერტილებიდან მანძილებს გეოიდის ზედაპირამდე შესაბამისი ძალური ხაზების მიმართულებით. მაგალითად (1.6.6.1) ნახაზზე H^g , ხოლო (1) ნახაზზე $B_0'B$ მონაკვეთი. ვინაიდან A და B_0' წერტილები ერთი და იმავე (ნულოვან) დონებრივ ზედაპირზეა, (14) ფორმულის შესაბამისად დავწერთ:

$$W_{B_0'} - W_B = \int_{B_0'B} g dh. \quad (b)$$

გამოვიყენოთ ლაგრანჟის თეორემა ფუნქციის საშუალო მნიშვნელობის შესახებ, რითაც BB_0' ძალურ ხაზზე ყოველი დონებრივი ზედაპირის g რეალური სიმძიმის ძალის ერთობლიობების (ინტეგრალის) ნაცვლად (b) ტოლობაში შევიტანთ მათ საშუალო g_m^B მუდმივ სიდიდეს, რომელიც გამოითანება ინტეგრალის ნიშნის გარეთ, ე. ი.

$$\int_{B_0'B} g dh = g_m^B \int_{B_0'B} dh = g_m^B H_{B_0'}^g,$$

სადაც $H_{B_0'}^g = \int_{B_0'B} dh$ არის B წერტილის ორთომეტრიული $B_0'B$ სიმაღლე.

საბოლოოდ დაიწერება

$$H_{B_0'}^g = \frac{W_{B_0'} - W_B}{g_m^B} = \frac{B_0'B}{g_m^B}. \quad (2.1.5.16)$$

მაშასადამე, B_0' და B წერტილებს შორის ორთომეტრიული სიმაღლე უდრის ამ წერტილებს შორის $\Delta W = W_{B_0'} - W_B$ გეოპოტენციალის ან გეომეტ-

რეული ნიველობით მიღებული აღმატების ფარდობას სიმძიმის ძალის ნამდვილ ოდენობათა g_m^B საშუალოსთან.

(1.6.6) პარაგრაფში იყო აღნიშნული, რომ ორთომეტრიული სიმაღლის ზუსტად განსაზღვრა შეუძლებელია, ვინაიდან დედამიწის ტანში მასების არათანაბარი განაწილების გამო სიმძიმის ძალის g_m საშუალო მნიშვნელობების დადგენა ზუსტად შეუძლებელია. მაშასადამე, H გეოდეზიური სიმაღლეები, გამოთვლილი H^0 ორთომეტრიული სიმაღლისა და რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან გეოიდის ζ^0 აღმატების შეკრებით, ზუსტი არ არის. ამიტომ ორმოციანი წლების ბოლოდან მოლოდენსკის წინადადების საფუძველზე საბჭოთა კავშირში ორთომეტრიული სისტემა შეიცვალა ნორმალური სისტემით.

ც. ნორმალური სიმაღლეები

(1.6.6) პარაგრაფში იყო აღნიშნული, რომ მოლოდენსკის წინადადებით საბჭოთა კავშირში ორმოციანი წლების ბოლოდან $H_B^0 = B_0^0 B$ ორთომეტრიული სიმაღლე შეიცვალა $H_B^Y = B_0^Y B$ ნორმალური სიმაღლით, რომელიც გამოხატავს მანძილს დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის B წერტილიდან B_0 წერტილამდე. ამჟამად ეს სისტემა სოციალისტურ ქვეყნებშიც არის მიღებული. ამ სიმაღლეების გამოსათვლელი ფორმულა მიიღება (14) ფორმულის გამოყენებით, თუ მასში g რეალური სიმძიმის ძალის გარკვეული ოდენობის მაგიერ შევიტანთ γ_m^B ნორმალური სიმძიმის ძალის საშუალო ოდენობას, განსაზღვრულს დონებრივ ზედაპირთა γ ნორმალური სიმძიმის ძალით დედამიწის B წერტილიდან B_0 წერტილამდე.

B წერტილში მისი ოდენობის გამოსათვლელად იყენებენ ფორმულას:

$$\gamma_m^B = \gamma_0^A - 0,154 H_{\text{გაბ}}, \quad (2.1.5.17)$$

სადაც γ_0^A — ნორმალური სიმძიმის ძალა რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე, გამოთვლილი კლეროს (1.6.2.36) ან ჰელმერტის (1.6.2.37) ფორმულით, როგორც ფუნქცია B_m განედისა.

მაშასადამე, (14) ფორმულა გადაიწერება შემდეგი სახით:

$$H_B^Y = \frac{\int_{OB} g dh}{\gamma_m^B}. \quad (2.1.5.18)$$

(18) ფორმულა შეიძლება გადაიწეროს ასე:

$$\begin{aligned} H_B^Y &= \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{OB} (g - \gamma_m^B + \gamma_m^B - \gamma + \gamma) dh = \\ &= \int_{OB} dh + \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{OB} (\gamma - \gamma_m^B) dh + \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{OB} (g - \gamma) dh, \end{aligned}$$

ხოლო, მეორე ინტეგრალის ფრჩხილებში γ , γ_m^B წევრების ნაცვლად დაახლოებით მათი ეკვივალენტური γ_0 , γ_0^B წევრების შეტანით მივიღებთ:

$$H_{B}^{\gamma} = \int_{OB} dh + \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{OB} (\gamma_0 - \gamma_0^B) dh + \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{OB} (g - \gamma) dh, \quad (2.1.5.19)$$

სადაც γ_0 არის ნორმალური ელიფსოიდის ზედაპირის მიმდინარე (ცვალებად) წერტილზე ნორმალური სიმძიმის ძალა;

γ_0^B — ნორმალური სიმძიმის ძალა ნორმალური ელიფსოიდის იმ წერტილში, რომელზეც გაივლის B წერტილის შვეული (ეს იქნება B_0);

$(g - \gamma)$ — სიმძიმის ძალის ანომალია მიმდინარე წერტილში.

ნებისმიერ C და B წერტილებს შორის ნორმალურ სიმაღლეთა სხვაობა პრაქტიკულად გამოითვლება ფორმულით:

$$H_B^{\gamma} - H_C^{\gamma} = \sum_C^B \Delta h - \frac{1}{\gamma_m} (\gamma_0^B - \gamma_0^A) H_m^{\gamma} + \frac{1}{\gamma_m} \sum_C^B \Delta h (g - \gamma)_m, \quad (2.1.5.20)$$

სადაც H_m^{γ} , $(g - \gamma)_m$ და γ_m — დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის სანიველო CB

ხაზზე დგომის წერტილთა სიმაღლეების, სიმძიმის ძალის ანომალიებისა და ნორმალური სიმძიმის ძალების საშუალო ოდენობებია;

Δh — სასრულო აღმატებები.

(20) ტოლობა თავისი აგებულებით შეესაბამება (ა) ზოგად ტოლობას. მაგალითად, მოყვანილი ფორმულებით ნორმალური H^{γ} სიმაღლე ერთმნიშვნელოვნად ისაზღვრება და მისი ოდენობა არ არის დამოკიდებული სანიველო სელაზე. საერთოდ ერთი და იმავე დონებრივ ზედაპირზე განლაგებული წერტილების ნორმალური სიმაღლეები იქნება სხვადასხვა, რადგანაც ($W_0 - W_B$) გეოპოტენციალი მუდმივია, მაგრამ γ_m იცვლება წერტილთა განედის შესაბამისად. მაშასადამე, ერთი და იმავე პარალელის წერტილების ნორმალური სიმაღლეები ტოლი იქნება.

დანარჩენი უპირატესობის შესახებ ნათქვამია (1.6.6) პარაგრაფში.

დ. დინამიკური სიმაღლეები

დინამიკური სიმაღლის გამომსახველ ფორმულას მივიღებთ, თუ (14) ფორმულაში \bar{g} რეალური სიმძიმის ძალის გარკვეული სიდიდის ნაცვლად შევიტანთ 45° განედის მქონე დონებრივი ზედაპირის ნორმალურ სიმძიმის ძალას, რომელიც აღინიშნება γ_{45° .

$$H_B^{\text{დინ}} = \frac{\int_{OB} g dh}{\gamma_{45^\circ}}. \quad (2.1.5.21)$$

დინამიკური სიმაღლეების სისტემას არა აქვს გეომეტრიული ინტერპრეტაცია, როგორც მონაკვეთებს ღედამიწის ფიზიკური ზედაპირისა და ღონებრივ ზედაპირთა წერტილებს შორის. მაშასადამე, ისინი ხაზოვან განზომილებაში არ გამოისახებიან. ეს სიმაღლეები ახასიათებს ღედამიწის გრავიტაციულ ველში მუშაობას, რომელიც უნდა შესრულდეს იმისათვის, რომ გამოსავალი (ძირითადი) ღონებრივი ზედაპირიდან მატერიალური წერტილი გადაადგილდეს იმ ზედაპირზე, რომელიც გაივლის რომელიმე მოცემულ გარე წერტილზე.

სიმაღლეების დინამიკურ და ნორმალურ სისტემებს შორის კავშირი მყარდება (21) და (18) ფორმულების შედარებით:

$$H_B^{\text{ლინ}} = \frac{\gamma_m^B}{\gamma_{45^\circ}} H_B^\gamma = H_B^\gamma - \frac{\gamma_{45^\circ} - \gamma_m^B}{\gamma_{45^\circ}} H_B^\gamma, \quad (2.1.5.22)$$

ანუ

$$H_B^{\text{ლინ}} = H_B^\gamma - H_B^\gamma \cdot q,$$

სადაც $q = \frac{\gamma_{45^\circ} - \gamma_m^B}{\gamma_{45^\circ}}$. q ოდენობების გამოსათვლელად არსებობს ცხრილები.

C და B წერტილებს შორის დინამიკურ სიმაღლეთა სხვაობა გამოითვლება დამოკიდებულებით:

$$H_B^{\text{ლინ}} - H_C^{\text{ლინ}} = H_B^\gamma - H_C^\gamma - [q_B H_B^\gamma - q_C H_C^\gamma]. \quad (2.1.5.23)$$

(16), (18), (21) ფორმულები გამოსახავს სამი სისტემის სიმაღლეებს, რომელთაც $W_0 - W_B = \int_{OB} g dh$ მრიცხველები ერთი და იგივე აქვთ. ეს სიდიდეა გა-

მოსავალი $A_0 = 0$ და ნიველირსავალის ბოლო B წერტილის პოტენციალთა სხვაობა, ანუ გეოპოტენციალი, რომელიც მიიღება უშუალო გაზომვებით და წარმოადგენს ძირითად მახასიათებელს წერტილების სიმაღლეებისათვის. სიმაღლეების ნორმალურ სისტემაში მნიშვნელო γ_m — სიმძიმის ძალის ნორმალურ მნიშვნელობათა საშუალო განედის ფუნქცია, ხოლო ორთომეტრიული სისტემის მნიშვნელო g_m — სიმძიმის ძალის რეალურ ოდენობათა საშუალო კი წერტილთა განედებისა და გრძედების ფუნქციას წარმოადგენს. მაშასადამე, ერთი და იმავე ღონებრივი ზედაპირის სხვადასხვა წერტილებს როგორც ნორმალურ, ისე ორთომეტრიულ სისტემაში ერთნაირი (უცვლელი) სიმაღლეები არ ექნებათ. აგრეთვე ერთი და იმავე ღონებრივი ზედაპირის ერთი და იმავე წერტილების სიმაღლეები ამ სისტემებით იქნება სხვადასხვა; განსხვავება იქნება გეოიდსა და კვაზიგეოიდს შორის მანძილი. რაც შეეხება სიმაღლეების დინამიკურ სისტემას, აქ მნიშვნელო γ_{45° მუდმივია, მაშასადამე, ერთი და იმავე ღონებრივი წერტილების ნიშნულები ტოლი (უცვლელი) იქნება, რის გამო დიდი წყალსაცავების ღონეების გაანგარიშების შესრულების დროს უფრო მოხერხებულა სიმაღლეების გამოსახვა დინამიკური სისტემით. როდესაც ანგარიშები სრულდება სიმაღლეების ნორმალური სისტემის გამოყენებით, საჭიროა შეტანილ იქნეს ღონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობით გამოწვეული შესწორებები, ცხადია, თუ ეს შესწორებები

გაზომვების დასაშვებ შეცდომებზე მეტი იქნება. როგორც ვხედავთ, გეომეტრიული ნიველოების შედეგები ახასიათებს არა მარტო დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ფორმას, არამედ ისინი ძლიერ ხშირად, წინამდვილში, გვაძლევენ მონაცემებს დედამიწის გრავიტაციული ველის გავლენის აღრიცხვისათვის.

მაშასადამე, ზუსტი გეოდეზიური გაზომვების დროს საჭიროა მათი თანხლებული მოვლენების ფიზიკის ზუსტი ანალიზი და მხედველობაში მიღება. აღნიშნულის გამო გეოდეზია მკიდრო კავშირშია გეოლოგიასა და გეოფიზიკასთან და შესაფერისად იყენებს მათ მონაცემებს.

2.1.6. გეოიდის თანამედროვე განსაზღვრება. ფუტზბოკაში

პირველი ტომის მეექვსე თავში განხილულია საკითხი იმის შესახებ, რომ დედამიწის საერთო სახე, როგორც რეფერენც-ელფსოიდის ზედაპირი, წარმოადგენს გეოდეზიური სიმაღლეების გამოსავალს; გეოიდის ზედაპირი ორთომეტრიული სიმაღლეებს, ხოლო კვაზიგეოიდის ზედაპირი კი ნორმალური სიმაღლეების გამოსავალი ზედაპირებია, რომელთა ოდენობები დედამიწის სხვადასხვა წერტილებისათვის მოყვანილია კატალოგებში. (1.6.6), (1.6.7) პარაგრაფებში დასაბუთებულია, რომ უკანასკნელი ორი პრაქტიკულ საქმიანობაში დიდად გამოიყენება.

როგორც ვიცით, ((1.6.1), (1.6.2), (2.1.4) პარაგრაფები) ოკეანეთა გარე ფიგურის ფორმირების საქმეში ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს სიმძიმის ძალა, რომლის W პოტენციალის მუდმივობას თეორიულად შეესაბამება ძირითადი დონებრივი ზედაპირი. გარდა სიმძიმის ძალისა, წყლის ნაწილაკებზე მოქმედებს შიგა და გარე ძალები, რომლითაც ირღვევა წყლის ზედაპირების თეორიულად დადგენილი ფორმა, ამ ძალებს ეკუთვნის: ქარებისა და ატმოსფეროს წნევების გავლენა; ოკეანეებზე და მატერიკებზე მიმოქცევები, რომელსაც იწვევს მთვარისა და მზის მიზიდულობები; ტემპერატურისა და მარილიანობის ცვალებადობა ოკეანეების სხვადასხვა ადგილში და სხვა. გეოდეზიაში მიღებულია ოკეანეთა და ზღვათა ისეთი დონე, რომელიც თავისუფალია ზემოხსენებულ დამატებითი შემაშფოთებელი ძალებისაგან, რის გამოც ლისტირინგის მიერ გეოიდად წოდებული დედამიწის საერთო სახის ქვეშ იგულისხმება მშვიდ მდგომარეობაში მყოფი მსოფლიო ოკეანის საშუალო დონის აზრობრივ ხმელეთის ქვეშ ურთიერთ შერწყმამდე განგრძობით მიღებული ისეთი სხეული, რომლის ყოველ წერტილში მისი ზედაპირისადმი შეეული ხაზები წარმოადგენს ნორმალებს, ასეთი სახის დამხმარე ზედაპირს იყენებდნენ ადრე, უდიდესი გრადუსული გაზომვების დროს.

ზღვის საშუალო დონის დადგენისა და ხმელეთთან მისი დაკავშირებისათვის იმავე ზღვის დონის დაკვირვების ცალკეულ პუნქტებზე ანათვლებში შესწორებების გამოთვლები დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული.

ზღვის, თუ გინდ სეზონური და მრავალწლიანი საშუალო დონის ცვალებადობა აღწევს რამდენიმე დეციმეტრს. ამ ცვალებადობის თეორია ჯერჯერობით არ არის დამუშავებული, ხოლო ამ სმოცანის თანამედროვე ამონახსნებს საექვოდ და უაღრესად ძნელ საქმედ სთვლის მრავალი მკვლევარი: დულსონი, მამაევი, მაქსიმოვი, როსიტერი, ზული, ხელი და სხვა. მაგალითად, ლისიციანი 1965 წელს გამოქვეყნებულ თავის შრომას აფასებს, როგორც

პირველ ცდას მსოფლიო ოკეანეთა საშუალო დონის დადგენის შესახებ, ხოლო მიღებულ შედეგებს სთვლის მიახლოებითად. ტერმინი „ზღვის საშუალო დონე“, რომელიც ლისტინგის წინადადების შედეგად გეოდეზიაში დაქვედრდა, მისი აზრით, არ არის ნათელი. ზღვების საშუალო დონე იცვლება ერთი ადგილიდან მეორეზე და ეს ცვალებადობა პრაქტიკულადაც კი არ არის საუგულოველყოფი. მაგალითად, წყლის სიმკვრივეთა სხვადასხვაობის გამო წყნარი ოკეანის ზედაპირის დონე საშუალოდ 60 სანტიმეტრით მაღლაა ატლანტიკური ოკეანის დონეზე. ქარების ზეგავლენით ხდება შესამჩნევი გადახრები დონებრივი ზედაპირიდან. ლისიციმმა რუკაზე უჩვენა ღრმა ოკეანეების სივრცეებზე წყლის ზედაპირის დონე, რაც მან აგრეთვე დაახასიათა, როგორც წინასწარი და მიახლოებითი. ამსტერდამში ზღვის საშუალო დონე, რომელიც ითვლება ევროპის ერთიანი სანიველო ქსელის გამოსავლად, ლისიციმის ცნობით 52 სანტიმეტრით დაბლაა დედამიწის მთელი წყლის ზედაპირის საშუალო დონეზე. ხმელთაშუა ზღვის საშუალო დონე დარდანელის სრუტესთან 70 სანტიმეტრით დაბლაა სუეცის არხის ჩრდილო შესავლის საშუალო დონესთან შედარებით. ბალტიის ზღვის დონე საშუალოდ 70—80 სანტიმეტრით მაღლაა შავი ზღვის დონეზე. წყნარი ოკეანის საშუალო დონე პანამის ყელთან 22 სანტიმეტრით მაღლაა ატლანტიკის ოკეანის საშუალო დონეზე და სხვა.

როგორც ვხედავთ, ლისტინგის გეოიდის, როგორც ოკეანეთა საშუალო დონის განსაზღვრების, გამოსავალ დონებრივ ზედაპირად მიღება პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც დედამიწაზე არ მოიპოვება ისეთი წერტილი, რომელზეც ეს დონებრივი ზედაპირი გაივლის და რომელიც შეიძლება მივიღოთ ორთომეტრიული ან ნორმალური სიმაღლეების ათვლების საწყისად.

დანიის გეოდეზისტმა ზახარაიემ 1876 წელს გამოქვეყნებულ შრომაში გააკრიტიკა სიმაღლეების ათვლა ზღვის საშუალო დონიდან. ის შენიშნავდა, რომ დაკვირვების პუნქტთან ახლოს ზღვის საშუალო დონე, რომელიც მდებარეობს თუ ვინდ-ლია ზღვაში, მხოლოდ მიახლოებით წარმოადგენს ზღვათა დონებრივ ზედაპირს. ამ პუნქტიდან გეომეტრიული ნიველირებით განსაზღვრული ნიშნულები მიახლოებით წარმოადგენს ზღვის საშუალო დონის მიმართ სიმაღლეებს. ამავე დროს ის აღნიშნავდა, რომ ყველა სიმაღლე ზღვის საშუალო დონის მიმართ არის მოცემულ წერტილსა და გამოსავალ წერტილს შორის სხვაობები. ამავე დროს გამოსავალი წერტილის სიმაღლე გამოსახავს დაახლოებით ზღვის საშუალო დონეს, რომელზეც ძველად ცდილობდნენ დაეყვანათ ტრიანგულაციის ბაზისები.

1878 წელს ბრუნსმა წამოაყენა წინადადება, რომ გეოიდი ეწოდოს ორთომეტრიული სიმაღლეების ათვლების სათავეს დონებრივ ზედაპირს. 1884 წელს გეოიდის შესახებ ასეთივე განსაზღვრება გააკეთა ჰელმერტმა. პრაქტიკულად გეოდეზიაში როგორც სიმაღლეების, ისე ოკეანეთა და ზღვათა სიღრმეების დადგენისათვის ამასვე აკეთებენ. ზემოაღნიშნულის საფუძველზე შეიძლება ვთქვათ, რომ გეოიდი არის ორთომეტრიული და ნორმალური სიმაღლეების ათვლების საწყისი და დონებრივი საწყისი წერტილი უნდა იქნეს რაც შეიძლება ახლო ზღვის საშუალო დონესთან. ათვლის საწყის წერტილებში და სხვა მრავალ წერტილში კვაზიგეოიდის ზედაპირი შეთავსებულია გეოიდის ზედაპირთან. ასე რომ, ორთომეტრიულ და ნორმალურ სიმაღლეების ათვლების საწყისები შერწყმულია. თანამედროვე საზღვაო გრავიმეტრიული აგეგმვების შედეგად

დადგინდა, რომ ზღვის დონე გარკვეული მომენტისათვის შერწყმულია კვაზი-გეოიდთან, ხოლო ეს დონე შეიძლება არ იქნეს შეთავსებული გეოიდის ზედაპირთან. საჭიროა, რომ დაყვანის მომენტები ახლოს იყოს ავეგმების მომენტთან. სხვადასხვა უბანში დაყვანის მომენტები შეიძლება იქნეს სხვადასხვა, მაგრამ ყოველი განაზომი უნდა იქნეს რედუცირებული ისე, რომ სიმძიმის ძალის გაზომვები წარმოდგენილი იქნეს ერთიანი (მთელი) დედამიწიდან, ერთი და იმავე წყლის მასიდან. მაშასადამე, ზღვებზე და ოკეანეებზე დედამიწის გეოდეზიური სიმაღლე ასათვლელი (გამოსავალი) ელიფსოიდის ზედაპირიდან ედრება კვაზიგეოიდის სიმაღლეს, ე. ი. $H = \zeta'$ და საშუალო დონის ცოდნის საჭიროება არ წარმოიშობა.

მაშასადამე, სიმაღლეების ერთ-ერთ განმასხვავებელ ფაქტორს მათი ათვისების სათავე წარმოადგენს, რომლის ახლო სივრცეებში ხანგრძლივი დაკავშირების შედეგად ისაზღვრება ოკეანეთა და ზღვათა საშუალო დონე, საიდანაც გამორიცხულია ხანმოკლე და სისტემატური შემაშფოთებელი მიზეზები.)

ოკეანეთა და ზღვათა საშუალო დონეს საზღვრავენ დონეების საზომ საგანგებო სადგურები. დონეების გასაზომი უმარტივესი ხელსაწყოა ფუტშტოკი (ლარტყა), მიმაგრებული ნაპირზე, რომელზეც სისტემატურად იღებენ ზღვის დონის შესაბამის ანათვლებს. ფუტშტოკს, რომელზეც ავტომატურად ხდება დონეების დაკვირვებათა ჩაწერები, ეწოდება მარეოგრაფი. ზღვის დონეთა დასადგენად არსებობს დონეების საზომი საგანგებო სადგურების სისტემა (ერთობლიობა). ყოველ სისტემას აქვს სანაპიროზე მტკიცედ დამაგრებული ერთი ან რამდენიმე რეპერი, რომლითაც ფუტშტოკის ნული დაკავშირებულია სახელმწიფო სანიველო ქსელთან. რეპერის დახმარებით ხდება ნიველობა, რომლითაც მოწმდება თვით ფუტშტოკის შერყეობა სიმაღლეში.) ფუტშტოკები თავისი დანიშნულების, ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობებისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტების შესაბამისად სხვადასხვა სახის გვხვდება.

საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე გეოდეზიური სამუშაოებისათვის 1926 წელს სახელმწიფო საგემო კომისიაში ჩატარებული პირველი გეოდეზიური თათბირის გადაწყვეტილებით სიმაღლეთა ათვისების საწყისად მიღებული იყო კრონშტადტის ფუტშტოკის ნული. მიუხედავად ამისა 1947 წლამდე სარგებლობდნენ ძველთაგან შერჩენილი მრავალი სისტემის კატალოგებით, როგორც იყო: კატალოგი რილკესი — გასული საუკუნის სანიველო ქსელების რუსეთის ევროპიული ნაწილისათვის, გამოთვლილი ბალტიისა და შავი ზღვის საშუალო დონიდან; კავკასიის დროებითი კატალოგი, დამუშავებული შავი ზღვის (ფოთის სიმაღლის ნიშნის) დონიდან; 1932 წლის კატალოგი — სსრ კავშირის ევროპული ნაწილის სიმაღლეების 9 სანიველო პოლიგონის, გამოთვლილი კრონშტადტის ფუტშტოკის ნულის მიმართ; 1935 წლის შუაზღვის სანიველო ქსელების კატალოგი, რომელიც არასაიმედოდ იყო დაკავშირებული 1932 წლის სანიველო კატალოგთან; ციმბირის ნიველობების დროებითი კატალოგი, რომელიც არ იყო დაკავშირებული 1932 წლის კატალოგის ქსელთან და რომელიც შემდეგ გადაანგარიშებულ იქნა წყნარი ოკეანის დონის მიმართ.

ყველა სისტემის მაღალი სიზუსტის ნიველობით დაკავშირებამ გამოავლინა ერთი და იმავე წერტილების სიმაღლეთა სხვადასხვაობა, რაც ზოგიერთ

შემთხვევაში რამდენიმე დეციმეტრს, ხოლო შორეულ აღმოსავლეთში ერთ მეტრსაც აღწევდა.

ერთიანი სიმაღლეთა სისტემის შემოღების მიზნით, რაც განაპირობებდა მტკიცე საფუძვლის ჩაყრას სანიველო ქსელების განვითარების რთული საკითხების მოწესრიგების საქმეში და მეცნიერულ-კვლევითი სამუშაოებისათვის ნიველობის მონაცემთა სრულყოფილად გამოყენებისათვის, 1947 წელს სავანგებო და დგენილებით საბჭოთა კავშირში შემოღებულ იქნა „ერთიანი ბალტიის სიმაღლეთა სისტემა“, რომლის სათავედ მიჩნეული იყო კრონშტადტის ზემოხსენებული ფუტშტოკის ნული. მაშასადამე, საბჭოთა კავშირში გეოიდს (კვაზიგეოიდს) წარმოადგენს კრონშტადტის ფუტშტოკის დონებრივი ზედაპირი. მისი გეოგრაფიული მდებარეობა არახელსაყრელია, მხოლოდ სიმაღლესე იშვიათი მდგარლობით (სტაბილობით) და ზღვის ადგილობრივ საშუალო დონის ნიშნულთან სიახლოვით დიდი უპირატესობის მქონეა სხვა საწყის ფუტშტოკებთან შედარებით. ამ ფუტშტოკზე დაკვირვებები დაიწყო 1825 წლიდან. მაგალითად, ბალტიის ზღვის საშუალო დონე აღნიშნული ფუტშტოკის ნულის მიმართ, დაწყებული 1940 წლიდან, როცა იგი იყო 0,000 მეტრი, პერიოდულად იცვლებოდა — 0,034 მეტრამდე (1894, 1911 წწ) და 1939 წლისათვის — 0,017 მეტრს უდრდა; საერთოდ კი უკანასკნელი გამოკვლევებით ბალტიის ზღვის ნაპირის მონაკვეთის სიმაღლეებში ცვალებადობა წლიურად 0,16 მილიმეტრს შეადგენს.

ფუტშტოკის ნდობის ხარისხი მით მეტია, რაც უფრო ხანგრძლივად ხდება მასზე სისტემატური დაკვირვებები.

ფუტშტოკებზე დანაკვირვები მასალები მრავალნაირად გამოიყენება. გეოდეზიაში ამ მასალის საფუძველზე მიღებულია შემდეგი დასკვნები:

1. სხვადასხვა დონეების საზომ სადგურთა ფუტშტოკებს შორის ზუსტი ნიველობით ხდება სხვადასხვა ზღვის საშუალო დონეების ურთიერთშედარებები. როგორც აღენიშნეთ, დადგენილია, რომ სხვადასხვა ზღვის დონეების სიმაღლეები ურთიერთ განსხვავდებიან რამდენიმე დეციმეტრით; მაგალითად, შავი და კასპიის ზღვა.

2. ერთი და იმავე ზღვის სანაპიროებზე არსებულ ფუტშტოკებზე შესრულებული ნიველობით გამოირკვა, რომ ზღვის საშუალო დონე არ ემთხვევა დონებრივ ზედაპირს. საშუალო დონის გადახრას დონებრივი ზედაპირიდან აქვს სისტემატური ხასიათი და უმეტეს ნაწილად მისი ოდენობა სცილდება ზუსტი ნიველობით დასაშვებ შეცდომებს. (1) ცხრილიდან ჩანს, რომ სანაპიროების H_S^Y სამხრეთ და H_N^Y ჩრდილო ნაწილებს შორის სხვაობები საყურადღებოა.

ცხრილი 2.1.6.1

სახელწოდებები	$H_S^Y - H_N^Y$ მმ	სანივ. სვლის საშ. კვ. შეცდ., მმ	სანაპიროს საშუალო დონე, მეტრ.
რიბინსკის წყალსაცავი	8,4	± 6	100
სევანის ტბა	88	„ 4	1900
ბაიკალის ტბა	165	„ 25	450
ოკუწორის ტბა	190	≈ „ 10	3200

ასეთი განსხვავებები დაახლოებით საერთო კანონზომიერებით გვევლინება განსაკუთრებით ისეთ წყალსაცავებში და ზღვებში, რომლებიც არიან დიდი ნორმალური სიმაღლეების მქონენი და განლაგებულნი არიან ჩრდილო-სამხრეთ მიმართულებით;

3. ზღვების დონეების ცვალებადობას აქვს „წლიური“ და „საუკუნეობრივი“ ხასიათი. ზღვის დონის წლიური ცვალებადობები მნიშვნელოვანი ოდენობებისაა. მათი მიზეზია ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი შემაშფოთებელი მოვლენა, რომელთა ოდენობები საშუალოდ ადვილად ბათილდება წლიური დაკვირვებების ერთობლიობით. წლებს შორის ერთი და იმავე ზღვის საშუალო დონეთა ცვლის მიზეზია ზღვაში წყლის მოცულობის შეცვლა და იგი ერთი და იმავე ოდენობის არის მოცემული ზღვის სანაპირო ზოლის ფარგლებში; წლიდან წლამდე მთელი ზღვის სანაპიროზე საშუალო დონის თანადროულობამდე დაყვანილ ცვალებადობას იყენებენ დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ვერტიკალური მოძრაობის დასადგენად იმ ადგილებში, სადაც მოწყობილია წყალსაზომი საგუშაგოები. დადგენილია, რომ მოცემული ზღვის საშუალო დონის საიმედოდ მდგრადი ოდენობების მიღება შეიძლება 20—25 წლის სისტემატიური დაკვირვებებით;

4. საერთო შეცვლა მსოფლიო ოკეანეთა დონისა, რომელიც შეიძლება მოხდეს მათი წყლის მოცულობის ან ფსკერის ფორმის შეცვლით და რასაც მსოფლიო ოკეანეთა საშუალო დონის ევსტატიკური ცვალებადობა ჰქვია, ჯერჯერობით მტკიცედ განსაზღვრული არ არის. თანამედროვე მონაცემებით მსოფლიო ოკეანეთა საშუალო დონის ევსტატიკური ცვალებადობა წელიწადში 1 მმ-ზე ნაკლებია. ამ პრობლემების გადაწყვეტა შეიძლება მხოლოდ მაშინ, თუ მთელი მსოფლიოს მატერიკების სანაპიროებზე გვექნება დონის საზომი ხშირი საგუშაგოები და ფუტშტოკებზე საერთო მეთოდით ვაწარმოებთ სისტემატიურ დაკვირვებებს, რომელთაც დავაკავშირებთ ურთიერთ ზუსტი ნიველობით.

სხვადასხვა კონტინენტზე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა გეოიდი (კვაზიგეოიდები).

კოსმოსური გეოდეზიის გეომეტრიული მეთოდით შეიძლება მთელ დედამიწაზე გავრცელებულ იქნეს X , Y , Z ლეკარტის და შერდებ B , L , H გეოდეზიური კოორდინატები. გეოდეზიური მეთოდებით საყრდენი წერტილების ქსელის-განშირების დროს საჭირო გახდება კვაზიგეოიდის რომელიმე წერტილიდან ζ სიმაღლის (ანომალიის) განსაზღვრა, როგორც სხვაობა კოსმოსური გეოდეზიის ხერხით განსაზღვრულ H გეოდეზიურ სიმაღლესა და ადგილობრივი კვაზიგეოიდისადმი მიღებულ H' ნორმალურ სიმაღლეს შორის. კოსმოსური გეოდეზიის მეოდეები აგრეთვე საშუალებას იძლევა შემოწმდეს B , L გეგმური და H სასიმაღლო კოორდინატების გადაცემა ერთი კონტინენტის საზღვრებში.

როგორც აღვნიშნეთ, მოლოდენსკის თეორია, რომელიც გამოქვეყნებულ იქნა 1960 წელს, საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ დედამიწის ინერციის ცენტრის გეოდეზიური კოორდინატები ასტრონომიულ-გეოდეზიური გაზომვებისა და მსოფლიო გრავიმეტრიულ აგეგმვების შედეგად, რის გამო მან აგრეთვე ურთიერთს დააკავშირა სხვადასხვა B , L , H გეოდეზიური კოორდინატების სისტემები. სხვადასხვა კვაზიგეოიდების მიმართ ათვლილი H' ნორმა-

ლური სიმაღლეები არ დააბრკოლებს ამ შემთხვევაში მთელ დედამიწაზე ერთიანი კოორდინატების სისტემის გავრცელებას.

ხშირად პრაქტიკაში საჭირო ხდება შედარებით ურთიერთ ახლო წერტილების სიმძიმის ძალის W , პოტენციალებს შორის სხვაობის განსაზღვრა. ასეთი განსაზღვრა საჭიროა პიდროტექნიკური ამოცანების ამოხსნისა და ზღვების დონეების შესწავლის დროს. მაგალითად, რომ არ ყოფილიყო შემამშობთებელი გავლენა (ატმოსფერული წნევის სხვადასხვაობა, წყლის აწევა ქარის გავლენით და სხვ.), წყლის დინება მუდამ იქნებოდა მცირე W_{min} პოტენციალის მქონე წერტილებიდან მისი დიდი ოდენობის მქონე წერტილებისაკენ, ხოლო ზღვის დონის პოტენციალი იქნებოდა მუდმივი.

პოტენციალების სხვაობის გაყოფით სიმძიმის ძალის გარკვეულ ოდენობაზე ეს სხვაობა შეიძლება გამოისახოს ხაზოვან განზომილებაში და გამოვიყვანოთ დინამიკური სიმაღლეები.

სიმძიმის ძალის W პოტენციალების სხვაობა შეიძლება განისაზღვროს გეომეტრიული ნიველობით და სანიველო ღერძის მიმართულებით სიმძიმის ძალის განაზომების შედეგად. ასეთი სხვაობები შეიძლება განისაზღვროს არაპირდაპირი გზით, თუ გამოვითვლით H^Y ნორმალურ სიმაღლეებს, როგორც სხვაობას H გეოდეზიურ სიმაღლესა და რომელიმე კვაზიგეოიდის ζ^Y ანომალიას შორის.

2.1.7. ლითოსფეროს ვიზტიკალური მოძრაობების ახსნი და შესწავლა გეოდეზიური და ოქანანმზრავიული მეთოდებით

პირველი ტომის მეოთხე და მეხუთე თავში მოცემულია განმარტებები დედამიწის ოთხი სახის მოძრაობის შესახებ, ამასთან დაკავშირებით მის ფიზიკურ ზედაპირს გარკვეული ფორმა აქვს. ამავე დროს ცნობილია, რომ დედამიწაზე ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის გეოლოგიურ და კოსმოსურ მოვლენებს, რის გამო უწყვეტლევ ხდება ურთულესი სივრცობრივი გადაადგილებანი ლითოსფეროს ზედაპირისა. დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის წერტილთა ეს გადაადგილებანი ძირითადად შეისწავლება ვერტიკალური და თარაზული მიმართულებით. ამ ორი კომპონენტიდან მთავარია ვერტიკალური მიმართულებით აღმავალი (ზღვა უკან იხევს და აჩენს ზღვისმიერ ტერასებს) ან დაღმავალი (ზღვა წინ მიდის და ფარავს მოსაზღვრე ხმელეთის ნაწილს) გადაადგილებანი, რომლებსაც ძირითადად იწვევს შემდეგი მიზეზები:

1. ტექტონიკური მოძრაობები. აქ ვგულისხმობთ ენდოგენურ (შინაგან) პროცესებს, რომლებიც მიმდინარეობენ ლითოსფეროსა და ზემო მანტიის ფენებში. ტექტონიკური პროცესები გამოვლინდება ნელი, ანუ საუკუნეობრივი, და ჩქარი, ანუ სეისმური მოვლენების სახით. ამ მოძრაობების კერები (საწყისები) მდებარეობს ლითოსფეროს სიღრმეებში და შეიძლება ზემო მანტიაშიც. საუკუნეობრივი მოძრაობები ნელია მაგრამ მოიცავს დედამიწის მთელ ზედაპირს. სეისმური მოძრაობები კი შედარებით მცირე ზომის და ლოკალური (ადგილობრივი) ხასიათისაა; ზოგჯერ მოიცავს პლატფორმებსაც (დიდ სივრცეებსაც);

2. კოსმოსურ სხეულთა მიზიდულობის ძალების ცვალებადობა, როგორცაა მთვარე-მზისმიერი მიმოქცევები და მასთან დაკავშირებული პიდრო-

სფეროს, ატმოსფეროსა და ტემპერატურის გავლენა. ამ მიზეზთა გავლენას აქვს პერიოდული ხასიათი და იწვევს დედამიწის ზედაპირის პერიოდულ დრეკად დეფორმაციას;

3. ეგზოგენური (გარე), ანუ საინჟინრო-გეოლოგიური (წყალი, ქარი, მყინვარი, ზეგავი, მეწყარები) პროცესები, წარმოშობილი ლითოსფეროს ზედა ფენაში; ისინი იწვევენ ვერტიკალური მიმართულებით სანიველო რეპერების გადაადგილებას. ამ მიზეზების გავლენასაც აქვს ლოკალური ხასიათი, მაგრამ მნიშვნელოვანია ოდენობებით და ამიტომ საჭიროა მშენებლობის დაწყებამდე საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევაქიებასთან დაკავშირებული გაზომვების დროს ისინი მხედველობაში მივიღოთ;

4. ადამიანის სამეურნეო საქმიანობით გამოწვეული, ანუ ტექნოგენური (ხელოვნური) პროცესები, როგორც არის: დედამიწის ზედაპირის დაწვევა, რომელსაც იწვევს ხელოვნური წყალსაცავებით ქერქის გადატვირთვა; სამთო გამონამუშევრების გამო ხმელეთის ზედაპირის ამობურცვა და ჩაწვევა; გრუნტის წყლების, გაზის, ნავთის ამოქაჩვა და სხვა გრანდიოზული ნაგებობები. ამ მიზეზებით გამოწვეულმა მოძრაობებმა ლოკალურ სივრცეებზე შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე მეტრს.

ზემოთ ჩამოთვლილი მიზეზებით ხმელეთის ზედაპირის დონის შეცვლა რთულ სურათს ქმნის.

დედამიწის აგებულებისა და სიცოცხლის პრობლემების გადაწყვეტის საქმეში ზემოხსენებული ოთხი ძირითადი მიზეზიდან ძირითადი მნიშვნელობა აქვს პირველს, ანუ ტექტონიკურ მოძრაობებს. მათ შორის კი დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობისაა ვერტიკალური საუკუნეობრივი მოძრაობა, რომლის შესწავლა უაღრესად ძნელია, რადგან იგი მიმდინარეობს ძალზე ნელა და გამოვლინდება მცირე გადაადგილების სახით. ამ ამოცანის ამოხსნისათვის გამოიყენება: გეოდეზიური, ოქეანოგრაფიული, გეოლოგიური-გეომორფოლოგიური, დახრისმზომების, გრავიმეტრიული, გეოქიმიური და სხვა მეთოდები. აღნიშნული მეთოდებიდან ამჟამად შედარებით უფრო კარგ შედეგებს იძლევა პირველი სამი მეთოდის თანადროულად გამოყენება. აქ შევხებით მხოლოდ პირველ ორს.

გეოდეზიური მეთოდი ემყარება საჭირო მიმართულებებით გარკვეული დროის პერიოდებში შესრულებული ზუსტი განმეორებითი გეომეტრიული ნიველოზის მასალებს. დავეშვათ, რომ დროის t ინტერვალში, რომელიც გამოსახულია წლებში, რაიმე საწყისი წერტილიდან ერთი და იმავე მიმართულებით შესრულებულია გეომეტრიული ნიველობა ორჯერ. ვთქვათ, რომ ზემოხსენებული დროის განმავლობაში განხილადი ნიველირსავალის პუნქტების საუკუნეობრივი მოძრაობის v წლიური სიჩქარე მუდმივია. აღვნიშნოთ გამოსავალი წერტილიდან ერთ-ერთი რეპერის აღმატება პირველი და მეორე ნიველოზის შესაბამისად h_1 და h_2 სიმაღლეებით. ზემოხსენებული პირობების თანახმად დავწერთ:

$$(h_2 - \Delta h_2) - (h_1 - \Delta h_1) = vt,$$

აქედან

$$v = \frac{h_2 - h_1}{t} - \frac{\Delta h_2 - \Delta h_1}{t} \text{ მმ/წელ.}, \quad (2.1.7.1)$$

სადაც Δh_1 და Δh_2 — პირველი და მეორე ნიველობის დროს მიღებული დასაშვები შეცდომებია,

მოცემულ ტერიტორიაზე თანამიმდევრობით განლაგებულ სანიველო ხაზების პუნქტებზე (1) ფორმულით განსაზღვრული საუქუნეობრივ მოძრაობების v წლიურ სიჩქარეებს შეეკრიბავეთ ალგებრულად, რითაც მივიღებთ ყოველ ხაზზე მოძრაობის სიჩქარეებს. ამ გზით განისაზღვრება განხილადი ტერიტორიის სანიველო პოლიგონების რეპერების სიჩქარეები, რომელთა გაწინასწორებისა და მთელ ტერიტორიაზე ცნობილ წერტილთა შორის პროპორციული ოდენობების მონახვით, ანუ ინტერპოლაციით, დგინდება ამ ტერიტორიის წერტილების საუქუნეობრივი ცვალებადობის წლიური სიჩქარეები. მაგალითად, საბჭოთა კავშირის ევროპიული ნაწილის დასავლეთი მხარის განმეორებითი ნიველოზისა და დონეებზე დაკვირვებების 1960 წლამდე დაგროვილი მასალების საუქუნეულზე შედგენილია თანამედროვე ტექტონიკური მოძრაობების რუკა¹, რომელზეც სიჩქარეების ოდენობები ცვალებადობს — 6,3 — +14,6 მმ/წელ., შესაბამისად, $\pm 0,7$ — $\pm 1,1$ მმ/წელ. შეცდომებით. (1) ფორმულიდან ჩანს, რომ, რაც მეტი იქნება t დროის ინტერვალი წლებში, მით ნაკლები იქნება v -ს განსაზღვრაზე ნიველოზის შეცდომების გავლენა. ჩვეულებრივ მოითხოვება, რომ (1) ფორმულის მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრი 3—4-ჯერ ნაკლები იქნეს პირველ წევრთან შედარებით, რადგანაც პრაქტიკაში v გამოთვლა მიღებულია შემდეგი ფორმულით:

$$v = \frac{h_2 - h_1}{t} \quad (2.1.7.2)$$

(1), (2) ფორმულებით ისაზღვრება ფარდობითი სიჩქარეები, ანუ სიჩქარეები ნებისმიერად შერჩეული გამოსავალი წერტილის მიმართ. განმეორებითი ნიველოზის გამოსავალ წერტილად, რომ შერჩეული გექონდეს მუდამ ერთი ისეთი წერტილი, რომელიც ვერტიკალურად უცვლელია, მაშინ (2) ფორმულით განსაზღვრული სიჩქარეები იქნება აბსოლუტური. უფრო ზუსტად, დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის აბსოლუტურ ვერტიკალურ მოძრაობაში იგულისხმება დედამიწის მასის ცენტრიდან მისი ფიზიკური ზედაპირის შესაბამის წერტილებამდე რადიუს ვექტორების ცვალებადობა, რის დადგენაც დღესდღეობით შეუძლებელია. აგრეთვე, დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე ისეთი წერტილის მოძებნა, რომელიც არ განიცდის ვერტიკალურ მოძრაობას და გამოდგებოდეს განმეორებითი ნიველოზის წერტილად, შეუძლებელია. მაშასადამე, ამჟამად განსაზღვრული სიჩქარეები ფაქტობრივად წარმოადგენს ფარდობით სწორ სიჩქარეებს დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის საუქუნეობრივი ცვალებადობისას. პრაქტიკულად უფრო მართებულია გამოსავალ წერტილებად მივიღოთ ოკეანეთა და ზღვათა საშუალო დონეები, რომელთა ოდენობებზე საჭიროა დადგინდეს ფუტშტოკებზე არანაკლებ 25 წლის დაკვირვებების შედეგად. იღებენ რა ასეთი წესით განსაზღვრულ დონეებს მდგრადად და უცვლელად, მათ მიმართ განსაზღვრულ სიჩქარეებს თვლიან აბსოლუტურად. მაგალითად, ზემოთ ნახსენები რუკის შედგენისათვის ასეთ გამოსავალ წერტილებად მიღებული იყო მურმანსკის, კრონშტადტის, ტალინის, ლიეპაიას, ოდესის, სევასტოპოლის, ოსიპენკოსა და ტავანროგის ზღვის საშუალო დონეები.

¹ „Современное движение земной коры“, № 1, Изд-во АН СССР, М., 1963 г., 83. 77.

იმისათვის, რომ ზუსტად განისაზღვროს დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის წმინდა ტექტონიკური მიზეზებით გამოწვეული ვერტიკალური მოძრაობები, განმეორებითი ნიველირსავალის მიმართულებით აწარმოებენ გეომორფოლოგიურ გამოკვლევებს, რათა შევისწავლოთ რეპერების დასმის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები და გამოვრიცხოთ ეგზოგენური (ქარები, წვიმები და სხვ.) და ტექნოგენური (ხელოვნური) ფაქტორების გავლენა დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ვერტიკალური მოძრაობის საერთო ოდენობებიდან.

ოკეანოგრაფიული მეთოდი ემყარება ზღვების სანაპიროების დონეთა ასათვლელ საგუშავოებზე ნავარაუდვეი დონეების ცვალებადობის მასალების ანალიზს და გამოთვლებს. მაშასადამე, ეს მეთოდი გამოიყენება ოკეანეთა და ზღვათა სანაპიროებზე. ამ მეთოდით დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ვერტიკალური მოძრაობების დადგენისათვის სწავლობენ ზღვის დონის რეჟიმის კანონზომიერებებს, რის შესახებ ზოგიერთი ცნობები მოყვანილია წინა პარაგრაფში. დანაკვირვები მასალის დამუშავება ხდება მათემატიკური სტატისტიკისა და უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით. განხილადი მეთოდით შეიძლება ფარდობითი სიჩქარეების დადგენა, თუ მოსაზღვრე ფუტშტაკებზე მოყვანდნენ დაკვირვებებს თანადროულად. იმ ადგილებში, სადაც არსებობს დიდპერიოდებიანი დონებრივი დაკვირვებები, ისაზღვრება მოძრაობათა აბსოლუტური სიჩქარეებიც, საიდანაც გამოირიცხება მსოფლიო ოკეანეთა წყლის მოცულობის ანუ ფსკერის ფორმის შეცვლით ზღვების დონეების ცვალებადობა, რასაც ზღვის დონის ექსტატიკური ცვალებადობა ჰქვია.

ზემოხსენებულ რუკაზე საუქუნობრივი ტექტონიკური მოძრაობების წლიური სიჩქარეები მილიმეტრების ტოლია, თუმცა ზოგ ადგილას 20 მილიმეტრსაც აღწევს წელიწადში. დადგენილია, რომ დედამიწაზე არის ადგილები, სადაც ამგვარი ვერტიკალური გადაადგილებების სიჩქარეები წელიწადში რამდენიმე დეციმეტრია. ტექტონიკური მოძრაობების უგულებელყოფა გრანდიოზული მშენებლობების დროს დიდ უარყოფით შედეგს იძლევა. მაგალითად, კალიფორნიაში ვერფის მშენებლობის დროს, რომელიც გემების ასაგებად და სარემონტოდ იქნა აშენებული, მხედველობაში არ იყო მიღებული მშენებლობის ადგილას დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ინტენსიური დაწევა და ეს ნაგებობა ზღვის დონის დაბლა მოექცა. ვერფის დაცვის მიზნით აშენებულ იქნა დამცავი ჯებირი და სისტემატიურად ხდება მისი ამოღება.

ცნობილია, რომ ტექნიკური მიზეზებით ლითოსფეროს ვერტიკალური მოძრაობების უგულებელყოფა ცალკეულ სივრცეებზე იწვევს გაზგაყვანილობების ნორმალური მუშაობის დარღვევას, ელექტრო ხაზების საყრდენების გადაყირავებას, წყალსადენის ნორმალური მუშაობის დარღვევას, ზოგჯერ გრუნტის წყლების დონის დაწევას, რითაც ირღვევა სასოფლო-სამეურნეო ტერიტორიების სარწყავი სისტემების ნორმალური მუშაობა და სხვ.

განხილად საკითხთან დაკავშირებით საჭიროა კიდევ აღვნიშნოთ ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენა. ვთქვათ, ვარკვეული რაოდენობა რეპერებისა ხვდება სხვადასხვა ნიველირსავალზე, რომლებზეც წარმოებს დროის სხვადასხვა პერიოდებში ნიველობა. ამავე დროს ადგილი აქვს ამ რეპერების ტექტონიკური მიზეზებით ვერტიკალურ გადაადგილებებს, რის გამოც ნიველობით განსაზღვრული წერტილების სიმაღლეები ფაქტობრივი სიმაღლეების გამომსახველი არ

იქნება. აღნიშნული მდგომარეობის გამო, ანუ იმისათვის, რომ მხედველობაში იქნეს მიღებული თანამედროვე ტექტონიკური ვერტიკალური მოძრაობა დედამიწის ფიზიკური ზედაპირისა, საჭიროა ყველა გამოსავალი წერტილის, ანუ რეპერების, სიმაღლეები დაყვანილ იქნეს ერთ ეპოქაზე, ანუ დროის ერთ მომენტზე. ეს მოვლენა აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს საერთოდ საინჟინრო ნაგებობათა და განსაკუთრებით კი დიდი ხაზოვანი ნაგებობებისა და ჰიდროტექნიკური მშენებლობების დროს. განხილად სამშენებლო უბნებზე, თუ ადგილი აქვს ეგზოგენურ და ტექნოგენურ მოვლენებს, ისინიც საჭიროა მიღებულ იქნან მხედველობაში.

როგორც აღინიშნა, ტექტონიკური მიზეზებით ფიზიკური ზედაპირის საუკუნეობრივი ცვალებადობის გამო იცვლება რეპერების სიმაღლეები და როგორც სიზუსტითაც არ უნდა იყოს შესრულებული ნიველობა, ამ მიზეზით მაინც ადგილი აქვს მათი სიმაღლეების ცვალებადობას. სწვადასხვა რაიონებში ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით ეს შეუსაბამობები დიდია და რეპერების სიმაღლეები სტაბილურად არ შეიძლება ჩაითვალოს. ეს გარემოება გათვალისწინებულია 1968 წელს მიღებული მაღალი სიზუსტის ნიველობის პროგრამით.

როგორც ვხედავთ, ლითოსფეროს მოძრაობების შედეგებს აქვს როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული ღირებულება და ამიტომ დაისვა საკითხი ამ პრობლემის გეოლოგიურად, ანუ გეოდეზიის, გეომორფოლოგიის, გეოლოგიის, გეოფიზიკისა და გეოქიმიის მეთოდებით კომპლექსურად შესწავლის შესახებ.

ლითოსფეროს ზედაპირის ვერტიკალური გადაადგილებანი, რომელიც გამოწვეულია არატექტონიკური და ლოკალური მიზეზებით, შეისწავლება განხილად ტერიტორიაზე აგებულ რეპერებზე შესრულებული ისევე განმეორებითი ნიველობით, ხოლო გამოსავალი რეპერი საჭიროა დაინიშნოს ისეთ ადგილას ან შეიქმნას იმგვარი კონსტრუქციის, რომ მასზედ გავლენას არ ახდენდეს — შესასწავლი მიზეზები. ეს მიზეზები საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული საგანგებო გზით.

2.1.8. ასტრონომიულ-გეოდეზიური და ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრაფიკული ნიველობის არსი და ფორმულები

დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისა და მის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული განაზომების რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე რედუცირებისათვის საჭიროა ცოდნა H გეოდეზიური სიმაღლეებისა, რომლებიც წარმოადგენენ ჯამს H^0 ორთომეტრიული სიმაღლისა და ζ აღმატების ან H^1 ნორმალური სიმაღლისა და ζ' ანომალიისა (1.6.7 პარაგრაფი). როგორც ვიცით H^0 ორთომეტრული და H^1 ნორმალური სიმაღლეები ისაზღვრება გეოდეზიურად (გეომეტრიული ნიველობით), ხოლო ζ აღმატებების და ζ' ანომალიების, ანუ რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან გეოიდის და კვაზიგეოიდის სიმაღლეების, განსაზღვრისათვის, რაც დაკავშირებულია შვეულის გადახრებთან, სრულდება ასტრონომიულ-გეოდეზიური და ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრაფიკული ნიველობა.

A. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველოზა

ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობით შეიძლება განისაზღვროს როგორც გეოიდისა და კვაზიგეოიდის, ასევე დედამიწის ნამდვილი სახე. პირველ შემთხვევაში, ისევე როგორც გრავიმეტრიული მეთოდის გამოყენებისას, ადგილი აქვს რედუქციული პრობლემის განუსაზღვრელობას.

ა. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობით გეოიდის სახის დადგენის შესახებ

ავიღოთ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე ურთიერთ ახლო A და B წერტილები (ნახ. 1). ვთქვათ, ამ წერტილებზე გატარებულ ვერტიკალურ სიბრტყეშია რეფერენც-ელიფსოიდი და გეოიდი (ძირითადი დონებრივი ზედაპირი). რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირისადმი A და B წერტილებიდან დაშვებული ნორმალების ფუძეები რეფერენც-ელიფსოიდზე იქნება a და b , ხოლო გეოიდის ზედაპირზე a_1 და b_2 . გავატაროთ a_1 და A წერტილებში რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირის კვეთილობის პარალელური ხაზები, რითაც Bb ნორმალზე მივიღებთ b_1 და a_1 წერტილებს. A წერტილში გავატაროთ დონებრივი ზედაპირი Aa , რომელიც, ცხადია, პარალელური არ იქნება გეოიდის, ანუ ძირითადი დონებრივი ზედაპირისა. საუგულებელყოფო შეცდომის დაშვებით ვიღებთ, რომ A, B და მათ პროექციებს შორის მანძილები არის dS ; Aa ნორმალის მიმართულებით გეოიდის ზედაპირის გადახრა, ანუ აღმატება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან არის $aa_1 = \zeta_A^g$, ხოლო Bb ნორმალის მიმართულებით კი აღნიშნული აღმატება იქნება $bb_2 = \zeta_B^g = \zeta_A^g + d\zeta^g$.

A წერტილის ორთომეტრიული სიმაღლეა $a_1 A = H_A^g$, ხოლო B წერტილის ორთომეტრიული სიმაღლე იქნება $b_2 B = H_B^g = H_A^g + dH^g$; A წერტილის დონებრივი ზედაპირის შესაბამისად B წერტილის აღმატება A წერტილისადმი იქნება $aB = dh$. რეფერენც-ელიფსოიდისადმი a_1 წერტილში ორიენტირებული Bb_1 ნორმალის მიმართულებით $b_1 b_2 = d\zeta^g$ აღმატების ნაზრდის შესაბამისი Φ_0 კუთხე a_1 წერტილშია, ხოლო A წერტილში კი იქნება Φ , რომლებიც დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობის გამო ტოლები არ იქნებიან. გეოიდის სიმაღლეები ζ^g , ანუ აღმატებები, მიღებულია დადებითად, როცა გეოიდის წერტილები რეფერენც-ელიფსოიდის გარეთ არის, ხოლო, როცა გეოიდის წერტილები რეფერენც-ელიფსოიდის შიგნითაა, აღმატებები უარყოფითი იქნება. Φ_0, Φ კუთხეები წარმოადგენს a_1 და A წერტილში შეუულის სრული ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრის მდგენელებს მოცემულ ვერტიკალურ სიბრტყეში და ნიშნების შესახებ მიღებული შეთანხმების შესაბამისად გამოდის, რომ დადებითი ნიშნის მქონე გეოიდის ნაზრდი შეესაბამება შეუულის გადახრის უარყოფით მნიშვნელობას. მაშასადამე,

$$d\zeta^g = -\Phi_0 dS. \quad (2.1.8.1)$$

ეს ტოლობა გარდაეკმნათ შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} d\zeta^g &= -\Phi_0 dS + \Phi dS - \Phi dS = -(\Phi_0 - \Phi) dS + \Phi dS = \\ &= -\Phi dS + (\Phi - \Phi_0) dS, \end{aligned} \quad (2.1.8.2)$$

ისევე როგორც (2) ფორმულაში, ტოლობის მარჯვენა მხარის მეორე წევრი წარმოადგენს შესწორებას ღონებრივ ზედაპირთა გეოიდის ზედაპირისადმი არაპარალელურობის გამო.

როგორც ვიცით, Φ კუთხე წარმოადგენს შვეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრის მდგენელს (AD) აზიმუტის მქონე სიბრტყეზე, რომლის ოდენობა გამოითვლება A, B, \dots, D წერტილებში განსაზღვრული ასტრონომიული φ, λ , გეოდეზიური B, L კოორდინატებითა და A_0 აზიმუტით განსაზღვრული ξ, η მდგენელების შემდეგ ფორმულაში ჩასმით:

$$\Phi = \xi \cos A_0 + \eta \sin A_0. \quad (2.1.8.4)$$

აღნიშნოთ AD გასწვრივობაში A, B, \dots წერტილებზე შვეულის გადახრები შესაბამისად Φ_1, Φ_2, \dots , ხოლო პუნქტებს შორის მანძილები იყოს S_1, S_2, \dots . ეს მანძილები იყოს შედარებით იმდენად მცირე, რომ მათ ფარგლებში ვგულისხმობდეთ შვეულის Φ გადახრის ცვალებადობას ხაზოვანად. ამ პირობით (3) ტოლობის პირველი ინტეგრალი შეიძლება დაიწეროს ასე:

$$\int_{(AD)} \Phi dS = \frac{\Phi_1'' + \Phi_2''}{2\rho''} S_1 + \frac{\Phi_2'' + \Phi_3''}{2\rho''} S_2 + \dots \quad (2.1.8.5)$$

გარდაკვმნათ (3) ტოლობის მეორე ინტეგრალი, რისთვისაც გამოვიყენოთ (1) ნახაზი. ამ ნახაზის შესაბამისად დავწერთ:

$$H_D^g = H_A^g + dH^g = H_A^g - \Phi_0 dS + \Phi dS + dh,$$

საიდანაც

$$H_D^g - H_A^g = dH_A^g = (\Phi - \Phi_0) dS + dh.$$

ამ გამოსახულების ინტეგრალი AD საზღვრებში იქნება:

$$H_D^g - H_A^g = \int_{(AD)} (\Phi - \Phi_0) dS + \int_{(AD)} dh,$$

საიდანაც

$$\int_{(AD)} (\Phi - \Phi_0) dS = H_D^g - H_A^g - \int_{(AD)} dh. \quad (2.1.8.6)$$

როგორც ვიცით, dh აღმატებები ისაზღვრება გეომეტრიული ნიველობით. ამავ დროს (2.1.5.11) ტოლობით ცნობილია, რომ

$$dW = -gdh,$$

სადაც dW არის სიმძიმის ძალის პოტენციალის დიფერენციალი, ანუ დაახლოებითი ნაზრდი;

g — სიმძიმის ძალის აჩქარება, მოკლედ, სიმძიმის ძალა.

მაშასადამე, თუ A და D წერტილებში სიმძიმის ძალის პოტენციალებს შესაბამისად აღნიშნავთ W_A, W_B სიმბოლოებით, დავწერთ:

$$\begin{aligned} dW = W_D - W_A &= - \int_{(AD)} gdh = - \int_{(AD)} gdh + \int_{(AD)} g_m dh - \int_{(AD)} g_m dh = \\ &= - \int_{(AD)} g_m dh - \int_{(AD)} (g - g_m) dh, \end{aligned}$$

სადაც g_m არის სიმძიმის ძალის საშუალო ოდენობები A, B, \dots, D წერტილებზე.

უკანასკნელი დამოკიდებულებებიდან ამოვიწეროთ ტოლობა

$$(W_D - W_A) + \int_{(AD)} (g - g_m) dh = - \int_{(AD)} g_m dh,$$

საიდანაც

$$- \int_{(AD)} dh = \frac{W_D - W_A}{g_m} + \int_{(AD)} \frac{g - g_m}{g_m} dh.$$

A, B, \dots, D პუნქტებზე სიმძიმის ძალის W_A, W_B, \dots, W_D პოტენციალების ოდენობებს უშუალოდ არ საზღვრავენ; ისაზღვრება მხოლოდ პოტენციალთა ნაზრდები ნიველობის საწყისი პუნქტის მიმართ, რომელიც მდებარეობს გეოიდზე (ძირითად დონებრივ ზედაპირზე). აღნიშნულის გამო, თუ გეოიდზე სიმძიმის ძალის პოტენციალს აღვნიშნავთ W_0 სიმბოლოთი, დავწეროთ:

$$- \int_{(AD)} dh = \frac{W_0 - W_A}{g_m} - \frac{W_0 - W_D}{g_m} + \int_{(AD)} \frac{g - g_m}{g_m} dh. \quad (2.1.8.7)$$

(7) დამოკიდებულების (6)-ში ჩასმით მივიღებთ

$$\int_{(AD)} (\Phi - \Phi_0) dS = \left(H_D^g - \frac{W_0 - W_D}{g_m} \right) - \left(H_A^g - \frac{W_0 - W_A}{g_m} \right) + \int_{(AD)} \frac{g - g_m}{g_m} dh. \quad (2.1.8.8)$$

საწყის A პუნქტის მიმართ პოტენციალების ნაზრდები ისაზღვრება გეომეტრიული ნიველობით. ამ დროს ვგულისხმობთ რა, რომ სიმძიმის ძალის ვერტიკალური გრადიენტი (ცვალებადობა) არის მუდმივი ოდენობის, დავწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} W_0 - W_A &= H_A^g \bar{g}_A \\ W_0 - W_D &= H_D^g \bar{g}_D \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.8.9)$$

სადაც \bar{g}_A და \bar{g}_D არის $\frac{H_A^g}{2}$ და $\frac{H_D^g}{2}$ ორთომეტრიული სიმაღლეების შუა საბამისი სიმძიმის ძალის ოდენობები.

თუ მხედველობაში მივიღებთ (9) დამოკიდებულებებს, (8) დამოკიდებულება გადაიწერება ასე:

$$\int_{(AD)} (\Phi - \Phi_0) dS = \int_{(AD)} \frac{g - g_m}{g_m} dh + H_D^g \frac{g_m - \bar{g}_D}{g_m} - H_A^g \frac{g_m - \bar{g}_A}{g_m}. \quad (2.1.8.10)$$

იმისათვის, რომ ξ_A და ξ_D ოდენობებით გამოვითვალოთ $\bar{\xi}_A$ და $\bar{\xi}_D$, საჭიროა გამოვიყენოთ პრე-პოპულაციის რეღუქცია (1.6.3.20 ფორმულა).

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების შესაბამისად ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობა სრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

1. იმ პროფილის მიმართულებით, რომლის გასწვრივობაშიც საჭიროა გეოიდის ფიგურის შესწავლა, უნდა განსაზღვროს φ , λ ასტრონომიული და B , L გეოდეზიური კოორდინატები ვაკე ადგილებში 8—10 კმ და მთაგორიან ადგილებში 4—5 კმ მანძილებით ურთიერთდაშორებულ წერტილებზე;

2. აღნიშნული პროფილის მიმართულებით უნდა შესრულდეს ჩვეულებრივი სიზუსტით გეომეტრიული ნიველობა, რითაც ისაზღვრება H_A^g , H_D^g და სხვა წერტილების სიმაღლეები;

3. იმავე მიმართულებით დგინდება გრავიმეტრიული პუნქტები. (1.6.3.20) ფორმულით $\bar{\xi}_A$, $\bar{\xi}_D$ ოდენობების განსაზღვრისათვის Δg_{pp} პრე-პოპულაციის რეღუქციებში რელიეფის გამო შესწორების შესატანად საჭიროა გექონდეს ტოპოგრაფიული რუკა;

4. იმისათვის, რომ (3) ტოლობით გამოვითვალოთ $\zeta_D^g - \zeta_A^g$, პირველ რიგში საჭიროა ამ ტოლობის $\int_{(AD)} \theta dS$ წევრი გამოვითვალოთ (5) დამოკიდებულებებით;

5. პროფილის მიმართულებებით განსაზღვრული სიმძიმის ძალის აჩქარებების საშუალებით გამოითვლება საშუალო არითმეტიკული g_m ოდენობა;

6. (10) ტოლობის მარჯვენა ნაწილის პირველი წევრი გამოითვლება დამოკიდებულებიდან

$$\int_{(AD)} \frac{\xi - \xi_m}{\xi_m} dS = \sum \frac{\xi - \xi_m}{\xi_m} \Delta h; \quad (2.1.8.11)$$

7. (1.6.3.20) ფორმულით გამოითვლება $\bar{\xi}_A$, $\bar{\xi}_D$;

8. ამოიხსნება (10) ტოლობა $\int_{(AD)} (\theta - \theta_0) dS$;

9. (3) ტოლობით ისაზღვრება $\zeta_D^g - \zeta_A^g$.

ცხადია, საწყის (გამოსავალ) პუნქტში გეოიდის ζ_0^g სიმაღლე ელიფსოიდის მიმართ უნდა იყოს ცნობილი, რომელიც ისაზღვრება დედამიწის ტანში სიმაღლის მიხედვით რეფერენც-ელიფსოიდის ორიენტირების დროს. როგორც ვიცით, საბჭოთა კავშირში გამოსავალი წერტილია პულკოვო, სადაც $\zeta_0^g = 0$ (2.1.4 პარაგრაფი).

ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობის შესრულების დროს პრაქტიკულად შეიძლება შემდეგი სახის გამარტივება:

1. ვაკე ადგილებში $\bar{\xi}_A$ და $\bar{\xi}_D$ ოდენობების განსაზღვრის დროს Δg_{pp} გამოსათვლელ (1.6.3.19) ფორმულაში შეიძლება არ მივიღოთ მხედველობაში რელიეფის Δg_g შესწორება.

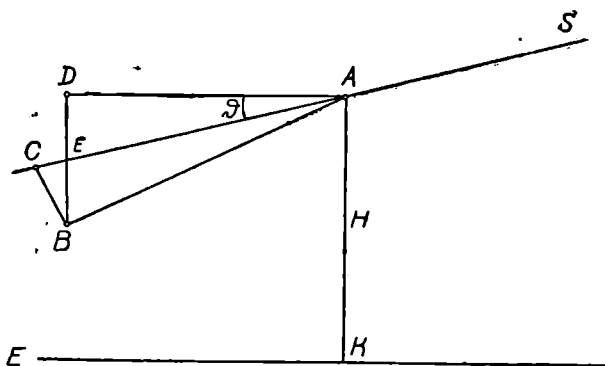
2. არამთიან ადგილებში და როცა ζ აღმატების განსაზღვრა დიდი სი-

ზუსტით არ მოითხოვება, დონებრივ ზედაპირთა არაპარალელურობით შესწორებას მხედველობაში არ იღებენ, რადგანაც ეს შესწორება საერთოდ მცირე ოდენობისაა.

მიუხედავად აღნიშნული გამარტივებისა, ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობა ძლიერ შრომატევადია და აგრეთვე ვაწყდებით სიმძიმის ძალის რედუქციასთან დაკავშირებულ წინააღმდეგობებს, რის გამო იგი ნაკლებად გამოსაყენებელია. ამ მეთოდს იშვიათად იყენებენ საზღვარგარეთ.

ბ. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობით დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენის შესახებ

დედამიწის ნამდვილი სახის (არა გეოიდის) დადგენისათვის ასტრონომიული ნიველობა წარმოადგენს გეომეტრიული ნიველობის შევსებას. ამ გზით შედარებით მარტივად და პირდაპირ სრულდება H გეოდეზიური სიმაღლის, ანუ რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან ნორმალის მიმართულებით ხილუ-



ნახ. 2.1.8.2

ლი ზედაპირის წერტილების შესაბამისი მანძილების განსაზღვრა, რაც, გარდა დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისა, აუცილებელია მაღალი კლასის ტრიანგულაციის დამუშავების დროს (ნახ. 2).

ვთქვათ, S არის ხმელეთის ზედაპირი; A და B — S ზედაპირზე ნებისმიერი წერტილები; H — S წერტილის გეოდეზიური სიმაღლე (ნორმალის მიმართულებით A წერტილიდან მანძილი რეფერენც ელიფსოიდის ზედაპირამდე); $dh_W = CB$ — გეომეტრიული ნიველობით განსაზღვრული S ზედაპირის ელემენტარული აღმატება AC დონებრივი სიბრტყისადმი W ძალურ ზაზზე, რომელიც შეესაბამება A წერტილიდან $dl = AB$ ელემენტარული მანძილით გადაადგილებას; $dl_H = AD - dl$ ელემენტარული მანძილის პროექცია A წერტილში რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირისადმი მხებესა, რომლის H არის მუდმივი. ცხადია, A წერტილში ნორმალსა და შვეულს შორის კუთხე იქნება შვეულის U სრული ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრა.

შეველების გადახრის გამოთვლის დროს მიღებული პირველი ხარისხის სიზუსტით შეიძლება დავუშვათ, რომ გეომეტრიული ნიველობით განსაზღვრული

$$CB = EB,$$

ხოლო ასტრონომიული ნიველობით გახსაზღვრული DE , ანუ

$$DB - EB = dl_H \text{ ზ,} \quad (2.1.8.12)$$

სადაც ზ არის U შეველის გადახრის მდგენელი ნებისმიერი მიმართულებით, რომელიც გამოითვლება (2.1.2.9) ფორმულით; განხილად შემთხვევაში იგი ეკუთვნის ნორმალურ სიბრტყეს, რომელშიც ძვეს dl ელემენტარული მანძილი. ამ სიბრტყის აზიმუტი აითვლება ისე, როგორც ეს მიღებულია გეოდეზიაში (საშუაღდეო ხაზის ჩრდილოეთიდან).

იმის გამო, რომ სიმძიმის ძალა მიმართულია დედამიწის მყარი ტანის ცენტრისაკენ, (2) ნახაზის მიხედვით აღმატებებს უარყოფითი ნიშანი ექნებათ; მაშასადამე, დაიწერება:

$$DB = -dH,$$

$$EB = CB = -dh_W.$$

ამ სიდიდეების (12) ტოლობაში შეტანით მივიღებთ:

$$-dH + dh_W = dl_H \text{ ზ,}$$

ანუ

$$dH = dh_W - dl_H \text{ ზ,}$$

ხოლო (2.1.2.9) ტოლობის გამოყენებით დავწერთ:

$$dH = dh_W - (\xi \cos A_\delta + \eta \sin A_\delta) dl_H. \quad (2.1.8.13)$$

მიღებული ფორმულიდან ნათლად ჩანს, რომ გეომეტრიული და ასტრონომიული ნიველობის შედეგად ადვილად შეიძლება განისაზღვროს დედამიწის ნამდვილი სახის წერტილთა გეოდეზიური სიმაღლეები. როგორც ვხედავთ, სიმაღლის ნაზრდი მიიღება, თუ გეომეტრიული ნიველობით მიღებულ ნაზრდში შევიტანთ შემასწორებელ წევრს, რომელიც ითვალისწინებს შეველის გადახრებს სადგურიდან სადგურზე. ეს ფორმულა წარმოადგენს ჩვეულებრივი ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობის ფორმულის განზოგადებას, მხოლოდ აქ არ მოითხოვება დონებიზე ზედაპირთა არაპარალელურობის მხედველობაში მიღება და აგრეთვე თავისუფალი ვართ რედუქციული პრობლემის გაურკვევლობისაგან, რომლებიც თან ახლავს წინა მუხლში მიღებულ ფორმულებს გეოიდის ფიგურის დადგენასთან დაკავშირებით.

ხმელეთის ზედაპირზე სასრულო მანძილით ურთიერთდაშორებულ A და B წერტილთა შორის აღმატება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირთან შედარებით შეიძლება გამოვითვალოთ (13) ტოლობის ინტეგრირებით (ნიველირ-საეალის მიმართულებით) შემდეგნაირად:

$$H_B - H_A = \int_{(AB)} dh_W - \int_{(AB)} (\xi \cos A_\delta + \eta \sin A_\delta) dl_H. \quad (2.1.8.14)$$

ორივე ინტეგრალი აუცილებლად უნდა იქნეს გამოთვლილი ერთი და იმავე სანიველო გზით, რადგანაც თითოეულის ოდენობა დამოკიდებულია ნიველირსავალის სახეზე.

იმისათვის, რომ მივიღოთ სათანადო სიზუსტე, საჭიროა გვეკონდეს რაც შეიძლება ბევრი რაოდენობის ასტრონომიული პუნქტები. ამ მხრივ მოთხოვნა ისეთივეა, როგორც გეოიდის ფიგურის დადგენის დროს.

ვ. ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობით კვაზიგეოიდის სახის დადგენის შესახებ

გამოყვანის გარეშე მოვიყვანთ შესაბამის სამუშაო ფორმულას:

$$d\zeta = -(\bar{\xi} \cos A_g + \eta \sin A_g) dl - \frac{\xi - \gamma}{\gamma} dh, \quad (2.1.8.15)$$

სადაც $\bar{\xi}$ არის შვეულის მდგენელი მერიდიანის სიბრტყეში რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან H სიმაღლეზე. აღნიშნული მდგენელი გამოითვლება ფორმულით:

$$\bar{\xi} = \xi - \frac{H \beta}{R} \sin 2B. \quad (2.1.8.16)$$

(15) და (16) ფორმულებში $d\zeta$ — კვაზიგეოიდის ელემენტარული ანომალიაა რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან;

$$\beta = \frac{\xi_{90^\circ} - \xi_0}{\xi_0} = \frac{5}{2} q - \alpha — \text{კლეროს (1.6.2.33) ტოლობა.}$$

(15) ფორმულის ინტეგრებით განისაზღვრება ნებისმიერ წერტილში ანომალიის (აღმატების) ოდენობა:

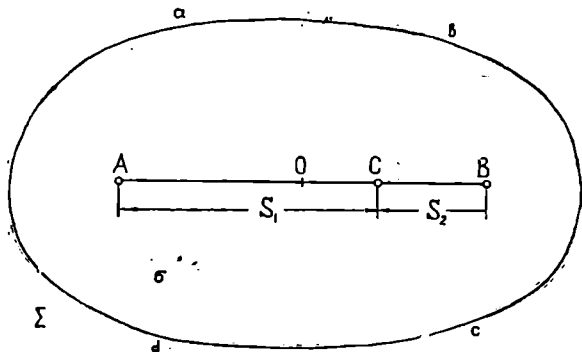
$$\zeta = - \int (\bar{\xi} \cos A_g + \eta \sin A_g) dl - \int \frac{\xi - \gamma}{\gamma} dh. \quad (2.1.8.17)$$

ამ ტოლობის ყველა ინტეგრალი ერთი და იმავე სანიველო სვლას ეკუთვნის. (17) ტოლობაში პირველი ინტეგრალის გამოთვლისას გვხვდება დაბრკოლება იმ მხრივ, რომ შვეულის ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრების ოდენობები ცნობილია მხოლოდ ასტრონომიული პუნქტების მიმართ, რომლებიც, როგორც ვიცით, ურთიერთდაშორებულია 70 — 100 კმ, ხოლო მათ შორის ინტერპოლაციით მიღებული ოდენობები არასაიმედოა. ეს არის ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობის გზით კვაზიგეოიდის სახის დადგენის მეთოდის ნაკლი.

ბ. ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრაჰვიმეტრიული ნიველოდით კვაზიგეოიდის სახის დადგენის შესახებ

ასტრონომიულ-გეოდეზიური და გრაჰვიმეტრიული მონაცემების უკმარისობის გამო კვაზიგეოიდის სახის დადგენის საქმეში როგორც ასტრონომიულ-გეოდეზიურ, ისე გრაჰვიმეტრიულ მეთოდს ეღობება დაბრკოლებები. აღნიშნულის გამო მ. მოლოდენსკიმ დაამუშავა საკითხი ორივე ზემოხსენებული მეთოდის

დის კომბინირებულად გამოყენების შესახებ, რომელსაც ეწოდება ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული, ანუ, მოკლედ, ასტრონომიულ-გრავიმეტრიული მეთოდი კვაზიგეოიდის დადგენისა. ამ მეთოდში გამოყენებულია ორივე ზემოხსენებული მეთოდის დადებითი მხარეები. მაგალითად, შვეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრა საშუალებას გვაძლევს შევზღუდოთ გრავიმეტრიული აგეგმის სივრცე, რადგანაც იგი საშუალებას იძლევა გეოიდის ან კვაზიგეოიდის ფიგურის შესწავლის დროს გავითვალისწინოთ ისეთი ზონების გავლენა, სადაც სიმძიმის ძალის Δg ანომალიების გა-



ნახ. 2.1.8.3

ნაწილება შეიძლება არ ვიცოდეთ; თავის მხრივ, შესასწავლი სივრცეების ახლო ტერიტორიების სიმძიმის ძალის Δg ანომალიების რუკები შესაძლებლობას გვაძლევს შევიზღუდოთ რაც შეიძლება მცირე რაოდენობის ასტრონომიულ-გეოდეზიური პუნქტების გამოყენებით.

განხილად პუნქტად მივიღოთ C (ნახ. 3), რომელიც იმყოფება A და B პუნქტების გასწვრივობაში, ე. ი. საჭიროა განვსაზღვროთ C წერტილში შვეულის სრული ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული გადახრის $\mathfrak{M}_{\alpha\beta}$ მდგენელი. ვთქვათ, A და B გეოდეზიურ პუნქტებზე გაიზომა ასტრონომიული კოორდინატები და აზიმუტი. მაშასადამე, ამ პუნქტებზე შეიძლება (2.1.2.9) ფორმულით გამოთვლილ ექნეს AB ვერტიკალურ სიბრტყეების შვეულის სრული $U_{\alpha\beta}$ ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრის $\mathfrak{M}_{\alpha\beta}^A$, $\mathfrak{M}_{\alpha\beta}^B$ მდგენელები. მაგრამ საჭიროა განისაზღვროს $\mathfrak{M}_{\alpha\beta}^C$. ახლა ვთქვათ, რომ $abcd = \sigma$ სივრცეზე შესრულებულია გრავიმეტრიული აგეგმვები, ხოლო დედამიწის დანარჩენი სივრცე აღვნიშნოთ Σ სიმბოლოთი. ვენინგ-შეინესის (1.6.3.3) ფორმულებში Δg_{σ} სიმძიმის ძალის ანომალიების შეტანით გამოითვლება \mathfrak{N}_{σ} , η_{σ} , როგორც A და B პუნქტებზე, ისე განხილად C პუნქტზე, რომელიც A და B პუნქტების გასწვრივობაში იმყოფება. ამის შემდეგ (2.1.2.9) ფორმულით გამოითვლება შვეულის სრული ფარდობითი U_{σ} გადახრის \mathfrak{M}_{σ}^A , \mathfrak{M}_{σ}^B , $\Delta \mathfrak{M}_{\sigma}^C$ მდგენელები AB ვერტიკალის სიბრტყეში, იმავე A , B , C წერტილებისათვის, სადაც, როგორც ითქვა, მხედველობაში მიღებულია σ სივრცის ანომალია. ანალოგიურად აღვნიშნოთ A , B , C წერტილებზე შვეულის გრავიმეტრიული გადახრები, სადაც

მხედველობაში მიღებულია დედამიწის მთელი $(\sigma + \Sigma)$ ზედაპირის სიმძიმის ძალის ანომალიები $\varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^A$, $\varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^B$, $\varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^C$ სიმბოლოებით, ხოლო Σ სივრცის სიმძიმის ძალის ანომალიებით გამოწვეული შესწორებები კი შესაბამისად აღენიშნოთ $\Delta\varphi_{\Sigma g}^A$, $\Delta\varphi_{\Sigma g}^B$, $\Delta\varphi_{\Sigma g}^C$ სიმბოლოებით. მაშასადამე, დავწერთ:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^A &= \varphi_{\sigma g}^A + \Delta\varphi_{\Sigma g}^A \\ \varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^B &= \varphi_{\sigma g}^B + \Delta\varphi_{\Sigma g}^B \\ \varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^C &= \varphi_{\sigma g}^C + \Delta\varphi_{\Sigma g}^C \end{aligned} \right\} \quad (2.1.8.18)$$

იმ შემთხვევაში, როცა A და B წერტილებიდან $abcd$ კონტურის ყველა წერტილი მნიშვნელოვანი მანძილებით დაშორდება, AB გასწვრივობაში C წერტილის გადაადგილებისას $\Delta\varphi_{\Sigma g}^C$ იცვლება დებს ხაზოვანად, ანუ იგი განისაზღვრება ხაზოვანი ინტერპოლაციით (ნახ. 3) შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{\Sigma g}^C &= \Delta\varphi_{\Sigma g}^A + \frac{(\Delta\varphi_{\Sigma g}^B - \Delta\varphi_{\Sigma g}^A) S_1}{S_1 + S_2} = \\ &= \Delta\varphi_{\Sigma g}^B + \frac{(\Delta\varphi_{\Sigma g}^A - \Delta\varphi_{\Sigma g}^B) S_2}{S_1 + S_2}, \end{aligned}$$

ანუ გაერთმნიშვნელოვანებით მივიღებთ

$$\Delta\varphi_{\Sigma g}^C = \frac{\Delta\varphi_{\Sigma g}^A S_1 + \Delta\varphi_{\Sigma g}^B S_2}{S_1 + S_2}. \quad (2.1.8.19)$$

გარდა ზემოთ მოყვანილისა, $\varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^A$ და $\varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^B$ გრავიმეტრიული გადახრები განსხვავდება $\varphi_{\sigma g}^A$, $\varphi_{\sigma g}^B$ და $\varphi_{\sigma g}^C$ ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრებისაგან გრავიმეტრიულ ელიფსოიდსა (რომელსაც შეესაბამება პირველი სახის გადახრები) და რეფერენც-ელიფსოიდს (რომელსაც შეესაბამება მეორე სახის გადახრები) შორის შეკუმშულობითა და დედამიწის ტანში მათი ორიენტირების განსხვავების გამო.

აგრეთვე, როცა AB მანძილი დიდი არ არის, მაშინ $\varphi_{\sigma g}^C$ და $\varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^C$ შორის განსხვავება იცვლება ხაზოვანად C წერტილის AB გასწვრივობაში გადაადგილების დროს. მაშასადამე, შეგვიძლია დავწერთ:

$$\varphi_{\sigma g}^C - \varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^C = \frac{(\varphi_{\sigma g}^A - \varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^A) S_1 + (\varphi_{\sigma g}^B - \varphi_{(\sigma+\Sigma)g}^B) S_2}{S_1 + S_2}. \quad (2.1.8.20)$$

(20) ტოლობაში (11) ტოლობის სათანადოდ ჩასმით და (19) ტოლობის გამოყენებით მივიღებთ:

$$\varphi_{\sigma g}^C - \varphi_{\sigma g}^C = \frac{(\varphi_{\sigma g}^A - \varphi_{\sigma g}^A) S_1 + (\varphi_{\sigma g}^B - \varphi_{\sigma g}^B) S_2}{S_1 + S_2},$$

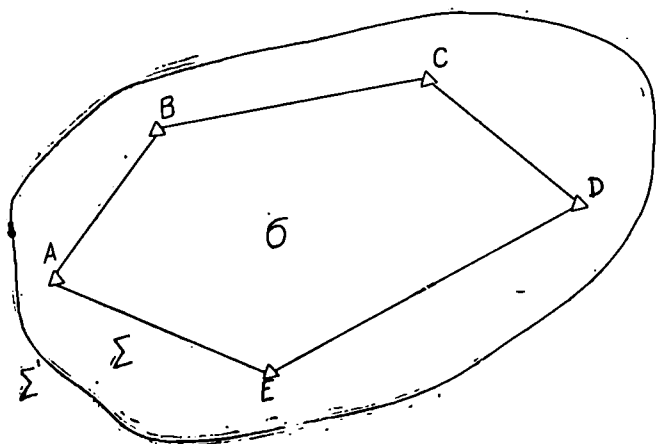
საიდანაც $\varphi_{\alpha\beta}^C$ ასტრონომიულ-გეოდეზიურის ნაცვლად მივიღებთ $\varphi_{\alpha\beta}^C$ ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულ გადახრას

$$\varphi_{\alpha\beta}^C = \varphi_{\sigma\delta}^C + \frac{(\varphi_{\alpha\delta}^A - \varphi_{\sigma\delta}^A) S_1 + (\varphi_{\alpha\delta}^B - \varphi_{\sigma\delta}^B) S_2}{S_1 + S_2} \quad (2.1.8.21)$$

მიღებული ფორმულით ხდება ინტერპოლობა C წერტილში შვეულის სრული ფარდობითი ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრის მდგენელის განსაზღვრისათვის, რომელიც მიეკუთვნება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირს.

C წერტილისათვის (2.1.3.11) ტოლობით განსაზღვრული $\varphi_{\alpha\beta}^C$ და (21) ტოლობით განსაზღვრული $\varphi_{\alpha\beta}^C$ ტოლი ოდენობისაა.

კვაზიგეოიდის ფიგურის საკმარისი სიზუსტით დადგენისათვის საჭიროა $abcd$ კონტური AB ხაზს საშუალოდ საზღვრავდეს 110—120 კმ, მაშინ $AB =$



ნახ. 2.1.8.4

$= 100$ კმ ხაზის ნებისმიერ C წერტილში (21) ფორმულით განსაზღვრული $\varphi_{\alpha\beta}^C$ იქნება დასაშვები სიზუსტის. ამ შემთხვევაში გრავიმეტრიული პუნქტების სიხშირე ყოველ 1000 კმ² უნდა იყოს ერთი და თვით AB ხაზის ახლობლობაში კი პუნქტების რაოდენობა ცოტა მეტი უნდა დავნიშნოთ.

როგორც ვხედავთ, თუ C წერტილს დავნიშნავთ შედარებით ახლო AB ხაზის გასწვრივობაში (ნახ. 3), ამით მივიღებთ იმ მასალას, რომელიც საჭიროა (17) ფორმულით ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობის შესასრულებლად.

იმ შემთხვევაში, როცა σ სივრცეში განლაგებული სამი და მეტი საყრდენი წერტილი არ არის ერთ წრფეზე და წარმოადგენს ამოზნექილ მრავალკუთხედს (ნახ. 4), მაშინ σ სივრცეში ზემოთ აღწერილი წესით უნდა განისაზღვროს შვეულის სრული ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული $\varphi_{\alpha\beta}^C$

უაზ მდგენელები და, მაშასადამე, ნებისმიერი აზიმუტის მქონე ვერტიკალის სიბრტყეში ჰაზ მდგენელიც. ბოლოს ამ ოდენობებს შეეიტანათ (17) ფორმულაში, რითაც განისაზღვრება მ² ანომალიები, ანუ კვაზიგეოიდის აღმატებები რეფერენც-ელიფსოიდის მიმართ.

როგორც ვხედავთ, ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიულ ნიველობაში უნდა ვიგულისხმოთ ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მეთოდით შევეულის ვადახრის მდგენელების განსაზღვრა და მათი გამოყენება ასტრონომიულ-გეოდეზიური ნიველობის (17) ფორმულაში. ასე რომ, განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს გრავიმეტრიული რუკის სიზუსტეს და მისი გამოყენების რადიუსს, სადაც ხდება ზემოხსენებული ინტერპოლობები.

2.1.9. რუსეთის, საბოლოო კავშირისა და სხვა მიმდინარეობა როლი ფიზიკური მეთოდით დედამიწის ნაგვილი სახის დადგენის საქმეში

თანამედროვე გრადუსული გაზომვები, რომლებიც XX საუკუნეში სრულდება, ახალი ტიპის გაზომვებია და იგი წარმოადგენს ასტრონომიული, გეოდეზიური და გრავიმეტრიული გაზომვების სრულიად ორიგინალურ სახეს, რითაც საშუალება გვეძლევა დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისა. ცხადია, ამ სახის გაზომვები შედეგია წინა საუკუნეებში გეომეტრიული მეთოდებით დაგროვილი მდიდარი მასალის, ასევე ფიზიკური მეთოდების რუსეთში კარგად აღქმა-შემეცნებისა; ამის გამო საჭიროა საგანგებოდ ფიზიკური მეთოდის შესახებ მიმოხილვის გაკეთება, რადგან იგი წარმოადგენს საბოლოო გეოდეზიური გრავიმეტრიის საფუძველს.

დედამიწის ირგვლივ მოგზაურობის დროს ცნობილმა მოგზაურმა ფ. ლოტკემ (1797—1882) კარტაპა „სენიაიენზე“ (1826—1829) აწარმოა სიმძიმის ძალის განსაზღვრები ასტრონომიული საათის წინ რკინის შტატივზე დაკიდებული ქანქარათი ვალპარაიზოზე, ახალ არხანგელსკზე (ალიასკაზე), პეტროპავლოვსკ-კამჩატკასა, წყნარი ოკეანის სამტროპიკულ კუნძულსა და წმინდა ელენეს კუნძულზე (ატლანტიკის ოკეანეში). ყველა პუნქტზე განსაზღვრა დაკავშირებული იყო გრინვიჩთან.

პილროგრაფმა მ. რინეკემ (1801—1859) განსაზღვრა სიმძიმის ძალა კანდალაკსში პეტერბურგის მიმართ.

დერპტის (იურიევი) უნივერსიტეტის ფიზიკისა და ფიზიოლოგიის პროფესორმა ფ. პაროტმა (1791—1841) თავის სტუდენტებთან ერთად აწარმოა სიმძიმის ძალის განსაზღვრა კავკასიაში (თბილისი, არაჩატის ფერდობები და სხვ.). ამის შემდეგ ოცდაათი წლის განმავლობაში შეწყვეტილი იყო გრავიმეტრიული განსაზღვრები. ცნობილმა მექანიკოსმა ასტრონომმა და გეოდეზისტმა რეუსოლდმა შექმნა ბესელის შენიშვნების გათვალისწინებით ქანქარაინი ზელსაწყო სიმძიმის ძალის აბსოლუტური განსაზღვრისათვის. ერთერთი მათგანი შეიძინა რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიამ და ამის შემდეგ 1864 წელს ისევ განახლდა გრავიმეტრიული განსაზღვრები.

რეუსოლდის ქანქარათი ასტრონომმა სავოიჩმა (1810—1883) და ფიზიკოსმა ლენცმა (1833—1900) 1865—1896 წწ. აწარმოეს სტრუვეტენერის საგრადუსო გაზომვების რკალზე რიგი განსაზღვრები. შემდეგ

მოსკოვის სამიჯნო ინსტიტუტმა და პეტერბურგის გეოგრაფიულმა საზოგადოებამ 1865—1895 წწ. განსაზღვრეს რიგი პუნქტებისა შუა რუსეთში. საერთოდ, ამ ხელსაწყოთი რუსეთში განსაზღვრულ იქნა დაახლოებით 50 პუნქტი.

ყაზანის ასტრონომიული ობსერვატორიისა და გენერალური შტაბის სამხედრო-ტოპოგრაფიული განყოფილების მიერ შექნილი შტერნეკის ხელსაწყოთი, რომელიც სიმძიმის ძალის ფარდობითი განსაზღვრების საშუალებას იძლევა, 1896 წლიდან პირველი იმპერიალისტური ომის დაწყებამდე განსაზღვრულ იქნა დაახლოებით 300 პუნქტამდე ყაზანის ასტრონომების დ. ლუბიაგოს (1849—1919), ვ. ბარანოვის (1872—1942), სამხედრო გეოდეზისტების პ. ზალესკის (1850—1916), დ. გედეონოვის (გედევან-ნიშვილის) 1854—1908, ნ. შჩეტკინის (1860—1927) და ნ. პავლოვის (1867—1928) უშუალო მონაწილეობითა და ხელმძღვანელობით.

შემდეგ ახლად შექნილი სამქანქარიანი შტიუკრატისა და შტერნეკის ხელსაწყოებით 1917 წლამდე კიდევ 100 პუნქტამდე იყო განსაზღვრული პულკოვოს, პეტერბურგის ასტრონომებისა და სამხედრო გეოდეზისტების მიერ შპიცბერგენზე, შორეულ აღმოსავლეთში, დასავლეთ ციმბირში ევროპული რუსეთის ჩრდილოეთით და ციმბირში. მაგრამ გრავიმეტრიული პუნქტების განსაზღვრის მნიშვნელობაზე შედარებით შეზღუდული წარმოდგენა არსებობდა როგორც საზღვარგარეთ, ისე რუსეთში და ფიქრობდნენ, რომ ეს განსაზღვრები მომავლისათვის გამოდგებოდა სფეროიდის შეკუმშულობის დასადგენად. ამიტომ ყველა განსაზღვრის შესახებ ცნობებს აწვდიდნენ გეოდეზიის საერთაშორისო ორგანიზაციას. ამ მასალების დიდი რაოდენობით ისარგებლა პელმერტმა სიმძიმის ძალის ნორმალური (1.6.2.37) ფორმულის გამოყენების დროს.

ბ. შვეიცერის (1816—1874) მიერ მოსკოვის ახლოს გამოვლინებულ იქნა შეეულის დიდი ვადახრა, რომლის მიზეზიც პირველად ახსნილ იქნა მოსკოვის უნივერსიტეტის პროფესორ ფ. სლუდსკის (1841—1897) მიერ. იგი შენიშნული ვადახრების მიზეზად სთვლიდა სიმძიმის ძალის ანომალიებს. ფ. სლუდსკიმ 1888 წელს გამოაქვეყნა შრომა „დედამიწის ფიგურის საერთო თეორია“, რომელშიც პირველმა მოგვცა დასაბუთება იმის შესახებ, რომ დედამიწის ფიგურის დადგენა შეიძლება გრავიმეტრიული და ასტრონომიულ-გეოდეზიური გაზომვებით. აქედან იწყება დედამიწის ფიგურის ახლებურად შესწავლის ისტორია. შტემბერგის (1866—1920) მიერ მოსკოვთან 1916 წელს დაწყებული და შემდეგ მისი მოწაფეების ი. კაზანსკის, ა. მიხაილოვის და ლ. სოროკინის მიერ 1917 წელს დამთავრებული გრავიმეტრიული გაზომვებით სრულიად დადასტურდა ფ. სლუდსკის თეორიული მტკიცებანი.

პოლანდიელი მეცნიერის ვენინგ-მეინსის (1887—1966) მიერ წყლის ზედაპირზე სიმძიმის ძალის გაზომვების მეთოდის დამუშავებისა და მის მიერ 1928 წელს გამოქვეყნებული ფორმულით გრავიმეტრიული მონაცემების გამოყენებით შეეულის ვადახრის გამოთვლის შესაძლებლობამ, ერთის მხრივ, შესაძლებელი გახადა სიმძიმის ძალის ველის მთელი დედამიწის ხილულ ზედაპირზე შესწავლა, მაშასადამე, სტოქსის მესამე დაშვების შესაბამისად მისი ფორმულის გამოყენება და, მეორე მხრივ, ახალი შესაძლებლობანი შექმნა გეოდეზიის დარგში გრავიმეტრიის გამოყენებისა.

გრავემეტრიული რუკის შექმნის საჭიროების გამო 1932 წლის 20 სექტემბერს გამოქვეყნდა საბჭოთა მთავრობის დადგენილება საერთო საკავშირო გრავემეტრიული აგეგმვების ჩატარების შესახებ. უკვე 1933 წელს არსებობდა ინსტრუქცია ქანქარაიანი ხელსაწყოებით მუშაობის შესახებ, რომლის მიხედვით ყოველ 1000 კვ კილომეტრზე მოითხოვებოდა ერთი პუნქტის განსაზღვრა. ეს დადგენილება წარმატებით შესრულდა და სხვადასხვა უწყებების მიერ შესრულებული განაზომების საფუძველზე შედგენილ იქნა კატალოგი, რომელშიც შევიდა 2724 პუნქტი. საბჭოთა კავშირის აკადემიის დედამიწის ფიზიკის ინსტიტუტმა 1950—1957 წწ. განაზოციელა მალალი სიზუსტის საყრდენი გრავემეტრიული ქსელის შექმნა მთელ მის ტერიტორიაზე. მასზე დაყრდნობით ყოველწლიურად მიმდინარეობს სხვადასხვა სივრცეების გრავემეტრიული აგეგმვა როგორც გეოლოგიური ძიებისათვის, ისე დედამიწის ფიგურის დადგენის მიზნით.

დიდძალი გრავემეტრიული განაზომებისა და შვეულის გადახრების დაკვირვებების საფუძველზე დასაბუთდა, რომ მრავალი გეოდეზიური ამოცანის გადაწყვეტაში დიდი როლი ენიჭება გრავემეტრიულ გაზომვებს. აგრეთვე შესაძლებელი გახდა 1849 წელს სტოქსის მიერ გამოყვანილი ფორმულის კრიტიკულად განხილვა.

ამისთან დაკავშირებით შესწავლილი იქნა საკითხი სიმძიმის ძალის რედუქციის სხვადასხვა მეთოდების გამოყენების შესახებ გეოდეზიური და გეოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტის დროს; რეგულაციის თეორია, გამოწვეული სტოქსის ფორმულით, და სხვ. დედამიწის რეგულაციის თეორიები გეოიდის განსაზღვრის საკითხს მკაცრად ვერ სწყვეტდა და ამავე დროს მეტად რთული იყო. ამიტომ წარმოიშვა იდეა არარეგულირებულ დედამიწით გეოიდის განსაზღვრის შესახებ. ამ ამოცანის პირველი გადაწყვეტა 30-იან წლებში ეკუთვნის ინგლისელ გეოფიზიკოსს ჰ. ჯეფრისს. მან უჩვენა, რომ სტოქსის ფორმულა დაახლოებით საზღვრავს გარე ველის ელემენტებს, თუ გაზომილი სიმძიმის ძალის მნიშვნელობებს დავიყვანთ გეოიდზე რედუქციით „თავისუფალ ჰაერში“. ამის შემდეგ უფრო ვრცლად ამ საკითხს სწავლობდნენ ნ. მოისეევი, ნ. მალკინი და მ. მოლოდენსკი. მაგრამ შემდეგ მ. მოლოდენსკიმ დაადგინა, რომ მათ მიერ და თვით მოლოდენსკის მიერ გამოყვანილი ფორმულები არარეგულირებულ დედამიწისათვის ურთიერთგანსხვავდება მხოლოდ ფორმით და არა შინაარსით და რომ ერთი ფორმულიდან შეიძლება მეორეზე გადასვლა და სხვა; აგრეთვე უჩვენა, რომ ყველა ეს ფორმულა სრულიად შესაბამისია სტოქსის თეორემისა. აღნიშნულმა გამოკვლევებმა მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა არარეგულირებულ დედამიწის პრობლემის არსის გარკვევაში.

გრავემეტრიის პრაქტიკულად გამოყენების ვრა გეოდეზიაში იწყება 1932 წლიდან, როცა პროფ. ი. კახანსკიმ ვენინგ-მეინის ფორმულით გამოთვალა შვეულის გადახრები და განსაზღვრა გეოიდის ფორმა მოსკოვის ანომალიების მიხედვით. გრავემეტრიული მონაცემებით შვეულის გადახრის დადგენის ზემოხსენებული სამუშაოები საერთოდ პირველი ცდა იყო მსოფლიოში.

ამის შემდეგ გეოდეზიაში გრავემეტრიის გამოყენების დიდი ორგანიზაციული ღვაწლი მიუძღვის ფ. კრასოვსკის, რომელმაც პირველმა დაასაბუთა გრავემეტრიის დიდი როლი გეოდეზიური სამუშაოების შესრულების დროს და მანვე იკისრა ამ ახალ პერსპექტიულ საქმეს ჩასდგომოდა სათავეში. 1935 წ. ფ. კრასოვსკიმ გამოაქვეყნა შრომა „საბჭოთა კავშირის მოთხოვნების შესაბამისად“.

მისი გრავემეტრიული სამუშაოების პროექტის დასაბუთება“, რომელსაც უდიდესი მნიშვნელობა ჰქონდა ჩვენში გრავემეტრიული სამუშაოების მეცნიერულად წარმართვის საქმეში. ფ. კრასოვსკის ინიციატივით მ. მოლოდენსკიმ დაიწყო ასტრონომიულ-გრავემეტრიული თეორიის დამუშავება, რომელიც ეყრდნობოდა შვეულის ასტრონომიულ-გეოდეზიური გადახრებისა და სიმძიმის ძალის ანომალიების ერთად გამოყენებას. ფართოდ იყენებენ რა ამ მეთოდს, იგი სულ უფრო და უფრო ვითარდება და სრულყოფილი ხდება.

ი. კაზანსკის, მ. მოლოდენსკის, მ. ზევერევისა და ვ. ერემევეის მიერ 1936 წ. დამუშავებულ იქნა მკაცრი მეთოდიკა ვენიგ-მეინისის ფორმულით შვეულის გადახრის განსაზღვრისა.

ბ. ლებოვსკის ხელმძღვანელობით 1938 წელს სიმძიმის ძალის დაახლოებით 14000 პუნქტზე განსაზღვრის საფუძველზე გამოთვლილ იქნა შვეულის გადახრები ლაპლასის 325 პუნქტისათვის, რომლებიც, როგორც გრავემეტრიული მასალებით უზრუნველყოფილნი, ჩართული არიან საბჭოთა კავშირის ტრანსგულაციის მწკრივებში. ეს მასალა სრულად გამოყენებულ იქნა კრასოვსკის მიერ რეფერენც-ელიფსოიდის დადგენის დროს.

ნ. მალკინმა 1939 წელს გამოიყვანა დედამიწის ნამდვილი სახის განსაზღვრელი ფორმულა რედუქციის გარეშე სიმძიმის ძალის განსაზღვრის საფუძველზე, მაგრამ ეს მეთოდი მეტად რთული გამოდგა და ამავე დროს გეოდეზისტებისათვის საინტერესო სიდიდეებს აკავშირებდა ისეთ ფუნქციებთან, რომლებიც დაკვირვებებით არ მიიღებოდა.

გრავემეტრიული მონაცემებით გეოდეზიური ამოცანების თეორიული და პრაქტიკული გამოყენების საქმიანობას ამჟამად ხელმძღვანელობს გეოდეზიის, აეროგეოდეზიისა და კარტოგრაფიის ცენტრალური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი მოსკოვში.

მ. მოლოდენსკიმ მიზნად დაისახა განსაზღვრა დედამიწის რეალური ფიგურა, ანუ ნამდვილი სახე, და დაასაბუთა ასეთი გადაწყვეტის დიდი თეორიული და პრაქტიკული ღირებულება. დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენის ამოცანის ამოხსნა ახალი სქემის მიხედვით პრინციპულად იგივეური ხდება იმ პრობლემებისა, სადაც სიმძიმის ძალების დაკვირვებების საშუალებით დგინდებოდა გარე დონებრივი ზედაპირების სახე იმ ადგილებისათვის, სადაც ეს დონებრივი ზედაპირები ჰკვეთენ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირს. მ. მოლოდენსკიმ გარდაქმნა გრინის ფუნდამენტალური ფორმულა, რამაც მას საშუალება მისცა მიეღო დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისათვის საჭირო ინტეგრალური დიფერენციალური განტოლება. მან დაასაბუთა, რომ გეოლოგიის მონაცემების გარეშე გეოიდის ფიგურის დადგენა მხოლოდ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომებით პრინციპულად არ შეიძლება, ხოლო თვით დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის, ანუ ნამდვილი სახის განსაზღვრა შეიძლება იმავე ხილულ ზედაპირზე შესრულებული ასტრონომიული, გეოდეზიური და გრავემეტრიული განაზომების კომპლექსის შედეგად, რითაც ისაზღვრება გეოდეზიური სიმაღლეები და რომლებიც შეიძლება გადაზომილი იქნას რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირიდან მისადმი ნორმალურად.

დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენის ძიების შემდეგ ეტაპზე მ. მოლოდენსკი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ გეოდეზიური თვალთახედვით მიზანშეწონილია კვაზიგეოიდის, როგორც დამზარე ზედაპირის შემოტანა (1.6.7

პარაგრაფი). მსოფლიო ოკეანეებზე და ყველგან, სადაც ხმელეთის ზედაპირისა და ოკეანეთა პოტენციალი ტოლია ან სადაც სიმძიმის ძალის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია სიმძიმის ძალის ნორმალურ მნიშვნელობათა საშუალოსი, კვაზიგეოიდიის ზედაპირი ემთხვევა გეოიდიის ზედაპირს. საერთოდ, დედამიწის ყველა წერტილში კვაზიგეოიდისა და გეოიდის დაშორება უმნიშვნელოა გარდა დიდი ანომალიებიანი მაღალმთიანი რაიონებისა, სადაც დაშორება დაახლოებით 2—3 მეტრამდე აღწევს (1.6.7 პარაგრაფი). ამიტომ მრავალი საკითხის გადაწყვეტის დროს კვაზიგეოიდისა და გეოიდის ზედაპირს იგივეურად სთვლიან და ყველა ის მეთოდი, რომლებიც გეოიდის ცნებასთან არის დაკავშირებული, მ. მოლოდენსკის თეორიის განხორციელების დროს გამოიყენება. მხოლოდ, როგორც ვიცით, მ. მოლოდენსკის მეთოდით დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული ნიველობით განსაზღვრული ანომალიების რეფერენც-ელიფსოიდის ნორმალზე გადაზომვით აღვივალდ დგინდება კვაზიგეოიდის ზედაპირი ზუსტად. აგრეთვე, ფიზიკურ ზედაპირზე შესრულებული გეომეტრიული ნიველობით და გრავიმეტრიული შესწორებით განსაზღვრული ნორმალური სიმაღლეების იმავე ნორმალების მიმართულებით კვაზიგეოიდიდან გადაზომვით დგინდება დედამიწის ნამდვილი სახე (ფიგურა). მაშასადამე, მიუხედავად იმისა, რომ დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენა მ. მოლოდენსკის თეორიით შეიძლება პირდაპირ რეფერენც-ელიფსოიდიდან გეოდეზიური სიმაღლეების გადაზომვით, მან, როგორც ეს (1.6.7) პარაგრაფში ენახეთ, უფრო მოხერხებულობის გამო კვაზიგეოიდის შემოტანით გეოდეზიური სიმაღლე წარმოგვიდგინა არა აღმატებებისა და ორთომეტრიული სიმაღლის ჯამით, რომელიც გეოიდის ცნებასთან არის დაკავშირებული და რომლებიც ისაზღვრებიან არა მკაცრად და არა ერთმნიშვნელოვნად დედამიწის შემადგენლობის შესახებ სხვადასხვა პიპოთეზების გამოყენებით, არამედ ანომალიისა და ნორმალური სიმაღლის ჯამით, რომლებიც დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე გაზომვებით ისაზღვრებიან მკაცრად და ერთმნიშვნელოვნად. საერთოდ კი, პრაქტიკული მუშაობის დროს უმრავლეს შემთხვევაში არ არის საჭირო ცოდნა იმისა, თუ სიმაღლეები რომელი ზედაპირიდან არის გამოთვლილი, სრულიად საკმარისია პირობითი დონის ცოდნა (1.6.7 პარაგრაფი).

ამჟამად ვ. ერემეევი ს ხელმძღვანელობით დამუშავებულია ნორმალური სიმაღლეების გამოთვლებისა და ხმელეთის ზედაპირზე შეუქლების გადახრების დადგენის მეთოდიკა.

გრადუსული გაზომვების საშუალებით დედამიწის ნამდვილი სახის (ფორმის) დადგენის საქმეში უდიდესი როლი ენიჭება გეოდეზიური გრავიმეტრიისა და ხელოვნური თანამგზავრების (1.6.5 პარაგრაფი) საშუალებით დაგროვილ მასალას, რისთვისაც საჭიროა, ერთის მხრივ, დედამიწის ხილულ (ხმელეთისა და ოკეანეთა) ზედაპირზე გრავიმეტრიული გაზომვების გაშლა და, მეორე მხრივ, ხელოვნურ თანამგზავრებზე დაკვირვებების კარგი ორგანიზაცია და აპარატურის გაუმჯობესება. რაც შეეხება დედამიწის ოდენობის დადგენის საკითხს, ამისათვის საჭიროა გეოდეზიური გაზომვების გაუმჯობესება და ფართოდ გაშლა მთელ დედამიწაზე.

ზოგიათი მრუდები და ზალაიჩიები

2.2.1. ბრტყელი და სივრცითი მრუდები. ნორმალური კვეთილობები

A. ბრტყელი და სივრცითი მრუდები

ბრტყელი ეწოდება მრუდს, რომლის ყველა წერტილი სიბრტყეზე ძევს. მისი განტოლებაა:

$$\left. \begin{aligned} \text{არაცხადი სახით} \quad & F(x, y) = 0 \\ \text{ცხადი სახით} \quad & y = f(x) \\ \text{პარამეტრული სახით} \quad & x = x(S); y = y(S) \end{aligned} \right\}, \quad (2.2.1.1)$$

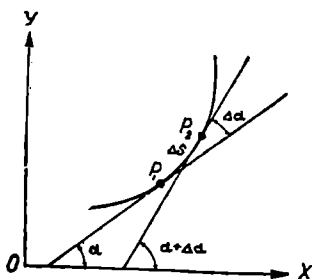
სადაც S არის ბუნებრივი პარამეტრი, ანუ რკალი.

dS რკალის დიფერენციალი გამოისახება დამოკიდებულებით:

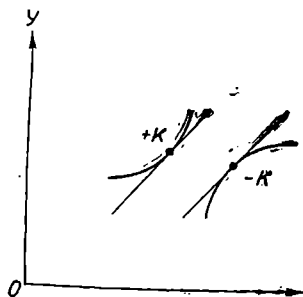
$$dS = \sqrt{1 + (y')^2} dx, \quad (2.2.1.2)$$

სადაც y' — ფუნქციის წარმოებულა.

ბრტყელი მრუდის რაიმე P_1 წერტილში K სიმრუდე ეწოდება Δx მოსაზღვრე კუთხისა (P_1 და P_2 წერტილებში გატარებულ დადებით მი-



ნახ. 2.2.1.1



ნახ. 2.2.1.2

მართულებათა შორის კუთხე) და $P_1 P_2 = \Delta S$ რკალის ფარდობის ზღვარს, როცა $\Delta S \rightarrow 0$ (ნახ. 1):

$$K = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} = \frac{d\alpha}{dS}, \quad (2.2.1.3)$$

ხოლო იმავე წერტილში R სიმრუდის რადიუსი არის K სიმრუდის შებრუნებული სიდიდე:

$$R = \frac{1}{K}. \quad (2.2.1.4)$$

მაშასადამე, სიმრუდეც რადიუსის შებრუნებულია:

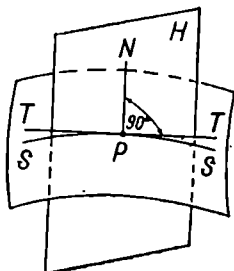
$$K = \frac{1}{R}. \quad (2.2.1.5)$$

K სიმრუდე დადებითია, როცა მრუდი ამოზნექილია აბსცისათა x ღერძისაკენ და, პირიქით უარყოფითია, როცა მრუდი ჩაზნექილია (ნახ. 2). წრეწირი წარმოადგენს R რადიუსის მქონე მრუდს, რომლის K სიმრუდე მუდმივია, ხოლო წრფე უსასრულო რადიუსიანი წრეწირია, რომლის K სიმრუდე ნულის ტოლია.

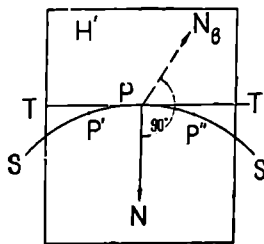
სივრცითი მრუდი არის როგორც ბრტყელი, ისე ორმაგი სიმრუდის. პარამეტრული სახით მათი განტოლება ასე გამოისახება:

$$x = x(S), \quad y = y(S), \quad z = z(S). \quad (2.2.1.6)$$

სივრცითი SS მრუდის TT მხების შეხების P წერტილში PN მართობს ნორმალს ეწოდება (ნახ. 3). P წერტილში შეგვიძლია გავატაროთ



ნახ. 2.2.1.3



ნახ. 2.2.1.4

უსასრულო რაოდენობა ნორმალებისა, რომლებიც მდებარეობენ ერთ H სიბრტყეში. ამ სიბრტყეს ნორმალს სიბრტყე ეწოდება. მაშასადამე, შეხების P წერტილში ნორმალის სიბრტყეც მართობი იქნება TT მხები ხაზისა. TT მხებ ხაზზე შეიძლება გატარდეს უსასრულო რაოდენობის სიბრტყეები. მხების ამ სიბრტყეებს მოკლედ უწოდებენ მხებ სიბრტყეებს.

H' მიმხები, ანუ მრუდის მეორე სიმრუდის სიბრტყე, ეწოდება მრუდის მკვეთი სიბრტყის ზღვრულ მდებარეობას, რომელიც გადის მრუდის ურთიერთუახლოეს P' , P ან $P''P$ წერტილებში ისე, რომ $P' \rightarrow P$ და $P'' \rightarrow P$ (ნახ. 4). როგორც ვხედავთ, მიმხები სიბრტყე წარმოადგენს მხების სიბრტყეების ზღვრულ მდებარეობას, როცა P' ან P'' და ან ორივე თანადროულად მიისწრაფის P შეხების წერტილისაკენ; ან კიდევ, ხაზის არაბრტყელი სიმრუდის მახასიათებელი პროფილის უსასრულოდ ახლო ორ წერტილზე გატარებულ სიბრტყეს მიმხები სიბრტყე ეწოდება. იმ შემთხვევაში,

როცა კვეთის წერტილები თავსდება, მიმხები სიბრტყე გარდაიქცევა მხების სიბრტყედ. მაშასადამე, ბრტყელი მრუდის მიმხები სიბრტყე თვით მრუდის მხები სიბრტყე იქნება.

ნორმალ სიბრტყეზე მდებარე უსასრულო რაოდენობის ნორმალებისაგან არჩევენ ორს: PN მთავარ ნორმალს, რომელიც H' მიმხებ სიბრტყეში მდებარეობს (იგი მიიღება ნორმალური და მიმხები სიბრტყეების გადაკვეთით), და PN_1 ბინორმალს (განივი ნორმალი), რომელიც მართობაა მიმხები სიბრტყისა (ნახ. 4).

B. ნორმალ კვეთილობები

ელიფსოიდის ზედაპირის რაიმე წერტილში გამავალ ნორმალზე ნებისმიერი მიმართულებით შეიძლება გავატაროთ უსასრულო რაოდენობა ელიფსოიდის გამკვეთი ნორმალი სიბრტყეებისა, რის შედეგად მის ზედაპირზე მიიღება ბრტყელი მრუდები, რომელთაც ეწოდებათ ელიფსოიდის მოცემულ წერტილში ნორმალ კვეთილობებო.

ამ კვეთილობებიდან, ისე როგორც სფეროს შემთხვევაში, განსაკუთრებული მნიშვნელობების არის ურთიერთმართობი ორი კვეთილობა: მერიდიანი და მთავარი, ანუ პირველი ვერტიკალის. მოცემულ წერტილში პირველს აქვს მაქსიმუმი სიმრუდე სხვა კვეთილობებთან შედარებით, მაშასადამე, მისი M სიმრუდის რადიუსი უმცირესია, ხოლო მეორე კვეთილობას — მინიმუმი სიმრუდე, ე. ი. უდიდესი N სიმრუდის რადიუსი.

მიუხედავად იმისა, რომ ელიფსოიდის ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში პირველ ვერტიკალს პარალელთან აქვს საერთო მხები, მათი სიმრუდე განხილად წერტილში იქნება სხვადასხვა, რადგანაც პირველი ვერტიკალი არის ნორმალური კვეთილობა, ხოლო პარალელი კი არის ელიფსოიდის ზედაპირის დახრილი კვეთილობის შედეგი.

a. მთავარ ნორმალ კვეთილობათა სიმრუდის რადიუსები

მთავარი კვეთილობების სიმრუდის რადიუსები წარმოადგენს განხილადი B წერტილის გეოდეზიური განედის, ელიფსოიდის a ლიდი და b მცირე ნახევარღერძების ფუნქციებს.

სფეროიდული გეოდეზიის კურსიდან ცნობილია, რომ

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} \\ N &= \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 B)^{1/2}} \end{aligned} \right\}, \quad (2.2.1.7)$$

სადაც M არის მოცემულ წერტილში მერიდიანული კვეთილობის სიმრუდის რადიუსი;

N — მოცემულ წერტილში პირველი ვერტიკალის სიმრუდის რადიუსი;

e — ელიფსოიდის ექსცენტრისიტეტი, რომელიც გამოსახება (1.6.5.2) ფორმულით.

საერთოდ, $N > M$, ხოლო პოლუსებზე, ანუ როცა $B=90^\circ$, მთავარი რადიუსები ტოლები ხდება და აღწევს მაქსიმუმს:

$$M = N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2}} = \frac{a^2}{b}. \quad (2.2.1.8)$$

მაშასადამე, ეს რადიუსები უტოლდება ელიფსოიდის პოლუსებზე ნორმალური კვეთილობის სიმრუდის რადიუსს, ანუ სიმრუდის e პოლარულ რადიუსს (1.6.5.5 ფორმულა).

როცა $B=0$, ანუ ეკვატორის წერტილებზე, ისინი იღებენ უმცირეს მნიშვნელობებს:

$$\left. \begin{aligned} M &= a(1-e^2) = \frac{b^2}{a} \\ N &= a \end{aligned} \right\}, \quad (2.2.1.9)$$

მთავარ კვეთილობათა სიმრუდის ზემოხსენებული რადიუსები წარმოადგენს ელიფსოიდის ზედაპირზე სხვადასხვა გაანგარიშებისათვის საჭირო ძირითად სიდიდეებს. მაგალითად, მერიდიანული რკალის სიგრძის და მისი განაპირა წერტილების განედების სხვაობების გამოსათვლელ ფორმულაში შედის M მერიდიანული სიმრუდის რადიუსი, ხოლო პარალელის რკალის, მისი განაპირა წერტილების გრძედების სხვაობისა და რაიმე მიმართულების აზიმუტის გამოსათვლელად იყენებენ პირველი ვერტიკალის N სიმრუდის რადიუსს.

(7) ფორმულების გამოყენება ძნელდება, რადგანაც საჭირო ხდება წილადი ხარისხების გამოთვლები, ამიტომ გეოდეზიური ამოცანების გადაწყვეტის დროს უფრო მოხერხებულია ვისარგებლოთ არა M და N , არამედ

$$\frac{P''}{M} = [1] \quad \text{და} \quad \frac{P''}{N} = [2] \quad (2.2.1.10)$$

დამოკიდებულებებით, რომელთა ლოგარითმები ან ნატურალური სიდიდეები კრასოვსკის ელიფსოიდისათვის მოცემულია კარტოგრაფიულ ცხრილებში.

გარდა (10) დამოკიდებულებისა, (7) დამოკიდებულების შესაბამისად, კრასოვსკის ელიფსოიდის მთავარ კვეთილობათა სიმრუდის რადიუსებს გამოსახვენ გეოდეზიური განედის ფუნქციების სახით:

$$\left. \begin{aligned} M &= 6\,335\,552,7170 + 63609,7883 \sin^2 B + 532,2089 \sin^4 B + \\ &+ 4,1558 \sin^6 B + 0,0317 \sin^8 B + \dots \\ N &= 6\,378\,245,0000 + 21346,1416 \sin^2 B + 107,1586 \sin^4 B + \\ &+ 0,5982 \sin^6 B + 0,0033 \sin^8 B + \dots \end{aligned} \right\} \quad (2.2.1.10')$$

(10') ფორმულებში კოეფიციენტები გამოსახულია მეტრებში. ისევე, როგორც (10) ფორმულებისათვის, (10') ფორმულებისათვისაც — კრასოვსკის ელიფსოიდისათვის M და N სიმრუდის რადიუსების ოდენობები მოცემულია გეოდეზიურ და კარტოგრაფიულ ცხრილებში.

ელიფსოიდის რომელიმე წერტილში მთავარ ნორმალ კვეთილობათა სიმრუდის მთავარი რადიუსების საშუალო გეომეტრიული იქნება ამ წერტილში გატარებული ყველა ნორმალი კვეთილობების R საშუალო რადიუსი, ანუ

$$R = \sqrt{MN}. \quad (2.2.1.11)$$

სიმრუდის საშუალო R რადიუსს გამოიყენება მის შესაბამის სფეროს ზედაპირზე დედამიწის ელიფსოიდის ნაწილების დაგეგმილების დროს.

ზედაპირის სრული სიმრუდე გამოითვლება ფორმულით:

$$K = \frac{1}{MN}. \quad (2.2.1.11')$$

ბ. ეილერის ფორმულა

ეილერის ფორმულით მყარდება კავშირი მოცემულ წერტილში A გეოდეზიური აზიმუტის მქონე ნორმალ კვეთილობის R_A სიმრუდის რადიუსსა და ამავე წერტილში მთავარ ნორმალ კვეთილობათა M და N სიმრუდეთა რადიუსებს შორის:

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{M} \cos^2 A + \frac{1}{N} \sin^2 A, \quad (2.2.1.12)$$

სადაც $\frac{1}{R_A}$, $\frac{1}{M}$, $\frac{1}{N}$ — მოცემულ წერტილში შესაბამის ნორმალ კვეთილობათა სიმრუდეებია.

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს ნორმალ კვეთილობათა შემდეგი თვისებები:

1. მთავარი კვეთილობების მიმართ სიმეტრიულ კვეთილობებს აქვთ ერთი და იმავე სიმრუდის რადიუსები. მართლაც, $\frac{1}{R_A}$ სიმრუდე არ შეიცვლება, თუ (12) ფორმულაში A აზიმუტის ნაცვლად შევიტანთ $(360^\circ - A)$, $(180^\circ + A)$ ან $(180^\circ - A)$;

2. ელიფსოიდის მოცემულ წერტილში ორ ურთიერთმართობ ნორმალ კვეთილობათა სიმრუდეების ჯამი ტოლია ამ წერტილის მთავარ კვეთილობათა სიმრუდეების ჯამისა. მართლაც, თუ (12) ფორმულაში A აზიმუტს შევცვლით $(A + 90^\circ)$, მივიღებთ

$$\frac{1}{R_{A+90^\circ}} = \frac{1}{M} \sin^2 A + \frac{1}{N} \cos^2 A. \quad (2.2.1.13)$$

ეს ტოლობა შევკრიბოთ (12) ტოლობასთან, მივიღებთ:

$$\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_{A+90^\circ}} = \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{N} \right) (\sin^2 A + \cos^2 A) = \frac{1}{M} + \frac{1}{N}.$$

(12)-დან R_A -ს განსაზღვრით მიღებულ გამოსახულებისადმი (11) ფორმულის გამოყენებით და სათანადო გარდაქმნებით მივიღებთ:

$$R_A = R \left(1 - \frac{1}{2} e^2 \cos^2 B \cos 2A \right), \quad (2.2.1.14)$$

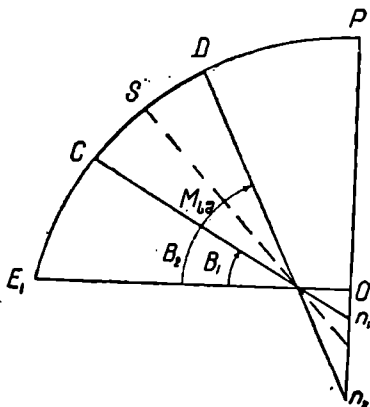
სადაც A არის ელიფსოიდის მოცემულ წერტილში ნორმალ კვეთილობის აზიმუტი;

- B — ელიფსოიდის მოცემულ წერტილში გეოდეზიური განედი;
 e' — ელიფსოიდის მეორე ექსცენტრისიტეტი (1.6.5.2 ფორ.);
 R — ელიფსოიდის მოცემულ წერტილში ნორმალურ კვეთილობათა სიმრუდეების რადიუსების საშუალო ანუ საშუალო რადიუსი;
 R_A — ელიფსოიდის მოცემულ წერტილში A გეოდეზიური აზიმუტის მქონე ნორმალ კვეთილობის სიმრუდის რადიუსი.

2.2.2. მერიდიანისა და კარალელის რკალის სიგრძის გამოსათვლელი ფორმულები

ელიფსოიდის ზედაპირზე მრავალი ამოცანის გადაწყვეტა, როგორცაა, მაგალითად, გეოდეზიური კოორდინატების ბრტყელ მართკუთხა კოორდინატებად გარდაქმნა და სხვა, დაკავშირებულია ორ წერტილის შორის მერიდიანის ან პარალელის რკალის გამოთვლასთან. აქ სათანადო ფორმულების გამოყენების გარეშე მოკლედ განიხილება ეს საკითხი.

მერიდიანის რკალების სიგრძეების მიხედვით მათ გამოსათვლელად არსებობს სხვადასხვა ფორმულები, რომლებიც დგინდება სფეროიდული გეოდეზიის მეთოდებით. ცხადია, მოკლე რკალები გამოითვლება უფრო მარტივი ფორმულებით, ვიდრე გრძელი. მაგალითად, როცა რკალი $S < 45$ კმ, მაშინ ± 1 მმ შეცდომის დაშვებით მერიდიანის რკალი შეიძლება ჩაითვალოს წრეწირის რკალად, რომლის მერიდიანული კვეთილობის რკალის $M_{სა}$ რადიუსი შეესაბამება საშუალო განედს



ნახ. 2.2.2.1

$$B_{სა} = \frac{B_1 + B_2}{2}. \quad (2.2.2.1)$$

მაშინ, როგორც ეს (1) ნახაზიდან ჩანს, მერიდიანის CD რკალის სიგრძე

$$S = M_{სა} \frac{(B_2 - B_1)^\circ}{\rho''}, \quad (2.2.2.2)$$

სადაც B_1 და B_2 — რკალის ბოლო წერტილების გეოდეზიური განედებია; $\rho'' = 206265''$ — რადიანი.

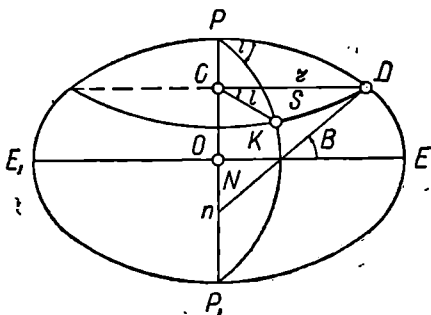
(2) ფორმულის მიხედვით ცნობილი S მერიდიანული რკალის სიგრძისა და მის $M_{სა}$ საშუალო რადიუსით შეიძლება განისაზღვროს მერიდიანის რკალის ბოლო წერტილების გეოდეზიური განედების სხვაობა:

$$(B_2 - B_1)^\circ = S \frac{\rho''}{M_{სა}}. \quad (2.2.2.3)$$

იმ შემთხვევაში, როცა ელიფსოიდზე ისაზღვრება მერიდიანის რკალი 45—400 კმ სიგრძის ფარგლებში, მაშინ ± 1 მმ შეცდომის დაშვებით რკალის სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$S = M_{\text{სა}} \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''} \left[1 + \frac{\epsilon^2}{8} \frac{(B_2 - B_1)^2}{\rho''^2} \cos 2B_{\text{სა}} \right]. \quad (2.2.2.4)$$

მაშასადამე, ამ შემთხვევაში S გამოითვლება (2) ფორმულით, როგორც წრეწირის რკალის სიგრძე და მასში შევა შესწორება, რომელიც ითვალისწინებს განსხვავებას მერიდიანული რკალის ელიფსურ და წრეწირულ კვეთილობებს შორის.



ნახ. 2.2.2.2

მერიდიანული S რკალების გამოსათვლელად არსებობს უფრო ზუსტი ფორმულები შედგენილი ცხრილები, რომელთაც იყენებენ პრაქტიკულ საქმიანობაში.

პარალელი წარმოადგენს r რადიუსის მქონე წრეხაზს (ნახ. 2). მისი სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$S_0 = \frac{l''}{\rho''} r, \quad (2.2.2.5)$$

სადაც l არის S რკალის D და K წერტილების გეოდეზიური გრძედების სხვაობა, რომელიც გამოისახება კუთხურ ერთეულებში.

(2) ნახაზიდან

$$r = N \cos B, \quad (2.2.2.6)$$

სადაც $N = Dn$ — პირველი ვერტიკალის რკალის B განედის მქონე D წერტილში სიმართლის რადიუსია.

მაშასადამე, (5) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$S_0 = \frac{l''}{\rho''} N \cos B. \quad (2.2.2.7)$$

გამოსახულება $\frac{N}{\rho''} \cos B$ წარმოადგენს $1''$ მქონე გრძედის პარალელის რკალის სიგრძეს, რომელსაც აღნიშნავენ b_1 -ით, ე. ი.

$$\frac{N}{\rho''} N \cos B = b_1. \quad (2.2.2.8)$$

მაშინ პარალელის რკალი მეტრობით გამოითვლება ფორმულით:

$$S_0 = b_1 l''. \quad (2.2.2.9)$$

პარალელის რკალის სიგრძე ზემოხსენებული ცხრილებით გამოითვლება B არგუმენტის მიხედვით.

როდესაც ცნობილია S_2 და მისი B განედი, მაშინ (9) ფორმულიდან გამოითვლება ამ რკალის ბოლო წერტილებს შორის გრძედების სხვაობა ფორმულით:

$$l'' = \frac{S_2}{b_1}. \quad (2.2.2.10)$$

2.2.3. ელიფსოიდზე ორ წერტილს შორის ზოგიერთი მრუდი

დედამიწის ელიფსოიდზე ორ წერტილს შორის შესაძლო მრუდეებიდან სხვადასხვა ამოცანების გადაწყვეტის დროს საყურადღებოა: ურთიერთ-ნორმალ კვეთილობები, გეოდეზიური ხაზი და გასწვრივობის ხაზი.

ა. ურთიერთნორმალ კვეთილობები

გარდა მერიდიანებისა და პარალელებისა, დედამიწის ელიფსოიდზე ორ წერტილში გატარებული ნორმალები ურთიერთს არ ემთხვევა. მაშასადამე, ისინი არ მდებარეობენ ერთ სიბრტყეში.

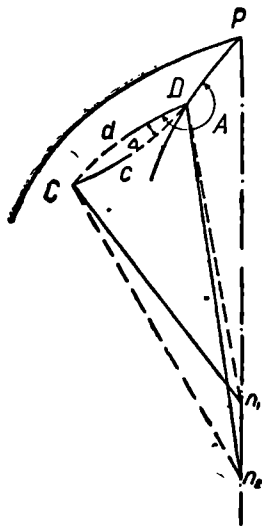
ვთქვათ, ელიფსოიდის ზედაპირზე გვაქვს ორი C და D წერტილი (ნახ. 1), რომლებიც არ მდებარეობენ ერთ და იმავე მერიდიანზე და არც ერთ და იმავე პარალელზე.

C წერტილის Cn_1 ნორმალსა და D წერტილზე გატარებული სიბრტყე იქნება C წერტილის ნორმალ სიბრტყე, ხოლო მისი კვალი, ანუ e მრუდი ელიფსოიდის ზედაპირზე — ნორმალ კვეთილობა. ასევე, D წერტილის Dn_2 ნორმალსა და C წერტილზე გატარებული D წერტილის ნორმალ სიბრტყით მიიღება ნორმალ კვეთილობა d მრუდის სახით.

e და d მრუდები იწოდება ურთიერთნორმალ კვეთილობებად, ამავე დროს C წერტილისათვის e მრუდი იწოდება პირდაპირ ნორმალ კვეთილობად და d მრუდი შებრუნებულ ნორმალ კვეთილობად, ხოლო D წერტილისათვის d მრუდი იქნება პირდაპირი ნორმალ კვეთილობა და e მრუდი — შებრუნებული.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, e და d ურთიერთნორმალ კვეთილობები ერთმანეთს არ ემთხვევა.

ურთიერთნორმალ კვეთილობები ერთმანეთს დაემთხვევა მხოლოდ მაშინ, როცა C და D წერტილები იქნება ერთი და იმავე მერიდიანზე, ან პარალელზე. პირველ შემთხვევაში Cn_1 და Dn_2 ნორმალები, მიუხედავად იმისა, რომ



ნახ. 2.2.3.1

იკვეთება ელიფსოიდის ბრუნვის ღერძის სხვადასხვა წერტილში, მდებარეობს მათ საერთო მერიდიანის სიბრტყეზე; მეორე შემთხვევაში კი განხილავი ნორმალები იკვეთება რა ელიფსოიდის ბრუნვის ღერძის ერთ წერტილში, საზღვრავს C და D წერტილებს საერთო ნორმალ სიბრტყეს.

ელიფსოიდის მცირე $\alpha=1:300$ პოლარული შეკუმშულობის გამო ელიფსოიდის ზედაპირზე ურთიერთნორმალ კვეთილობათა Δ კუთხურ-ობა და ცილება მცირეა და მხოლოდ მაშინ აქვს პრაქტიკული მნიშვნელობა, როცა C და D წერტილებს შორის მანძილი დიდია, ამ კუთხის ოდენობა გამოითვლება მიახლოებითი ფორმულით:

$$\Delta'' = \frac{\rho''}{4} \frac{S^2}{N_m^2} e^2 \cos^2 B_m \sin 2A, \quad (2.2.3.1)$$

სადაც S არის განაპირა წერტილებს შორის ნორმალი კვეთილობის მრუდის სიგრძე;

N_m — პირველი ვერტიკალის შუა წერტილში ნორმალი კვეთილობის სიმრუდის რადიუსი;

e — მერიდიანული ელიფსის ექსცენტრისიტეტი;

B_m — განაპირა წერტილების განედების საშუალო;

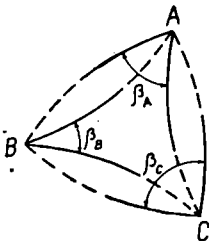
A — პირდაპირი კვეთილობის გეოდეზიური აზიმუტი;

$\rho = 206265''$ — რადიანი.

როდესაც $A = B_m = 45^\circ$, S რკალის სხვადასხვა სიგრძეებისათვის ადგენენ Δ სიდიდის ოდენობებს:

S	Δ	}	(2.2.3.2)
100 კმ	0,042		
60 "	0,015		
30 "	0,004		

S სიგრძის სიმციროს გამო Δ სიდიდის ოდენობას ნებისმიერი სახის შედარებით მცირე მანძილების გეოდეზიური განაზომების მათემატიკური დამუშავების დროს უგულებელყოფენ. მიუხედავად იმისა, რომ Δ მისი განზომების სიზუსტეზე ნაკლები გამოდის, დიდი მანძილების უდიდესი სიზუსტით განზომებისა და მათემატიკური დამუშავების დროს მის ოდენობას იღებენ მხედველობაში. აქვე აღვნიშნავთ, რომ Δ სიდიდის ოდენობის მხედველობაში მიღება, ანუ ურთიერთნორმალ კვეთილობათა გამოყენება მათი ორადობის გამოქმნის პრინციპულ უხერხულობას. თქმულის ნათელსაყოფად წარმოვიდგინოთ, რომ საჭიროა ელიფსოიდის ზედაპირზე ABC სფეროიდული $\beta_A, \beta_B, \beta_C$ კუთხეების განზომა



ნახ. 2.2.3.2

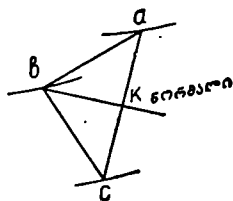
(ნახ. 2), რისთვისაც თანამიმდევრობით ყოველი კუთხის წვეროზე ვეყენებთ კუთხმზომ იარაღს ისე, რომ მისი მთავარი (შევეული) ღერძი ემთხვეოდეს მოცემულ წერტილში ელიფსოიდის ზედაპირისადმი ნორმალს და დამზინებას კი ვაწარმოებთ კუთხეთა შესაბამისი გვერდების ბოლო წერტილებზე. ურთი-

ერთნორმალ კვეთილობათა ორადობის თვისების გამო გაზომილი კუთხეები არ შექმნის ჩაკეტილ სამკუთხედს და მიღებულ სამკუთხედს ექნება ექვის გვერდი (ნახ. 2). მაშასადამე, გეოდეზიური სამკუთხედების შესაქმნელად ნორმალ კვეთილობებით მიღებულ ხაზებს ვერ გამოვიყენებთ, საჭიროა სხვა ხაზების გამოყენება. ასეთია გეოდეზიური ხაზები, რომელთა საშუალებით სამკუთხედი ჩაიკეტება და ამოიხსნება ერთმნიშვნელოვნად.

ბ. გეოდეზიური ხაზი

ნებისმიერი ზედაპირის ორ წერტილს შორის შეიძლება გავატაროთ მრავალი მრუდი. ამ მრუდებს შორის ერთ-ერთი შეიძლება გატარდეს ისეთი საწყისი მიმართულებით, რომ იგი უმოკლესი იქნეს დანარჩენ მრუდებთან შედარებით. ასეთ ხაზს ეწოდება გეოდეზიური ხაზი. თუ გარეშე ძალა არ შეუშლის ხელს რაიმე ზედაპირზე მოქრავ მატერიალურ წერტილს, იგი იმოქრავებს გეოდეზიურ ხაზზე; ნებისმიერ ზედაპირზე დაკიმული დრეკადი ძაფი იღებს გეოდეზიური ხაზის ფორმას; სიბრტყეზე ან დედამიწაზე ორ წერტილს შორის წრფე, სფეროზე დიდი წრეხაზები, ცილინდრზე ხრახნწირები, ელიფსოიდზე მერიდიანები და ეკვატორი გეოდეზიური ხაზებია, რადგანაც ისინი არიან უმოკლესნი ამ ზედაპირებზე. ზედაპირზე ორ წერტილს შორის გატარებული მრუდები რომ ამ ზედაპირის ერთ-ერთ წერტილის მხებ სიბრტყეზე დაეგვემილოთ, ვნახავთ, რომ მხოლოდ გეოდეზიური ხაზის გვეგმილი იქნება წრფე. დანარჩენი ხაზების გვეგმილები გამოისახება მრუდების სახით. გეოდეზიური ხაზი, როგორც ზედაპირული, ყოველ წერტილში ორმაგი სიმრუდის მქონეა. ამიტომ ის არ ძეგს ერთ სიბრტყეზე. ამ მრუდის „ბრტყელი“ თვისებების შესასწავლად იყენებენ მიმხებ ანუ განივი სიმრუდის სიბრტყეს, რომელიც, როგორც ცნობილია, წარმოადგენს მრუდის უსასრულოდ ახლო ორ წერტილში გამკვეთი სიბრტყის ზღვრულ მდებარეობას და რომელზეც ძეგს მთავარი ნორმალი.

გეოდეზიური ხაზის ძირითადი თვისება მდგომარეობს იმაში, რომ ის არის ისეთი ზედაპირული მრუდი, რომლის ყოველ წერტილში მიმხები ანუ განივი სიმრუდის სიბრტყე ემთხვევა ზედაპირის ნორმალს ამავე წერტილში ანუ მთავარი ნორმალი ემთხვევა (წარმოადგენს) ნორმალს.

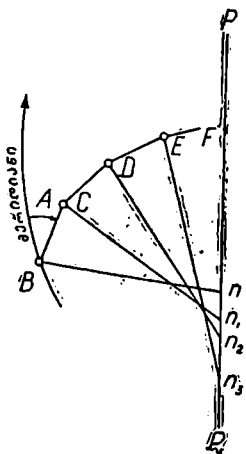


ნახ. 2.2.3.3

ზედაპირის ნორმალი მრუდის შეხების წერტილში მხები სიბრტყის მართობს წარმოადგენს და მიმართულია მრუდის ჩალუნული მხარისაკენ. გეოდეზიური ხაზი, რომ უმოკლესია ზედაპირის ორ წერტილს შორის, დასტურდება შემდეგი მსჯელობით: ავიღოთ ელიფსოიდის ზედაპირზე ორი უსასრულოდ მცირე ab და bc გეოდეზიური ხაზები, რომლებიც მდებარეობენ ერთ მიმხებ სიბრტყეზე (ნახ. 3). იმისათვის, რომ abc რკალი იყოს უმოკლესი a და c წერტილებს შორის, საჭიროა, რომ ამ რკალის ab და bc ელემენტების ჯამის სიგრძე რაც შეიძლება ახლოს იყოს ac ქორდის სიგრძესთან. ეს პირობა იქნება შესრულებული, თუ ab და bc რკალების ურთიერთტოლობის დროს

b წერტილი იქნება რაც შეიძლება ახლო ac ქორდის k შუა წერტილთან, ანუ b წერტილი დაემთხვევა ac ქორდის k წერტილიდან ელიფსოიდის ზედაპირამდე დაშვებულ მართობს. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ზედაპირის kb ნორმალი უნდა გადიოდეს ac ქორდაზე. მაშასადამე, ელიფსოიდის ზედაპირისადმი b წერტილის ნორმალის სიბრტყე, გამავალი a წერტილში, ამავე დროს გაივლის ac ქორდაზე. იგი იქნება abc გეოდეზიური ხაზის მიმხები სიბრტყე ანუ მთავარი ნორმალი დაემთხვევა ელიფსოიდის ზედაპირის ნორმალს.

გეოდეზიური ხაზის b წერტილის მხები იქნება იმავე წერტილის მხებ სიბრტყეზე მდებარე და ამიტომ ამ წერტილში ზედაპირის ნორმალი მართობი იქნება მხებისა და მრუდის; გეოდეზიური ხაზის მთავარი ნორმალიც მართობი იქნება მხებისა, მაშასადამე, გეოდეზიური ხაზის ყოველ წერტილში მთავარი ნორმალი ემთხვევა ელიფსოიდის ზედაპირის ნორმალს.



ნახ. 2.2.3.4

გეოდეზიური ხაზის ძირითადი თვისებიდან გამომდინარეობს, რომ ურთიერთომიჯნავე ორი მისი ელემენტი თანადროულად არის მოცემული წერტილის ნორმალი სიბრტყის ელემენტებიც. ეს კი საშუალებას გვაძლევს ანალიზურად (თეორიულად) ავაგოთ და წარმოვიდგინოთ გეოდეზიური ხაზი დედამიწის ელიფსოიდზე. ვთქვათ, PP_1 არის ელიფსოიდის მცირე ღერძი (ნახ. 4), Bn — ელიფსოიდის ნორმალი B წერტილში. წარმოვიდგინოთ B წერტილში დაყენებული გვაქვს კუთხმზომი იარაღი ისე, რომ ვერტიკალური ღერძი ემთხვეოდეს Bn ნორმალს, რის შემდეგ მოცემული მიმართულებით, ანუ A აზიმუტით ელიფსოიდის ზედაპირზე დავნიშნავთ C წერტილს, რომელიც ახლო მანძილზე უნდა იყოს B წერტილიდან. გადავი-

ტანოთ იარაღი C წერტილში და მისი ღერძი შევუთავსოთ Cn_1 ნორმალს. აგრეთვე იარაღის ჰოგრი დავემიზნოთ B წერტილს, შემდეგ იარაღის ზემო ნაწილი შემოვაბრუნოთ 180° -ით და დავნიშნოთ შემდეგი D წერტილი. შემდეგ გადავიტანოთ იარაღი D წერტილში და აღწერილი წესით დავნიშნოთ E წერტილი. თუ წარმოვიდგენთ, რომ იარაღის ღეომის $BCDE$ წერტილებს შორის არის უსასრულოდ მცირე მანძილები, ელიფსოიდის ზედაპირზე (წარმოდგენაში) მივიღებთ გეოდეზიურ ხაზს. მართლაც, $BCDn_1$ სიბრტყე, ერთის მხრივ, იქნება C წერტილში მიმხები, რადგანაც ამ სიბრტყეში მდებარეობს CB და CD მონაკვეთები, რომლებიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც მხები ხაზები C წერტილში, მეორე მხრივ, ამავე სიბრტყეზე ძევს Cn_1 ნორმალი; ანალოგიურ მდებარეობას ექნება ადგილი ყველა დანარჩენ წერტილებში. როგორც ვხედავთ, გეოდეზიური ხაზის არსებობის შესაბამისი პირობები დაცულია, ანუ ყოველ მის წერტილში ზედაპირის ნორმალი დევს იმავე წერტილის მიმხებ სიბრტყეში. I მუხლში ურთიერთნორმალი კვეთების თვისებების შესაბამისად Bn, Cn_1, Dn_2, En_3 ნორმალები ელიფსოიდის მცირე ღერძს ჰკვეთენ

სხვადასხვა წერტილებში და მაშასადამე, $BCDn_1$, $CDEn_2$, $DEFn_3$ სიბრტყეები არ დაემთხვევა ურთიერთს და ამდენად B, C, D, E, F, \dots წერტილები ელიფსოიდის ზედაპირზე მოგვეყვამს გეოდეზიური ხაზის სახით ორმაგი სიმ-რუდის უწყვეტ მრუდს. როგორც ვედავთ, გეოდეზიური ხაზის წაჩოღვენაში ასაკებად საქირა მისი პირველი BC ელექნტი და ამ ელექნტას A მიმართულება (აზიმუტი).

იმ შემთხვევაში, როცა წერტილები არ მდებარეობს ერთი და იმავე მერიდიანზე ან პარალელზე, გეოდეზიური ხაზის წერტილები განლაგდება ურთიერთკვეთილობათა შორის ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-5 ნახაზზე. გეოდეზიური ხაზი ყოველთვის გადაწეულია პირდაპირი (GED და DKC) კვეთილობისაკენ. გეოდეზიურ ხაზსა და პირდაპირ კვეთილობას შორის δ კუთხე უდრის ნორმალ კვეთილობათა შორის Δ კუთხის მესამედს, ე. ი. (1) ტოლობის გამოყენებით

$$\delta = \frac{1}{3} \Delta = \frac{\rho''}{12} \frac{S^2}{N_m^2} \epsilon^2 \cos^2 B_m \sin 2A. \quad (2.2.3.3)$$

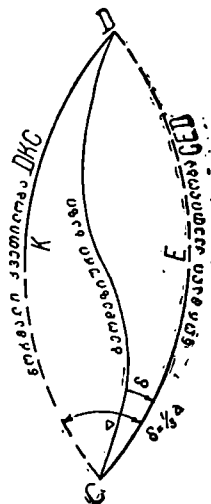
სხვადასხვა S სიგრძის რკალებისათვის ამ ფორმულით გამოთვლილი გადახრები იქნება:

S	„ბ“	}	(2.2.3.4)
100 კმ	0,014		
60	0,005		
30	0,001		

მიღებული ოდენობების სიმციარის გამო გეოდეზიურ ხაზს და პირდაპირ კვეთილობებს შორის გადახრები შეიძლება უგულვებელყვათ. (3) ფორმულიდან ჩანს, რომ δ გადახრის უდიდესი აბსოლუტური მნიშვნელობა მიიღება, როცა A აზიმუტი გვექნება 45° , 135° , 225° და 315° .

როცა A აზიმუტია 0° ან 180° , ანუ როცა გეოდეზიური ხაზის განაპირა წერტილები იქნება მერიდიანზე, გეოდეზიური ხაზი დაემთხვევა ურთიერთნორმალ კვეთილობებს, ე. ი. δ იქნება ნულის ტოლი.

როცა გეოდეზიური ხაზის განაპირა წერტილები ძვეს ერთი და იმავე პარალელზე და აზიმუტი ახლოა 90° ან 270° -თან, ურთიერთნორმალი კვეთილობები ერთმანეთს დაემთხვევა, ხოლო გეოდეზიური ხაზი გაივლის ცოტა ზემოთ (პოლუსისაკენ) აღნიშნული ნორმალი კვეთილობებიდან და იგი პარალელს არ დაემთხვევა. ამ შემთხვევაში გეოდეზიური ხაზი შეეხება ურთიერთნორმალ კვეთილობებს განაპირა წერტილებში და ამიტომ δ ედრება ნულს, რაც გამომდინარეობს (3) ფორმულისაგან განსხვავებული ფორმულით, რომელიც აქ არ მოგვეყავს.



ნახ. 2.2.3.5

გეოდეზიურ ხაზსა და ნორმალ კვეთილობათა სიგრძეებს შორის სხვაობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta S = \frac{ae^4}{360} \frac{S^2}{N_m^2} \sin^2 2A \cos^4 B_m, \quad (2.2.3.5)$$

სადაც a — ელიფსოიდის დიდი ნახევარღერძია, ხოლო დანარჩენები იგივეა, რაც (1) ფორმულაში.

როცა $S = 600$ კმ, $\Delta S = 0,007$ მმ. ამიტომ გეოდეზიურ ხაზსა და ნორმალ კვეთილობებს შორის სიგრძეების სხვაობას არ იღებენ მხედველობაში.

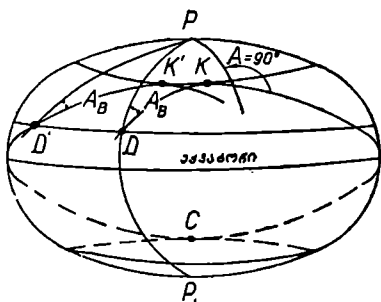
ელიფსოიდას ზედაპირზე გეოდეზიური ხაზის ძირითადი თვისება გამოისახება კლეროს ფორმულით:

$$r \sin A = \text{const.} \quad (2.2.3.6)$$

მაშასადამე, ბრუნვის ელიფსოიდზე გეოდეზიური ხაზის ყოველ წერტილში პარალელის r რადიუსისა და გეოდეზიური ხაზის A აზიმუტის სინუსის ნამრავლი მუდმივია.

(6) ტოლობა საშუალებას გვაძლევს გამოვითვალოთ ელიფსოიდის ზედაპირზე გეოდეზიური ხაზის მიმდინარეობა.

ვთქვათ, A_B აზიმუტის მქონე გეოდეზიური ხაზი იწყება D წერტილიდან, რომელიც მდებარეობს r_B რადიუსისა და B განედის მქონე პარალელზე



ნახ. 2.2.3.6

(ნახ. 6). ჩრდილოეთისაკენ შემდგომი გაგრძელებით გეოდეზიური ხაზი თანამიმდევრობით გადაკვეთს მცირე რადიუსის მქონე პარალელებს; მაშასადამე, (6) ტოლობის შესაბამისად უნდა გაიზარდოს გეოდეზიური ხაზის აზიმუტის სინუსები და B_0 განედის მქონე პარალელის ერთ-ერთ K წერტილში, სადაც აზიმუტი მიაღწევს მაქსიმუმს $A_{B_0} = 90^\circ$

($\sin A_{B_0} = 1$), გეოდეზიური

ხაზი, შეეხება რა KK' პარალელს, შემობრუნდება სამხრეთისაკენ. შემდეგ გეოდეზიური ხაზის აზიმუტი უწყვეტლევ იზრდება, ხოლო მისი სინუსი მცირდება და ეკვატორზე აზიმუტი გახდება მაქსიმუმი, მისი სინუსი კი მინიმუმი. ეკვატორიდან სამხრეთისაკენ გეოდეზიური ხაზის მიერ გადაკვეთილი პარალელების რადიუსები იკლებს, ხოლო, შესაბამისად, აზიმუტის სინუსი იზრდება. აზიმუტი, მიაღწევს რა 90° , ჩრდილო K განაპირა წერტილის B_0 განედის მქონე სამხრეთ პარალელის C წერტილში შეეხება პარალელს და ისევ შებრუნდება ჩრდილოეთისაკენ. ამავე დროს ჩრდილოეთისაკენ განგრძობილი გეოდეზიური ხაზი არ შეიკრება D წერტილში; იგი გაივლის მის დასავლეთით D' წერტილში და იმავე პარალელს გადაკვეთს იმავე A_B აზიმუტით.

ასე, რომ ერთი წერტილიდან გამოშვებული სხვადასხვა ოდენობის აზიმუტებით მიმართული გეოდეზიური ხაზები იკვეთება სხვადასხვა წერტილში ელიფსოიდის ზედაპირზე.

(6) ტოლობაში, თუ აზიმუტის ოდენობას მივიღებთ 90° , მუდმივის კერძო მნიშვნელობა მიიღება განაპირა ჩრდილო და სამხრეთ პარალელის რადიუსის ტოლი:

$$r \sin 90^\circ = r_0, \quad (2.2.3.7)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ელიფსოიდის ზედაპირზე მხოლოდ და მხოლოდ შერიდიანები და $r \sin A = 0$ ხაზები, ანუ ეკვატორი (და არა პარალელები), არის გეოდეზიური ხაზები.

C. ზანსვანიძის ხაზი

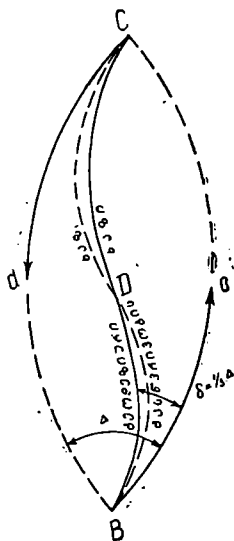
ელიფსოიდის ზედაპირის ორ წერტილს შორის გასწვრივობის, ანუ დასარვის, ხაზი წარმოადგენს ორმაგი სიმრუდის ხაზს, რომლის ყოველი წერტილიდან მის ბოლო წერტილებზე აზიმუტების სხვაობა შეადგენს 180° -ს. მაშასადამე, ამ ხაზის წერტილებიდან ურთიერთნორმალ კვეთილობები ერთმანეთს დაემთხვევა. ელიფსოიდის ზედაპირზე ამ მრუდის წარმოადგენით მისაღებად ადგილზე AB მრუდის ბოლო წერტილების შემავრთებელი ხაზის (ქორდის) რიგი წერტილებიდან ელიფსოიდის ზედაპირზე დაშვებული ნორმალუბის შესაბამისი წერტილები უნდა შეეერთოთ. ადგილის მოკლე მანძილებზე გასწვრივობის ხაზი მარტივი და ადვილად გამოსაყენებელია, რაც შეეხება დიდ მანძილებს, იგი რთული და განუსაზღვრელია, რადგანაც ელიფსოიდის ზედაპირზე, გარდა იმისა, რომ იგი ორმაგი სიმრუდისაა, აგრეთვე ორ B და C წერტილს შორის გატარებულ გასწვრივობის ხაზს არ დაემთხვევა მისი შუა D წერტილიდან B და C მიმართულებით გატარებული გასწვრივობის ხაზები.

საერთო შენიშვნა. ზემოთ აღწერილი მსჯელობის დროს დაშვებული წარმოდგენა იმის შესახებ, რომ ინსტრუმენტით ვდგევართ ელიფსოიდის ზედაპირზე და ელიფსოიდისადმი მოცემულ წერტილში მისი ლერძის ნორმალზე დამთხვევისას ვზოზავთ სამკუთხედების კუთხეებს, სინამდვილეს არ შეესაბამება. ფაქტობრივად, საშუალება გვაქვს დავდგეთ მხოლოდ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე, სადაც ინსტრუმენტის ლერძი შეიძლება დავამთხვიოთ ერთადერთ ბუნებრივ გამოსავალ მიმართულებას სიმძიმის ძალისა (შეველს), რომელიც, როგორც ცნობილია, გადახრილია ნორმალისაგან. მაშასადამე, ამით განაზოზთა ელიფსოიდის ზედაპირზე რედუცირებისა და გამოთვლების საქმე რთულდება.

D. გეოდეზიური ხაზების უპირატესობანი

1. გეოდეზიური ხაზის ასაგებად საჭიროა ვიცოდეთ საწყისი წერტილისა და ნორმალ კვეთის შესაბამისი ხაზის ელემენტის აზიმუტი, მაშინ როდესაც როგორც ურთიერთნორმალ კვეთილობების, ისე გასწვრივობის მრუდის ასაგებად საჭიროა ორივე ბოლო წერტილის ცოდნა. ელიფსოიდის ზედაპირზე მის მიმდინარეობას ასახავს კლეროს (6) ფორმულა.

2. გეოდეზიური ხაზი სრულიად გარკვეულია, რადგანაც B, C წერტილებზე გამავალ გეოდეზიურ ხაზს მუდამ ემთხვევა მის შუალედში აღებულ ნებისმიერ წყვილ წერტილებს შორის გატარებული გეოდეზიური ხაზები. ასეთ გარკვეულობას მოკლებულია როგორც ურთიერთნორმალ კვეთილობები,



ნახ. 2.2.3.7

წერტილში. გეოდეზიური ხაზი პირდაპირ და შებრუნებულ კვეთილობებს შორის Δ კუთხეს ჰყოფს ორ ნაწილად; იგი პირდაპირი კვეთილობიდან დაშორებულია $\delta = \frac{1}{3} \Delta$ კუთხით.

ზემოხსენებული თვისებების გამო:

1) ელიფსოიდის ზედაპირზე გეოდეზიური ხაზების საშუალებით იქმნება დიდი ზომის გვერდებიანი სამკუთხედები. ამ გვერდებს საზღვრავენ გაზომილ მიმართულებებში პირდაპირ ნორმალ კვეთებთან გეოდეზიური ხაზების დაუმთხვევლობის შესწორების შეტანის შედეგად. აღნიშნულის გამო წარმოიშობა სამკუთხედების შექმნის სრული გარკვეულობა და ადვილდება მათთან დაკავშირებული ამოცანების ამოხსნა;

2) გეოდეზიურ ხაზებს იყენებენ საკოორდინატო ღერძებად;

3) აგრეთვე ისინი გამოიყენებიან პოლარ კოორდინატებში რადიუს-ვექტორებად და სხვა.

E. გეოდეზიური წინასწარი და გეოდეზიური პარალელი

ელიფსოიდის ზედაპირის ერთ-ერთი წერტილიდან გატარებული ურთიერთობის სიგრძის უსასრულო რაოდენობის გეოდეზიური ხაზების ბოლო წერტილების შემაერთებელ ორმაგი სიმრუდის ხაზს უწოდებენ გეოდეზიურ წრეხაზს.

გეოდეზიური პარალელი კი ეწოდება ელიფსოიდის ზედაპირზე ორმაგი სიმრუდის ხაზს, რომელიც აერთებს ელიფსოიდის ზედაპირზე გატარებული ნებისმიერი მრუდის ყოველი წერტილიდან აღმართული ურთიერთობის სიგრძის გეოდეზიური ხაზების ბოლო წერტილებს. გეოდეზიური პარალელი გეოდეზიური ხაზი არ შეიძლება იყოს.

როგორც გეოდეზიური წრეხაზი, ისე გეოდეზიური პარალელი ამ ხაზების ყოველ წერტილში მართობი იქნება მათი მსახველი გეოდეზიური ხაზებისა.

2.2.4. სფერო, როგორც გეგმილთ ზედაპირი თანამედროვე თვალსაზრისით

წინა პარაგრაფებიდან ცნობილია, რომ დიდი მნიშვნელობა აქვს ზუსტად განსაზღვრულ და დედამიწის ტანში კარგად ორიენტირებულ რეფერენც-ელიფსოიდს დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომების რედუცირება-დამუშავებისათვის. ზოგადად და კერძოდაც, ანუ როცა ელიფსოიდი გამოიყენება მთელი დედამიწის, კონტინენტების ან მისი უაღრესად დიდი ნაწილების სივრცეების რედუცირება-დამუშავებისათვის, რისთვისაც სრულდება უმაღლესი სიზუსტის გრადუსული გაზომვები, საჭიროა სრული სიმკაცრით იყოს ელიფსოიდის პარამეტრები განსაზღვრული და მიღებულ იქნეს მისი შეკუმშულობა მხედველობაში.

(1.6.5.1) ცხრილიდან ჩანს, რომ საშუალოდ ელიფსოიდის შეკუმშულობა დაახლოებით უდრის 1:300, რომლის სიმცირის გამო შედარებით მცირე სივრცეებზე შესრულებული გეოდეზიური განაზომების დაგეგმილებისა და მათემატიკური დამუშავების დროს შეიძლება დაუშვავათ მნიშვნელოვანი გამართვება — გეგმილთ ზედაპირად სფეროს ზედაპირის ან სიბრტყის გამოყენების მხრივ.

პირველი გამართვება მდგომარეობს იმაში, რომ განაზომთა მათემატიკური დამუშავებისა და სხვადასხვა თეორიული მსჯელობის დროს მცირე სივრცეებზე უშვებენ განაზომთა რედუცირებისათვის გამოყენებულ იქნეს დედამიწის საერთო სახისადმი პირველი მიხლოება, ე. ი. გეგმილთ ზედაპირად მიღებულ იქნეს სფერო, რომლის რადიუსი შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს შედარებით ტლანქად, ანუ (1.3.6.4) ფორმულით. დიდი სივრცეების დამუშავების დროსაც იყენებენ სფეროს, მაგრამ მის რადიუსს ირჩევენ ამ სივრცეების შესაბამისი ელიფსოიდის მიხედვით და უწოდებენ მოცემული ტერიტორიისათვის საუკეთესოდ შეჩვენებულ რადიუსის მქონე სფეროს. ამ სფეროს ღერძიც ისე, როგორც რეფერენც-ელიფსოიდის ღერძი, აღინიშნება PP_1 სიმბოლოთი (ნახ. 1). იგი დედამიწის ბრუნვის P_nP_e ღერძი არ არის.

მოცემული სივრცისათვის საუკეთესოდ შერჩეული რადიუსი (2.2.1.11) ფორმულის მსგავსად გამოითვლება დამოკიდებულებით:

$$R_0 = \sqrt{M_0 N_0}, \quad (2.2.4.1)$$

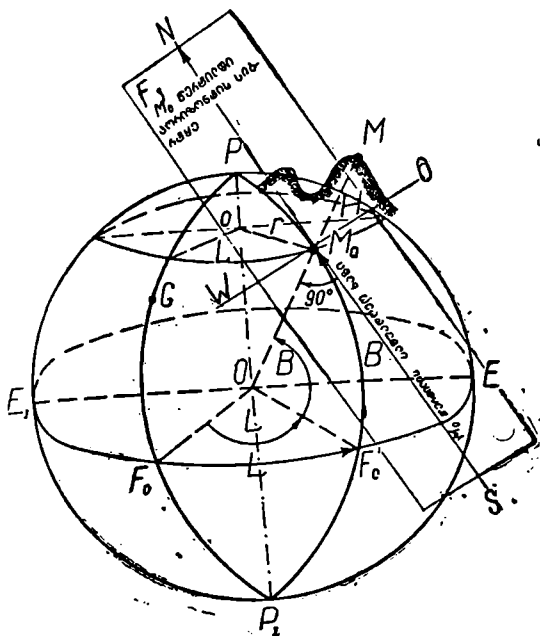
სადაც M_0 , N_0 — განხილავი სივრცის ცენტრის შესაბამისი რეფერენც-ელიფსოიდის B_0 გეოდეზიური განედის მქონე წერტილის მთავარ ნორმალ კვეთილობათა (მერიდიანისა და მთავარი ვერტიკალის) სიმრუდის რადიუსებია. მათი ოდენობები გამოითვლება (2.2.1.7) ფორმულების ანალოგიურად:

$$M_0 = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B_0)^{3/2}}, \quad N_0 = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 B_0)^{1/2}}, \quad (2.2.4.2)$$

სადაც $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$ — ექსცენტრისიტეტი

გარდა პოლუსებისა, ყველგან $N_0 > M_0$.

მაშასადამე, R_0 საუკეთესოდ შერჩეული რადიუსი წარმოადგენს M_0 და N_0 საშუალო გეომეტრიულს. R_0 რადიუსს დიდი გამოყენება აქვს გეოდეზიაში სფეროიდის დიდი ნაწილების სფეროზე ან სიბრტყეზე გამოსახვისათვის; სფეროიდის ზედაპირზე კონტინენტების ნახევარსფეროების რუკების, მათი ფარ-



606. 2.2.4.1

თობების და სფერული სიკვარბეების გამოთვლის დროს; მთავარი დასახლებული პუნქტების, მდინარეების ქსელების გამოსახვისათვის და სხვა. დადგენილია, რომ ცალკეული ადგილების გეომეტრიული სიდიდეები (სიგრძეები, კუთხეები, ფართობები) რედუცირებული რეფერენც-ელიფსოიდსა და შესაბამისად საუკეთესოდ შერჩეულ სფეროზე ურთიერთ საუგულეებელი ოდენობებით განსხვავდება.

შედარებით მცირე, დაახლოებით 200 კმ დიამეტრის მქონე სივრცეები პრაქტიკულად შეიძლება რედუცირებულ და დამუშავებულ იქნეს ერთიანი რადიუსის მქონე სფეროზე. ამ რადიუსს ანგარიშობენ სფეროსა და ელიფსოიდის სრული ზედაპირების ან მოცულობების ურთიერთ გატოლების გზით.

ქვეყნის კარტოგრაფირების საქმეში სფეროს ერთიანი რადიუსის გამოსათვლელად სფეროს სრულ ზედაპირს უტოლებენ კრასოვსკის ელიფსოიდის სრულ ზედაპირს.

$$4\pi R_F^3 = 2 \cdot 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} MN \cos B dB \approx 4\pi b^3 \left(1 + \frac{2}{3} e^2 + \frac{3}{5} e^4 + \frac{4}{7} e^6 + \frac{5}{9} e^8 + \dots \right) = 510083059,347 \text{ კმ}^3,$$

აქედან

$$R_F = \sqrt[3]{\int_0^{\frac{\pi}{2}} MN \cos B dB} = b \left(1 + \frac{2}{3} e^2 + \frac{3}{5} e^4 + \frac{4}{7} e^6 + \frac{5}{9} e^8 + \dots \right)^{1/3} = \left(\frac{510083059,347}{4\pi} \right)^{1/3} = 6371116,083 \text{ მ},$$

$$\lg R_F = 6.8042155,$$

სადაც M, N — კრასოვსკის ელიფსოიდის ნებისმიერი (B გეოდეზიური განედის მქონე) წერტილის მთავარ კვეთილობათა სიმრუდის რადიუსებია, რომლებიც გამოითვლება (2) ფორმულებით.
 $b = 6356863,019$ — კრასოვსკის ელიფსოიდის მცირე ნახევარღერძი (1.6.5.3 დამოკიდებულებები).

სხვადასხვა სახის გეოდეზიური ამოცანების გადასაწყვეტად იყენებენ ერთიანი რადიუსის იმ სფეროს, რომელიც გამოითვლება სფეროსა და კრასოვსკის ელიფსოიდის მოცულობების ურთიერთ გატოლებით.

$$\frac{4}{3} \pi R_V^3 = \frac{4}{3} \pi a^3 b,$$

აქედან

$$\left. \begin{aligned} R_V &= \sqrt[3]{a^3 b} = 6371109,694 \text{ მ} \approx 6371110 \text{ მ} \\ \lg R_V &= 6.8042151 \end{aligned} \right\} \quad (2.2.4.4)$$

ზოგჯერ ამჯობინებენ სფეროს რადიუსი მიიღონ საშუალო

$$R_{\text{საშ}} = \frac{a+a+b}{3} = 6371117,673 \text{ მ}. \quad (2.2.4.6)$$

ხშირად მიახლოებით გამოთვლების შესრულების დროს სფეროს რადიუსს იღებენ 6370 ან 6400 კმ.

დედამიწის, როგორც სფეროს, შესაბამისი რკალების მიახლოებით სიგრძეებია:

$$\left. \begin{aligned} \text{arc } 1^\circ &= \frac{1^\circ}{\rho^\circ} R = \frac{1^\circ}{57^\circ,3} 6370 \text{ კმ} \approx 111,17 \text{ კმ} \\ \text{arc } 1' &= \frac{1'}{\rho'} R = \frac{1'}{3438'} 6370 \text{ კმ} \approx 1853 \text{ მ} \\ \text{arc } 1'' &= \frac{1''}{\rho''} R = \frac{1''}{206265''} 6370 \text{ კმ} \approx 32 \text{ მ} \end{aligned} \right\} (2.2.4.6)$$

დედამიწის ხილული ზედაპირის ნამდვილ ოდენობას პრაქტიკულად ადგენენ ტოპოგრაფიულ რუკებზე უშუალოდ გაზომვების გზით.

2.2.5. მცირე ზომის სფერული სამკუთხედები და მათი ამოხსნა

მცირე ზომის სფერულ სამკუთხედებს უწოდებენ ისეთებს, რომელთაც მხოლოდ გვერდები აქვთ მცირე. მაგალითად, დედამიწის ფორმისა და სიდიდის ან ქვეყნის კარტოგრაფირებასთან დაკავშირებული აგეგმვებისათვის საჭირო საყრდენ პუნქტებს შორის მანძილები, ჩვეულებრივ, 30—40 კმ არ აღემატება. დედამიწის რადიუსთან შედარებით, რომლის სიგრძე დაახლოებით 6370 კმ, ასეთი სამკუთხედების მოხრილობა და გვერდები იქნება მცირე.

მცირე სფერული სამკუთხედების ამოხსნა (1.2) თავში მოყვანილი სფერული ტრიგონომეტრიის ფორმულებით მიზანშეუწონელია, რადგანაც იგი დაკავშირებულია ზოგიერთ უხერხულ აბასთან. მაგალითად, სფერული ტრიგონომეტრიის ფორმულებში სამკუთხედების გვერდები კუთაურ განზომილებებში შედის, რომელთაც გამოსახვენ რადიუსის ნაწილებში, საყრდენი ქსელის სამკუთხედთა გვერდები კი როგორც ტრიანგულაციაში, ისე ტრილატერაციაში (სამკუთხედებში გაზომილი გვერდებით კუთხეების განსაზღვრა) პრაქტიკულად ხაზოვან განზომილებაში გამოისახება. აგრეთვე, ზემოხსენებული ფორმულებით გამოთვლითი სამუშაოების შესრულება რთულდება იმის გამო, რომ ამ ფორმულებში საქმე გვექნება მცირე — არა უკეტეს 20' არგუმენტის ფუნქციებთან.

აღნიშნულ უხერხულობას ავიშორებთ, თუ მცირე ზომის სამკუთხედებს ტრიანგულაციაში და ტრილატერაციაში ამოვხსნით, როგორც ბრტყელს ლეჟანდრის თეორემის ან აღინტამენტების გამოყენებით.

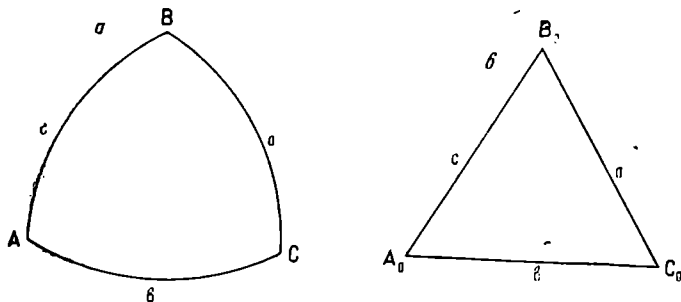
ა. ლეჟანდრის თეორემა

მცირე მოხრილობის ABC სფერული სამკუთხედის ყოველი კუთხე $\frac{\epsilon^0}{3}$ ოდენობით მეტია იმავე ზომის გვერდების მქონე ბრტყელი $A_0B_0C_0$ სამკუთხედის შესაბამის კუთხეებზე. მაშასადამე, ლეჟანდრის თეორემის საფუძველზე მცირე მოხრილობის სფერულ-

ლი სამკუთხედი შეიძლება ამოიხსნას როგორც ბრტყელი, მხოლოდ წინასწარ მისი ყოველი კუთხე უნდა შემციირდეს ამ სამკუთხედის სფერული სიქარბის მესამედით.

ლეჲანდრის თეორემის დასამტკიცებლად ავიღოთ a, b, c გვერდების მქონე ABC სფერული სამკუთხედი და იმავე a, b, c ზომის გვერდებიანი ბრტყელი (ნახ. 1) სამკუთხედი.

განხილად შემთხვევაში სფეროს R რადიუსს არ ვიღებთ ერთის ტოლად, როგორც ამას ეეშვებდით სფერული ტრიგონომეტრიის ძირითადი ფორმულა-



ნახ. 2.2.5.1

ლები გამოყვანის დროს, და გვერდების ოდენობები, რომლებიც მოცემული გვაქვს კუთხურ განზომილებაში, გამოვსახოთ ხაზოვან განზომილებებში $\left| \frac{a}{R}, \frac{b}{R}, \frac{c}{R} \right|$. აგრეთვე, ვთვლით რა ყოველი გვერდის ფარდობას დე-

დამიწის რადიუსთან პირველი რიგის მცირე სიდიდედ, თეორემის მტკიცების პირველ ეტაპზე (მწკრივებად დაშლის დროს) მეოთხე რიგის მომდევნო მცირე ოდენობებს უჯულებელვყოფთ, ხოლო მეორე ეტაპზე მეოთხე რიგის წევრებსაც აღარ ვიღებთ მხედველობაში.

დავწეროთ სფერული ABC სამკუთხედისათვის (1.2.8.1) დამოკიდებულუბების მიხედვით გვერდების კოსინუსების ფორმულა:

$$\cos \frac{a}{R} = \cos \frac{b}{R} \cos \frac{c}{R} + \sin \frac{b}{R} \sin \frac{c}{R} \cos A,$$

საიდანაც

$$\cos A = \frac{\cos \frac{a}{R} - \cos \frac{b}{R} \cos \frac{c}{R}}{\sin \frac{b}{R} \sin \frac{c}{R}}. \quad (A)$$

ასევე, ბრტყელი $A_0B_0C_0$ სამკუთხედისათვის კოსინუსების ფორმულიდან დავწერება

$$\cos A_0 = \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc}. \quad (B)$$

(A) და (B) ტოლობების საშუალებით განვსაზღვროთ სხვაობა $A - A_0$, როგორც ფუნქცია $A_0 B_0 C_0$ ბრტყელი სამკუთხედის ელემენტებისა. ამისათვის პირველ რიგში დავშალოთ მწკრივებად (A) ტოლობის მარჯვენა ნაწილი, სიმცირის გამო მეოთხე რიგის მომდევნო წევრების უგულებელყოფით

$$\cos A = \frac{\left(1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4}\right) - \left(1 - \frac{b^2}{2R^2} + \frac{b^4}{24R^4}\right) \left(1 - \frac{c^2}{2R^2} + \frac{c^4}{24R^4}\right)}{\left(\frac{b}{R} - \frac{b^3}{6R^3}\right) \left(\frac{c}{R} - \frac{c^3}{6R^3}\right)}$$

მრიცხველსა და მნიშვნელში ფრჩხილების გახსნისა, მეოთხე რიგის მომდევნო წევრების უგულებელყოფისა და საერთო ნამრავლის ფრჩხილებს გარეთ გამოტანით მივიღებთ:

$$\cos A \approx \frac{\frac{1}{2R^2}(-a^2 + b^2 + c^2) + \frac{1}{24R^4}(a^4 - b^4 - c^4 - 6b^2c^2)}{\frac{bc}{R^2} \left(1 - \frac{b^2 + c^2}{6R^2}\right)}$$

ახლა უკვე მეოთხე რიგის მცირე სიდიდეთა უგულებელყოფით შეიძლება მივიღოთ

$$\left(1 - \frac{b^2 + c^2}{6R^2}\right)^{-1} \approx 1 + \frac{b^2 + c^2}{6R^2}$$

მაშასადამე, დასაშვებია სიზუსტის ფარგლებში, ანუ მეოთხე რიგის მცირე ოდენობების უგულებელყოფით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \cos A &= \left(\frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} + \frac{a^4 - b^4 - c^4 - 6b^2c^2}{24R^2bc}\right) \left(1 + \frac{b^2 + c^2}{6R^2}\right) = \\ &= \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} + \frac{a^4 - b^4 - c^4 - 6b^2c^2}{24R^2bc} + \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} \cdot \frac{b^2 + c^2}{6R^2} = \\ &= \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} + \frac{a^4 + b^4 + c^4 - 2a^2b^2 - 2a^2c^2 + 2b^2c^2 - 4b^2c^2}{24R^2bc} = \\ &= \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{2bc} + \frac{(-a^2 + b^2 + c^2)^2 - 4b^2c^2}{24R^2bc} \end{aligned} \quad (C)$$

(C) და (B) ტოლობების სხვაობით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \cos A - \cos A_0 &= \frac{(-a^2 + b^2 + c^2)^2 - 4b^2c^2}{24R^2bc} = \\ &= -\frac{bc}{6R^2} \left(1 - \frac{(-a^2 + b^2 + c^2)^2}{4b^2c^2}\right) \end{aligned}$$

მიღებული ტოლობების მარჯვენა ნაწილში თუ გამოვიყენებთ (B) ტოლობას მივიღებთ

$$\cos A - \cos A_0 = -\frac{bc}{6R^2} (1 - \cos^2 A_0) = -\frac{bc}{6R^2} \sin^2 A_0 \quad (D)$$

(D) ტოლობის მარცხენა ნაწილის მიმართ სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიიდან კოსინუსების სხვაობის ფორმულის მიხედვით დავწერთ

$$\begin{aligned} \cos A - \cos A_0 &= -2 \sin \frac{A+A_0}{2} \sin \frac{A-A_0}{2} = \\ &= -2 \sin \frac{A-A_0}{2} \sin \left(A_0 - \frac{A_0-A}{2} \right). \end{aligned} \quad (E)$$

ვიღებთ რა მხედველობაში იმას, რომ $A-A_0$ არის მცირე ოდენობა, რომელიც არ გადასცილდება π სფერულ სივარტეს და, მაშასადამე, სამკუთხედის გვერდებთან შედარებით იგი ითვლება მერე რიგის მცირე ოდენობად, ამიტომ დაშვებული სიზუსტის ფარგლებში ვიღებთ, რომ $2 \sin \frac{A-A_0}{2} \approx \frac{A-A_0}{\rho''}$ და $\sin \left(A_0 - \frac{A_0-A}{2} \right) \approx \sin A_0$, ე. ი. (E) ტოლობის მარჯვენა მხარე მიიღებს გამარტივებულ სახეს, გამოსახულს განყენებულ განზომილებაში (რადიანებში) და დაწერება

$$\cos A - \cos A_0 = -\frac{1}{\rho''} (A-A_0) \sin A_0.$$

თუ (D) ტოლობაში შევიტანთ კოსინუსების სხვაობის ამ მნიშვნელობას და ამავე დროს მიღებულ ტოლობას შევკვეცავთ $\sin A_0$ -ზე, მივიღებთ:

$$A-A_0 = \frac{\rho''}{3} \cdot \frac{bc}{2R^2} \sin A_0 = \frac{\rho''}{3} \frac{F_0}{R^2}, \quad (F)$$

სადაც

$$F_0 = \frac{bc}{2} \sin A_0 \quad \text{აბ} \quad F_0 = \frac{b^3 \sin A_0 \sin C_0}{2 \sin B_0}$$

არის $A_0 B_0 C_0$ ბრტყელი სამკუთხედის ფართობი.

(F) გამოსახულების ანალოგიურად მიიღება ორი დანარჩენი კუთხეების სხვაობები და დავწერთ:

$$\left. \begin{aligned} A-A_0 &= \frac{\rho''}{3} \frac{bc}{2R^2} \sin A_0 = \frac{\rho''}{3} \frac{F_0}{R^2} \\ B-B_0 &= \frac{\rho''}{3} \frac{ac}{2R^2} \sin B_0 = \frac{\rho''}{3} \frac{F_0}{R^2} \\ C-C_0 &= \frac{\rho''}{3} \frac{ab}{2R^2} \sin C_0 = \frac{\rho''}{3} \frac{F_0}{R^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.2.5.1)$$

მიღებული ტოლობები შევკრიბოთ, მივიღებთ

$$(A+B+C) - (A_0+B_0+C_0) = \rho'' \frac{F_0}{R^2}. \quad (2.2.5.2)$$

ცნობილია, რომ

$$A_0 + B_0 + C_0 = 180^\circ.$$

მაშასადამე, სფერული სიჭარბის (1.2.6.8) ფორმულის მხედველობაში მიღებით და ყოველ წევრზე მეოთხე რიგის შეცდომათა დაშვებით (2) ტოლობა გადაიწერება ასე:

$$A+B+C-180^\circ = \varepsilon'' = \rho'' \frac{F_0}{R^2} = \rho'' \frac{bc}{2R^2} \sin A_0. \quad (2.2.5.3)$$

როგორც ვხედავთ (1.2.7.7) ფორმულით განსაზღვრული P_{ABC} სფერული სამკუთხედის ფართობს დასაშვები სიზუსტის ფარგლებში გავუტოლოთ ბრტყელი F_0 სამკუთხედის ფართობი, რითაც მივიღეთ (1.2.7.9) ტოლობით გამოსახელი სფერული სიჭარბის ეკვივალენტური სიდიდე. მაშასადამე, (1) და (3) ტოლობების შედარებით მივიღებთ ლეჟანდრის თეორემის დამადასტურებელ ფორმულას:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= A - \frac{1}{3} \varepsilon'' \\ B_0 &= B - \frac{1}{3} \varepsilon'' \\ C_0 &= C - \frac{1}{3} \varepsilon'' \end{aligned} \right\}. \quad (2.2.5.4)$$

A_0, B_0, C_0 კუთხეებს უწოდებენ ბრტყელ დაყვანილ კუთხეებს.

სამკუთხედების გვერდების სიგრძეები, რომ 60 კმ აღწევდეს, მეოთხე რიგის ოდენობა კუთხურ განზომილებაში დაახლოებით იქნება

$$\rho'' \left(\frac{60}{6370} \right)^4 \approx \left(\frac{1}{100} \right)^4 200000'' \approx 0'',002.$$

მივიღოთ აღნიშვნა

$$f = \frac{\rho''}{2R^2}, \quad (2.2.5.5)$$

სადაც R არის სამკუთხედის სიშრულის საშუალო რადიუსი, განსაზღვრული (1.2.7.7) ფორმულით და მისი სიდიდე დამოკიდებულია პოლაროიდან სამკუთხედის დაშორებაზე. f ოდენობები ამ დაშორებების მიხედვით მოცემულია სხვადასხვა ცხრილებში. ადგილის საშუალო B განედისათვის, მაგალითად, საქართველოს ტერიტორიის სამკუთხედში საშუალოდ $B=42^\circ 00'$ განედისათვის

$$\lg f = 1.4043. \quad (2.2.5.5')$$

ამ აღნიშვნის გამოყენებით და (3) ტოლობის მიხედვით დაიწერება მცირე მოხრილობის სამკუთხედის სფერული სიჭარბის გამოსათვლელი ფორმულა

$$\varepsilon = f bc \sin A_0. \quad (2.2.5.6)$$

ლეჟანდრის თეორემის დიდი ღირსება იმაშია, რომ მცირე ანუ მცირე მოხრილობის სფერული სამკუთხედების ამოხსნისათვის იგი საშუალებას გვაძლევს ვისარგებლოთ სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის ფორმულებით, ანუ სამკუთხედები მიიღება წრფეების მქონე გვერდებიან სიბრტყეებად. ამისათვის პირველ რიგში (6) ფორმულით უნდა განვსაზღვროთ ε სფერული სიჭარბე,

შემდეგ (4) ფორმულებით განისაზღვრება ბრტყელი სამკუთხედის A_0, B_0, C_0 კუთხეები და ბოლოს ამოიხსნება $A_0 B_0 C_0$ სამკუთხედი სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის ფორმულებით. მაგრამ, თუ დავაკვირდებით (6) და (4) ტოლობებს, ვნახავთ, რომ წინააღმდეგობას აქვს ადგილი, რადგანაც უცნობის უცნობით განსაზღვრასთან გვექნება საქმე. მართლაც (6) ტოლობაში შედის A_0 , რომელიც (4) ტოლობაში უნდა იქნეს განსაზღვრული. ამიტომ ε განსაზღვრისათვის (6) ტოლობაში შევიტანთ A სფერულ კუთხეს, რითაც წარმოიშობა დამატებითი შეცდომა ε სიქარბის განსაზღვრაში, რომელიც სამკუთხედების გვერდების 90 კმ ოდენობის დროს, სადაც $\varepsilon < 16''$, საუგულებელყოფო ოდენობაა, რადგანაც იგი არ აღემატება $0'',004$. მაშასადამე, ზემოთ თქმულის გამო დავსკვნით, რომ იმ სამკუთხედების სფერულ სიქარბეს, რომელთა გვერდები ჩვეულებრივ არ გადასცილდება 60—90 კმ და რომლის სფერული სიქარბეები სულ რამდენიმე სექუნდაა (მაგალითად, სამკუთხედის ერთი კვადრატული კილომეტრის ფართობს დაახლოებით შეესაბამება $0'',005$), ვითვლით ფორმულით

$$\varepsilon = f bc \sin A, \quad (2.2.5.7)$$

სადაც წინასწარ ვსაზღვრავთ გვერდებს სფერული კუთხეების მქონე ბრტყელი სამკუთხედის ამოხსნით. (7) ფორმულის ნაცვლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს (1.2.11.2), (1.2.11.3), (1.2.11.4) ფორმულები შესაძლებლობის მიხედვით, ხოლო მათში, ისევე როგორც ითქვა, ჩაისმება სფერული სამკუთხედის გვერდები და კუთხეები. ამით, როგორც ვთქვით, მართალია, წარმოიშობა დამატებითი შეცდომები, მაგრამ 80—90 კმ გვერდების მქონე სამკუთხედში ეს შეცდომები უგულებელყოფილი უნდა იქნეს.

საერთოდ უნდა შევნიშნოთ, რომ როდესაც ცნობილია სფერული სამკუთხედის გაზომილი (გაუწონასწორებელი) სამივე კუთხე, მაშინ ზემოხსენებული ფორმულებით სფერული სიქარბის განსაზღვრა საჭირო არ არის და ლეჟანდრის თეორემისათვის საჭირო გამოთვლებს აწარმოებენ ფორმულებით:

$$W + \varepsilon = A + B + C - 180'', \quad (2.2.5.8)$$

სადაც W — სამკუთხედის შეუკვრელობაა.

შემდეგ აწარმოებენ გამოთვლებს

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= A - \frac{W + \varepsilon}{3} \\ B_0 &= B - \frac{W + \varepsilon}{3} \\ C_0 &= C - \frac{W + \varepsilon}{3} \end{aligned} \right\}. \quad (2.2.5.9)$$

ამ შემთხვევაში (7) ფორმულით ε გამოთვლა საჭიროა მხოლოდ იმიტომ, რომ განისაზღვროს სამკუთხედის W შეუკვრელობა. ε ოდენობის გამოთვლა საკმარისია ოთხნიშნა ლოგარითმების საშუალებით.

მაგალითი 2.2.5.1. სამკუთხედის გაზომილი კუთხეების ოდენობები მოცემულია (1) სქემის მეორე სვეტში. გვერდების ლოგარითმები კი — მეექვსეში.

სამკუთხედის წვეროები	გაზომილი სფერული კუთხეები	$-\frac{W+\varepsilon}{3}$	ბრტყელი სამკუთხედის (დაყვანილი) კუთხეები (A_0, B_0, C_0)	ბრტყელი სამკუთხედის კუთხის სინუსების ლოგარითმები	გვერდების ლოგარითმები
1	2	3	4	5	6
A	65° 06' 51",45	-0",34	65° 06' 51",11	9.95767629	4.55197630
B	53° 08' 30",42	-0",34	53° 08' 30",08	9.90315583	4.49738384
C	61° 44' 39",15	-0",34	61° 44' 38",81	9.94489808	4.53912607
	180° 00' 01",02	-1",02			

1. W სამკუთხედის შეუკვრელობისა და ε სფერული სიჭარბის ჯამი გამოითვლება (8) ფორმულით. სქემის მეორე სვეტის მიხედვით

$$W + \varepsilon = 180^\circ 00' 01",02 - 180^\circ = +1",02; \quad (a)$$

2. მიღებული ოდენობა (სქემის მესამე სვეტი) შებრუნებული ნიშნით განაწილება სამივე კუთხეებზე და გაწონასწორებული და დაყვანილი კუთხეები ჩაიწერება სქემის მეოთხე სვეტში;

3. (7) ფორმულით განისაზღვრება სფერული სიჭარბე საშუალო $B = 42^\circ 00'$ განედისათვის, რისთვისაც (5') დამოკიდებულებების გამოყენებით ($\lg f = 1.4043$) გვერდებისა და კუთხეების სინუსის ლოგარითმები ამოიღება (1) ცხრილიდან ოთხნიშნამდე დამრგვალებით

$$\begin{aligned} \lg e &= \lg f + \lg b + \lg c + \lg \sin A = 1.4043 \\ &4.4974 \\ &4.5391 \\ &9.9577 \\ &\hline &0.3985 \end{aligned}$$

მაშასადამე, $\varepsilon = 2",50$.

4. (a) ტოლობის მიხედვით სამკუთხედის შეუკვრელობა (კუთხეების გაზომვის შეცდომა)

$$W = +1",02 - \varepsilon = 1",02 - 2,50 = -1",48.$$

B. ადიტამენტების ხეჩი

ამ ხეჩით სფერული სამკუთხედი დაიყვანება ბრტყელ სამკუთხედამდე არა სფერული კუთხეების შემცირებით და გვერდების უცვლელად დატოვების გზით (ისე, როგორც ეს ხდება ლეჟანდრის თეორემით), არამედ გამოსავალი გვერდის ლოგარითმის შემცირებით და კუთხეების უცვლელად დატოვების გზით. გვერდის ამ ლოგარითმულ მამცირს ადიტამენტს უწოდებენ. მაშასადამე, გამოსავალი გვერდის ლოგარითმს აკლდება მისი ადიტამენტი და როგორც ბრტყელი სამკუთხედი ისე გამოითვლება საჭირო გვერდი. საბოლოოდ გამოთვლილ გვერდს ემატება თავისი ადიტამენტი.

ვთქვათ, R რადიუსის შესაბამის სფერული ABC სამკუთხედის ცნობილი A, B კუთხეებით და b გვერდით საჭიროა a გვერდის განსაზღვრა.

სინუსების (1.2.8.3) თეორემის მიხედვით:

$$\sin \frac{a}{R} = \sin \frac{b}{R} \frac{\sin A}{\sin B}. \quad (a)$$

(a) ტოლობის გვერდის სინუსების მწკრივად დაშლით და მესამე რიგის მომდევნო მცირე წევრების უგულვებელყოფით მივიღებთ:

$$\frac{a}{R} - \frac{a^3}{6R^3} = \left(\frac{b}{R} - \frac{b^3}{6R^3} \right) \frac{\sin A}{\sin B},$$

ამ ტოლობის R -ზე გადამრავლებით მივიღებთ:

$$a \left(1 - \frac{a^2}{6R^2} \right) = b \left(1 - \frac{b^2}{6R^2} \right) \frac{\sin A}{\sin B};$$

გალოგარიტმებით კი გვექნება:

$$\lg a + \lg \left(1 - \frac{a^2}{6R^2} \right) = \lg b + \lg \left(1 - \frac{b^2}{6R^2} \right) + \lg \frac{\sin A}{\sin B}. \quad (b)$$

(b) ტოლობაში სხვაობის ლოგარიტმების მწკრივებად დაშლით და დაშლის პირველი წევრების შენარჩუნებით დავწერთ:

$$\lg a - M_{10} \frac{a^2}{6R^2} = \lg b - M_{10} \frac{b^2}{6R^2} + \lg \frac{\sin A}{\sin B}, \quad (c)$$

სადაც $M_{10} = 0,43429$ — ათობითი ლოგარიტმის მოდულია.

აღვნიშნოთ:

$$\left. \begin{aligned} M_{10} \frac{a^2}{6R^2} &= A_a \\ M_{10} \frac{b^2}{6R^2} &= A_b \\ M_{10} \frac{c^2}{6R^2} &= A_c \end{aligned} \right\}, \quad (2.2.5.10)$$

სადაც A_a არის a გვერდის ლოგარიტმული მამცირი ანუ ადიტანენტი,

A_b — b გვერდის ლოგარიტმული მამცირი ანუ ადიტანენტი,

A_c — c გვერდის ლოგარიტმული მამცირი ანუ ადიტანენტი.

მაშასადამე, (c) ტოლობა მიიღებს სახეს:

$$\lg a - A_a = \lg b - A_b + \lg \frac{\sin A}{\sin B}. \quad (d)$$

აღვნიშნოთ სფერული სამკუთხედის ბრტყელამდე დაყვანილი გვერდები ინდექსებით, მაშინ დავწერთ

$$\left. \begin{aligned} \lg a_0 &= \lg a - A_a \\ \lg b_0 &= \lg b - A_b \\ \lg c_0 &= \lg c - A_c \end{aligned} \right\}. \quad (2.2.5.11)$$

მაშასადამე, (d) გადაიწერება ასე

$$\lg a_0 = \lg b_0 \frac{\sin A}{\sin B}, \quad \lg c_0 = \lg b_0 \frac{\sin C}{\sin B}. \quad (2.2.5.12)$$

(11) ტოლობებიდან კი დავწერთ

$$\left. \begin{aligned} \lg a &= \lg a_0 + A_0 \\ \lg b &= \lg b_0 + A_1 \\ \lg c &= \lg c_0 + A_2 \end{aligned} \right\}. \quad (2.2.5.13)$$

მაშასადამე, როცა გამოსავალია რომელიმე, ვთქვათ, b გვერდი: 1) (11) დამოკიდებულებით განისაზღვრება $\lg b_0$, 2) (12) დამოკიდებულებით ანუ გამოსავალი გვერდის შესწორებული მნიშვნელობით და შეუცვლელი (გაწონასწორებული) სფერული კუთხეებით გამოითვლება ბრტყელი სამკუთხედის ბრტყელამდე დაყვანილი კუთხეების ლოგარიტმები, 3) (13) ფორმულებით, ანუ (11) და (12) დამოკიდებულებებით, მიღებული ლოგარიტმები შესწორდება სათანადო ადიტამენტებით, რითაც მიიღება სამკუთხედების გვერდების ოდენობები. ამისათვის კი საჭიროა სათანადო ადიტამენტების წინასწარ გამოთვლა, რაც, თავის მხრივ, საჭიროებს W შეუცვრელობისა, ε სფერული სიქარბისა და სხვა მონაცემების დადგენას. მაგალითად, ზემოგანხილული (1) მაგალითის ამოხსნა ადიტამენტების გამოყენებით უნდა შესრულდეს შემდეგი თანამიმდევრობით:

პირველ რიგში საჭიროა შესრულდეს ლეჟანდრის თეორემის მიხედვით (1) მაგალითისათვის შესრულებული ოთხივე საფეხური და შემდეგ გაწონასწორდეს W შეუცვრელობის მიხედვით სფერული კუთხეები.

მაშასადამე, მეხუთე მოქმედებები იქნება (სქემა 2):

$$\begin{aligned} A_{\text{გან}} &= 65^{\circ} 06' 51",45 + 0",493 = 65^{\circ} 06' 51",943, \\ B_{\text{გან}} &= 53^{\circ} 08' 30",42 + 0",493 = 53^{\circ} 08' 30",913, \\ C_{\text{გან}} &= 61^{\circ} 44' 39",15 + 0",494 = 61^{\circ} 44' 39",644, \end{aligned}$$

$$\underline{A_{\text{გან}} + B_{\text{გან}} + C_{\text{გან}} = 180^{\circ} 00' 01",02 + 01",48 = 180^{\circ} 00' 02",500.}$$

6. $\lg \sin A_{\text{გან}} = 9.957\ 67910,$

$\lg \sin B_{\text{გან}} = 9.903\ 15714,$

$\lg \sin C_{\text{გან}} = 9.944\ 89900.$

7. b გვერდის ადიტამენტების გამოთვლა (10) ფორმულით

$$A_b = \frac{M_{10} \cdot b^3 \cdot 10^8}{6R^3}, \quad R = \sqrt{MN} = 6376400 \text{ მ.}$$

ანუ

$$\begin{aligned} \lg A_b &= \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg b = 6.85963 \\ &\quad 6.39091 \\ &\quad 8.99477 \\ &\quad \underline{\quad\quad\quad} \\ &\quad 2.24531 \end{aligned}$$

მაშასადამე,

$$A_b = 175,9 \approx 176 \approx 0.0000176.$$

8. (11) ტოლობიდან განესაზღვრავთ

$$\begin{array}{r} \lg b_0 = \lg b - A_b = 4.49738384 \\ \underline{ 0.00000176} \\ 4.49738208 \end{array}$$

9. (12) ტოლობიდან

$$\begin{array}{r} \lg a_0 = \lg b_0 + \lg \sin A_0 - \lg \sin B_0 = 4.49738208 \\ + \\ \underline{ 9.95767910} \\ 14.45506118 \\ - \\ \underline{ 9.90315714} \\ 4.55190404 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \lg c_0 = \lg b_0 + \lg \sin C_0 - \lg \sin B_0 = 4.49738208 \\ + \\ \underline{ 9.94489900} \\ 14.44228108 \\ - \\ \underline{ 9.90315714} \\ 4.53912394 \end{array}$$

10. a და c გვერდის ადიტამენტის გამოთვლა (10) ფორმულით

$$\begin{array}{r} \lg A_a = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg a = 6.85963 \\ \phantom{\lg A_a = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg a = 6.85963} + \\ \phantom{\lg A_a = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg a = 6.85963} \underline{ 6.39091} \\ \phantom{\lg A_a = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg a = 6.85963} \underline{ 9.10381} \\ \phantom{\lg A_a = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg a = 6.85963} \underline{ 2.35435}, \text{ ე. ი. } A_a = 0.00000226 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \lg A_c = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg c = 6.85963 \\ \phantom{\lg A_c = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg c = 6.85963} + \\ \phantom{\lg A_c = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg c = 6.85963} \underline{ 6.39091} \\ \phantom{\lg A_c = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg c = 6.85963} \underline{ 9.07826} \\ \phantom{\lg A_c = \lg \frac{M_{10} \cdot 10^8}{6} + \lg \frac{1}{R^2} + 2 \lg c = 6.85963} \underline{ 2.32880}, \text{ ე. ი. } A_c = 0,00000213 \end{array}$$

11. (13) დამოკიდებულების მიხედვით.

$$\begin{array}{r} \lg a = \lg a_0 + A_a = 4.55190404 \\ + \\ \underline{ 226} \\ 4.55190630 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \lg c = \lg c_0 + A_c = 4.53912394 \\ + \\ \underline{ 213} \\ 4.53912607 \end{array}$$

სამკუთხედის წვერობი და შესაბამისი გვერდები	გზომილი სფერული კუთხეები	გაწინასწარებისათვის შესწორებები, $-\frac{W}{3}$	გაწინასწარებული სფერული კუთხეები	სფერული კუთხეების სინუსების ლოგარითმები	ბრტყელი სამკუთხედის სინუსების ლოგარითმები $\lg A, \lg B, \lg C$	აღიტანვები A_0, A_1, A_2	სფერული სამკუთხედის გვერდების ლოგარითმები
A-a	65°06'51",45	+0,493	65°06'51",943	9.95767910	4.55190404	226	4.55190630
B-b	53 08 30,42	+0,493	53 08 30,913	9.90315714	4.49738208	176	4.49738384
C-c	61 44 39,15	+0,494	61 44 39,644	9.94489900	4.53912394	213	4.53912607

$$R = \sqrt{MN} = 6376400 \text{ მ.}$$

2.2.6. ელემენტარული სფერული სამკუთხედები და მათი ამოხსნა

ელემენტარული სფერული სამკუთხედები ორი სახის შეიძლება იყოს. პირველი სახის ელემენტარული სფერული სამკუთხედის გვერდები სფეროს რადიუსთან შედარებით უაღრესად მცირეა და კუთხეები კი სასრულო ოდენობებია. ასეთი სახის სფერულ სამკუთხედებს პრაქტიკულად საკმარის სიზუსტის ფარგლებში იღებენ როგორც ბრტყელს და მას ამოხსნიან სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის ფორმულებით.

მეორე სახის ელემენტარულ სფერულ სამკუთხედს მხოლოდ ერთ-ერთი გვერდი და მისი შესაბამისი კუთხე აქვს უაღრესად მცირე. ასეთი სფერული სამკუთხედი ბრტყელ სამკუთხედად არ შეიძლება მივიღოთ. ცხადია, იგი შეიძლება ამოხსნილ იქნეს როგორც (1.2.8) სფერული სამკუთხედების ამოხსნის ძირითადი, ისე (1.2.9) პარაგრაფებში მოყვანილი ირიბკუთხა სამკუთხედების ამოხსნის ნიშნულად. მაგრამ უფრო მიზანშეწონილად ითვლება ასეთი სამკუთხედის ამოხსნა ორ ეტაპად, რისთვისაც მოცემულ სფერულ სამკუთხედს ჰყოფენ ორ ელემენტარულ სამკუთხედად. მაგალითად (ნახ. 1), ABC სფერული ელემენტარული სამკუთხედი, რომელსაც a გვერდი და A კუთხე აქვს უაღრესად მცირე, B წვეროდან b გვერდისადმი დაშვებული მართობი BD დიდი წრის რკალით გაყოფილია BCD და ABD ელემენტარულ სამკუთხედებად. ამათგან BCD სამკუთხედს აქვს ყველა გვერდი უაღრესად მცირე და ამიტომ, როგორც პირველი სახის ელემენტარულ სამკუთხედს ამოხსნიან როგორც ბრტყელს სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის ფორმულებით. ABD სამკუთხედს კი, რომელსაც მხოლოდ ერთი h გვერდი და შესაბამისი A კუთხე აქვს უაღრესად მცირე, მიაკუთვნებენ მეორე სახის

სფერულ ელემენტარულ სამკუთხედს და ამოხსნიან (1.2.8:7) მართკუთხა სფერული სამკუთხედების ამოსახსნელი ფორმულებით, სადაც ითვალისწინებენ h გვერდისა და A კუთხის სიმცირეს.

ვთქვათ, ABC ელემენტარულ სამკუთხედში (ნახ. 1) სპეროა ცნობილი b , c გვერდებით და მათ შორის A კუთხით ამოხსნას a გვერდი და B და C კუთხე.

პირველ რიგში ამოვხსნით ABD სამკუთხედს, რისთვისაც (1.2.8.7) ფორმულიდან ცნობილი c გვერდისა (ჰიპოტენუზისა) და მიმდებარე A კუთხისათვის (1.2.8.7) დამოკიდებულებების 8, 2, 6 ტოლობების შესაბამისად დავწერთ

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} n &= \operatorname{tg} c \cos A \\ \operatorname{ctg} \alpha &= \operatorname{tg} A \cos C \\ \sin h &= \sin c \sin A \end{aligned} \right\} \quad (2.2.6.1)$$

h და A ელემენტის უარესად სიმცირის გამო პრაქტიკის მრავალ შემთხვევაში იღებენ ([35], § 7)

$$\left. \begin{aligned} \cos A &\approx 1; \quad \sin A \approx \operatorname{tg} A \approx A; \\ \sin h &= h, \end{aligned} \right\} \quad (2.2.6.2)$$

რის შედეგად (1) შეიცვლება შემდეგნაირად:

$$\left. \begin{aligned} n &= c \\ \operatorname{ctg} \alpha &= A \cos C \\ h &= A \sin c \end{aligned} \right\} \quad (2.2.6.3)$$

შემდეგ (3) ტოლობით განსაზღვრული და მოცემული სიდიდეებით გამოითვლება გვერდი

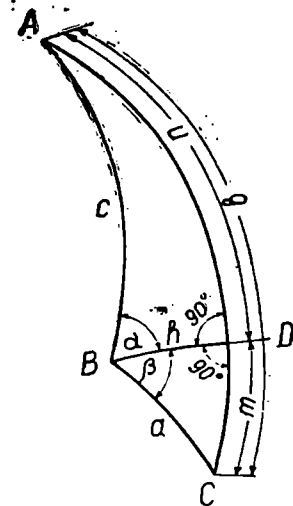
$$m = b - n = b - c. \quad (2.2.6.4)$$

მეორე ეტაპზე ამოიხსნება BCD ელემენტარული სამკუთხედი ბრტყელი სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრიის ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} C &= \frac{h}{m} \\ \beta &= 90^\circ - C \\ a &= \frac{h}{\sin C} = \frac{m}{\sin \beta} \end{aligned} \right\} \quad (2.2.6.5)$$

და ბოლოს განესაზღვრავეთ

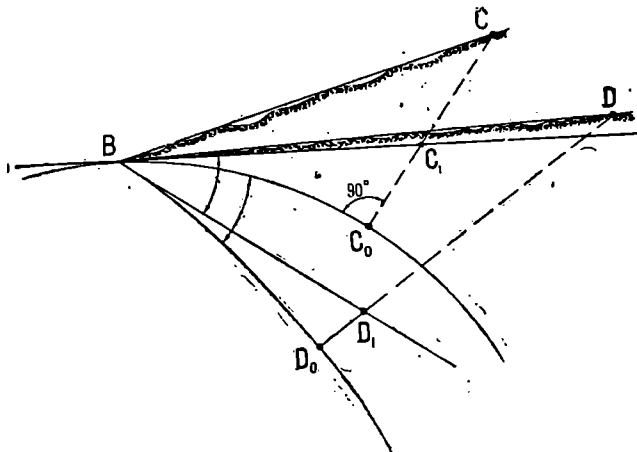
$$B = \alpha + \beta. \quad (2.2.6.6)$$



ნახ. 2.2.6.1

2.2.7 სფერული გეგმილთ ზედაპირის ნაწილი, რომელიც მიიღება სიბრტყედ და, მასთან დაკავშირებული დამახინჯებები

განხილავთ ფიზიკური CBD ზედაპირის რომელიმე წერტილში გატარებული გეგმილთ ზედაპირი შეიძლება იყოს სფეროიდული, სფერული ან სიბრტყე. მაშასადამე, მათზე ორთოგონალურად დაგეგმილებული განაზომები იქნება ჰორიზონტალური (გეოიდური, კვაზიგეოიდური, სფეროიდული, სფერული) ან ჰორიზონტული (თარაზული) ანუ ბრტყელი. მათ ვუწოდოთ ქვედებულები. მათ ქვედებულს ვუწოდებთ ადგილის გეგმილს მის რომელიმე წერტილში გატარებულ გეგმილთ ზედაპირზე. (1) ნახაზე BC და BD ხაზის სფერული, ანუ ჰორიზონტალური, ქვედებულია BC_0 და BD_0 , ხოლო, შესაბამისად, იგივე ხაზების ბრტყელი, ანუ ჰორიზონ-



ნახ. 2.2.7.1

ტული (თარაზული) ქვედებულებია BC_1 და BD_1 . ასევე, CBD სივრცითი კუთხის სფერული ქვედებულია C_0BD_0 კუთხე, ხოლო ბრტყელი ქვედებულია C_1BD_1 კუთხე. C_0BD_0 კუთხე იქნება ბრტყელი C_1BD_1 კუთხის ოდენობის ტოლი, რადგანაც სფერული კუთხის საზომია მის წვეროში გვერდებისადმი მხებებს შორის კუთხე.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, პიორელი გამარტივების შემთხვევაში, ანუ მაშინ, როცა გეგმილთ ზედაპირად სფეროს ზედაპირს ვიღებთ, საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ დამახინჯება, რადგანაც სხვადასხვა ხაზების სფერული ქვედებულები მიიღება სხვადასხვა ოდენობებით შემცირებული, ხოლო კუთხეების სფერული ქვედებულები ზოგი გადიდებული და ზოგი შემცირებული იქნება.

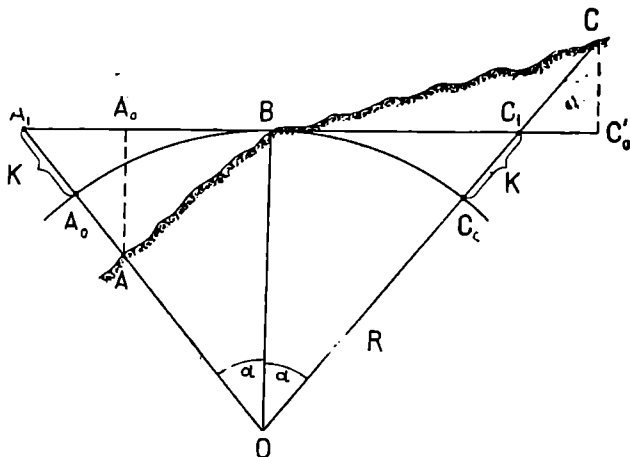
ახლა განვიხილოთ საკითხი მეორე გამარტივების შესახებ, ანუ რას ედრება თარაზული და ვერტიკალური დამახინჯების ოდენობა, როცა ადგილის სფერული (ჰორიზონტალური) ქვედებულების ნაცვლად მივიღებთ მის ჰორი-

ზონტულ (თარაზულ) ქვედებულებს. მაშასადამე, შევისწავლოთ საკითხი სივრცის რა ნაწილზე შეიძლება შეეული ხაზები მივიღოთ ურთიერთპარალელურად.

4. თარაზული ღამახინჯება

ვთქვათ, დედამიწის ABC ფიზიკური ზედაპირის სფერული ქვედებულება R რადიუსის მქონე $A_0BC_0=l$ რკალი, ხოლო იმავე ზედაპირის თარაზული ქვედებულება $A_1BC_1=t$ მონაკვეთი. ორივე შემთხვევაში დაგეგმილება ხდება ცენტრალური წესით (ცენტრად მიღებულია დედამიწის O ცენტრი).

გამოვიყენოთ ფორმულა იმ ხაზოვანი განსხვავების გამოსათვლელად, რომელსაც მივიღებთ, თუ გვემართ ზედაპირად გამოვიყენებთ არა l რკალის შესაბამის სფერულ ზედაპირს, არამედ t მხების შესაბამის თარაზულ სი-



ნახ. 2.27.2

ბრტყეს. ამისათვის განესაზღვროთ t ბრტყელ ქვედებულსა და l სფერულ ქვედებულს შორის სხვაობა. ნახაზის მიხედვით დაწერეთ:

$$\delta = t - l = 2R \operatorname{tg} \alpha - 2R \alpha = 2R (\operatorname{tg} \alpha - \alpha) = 2R \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3} + \dots - \alpha \right) = 2R \frac{\alpha^3}{3},$$

სადაც l რკალის შესაბამისი ცენტრალური კუთხე α გამოსახულია რადიანებში¹, ე. ო.

$$\alpha = \frac{l}{2R}.$$

¹ საერთოდ, როდესაც კუთხეს აქვს ნულოვანი განზომილება, იგულისხმება, რომ ის გამოსახულია რადიანებში.

მაშასადამე,

$$\delta = 2R \frac{l^3}{24R^3} = \frac{l^3}{12R^2}. \quad (2.2.7.1)$$

ზ სხვაობის ფარდობითი ოდენობა კი გამოითვლება ფორმულით:

$$\frac{\delta}{l} = \frac{l^2}{12R^2}. \quad (2.2.7.2)$$

როგორც ვხედავთ, l ბრტყელი (პორიზონტული) ქვედებულის სიგრძე მეტია l სფერული (პორიზონტალური) ქვედებულის სიგრძეზე. (1) და (2) ფორმულების შესაბამისად შეიძლება შევადგინოთ ცხრილი (1), სადაც მიღებულია $R \approx 6370$ კმ.

ცხრილი 2.2.7.1

l კმ	δ სმ	$\frac{\delta}{l}$	l კმ	δ სმ	$\frac{\delta}{l}$
20	1,64	$\frac{1}{1218000}$	50	28,00	$\frac{1}{195000}$
30	5,55	$\frac{1}{541000}$	100	205,00	$\frac{1}{49000}$
40	13,10	$\frac{1}{304000}$			

(1) ცხრილიდან ჩანს, რომ $l=20$ კმ. სფერული რკალის, ანუ ქვედებულის სიგრძეს თუ l მხებადა, ანუ ბრტყელ ქვედებულად მივიღებთ, ფარდობით შეცდომას დავუშვებთ $\frac{1}{1218000}$. ამავე დროს, ცნობილია, რომ თანამედროვე ტექნიკის მიღწევების შესაბამისად 10—20 კმ სიგრძეების უზუსტესი გაზომვები სრულდება $\frac{1}{1000000}$ სიზუსტით. ამიტომ 10' მერდიანის და 15'

პარალელის რკალის სფერული ტრაპეცია, რომელსაც სარტყელში შეესაბამება დაახლოებით 300—320 კვ. კმ, შეიძლება მიღებულ იქნეს როგორც თარაზული გეგმილთ სიბრტყე. აქვე აღვნიშნავთ, რომ გეგმილთ ზედაპირად სფერული ზედაპირის ნაცვლად სიბრტყის მიღებისას მახინჯდება არა მხოლოდ ხაზების სიგრძეები, არამედ მათ შორის კუთხეებიც, მაგრამ სამციურის გამო ამ დამახინჯებას ხშირად უკუღებულყოფენ. ცხადია, ხაზოვანი გაზომვების სიზუსტის ზრდის შესაბამისად შემცირდება სიბრტყედ მისაღები სფერული დონებრივი ზედაპირების ოდენობები. მაგალითად, მიმდინარე საუკუნის 30—40 წლებამდე 100 კმ სფერული რკალის შესაბამის სიგრძეებს აღებდნენ სიბრტყედ, ამჟამად შედარებით ნაკლები სიზუსტის სამუშაოებზე 50 კმ რკალის შესაბამის სიგრძეებს იღებენ სიბრტყედ.

საკუთრად ყურადღება მიექცეს იმას, რომ გეგმილთ ზედაპირად სიბრტყის მიღების დროს ნაცვლად მაგვემილებელი AA_1 და CC_1 ხაზებისა ვიღებთ AA_0' და CC_0' ხაზებს. მაშასადამე, ვიყენებთ სიბრტყისადმი ორთოგონალურ გეგმი-

ლებს. ეს დაშვება ზისალებია, რადგანაც, ჩვეულებრივ, α კუთხე მცირეა, რომლის შესაბამისი $\cos \alpha \approx 1$. ე. ი. ნახაზიდან $CC_1 \approx CC_0'$, ასევე $AA_1 \approx AA_0'$. მაშასადამე, $AA_0' \parallel CC_0'$, ანუ მაგვეგილებელი შვეული ხაზები ურთიერთპარალელურებია.

B. ხვრული სიმაღლის გავლენა წიბოების სიმაღლეებზე
(ვერტიკალური დამახინჯება)

როგორც (2) ნახაზიდან ჩანს, დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის A წერტილის სიმაღლე არის A_0A და C წერტილისა კი C_0C . იმის გამო, რომ გეგმილთ (ათვლის) ზედაპირად მივიღებთ B წერტილში A_1C_1 მხების შესაბამის სიბრტყეს, გამოვა, თითქოს A წერტილის სიმაღლეა A_1A და C წერტილისა კი C_1C . მაშასადამე, A და C წერტილების სიმაღლეები დამახინჯებული იქნება k ოდენობით (პირველი მეტობით, ხოლო მეორე (ნაკლებობით), რომელსაც უწოდებენ სიმაღლის შესწორებას სფერული გეგმილთ ზედაპირის სიმრუდის გამო. გამოიყენათ k -ს გამოსათვლელი ფორმულა (ნახ. 2). აღვნიშნოთ BC_1 მონაკვეთი L_0 სიმბოლოთი. ნახაზის მიხედვით დავწერთ:

$$k = OC_1 - R = (R^2 + L_0^2)^{1/2} - R = R \left(1 + \frac{L_0^2}{2R^2} + \dots \right) - R \approx \frac{L_0^2}{2R}$$

(1) ცხრილის ანალიზის მიხედვით $L_0 \approx \frac{l}{2}$. მაშასადამე, დედამიწის სიმრუდით გამოწვეული შესწორება სიმაღლეებისა გამოითვლება ფორმულით:

$$k = \frac{l^2}{8R} \quad (2.2.7.3)$$

(3) ფორმულის მიხედვით შეიძლება შევადგინოთ ცხრილი (2), სადაც მიღებულია $R \approx 6370$ კმ.

ცხრილი 2.2.7.2

კმ	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2,0	10,0	20,0	100,0
(მმ)	0,78	3,14	7,06	12,56	19,62	78,49	196,22	784,9	19622,5

განხილავი ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ დედამიწის სიმრუდის გამო სიმაღლეების k შესწორება მნიშვნელოვანი ოდენობები გამოდის. ხშირად თანამედროვე საინჟინრო საქმეში წერტილის სიმაღლეები საჭიროა ვიცოდეთ მაქსიმუმ ± 1 მმ შეცდომით. მაშასადამე, ამ შეპიზუვევაში 50—100 მეტრის ნქონე მანძილების შესაბამის აღმატებებში საჭიროა შევიტანოთ k შესწორებები.

✓

გეოდეზიური სამუშაოების მოქალაქე მიმოხილვა

როგორც მთლიანად დედამიწის, ისე მისი ელემენტების გეომეტრიულად შესწავლის მიზნით სრულდება ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოები და აგეგმვები.

2.3.1. ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოები

ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოებით, სახელმწიფოს ან მის ნაწილზე, ერთიან სისტემაში იქმნება საყრდენი პუნქტების ერთობლიობა, რომელსაც უწოდებენ სახელმწიფო გეოდეზიურ ქსელს.

საყრდენი პუნქტები ეწოდება მიწაში სათანადოდ ჩამაგრებულ წერტილებს, რომელთა კოორდინატების დადგენას მეთოდის შესაბამისად მათზე აგებენ შესაფერ ნიშნებს, ე. წ. პირამიდების, სიგნალების ან სხვა ნაგებობათა სახით.

სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელი წარმოადგენს საფუძველს, ჩონჩხს, რომლის მიმართ ისაზღვრება დედამიწის ელემენტების სივრცობრივი განლაგება, რასაც სხვადასხვა სახის აგეგმვების შედეგად იღებენ. ამავე დროს სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელის შექმნის სამუშაოები საკირო მონაცემებს გვაძლევს დედამიწის, როგორც პლანეტის ფორმისა და ზომების დადგენისათვის.

უმრავლეს შემთხვევაში საყრდენი პუნქტებზე დამყარებული სამუშაოებისათვის თანაბრად არის საკირო საყრდენი წერტილების, როგორც გეგმური მდებარეობის, ანუ ჰორიზონტალური ორ-ორი კოორდინატის, ასევე სიმაღლური მდებარეობის ცოდნა.

საყრდენი პუნქტების გეგმური მდებარეობის განსაზღვრისათვის იყენებენ ასტრონომიულ და გეოდეზიურ მეთოდებს, რომელთაც, შესაბამისად, უწოდებენ ასტრონომიულ და გეოდეზიურ საყრდენი პუნქტებს, ხოლო მათი სიმაღლეების განსაზღვრისათვის იყენებენ გეომეტრიული, ტრიგონომეტრიული ან ბარომეტრიული ნიველობის მეთოდებს.

A. საყრდენი პუნქტების გეგმური მდებარეობის ასტრონომიული მეთოდით განსაზღვრის პრინციპები

ასტრონომიული ხერხით წერტილების გეოგრაფიული კოორდინატები ფანდისა და ლგრძედის სახით ისაზღვრება ციურ მნათობებზე დაკვირვებების შედეგად (8.1 თავი). უფრო ზუსტი ასტრონომიული გაზომვები იგივე პრინციპზე დაყრდნობით მრავალნაირად სრულდება, მხოლოდ უფრო შრომატევადია.

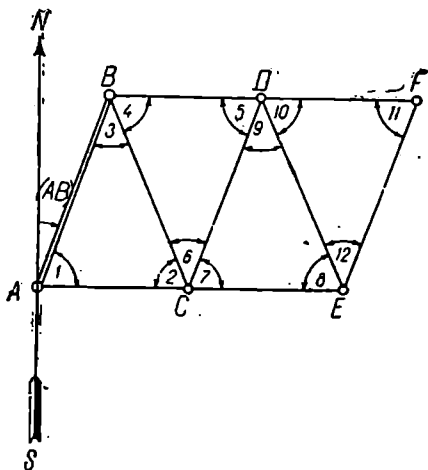
საყრდენი პუნქტების ასტრონომიულად განსაზღვრა ხდება ურთიერთდამოუკიდებლად (ავტონომიურად), მხოლოდ საჭიროა ციური სხეულების ხილადობა. ამიტომ, ხშირად, ასტრონომიულ განედსა და გრძედს უწოდებენ აბსოლუტურ კოორდინატებს. ასტრონომიული მეთოდებით საყრდენი წერტილების თარაზული კოორდინატების განსაზღვრა არ მოითხოვს ქსელში მანძილებისა და კუთხეების გაზომვებს და ნიშნების ნაგებობების მშენებლობას. აღნიშნულის გამო, მარტივდება და ჩქარდება განსაზღვრითი სამუშაოები, რაც ამ მეთოდის დიდ ღირსებად უნდა ჩაითვალოს. მაგრამ მცირე სივრცეების მომცველი ე. წ. მსხვილმასშტაბიანი, ანუ ზუსტი ტოპოგრაფიული აგვემეებისათვის საჭირო ურთიერთახლო მანძილებზე მდებარე საყრდენი პუნქტების კოორდინატების ასტრონომიული მეთოდით განსაზღვრა ვერ აკმაყოფილებს მოთხოვნილ სიზუსტეს.

მართლაც, დედამიწის ზომები იმდენად დიდია, რომ ასტრონომიული კოორდინატების განსაზღვრის შეცდომები ძლიერ მცირეც რომ იყოს, მათი შესაბამისი ხაზოვანი შეცდომები მნიშვნელოვანი ოდენობის გამოდის, რითაც საყრდენი პუნქტების ურთიერთგანლაგებაში დაუშვებელი შეცდომები ვლინდება. მაგალითად, პუნქტის ფ განედის განსაზღვრაში 0",2 შეცდომა იწვევს ადგილზე მის ძვრას, ანუ ხაზოვან შეცდომას დაახლოებით 6 მეტრამდე. გარდა ამისა, როგორც ვიცით, ასტრონომიული კოორდინატების განსაზღვრის დროს ინსტრუმენტების ვერტაკალურ ღერძებს აქვს შვეული მიმართულება, რომელიც არ ემთხვევა ხილულ ზედაპირზე განაზომებისათვის გამოყენებული გეგმილთ ზედაპირისადმი, ანუ ე. წ. ბრუნვის ელიფსოიდისადმი, ნორმალურად. როგორც ცნობილია, ამ მოვლენას მოცემულ პუნქტზე ნორმალურიდან შვეულის გადახრა ეწოდება, რაც განხილულია 1.6 და 2.1 თავში. თუ მივიღებთ საშუალოდ შვეულის გადახრას ასტრონომიულ პუნქტზე 5", მათი ხაზოვანი შეცდომა 150 მეტრამდე აღწევს. ხოლო ანომალიების რაიონებში საყრდენი პუნქტების ურთიერთ ძვრები ერთ კილომეტრამდეც აღწევს. შვეულის გადახრების გავლენის მხედველობაში მიღება შეიძლება, თუ ასტრონომიული გაზომვების დროს გამოყენებული იქნება გრავიმეტრიული განსაზღვრები. პრაქტიკულად შვეულის გადახრები შეიძლება განისაზღვროს 1" სიზუსტით, ანუ 30 მეტრის ხაზოვანი შეცდომით, რაც შედარებით მცირე სივრცეებზე საფუძვლის შექმნისათვის დამაკმაყოფილებელი არ არის. ასეთი სიზუსტით საყრდენი პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრა დასაშვებია ნაკლებად დასახლებული ადგილების 1:100000 და უფრო წვრილ მასშტაბებში აგვემეებისათვის საყრდენი ქსელის შექმნის დროს. ამავე დროს, აღსანიშნავია, რომ ასტრონომიულ-გრავიმეტრიული მეთოდით პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრა ითვლება განსაკუთრებული მაღალი სიზუსტის ღონისძიებად, თუ მათ შევაფასებთ დიდ (ათასეულ კილომეტრებით) მანძილებზე საყრდენი ქსელების გაშლის მიხედვით.

გეოდეზიურ საქმიანობაში უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ასტრონომიულად გაზომილ აზიმუტებს. ეს აზიმუტები შეიძლება გაიზომოს მაღალი სიზუსტით (8.1 თავი). თუ იმავე პუნქტებზე სათანადოდ იქნება გაზომილი ასტრონომიული გრძედი და განედი, მაშინ მისი საშუალებით სიზუსტის შემცირების გარეშე განსაზღვრული იქნება გეოდეზიური აზიმუტის ლაპლასის (2.1.2.20) ფორმულით, რასაც დიდი საკონტროლო მნიშვნელობა აქვს.

მ. საყრდენი პუნქტების გეგმური მდებარეობის გამოღვივება მითოდებით განსაზღვრის აკსი

გეოდეზიური მეთოდებით საყრდენი პუნქტების გეგმური მდებარეობის განსაზღვრა მოიცავს საველე და კამერული (გამოთვლითი და ხაზვითი) სამუშაოების ერთობლიობას, რომლითაც დედამიწის ხილულ ზედაპირზე ინიშნება



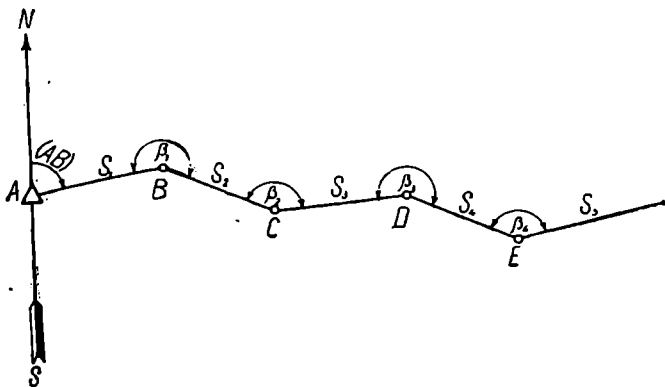
ნახ. 2.3.1.1

და ისაზღვრება საყრდენი პუნქტების ფარდობითი მდებარეობა. საყრდენი პუნქტების პორიზონტალური მდებარეობის განსაზღვრისათვის გეოდეზიაში მიღებულია ძირითადად სამი მეთოდი:

1. ტრიანგულაციის (ბერძნულად Triangulum — სამკუთხედი);
2. ტრილატერაციის (ლათინურად Trilaterus — სამგვერდოვანედი) და
3. პოლიგონომეტრისა (ბერძნულად poly ბევრი, gonia კუთხე, metreo — ვზომავ).

ტრიანგულაციის მეთოდი თანამედროვე გა-

გებით გულისხმობს ადგილზე ურთიერთმიმხრობილი სამკუთხედების წვეროების (პუნქტების) კოორდინატების განსაზღვრას (ნახ. 1), როდესაც მოცემულია A და B პუნქტების კოორდინატები და ვზომავთ ქსელის ყველა კუთხე-



ნახ. 2.3.1.2

ებს ან მოცემულია A პუნქტის კოორდინატები და ვზომავთ AB გვერდს, მის (AB) აზიმუტს და ქსელის ყველა კუთხეს.

პირველ შემთხვევაში სათახადო ტრიგონომეტრიული ფორმულების საშუალებით განისაზღვრება ტრიანგულაციის (ნახ. 1) მწკრივის C, D, E, F, \dots , ხოლო მეორე შემთხვევაში B, C, D, E, F, \dots პუნქტების პორიზონტალური კოორდინატები. ამ მეთოდის არსი და მოკლე ისტორიული ცნობები მოყვანილია 1.6.1 პარაგრაფში.

ტრილატერაციაში განოსავალი მონაცემები იგივეა, მხოლოდ ნაცვლად კუთხეებისა იზომება ყველა სამკუთხედის გვერდები. პუნქტების კოორდინატები კი გამოითვლება. განხილავი მეთოდის განვითარება ძირითადად დამოკიდებულია ხაზოვანი გაზომვების ტექნიკის ზრდაზე.

პოლიგონომეტრიაშიც ისაზღვრება პუნქტების ორ-ორი კოორდინატი, რისთვისაც აწარმოებენ პოლიგონომეტრიული სვლით ყველა β_i კუთხისა და S_i გვერდების გაზომვებს. პოლიგონომეტრიული პუნქტების სქემა თავისებურია და უმთავრესად ეყრდნობა ტრიანგულაციის პუნქტებს (ნახ. 2).

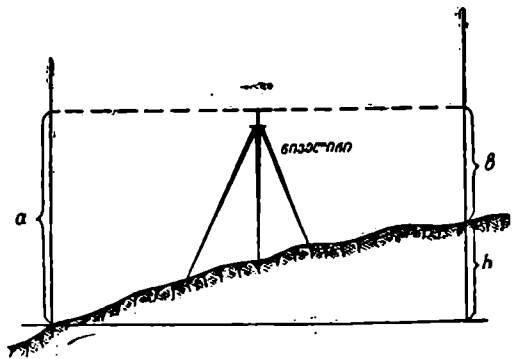
გამოსავალი მონაცემების, ანუ A წერტილის კოორდინატებისა და AB ხაზის (AB) აზიმუტის და გაზომილი გვერდებისა და კუთხეების საშუალებით განისაზღვრება პოლიგონომეტრიული პუნქტების კოორდინატები.

C. საყრდენი პუნქტების სიმაღლური მდებარეობის გომოლოგიური მეთოდებით განსაზღვრის აკსი

როგორც აღვნიშნეთ, საყრდენი პუნქტების მესამე კოორდინატის განსაზღვრა ხდება პუნქტებს შორის გეომეტრიული, ტრიგონომეტრიული ან ბარომეტრული ნიველობის გამოყენებით.

საერთოდ ნიველობა ეწოდება მოქმედებათა ერთობლიობას, რომლის საშუალებით ისაზღვრება წერტილთა (პუნქტებს) შორის სიმაღლეთა სხვაობა.

ცხადია, თუ მოგვეცემა საწყისი A წერტილის ნამდვილი (კუმარიტი) ან პირობითი სიმაღლე და ნიველობით განესაზღვრავთ სხვა რომელიმე პუნქტის (ნახ. 3) ალმატებას (სიმაღლეთა სხვაობას), დაუბრკოლებლად გამოვთვლით შემდეგი პუნქტის სიმაღლეს წინა პუნქტის სიმაღლისა და შემდეგი პუნქტის ალმატების ალგებრული შეჯამებით.



ნახ. 2.3.1.3

გეომეტრიული მეთოდით წერტილთა შორის h სიმაღლეთა სხვაობის (ალმატების) განსაზღვრა ეყრდნობა თარაზული სხივით პუნქტებზე

შვეულად დადგმულ ლარტყებზე ანათვლების სხვაობის განსაზღვრას ფორმულით

$$h = a - b. \quad (2.3.1.1)$$

თარაზულ სხვის იძლევა საგანგებო ინსტრუმენტი — ნიველირი, რომლითაც აიღება a და b ანათვალი.

ტრიგონომეტრიული ნიველობისათვის იყენებენ კუთხსაზომ იარაღს, ე. წ. თეოდოლიტს, რომლის საშუალებით პუნქტებს შორის იზომება დახრის კუთხე და სხვადასხვა ხერხით მათ შორის მანძილები. ამ მონაცემთა სათანადო ტრიგონომეტრიულ ფორმულებში ჩასმით ისაზღვრება პუნქტებს შორის სიმაღლეთა სხვაობები.

ბარომეტრული ნიველობა კი გულისხმობს პუნქტებზე თანადროულად ბარომეტრის საშუალებით ჰაერის წნევისა და თერმომეტრით ტემპერატურის განაზომთა სათანადო ფორმულებში ჩასმით სიმაღლეთა სხვაობის განსაზღვრას.

ზემოხსენებული ცნებების განსაზღვრებები მოცემულია ზედმიწევნით მარტივად იმ მიზნით, რომ პოპულარულ მსჯელობების დროს ამ ცნებების დასახელებამ არ გამოიწვიოს გაუგებრობა. სინამდვილეში პუნქტების სამსამი კოორდინატის განსაზღვრა უაღრესად რთულ და საპასუხისმგებლო საქმეს წარმოადგენს, რაც IV და VIII ტომში დაწვრილებით არის განხილული.

✓/

2.3.2. ცნებები აგეგმვისა და მათი სახეობების შესახებ

აგეგმვა არის მოქმედებათა ერთობლიობა, რომლის საშუალებითაც შედგება რაიმე ნაგებობის გეგმა და ჭრილები, ადგილის გეგმა, ტოპოგრაფიული რუკა, პროფილი ან არსებულ გეგმებში, რუკებში, საჭიროებისამებრ, შეიტანება გარკვეული ნიშანთვისების მქონე წვლილადები.

აგეგმვის უპარტივეს შემთხვევას წარმოადგენს რაიმე საინჟინრო ნაგებობის გეგმისა და ჭრილების შეღვევა, რისთვისაც საჭიროა მათი ელემენტების გაზომვები და სათანადო მასშტაბში განაზომთა და გამონათვალთა გამოხატვა ქალაღზე.

ადგილის აგეგმვა მოიცავს საველე და კამერალურ სამუშაოებს; საველე სამუშაოებია: საყრდენი ქსელის შექმნა და წვლილადების წერტილთა შეფარდებითი მდებარეობის განსაზღვრა, რისთვისაც იზომება ხაზები, მიმართულებები, კუთხეები, წერტილთა შორის აღმატებები და სხვა. კამერალური სამუშაოებია: განაზომთა მათემატიკური დაქუშავება და გამონათვალთა გრაფიკული გამოხატვა.

აგეგმვები წარმოებს სამგვარ ვითარებაში: დედამიწის ხილულ ზედაპირზე, წიაღში და აეროაგეგმვა. აგეგმვას, რომელიც დედამიწის ხილული ზედაპირიდან სრულდება, ორნაირი დანიშნულება შეიძლება ჰქონდეს: 1. პორიზონტული (აქ წვლილადებს წარმოადგენს დედამიწის ელემენტების მხოლოდ კონტურები) და 2. კომბინირებული (კონტურულ-კომბინირებული), ანუ პორიზონტალურ-ვერტიკალური აგეგმვა (აქ წვლილადებია დედამიწის ელემენტების როგორც კონტურები, ისე ნიშნულები და რელიეფი). ამ სახის აგეგმვას, ჩვეულებრივ, უწოდებენ ტოპოგრაფიულ აგეგმვას.

სახმელეთო აგეგმვები აგრეთვე იყოფა გამოყენებული ინსტრუმენტების მიხედვითაც: 1. ინსტრუმენტული, 2. ნახევრად ინსტრუმენტული და 3. თვალზომითი. ინსტრუმენტულ აგეგმვებს ხშირად არქმევენ იმ ძირითად ინსტრუმენტის სახელს, რომლითაც უმთავრესად სრულდება საველურ სამუშაოები, მაგალითად: თეოდოლიტური აგეგმვა (თეოდოლიტური სკლების სახით პორიზონტული საფუძვლის შექმნა და წვლილადების, მხოლოდ პორიზონტული აგეგმვა); მენზულთი აგეგმვა (გეომეტრიული ქსელისა და მენზულითი სკლების შექმნა და წვლილადების პორიზონტული ან ტოპოგრაფიული აგეგმვა); ტახეომეტრიული აგეგმვა (თეოდოლიტ-ტახეომეტრით სკლების სახით პორიზონტულ-ვერტიკალური საფუძვლის შექმნა და წვლილადების ტოპოგრაფიული აგეგმვა); ფოტო-თეოდოლიტური აგეგმვა გეოდეზიური საყრდენი ქსელის საფუძველზე ხილული ზედაპირის ფოტოთეოდოლიტური გადაღების, საველურ ფოტოლაზერატირების, ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური და ფოტოგრაამეტრიული სამუშაოების ერთობლიობაა.

ღეღამიწის წიაღში აგეგმვები, რომლებიც დაკავშირებულია სხვადასხვა გვირაბებისა და მეტროპოლიტენების მშენებლობასთან, მოიცავს; საორიენტირო — დამაკავშირებელ აგეგმვებს (ხილულ ზედაპირის გეოდეზიური საფუძვლისადმი მიწისქვეშა საყრდენის დაკავშირება); პოლიგონომეტრიული და თეოდოლიტური სკლების შექმნას პორიზონტული საფუძვლის სახით; ნიველობას და გამონამუშევართა ტოპოგრაფიულ აგეგმვებს.

წიაღში აგეგმვები, რომლებიც დაკავშირებულია სამთო-გეოლოგიურ სამუშაოებთან, სამარკშიედერო აგეგმვებად იწოდება, რომელიც მოიცავს: საორიენტირო-დამაკავშირებელ აგეგმვებს, პოლიგონომეტრიული და თეოდოლიტური სკლების (პორიზონტული საფუძველი) ნიველობას, წვლილადების აგეგმვების ერთობლიობას (აქ წვლილადებს წარმოადგენს სამთო გამონამუშევართა სახეობები, მათი ზომები და სიერცობრივი განლაგებები, ნამარხების ფორმები და მათი ჩაწოლის პირობები, წიაღში მარაგების, მათი ხარისხებისა და კოჰონენტების განაწილების ხასიათი, სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვების ოდენობები და მათი მოპოვების დროს დანაკარგების ოდენობები, საწყობებში სასარგებლო წიაღისეულთა დარჩენილი მარაგი, სანგრევებში დარჩენილი სასარგებლო წიაღისეული და სხვა).

სამარკშიედერო აგეგმვებს ეკუთვნის აგრეთვე კარიერების (ღია სამთო გამონამუშევრების) აგეგმვები, რომლებიც ძირითადად ტოპოგრაფიული აგეგმვების ანალოგიურია.

აეროაგეგმვა წარმოადგენს აეროფოტოგადაღების, საველურ ფოტოლაზერატორიული, ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური, ფოტოგრაამეტრიულ და სტერეოფოტოგრაამეტრიულ სამუშაოთა ერთობლიობას. ამჟამად როგორც სახმელეთო, ისე აეროფოტოგადაღება ხდება სტერეოფოტოგადაღების სახით. მიღებული ფოტოსურათების სტერეოფოტოგრაამეტრიული მეთოდებით დამუშავების შედეგად უშუალოდ მიიღება ტოპოგრაფიული გეგმები და შემდეგრუკები.

როგორც აღინიშნა, სახელმწიფოს ან სახელმწიფოთა ერთიანი კარტოგრაფირების მიზნით ნებისმიერი სახის აგეგმვითი სამუშაოები სრულდება წინასწარ შექმნილი ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრაჰიმეტრიული ქსელის (ქსელთა სისტემის) საშუალებით შედგენილ საგანგებო ასაგეგმ ქსელზე დაყრდნო-

ბით (პუნქტების გახშირებით). აქ გამონაკლისს შეადგენს შედარებით მცირე სივრცეების აგეგმვები, რომლებიც ადგილობრივი მნიშვნელობის პუნქტებს ეყრდნობიან (თეოდოლიტური, მენზურული და ტახეომეტრიული სელები).

არსებულ გეგმებში, რუკებში და პროფილებში საჭიროებისამებრ გარკვეული ნიშან-თვისების მქონე წვლილადების შეტანასთან დაკავშირებული აგეგმვები მოიხსენიება თვით წვლილადების ან იმ სამეცნიერო დარგის საშუალებით, რომელიც აწარმოებს წვლილადების კვლევა-ძიებას. მაგალითად, გეოლოგიური (აეროგეოლოგიური, კარისტალოგრაფიული, მინეროლოგიური, პეტროგრაფიული, ისტორიულ გეოლოგიური, ტექტონიკური, ჰიდროგეოლოგიური, საინჟინრო გეოლოგიური, სასარგებლო წიაღისეულთა და სხვა), გეოფიზიკური (გეომაგნეტური, სეისმოლოგიური, გრავიმეტრიული, გეოელექტრიული, გეოთერმული, ჰიდროფიზიკური, ბათიმეტრიული და სხვა), სატყეო, საგზაო, საზღვაო, საჰაერო, გაზური, ელექტრიული, სინოპტიკური აგეგმვები, რის შედეგად მიიღება სათანადო სახელწოდების გეგმები, რუკები და პროფილები.

ნებისმიერი სახის აგეგმვის დროს მასშტაბისა და საჭიროების შესაბამისად გენერალიზაციასთან (განზოგადებასთან) ერთად მტკიცედ უნდა იქნეს დაცული აუცილებლობისა და საკმარისობის პირობა.

2.3.3. გეგმების, რუკებისა და პროფილების შედგენასთან დაკავშირებული ზოგადი ცნებები

როგორც ცნობილია, ნებისმიერი ზომის ფიგურის აშენება შეიძლება მისი მსგავსი აგებულების ზედაპირზე. მაშასადამე, დედამიწის ხილული ზედაპირის საკმარისი სიზუსტით გამოსახვა შეიძლება მის მსგავს ტანზე, მაგალითად, გლობუსზე. მაგრამ მცირე ზომის გლობუსზე დედამიწის ხილული ზედაპირის გამოსახვა შეიძლება მხოლოდ ზოგად ფორმებში, ხოლო დიდი გლობუსები, რომელზეც დაწვრილებით შეიძლება გამოიხაზოს დედამიწა, გამოყენებისათვის მეტად უხერხულია. მაგალითად, 1:1000000 მასშტაბის შესაბამისი გლობუსის დიამეტრი დაახლოებით იქნება 1,3 მეტრი, რომელიც შეიძლება სტაციონარულად გამოვიყენოთ, ხოლო ყოველდღიურ, პრაქტიკულ საჭიროებისათვის მისი გამოყენება ძლიერ უხერხულია. ამიტომ დედამიწის ხილული ზედაპირის გამოსახვას, ჩვეულებრივ, აწარმოებენ სიბრტყეზე, კერძოდ, ქალაქზე გეგმებისა და რუკების სახით.

დედამიწა რომ წააგავდეს ისეთ სხეულებს, რომლებიც დაუმახინჯებლად იშლებიან ქალაქზე (ცილინდრულ ან კონუსურ ზედაპირს), მაშინ მისი გამოსახვა ქალაქზე არ გაჭირდებოდა. მაგრამ ვინაიდან იგი სფეროსმაგვარი სხეულია, მისი ვაშლა ქალაქზე შეუძლებელია დამახინჯების (ნაოჭებისა და ნაგლეჯების) გარეშე. ამიტომ ქალაქზე დედამიწის გამოსახვის დროს მიმართავენ სხვადასხვა მათემატიკური წესებით პირობითი აგების ხერხებს, ანუ ე. წ. კარტოგრაფიულ პროექციების ბირთვით ამოცანაა ქალაქზე შექმნან მერიდიანებისა და პარალელების ბადე (კარტოგრაფიული ბადე), რომელშიც შეიტანება ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოების შედეგად განსაზღვრული საყრდენი ქსელისა და მათ საფუძველზე (მათზე დაყრდნობით) შესრულებული ტოპოგრაფიული აგეგმვების მონაცემები. მთელი დე-

დამიწის ან მისი დიდი ნაწილების გამოსახულებას, სადაც დედამიწის სიმრუდე მხედველობაში მიღებული, ეწოდება რუკა. რუკაზე გადატანილი ადგილის სრული მსგავსების დაცვა შეუქლებელია, რადგანაც მასზე გამოსახული ადგილის შესაბამისი ზაზები და კუთხეები სინამდვილეს არ შეესაბამება. ეს შეუსაბამობები მით მეტია, რაც დიდი სივრცეები იქნება გამოსახული რუკაზე. შედარებით მცირე სივრცეების გადატანა შეიძლება ქალაქზე ისე, რომ ზემოხსენებული დამახინჯებები უგულვებელსაყოფ ოდენობებამდე დაევიანოთ და არ იქნეს მხედველობაში მიღებული დედამიწის სიმრუდე. ქალაქზე ასეთ გამოსახულებებს ეწოდება გეგმა. 2.2.7 პარაგრაფში დამტკიცებული იყო, რომ საშუალო განედებზე ტრაპეცია მოქცეული 10' მერიდიანისა და 15' პარალელის რკალებს შორის შეიძლება მივიღოთ სიბრტყედ. მაშასადამე, აქედან გამომდინარე რუკების ცალკეული ნაწილები, ანუ რუკების ფურცლები, რომელთა ზომები არ გადასცილდება ზემოხსენებულ ზომებს, იწოდება გეგმებად.

საერთოდ საინჟინრო საქმეში სხვადასხვა საგნების ქალაქზე გამოსახვისათვის სარგებლობენ ამა თუ იმ სახის დაგეგმილების მეთოდებით. უფრო მიღებულია ორთოგონალური (მართკუთხა) დაგეგმილების გამოყენება, რომლის დროსაც მაგეგმილებელი ზაზები უნდა იყვნენ გეგმილთ ზედაპირისადმი მართობები.

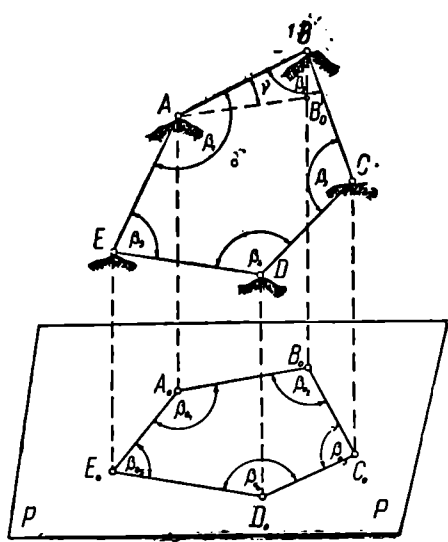
დედამიწის ხილული ზედაპირის ქალაქზე რუკებისა და გეგმების სახით გამოხაზვის მიზნით გეოდეზიაშიც არის მიღებული ორთოგონალური და გეგმილების მეთოდი, სადაც იგულისხმება სფეროიდის ან სფეროს ზედაპირზე, ან სიბრტყეზე, როგორც გეგმილთ ზედაპირზე დედამიწის ელემენტების დაგეგმილება. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა გავიხსენოთ, რომ ადგილზე განაზოგების გეგმით ზედაპირზე რედუქირების (დაგეგმილების) დროს საუკულებელყოფო შეცდომის დაშვებით (1.6.6 პარაგრაფი) არ ვასხეავებთ გეგმილთ ზედაპირისადმი ნორმალისაგან სიმძიმის ძალის მიმართულებას, რომელიც აგეგმებისა და განაზომთა დაგეგმილების დროს ითვლება მთავარ გამოსავალ, ბუნებრივ მიმართულებად. როგორც ცნობილია, ამ მიმართულებას პრაქტიკულად ახორციელებს შვეული, რის გამო მას უწოდებენ შვეულ, ანუ ვერტიკალურ მიმართულებას. მაგალითად, ადამიანის ტანი, მცენარეები, ნაგებობები ამართულნი არიან შვეულად. შვეული მიმართულებისადმი მართობ მიმართულებას უწოდებენ კორიზონტალურ მიმართულებას, ხოლო შესაბამის ზედაპირს კორიზონტალურს, რომელიც წარმოდგენითი დონებრივი ზედაპირის სახით საზოგადოდ მრუდს წარმოადგენს (კვაზიგეოიდი, გეოიდი). ამ მრუდის ყოველ წერტილში მხებს, ანუ შვეულის მართობ წრფეს, რომელსაც ფაქტობრივად ახორციელებს თარაზოს ღერძი, უწოდებენ თარაზულ წრფეს, შესაბამის ზედაპირს კი თარაზული (კორიზონტული), ანუ დონებრივი სიბრტყე ეწოდება (2.2.7 პარაგრაფი).

ადგილზე, ორ წერტილში დაშვებულ შვეულზე გატარებულ ვერტიკალურ სიბრტყეს გასწვრივობა ეწოდება. მაგალითად, რაიმე საგანი A და B წერტილების გასწვრივობაშია, თუ ამ საგნის სხეული სრულიად ემთხვევა მოცემულ წერტილებზე გატარებულ ვერტიკალურ სიბრტყეს.

ვთქვათ, საჭიროა ქალაქზე გამოხაზულ იქნეს ორი ადგილი. პირველის ტერიტორია არ სცილდება 300—320 კვ. კმ (ნახ. 1), მეორის ტერიტორია

კი დიდია (ნახ. 2). მაშასადამე, 2.2.7 პარაგრაფის მტკიცების და აქ განსაზღვრების შესაბამისად, ქალაქზე პირველის გამოსახულებას გვეგმა ეწოდება, ხოლო მეორეს რუკა.

ორივე შემთხვევაში უნდა წარმოვიდგინოთ, რომ ზემოხსენებული ადგილების კონტურები ერთგონანაღურად არის დაგეგმილებული დონებრივ ზედაპირზე. პირველ შემთხვევაში დონებრივი ზედაპირი წარმოადგენს თარაზულ (პორიზონტულ) P სიბრტყეს, ხოლო მეორე შემთხვევაში სფეროიდის ან სფეროს Q ზედაპირს, რომელიც გარკვეული შეცდომის დაშვებით მიღებული არის პორიზონტალურ ზედაპირად. აქედან გამომდინარე დონებრივ სიბრტყეზე ან დონებრივ (მრულ) ზედაპირებზე დაგეგმილებულ A_0, B_0, C_0, D_0, E_0 წერტილებს, $A_0B_0, B_0C_0, C_0D_0, D_0E_0$ გვერდებს $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ კუთხეებსა და საერთოდ $A_0B_0C_0D_0E_0$ კონტურს ეწოდება: პირველ შემთხვევაში პორიზონტული (თარაზული) პროექციები



ნახ. 2.3.3.1

ბი (ნახ. 1), ხოლო მეორე შემთხვევაში პორიზონტალური პროექციები (ნახ. 2). მაშასადამე, საჭიროა განვასხვაოთ ადგილის პორიზონტული (თარაზული) პროექცია პორიზონტალური პროექციისაგან.

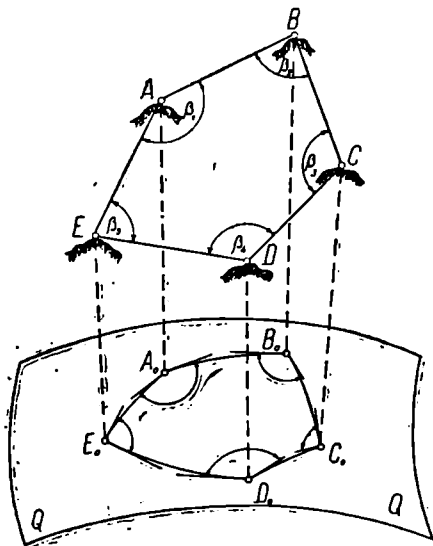
იმისათვის, რომ $A_0B_0C_0D_0E_0$ პროექციის საშუალებით წარმოვადგინოთ გვერდებს შესაბამისი მრავალკუთხედის სივრცითი ფორმის შესახებ, საჭიროა ვიცოდეთ გვერდით ზედაპირიდან დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირამდე შევულო მიმართულებით, პირველ შემთხვევაში ურთიერთპარალელური და მეორე შემთხვევაში კი ურთიერთპარალელური AA_0, BB_0, CC_0, \dots მონაკვეთები, რომელთაც, როგორც ვიცით, ეწოდებათ ადგილის წერტილების სიმაღლეები, ხოლო რიცხვებს, რომლებიც მიიღება სიმაღლეების გაზომვების შედეგად, ნიშნულებს უწოდებენ. მაშასადამე, როცა ცნობილია ადგილის პორიზონტული (თარაზული) ან პორიზონტალური პროექციები და დამახასიათებელი წერტილების ნიშნულები, სრულყოფილი წარმოვადგინოთ შეიძლება გვერდებს ადგილის ხასიათის შესახებ.

ადგილის მრუდხაზოვანი კონტურების მქონე ობიექტების (გზები, მდინარეები და სხვა) გვერდით ზედაპირზე პროექციების მისაღებად აუცილებელია მათი გარდატეხის, მოხვევის და საერთოდ დამახასიათებელი წერტილები

ბის ორთოგონალურად დაგეგმილება მოხდეს ისე, რომ ამ წერტილებს შორის მანძილები წრფის მონაკვეთებად შეიძლებოდეს მივიღოთ.

როგორც მცირე (ნახ. 1), ისე დიდი (ნახ. 2) $ABCDE$ სივრცეების მომცველი ადგილის A_0, B_0, C_0, D_0, E_0 პროექციები ადგილზე ფარგების (სინამდვილის) მსგავსი არ არის, რადგანაც განხილადი კონტურების გვერდები პროპორციულად არ არის შემციობებული და აგრეთვე სივრცობრივი β_1, β_2, \dots კუთხეების შესაბამისი ორთოგონალური $\beta_{01}, \beta_{02}, \dots$

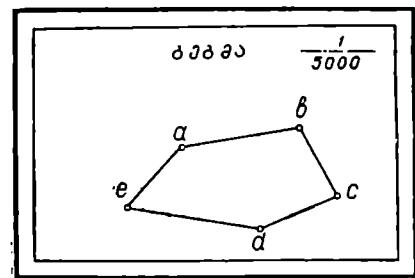
გეგმილები მათი ტოლი არ არის, მაგრამ პირველ შემთხვევაში (ნახ. 1) ადგილის სიმციობის გამო $A_0B_0C_0D_0E_0$ თარაზული (პორიზონტული) პროექციის კონტურის დამახინჯებას მხედველობაში არ იღებენ; უფრო სწორად, ამ დამახინჯებულ $A_0B_0, B_0C_0, C_0D_0, D_0E_0$ გვერდებს ერთი და იმავე მასშტაბში, ანუ ერთი და იმავე რიცხვჯერ (ნახ. 1) შემციობებით და $\beta_{01}, \beta_{02}, \beta_{03}, \beta_{04}, \beta_{05}$



ნახ. 2.3.3.2

პორიზონტალური კუთხეების უცვლელად დატოვებით $A_0B_0C_0D_0E_0$ კონტურს ქალაღზე მისივე მსგავსი $abcde$ კონტურის სახით გამოსახვენ, რასაც გეგმა ვუწოდებთ (ნახ. 3). მაშასადამე, ადგილის პორიზონტული (თარაზული) პროექციის ქალაღზე გადატანა დაუმახინჯებლად ხდება. ამიტომ გეგმის შესახებ შეიძლება გავაკეთოთ განსაზღვრება:

გეგმა არის პორიზონტული (თარაზული), ანუ დონებრივი, სიბრტყეზე ორთოგონალურად დაგეგმილებული შედარებით მცირე ადგილის შემციობებული ასლი ქალაღზე.



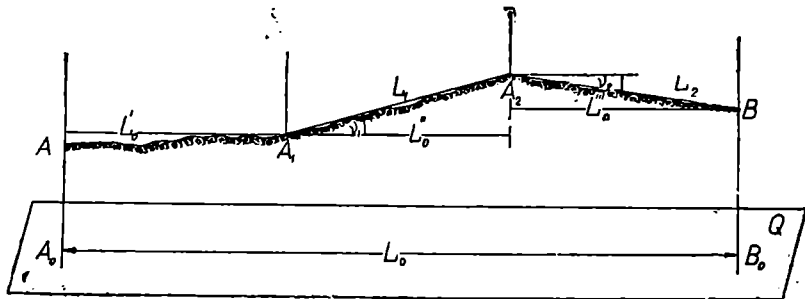
ნახ. 2.3.3.3

რაც შეეხება დიდ სივრცეებს (ნახ. 2), აქ ორჯერ დამახინჯებას აქვს ადგილი, ერთი — პორიზონტალურად მიღებული სფეროიდის ან სფეროს ზედაპირზე დაგეგმილებისა და მეორე

კი მისი, ანუ სფეროს ზედაპირზე დაგეგმილებული ადგილის ჰორიზონტალური პროექციის ქალაქზე (სიბრტყეზე) გაშლის დროს, რომელიც სრულდება სხვადასხვა სახის მათემატიკური ხერხებით, რასაც ზემოთ კარტოგრაფიული პროექციები ეუწოდეთ. ასე რომ, რუკა არის გეგმილთ ზედაპირის სიმრუდის გამო ორჯერ დამახინჯების მხედველობაში მიღების შედეგად შედგენილი მთელი დედამიწის ან მისი დიდი ნაწილების შემცირებული გამოსახულება ქალაქზე. შეიქლება ასეთი განსაზღვრებაც:

რუკა არის ჰორიზონტალურად მიღებული სფეროიდის ან სფეროს ზედაპირზე, ორთოგონალურად დაგეგმილებისა და სიბრტყეზე გაშლის დროს დამახინჯებისაგან შესაძლებისად შესწორებული მთელი დედამიწის ან მისი დიდი ნაწილების შემცირებული გამოსახულება ქალაქზე.

გეგმებისა და რუკების მიღების ზემოთ მოყვანილი განმარტება წარმოშობს კითხვას, თუ როგორ შეიძლება ადგილის წერტილების, ხაზების, კუთხეებისა და საერთოდ მთელი ფარგის ორთოგონალურად დაგეგმილება წარმოდგენით (არარსებულ) დონებრივ ზედაპირზე და შემდეგ სათანადო ხერხებით და შემცირებით მათი გამოსახვა ქალაქზე ადგილის გეგმის ან რუკის სახით? ფაქტიურად ადგილზე იზომება გეგმაზი გადასატანი AB ხაზის დამა-



ნახ. 2.3.3.4

ხსიათებელ წერტილებს შორის გენერალიზაციაქმნილი (უმოკლესი), ანუ გეოდეზიური L_0' და L_1, L_2 დახრალი მონაკვეთები, შესაბამისი ν_1 აღმართის და ν_2 დადმართის კუთხეები (ნახ. 4), გამოითვლება დახრილი A_1A_2 და A_2B მონაკვეთების შესაბამისი L_0'' და L_0''' თარაზული სიგრძეები, ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} L_0'' &= L_1 \cos \nu_1 \\ L_0''' &= L_2 \cos \nu_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.3.3.1)$$

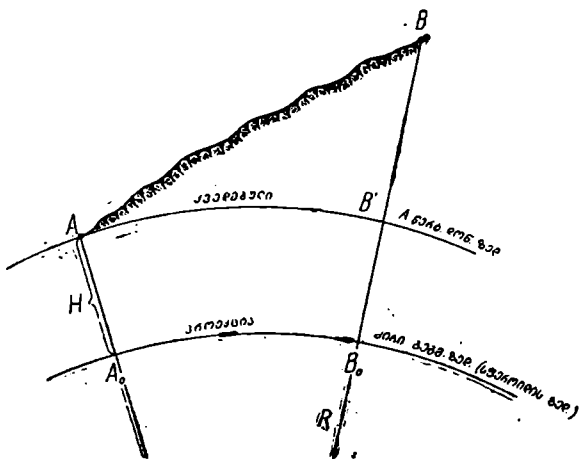
შემდეგ გამოვითვლით AB ხაზის გეგმის მის ერთ-ერთ წერტილში წარმოდგენით გატარებულ ჰორიზონტულ (თარაზულ) სიბრტყეზე:

$$L_0 = L_0' + L_0'' + L_0''', \quad (2.3.3.2)$$

რასაც AB ხაზის თარაზული ქვედებული ეწოდება. მაშასადამე, როგორც L_0 ჯამს, ასევე L_0', L_0'', L_0''' თარაზულ მანძილებს, შესაბამისად, $AA_1, A_1A_2,$

A_2B მონაკვეთების თარაზული ქვედებულები ეწოდება. როგორც ნახაზიდან ჩანს, თარაზული ქვედებულები და დონებრივ ზედაპირზე ჰორიზონტული (თარაზული) პროექციები ტოლებია. მაშასადამე, თარაზული (ჰორიზონტული) პროექცია და თარაზული (ჰორიზონტული) ქვედებული ტოლი მნიშვნელობის ცნებებია. ასევე, ადგილზე ფარგების ყოველ წვეროზე იზომება $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ სივრცობრივ კუთხეების გვერდების შესაბამის ქვედებულებს შორის თარაზული ბრტყელი $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$ კუთხეები, რომლებიც ტოლები არიან თარაზული პროექციებისა. ასე, რომ ფაქტობრივად ყოველგვარი დაგეგმილების გარეშე გეგმის შედგენა უშუალოდ შეიძლება ადგილზე გაზომილი ან გამოთვლილი თარაზული ქვედებულებით და მათ შორის გაზომილი თარაზული კუთხეებით. გეგმის გამოყენებასთან დაკავშირებით მოვიყვანოთ მაგალითი:

ვთქვათ, სამ მოქალაქეს გზის გასწვრივ მიეცა ურთიერთტოლი ზომის სამოსახლო ნაკვეთი. ამ სამოსახლოთა კრილი ფასადის მხარეზეა AB , რომლის მიმართულებით თითოეულს $\frac{1}{3}$ (ნახ. 2.3.3.5) უნდა მოეზომოს ურთიერთტოლი



ნახ. 2.3.3.5

თარაზული მანძილები, ე. ი. უნდა იყოს დაცული $L_0' = L_0'' = L_0'''$ ტოლობები. ცხადია, ადგილზე შესაბამისი L_0', L_1, L_2 ურთიერთტოლი არ იქნება, მაგრამ სამეურნეო თვალსაზრისით ამას მნიშვნელობა არა აქვს. ამ ნაკვეთებზე ნაგებობებიც და მშენებარეებიც ერთი და იმავე რაოდენობით დაეტევა, რადგანაც ყოველივე შვეული მიმართულებით შენდება და იზრდება. მაგრამ, როცა საჭიროა წყალსადენის ან რკინიგზის გაყვანა, მაშინ უნდა ვიცოდეთ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე მანძილები L_0' და (1) ფორმულიდან $L_1 = \frac{L_0'''}{\cos \gamma_1}$ და

$L_2 = \frac{L_0'''}{\cos \gamma_2}$. მაშასადამე, წყალსადენის გასაყვანად საჭირო მიწების სიგრძე იქნება $AB = L_0' + L_1 + L_2$.

რაც შეეხება რუკის გადაღების საკითხს, აქ სხვა მდგომარეობაა. როგორც (5) ნახაზიდან ჩანს, AB მონაკვეთის AB' ქვედებული (AB ხაზის პროექცია A წერტილში გატარებულ სფერულ ზედაპირზე) და A_0B_0 პორიზონტალური პროექცია ძირითად გეგმილთ ზედაპირზე (სფეროზე) შევუილი ხაზების არაპარალელურობისა და გეგმილთ ზედაპირის სიმრუდის გამო ტოლები არ არის. მაშასადამე, რუკების შედგენის დროს ადგილზე გაზომილ ან გამოთვლილ ქვედებულებში სფეროიდზე ან სფეროზე როგორც ძირითად გეგმილთ ზედაპირზე რედუცირებისათვის (დაგეგმილებისათვის) შესწორება უნდა იქნეს შეტანილი შემდეგნაირად: (5) ნახაზის მიხედვით ადგილის AB მონაკვეთის სფერული ქვედებულია AB' , რომლის სიმაღლე ძირითადი გეგმილთ ზედაპირიდან ტოლია H -ის. AB მონაკვეთის პორიზონტალური პროექცია ძირითად გეგმილთ ზედაპირზე კი იქნება A_0B_0 , ხოლო ძირითადი გეგმილთ ზედაპირის, ანუ ლედამიწის რადიუსია R . (5) ნახაზის მიხედვით:

$$A_0B_0 = AB' \frac{R}{R+H} = AB' \left(1 - \frac{H}{R} + \frac{H^2}{R^2} - \dots \right).$$

$\frac{H}{R}$ სიმცირის გამო დავწერთ:

$$A_0B_0 \approx AB' \left(1 - \frac{H}{R} \right). \quad (2.3.3.3)$$

ოქვათ: $AB' = 500$ მ, $H = 1$ კმ, $R = 6400$ კმ, მაშინ შესწორება

$$\varepsilon = A_0B_0 - AB' = -AB' \frac{H}{R} = -500 \frac{1000}{6400000} \approx -7,8 \text{ სმ},$$

ი. ო.

$$A_0B_0 = AB' + \varepsilon = 500 \text{ მ} + (-7,8 \text{ სმ}) = 499,922 \text{ მ}.$$

მაშასადამე, ძირითად გეგმილთ ზედაპირზე სივრცეების გადაღების, ანუ რუკების შედგენის დროს ქვედებულებში უნდა იქნეს შეტანილი შესწორებები გეგმილთ ზედაპირის სიმრუდის გამო; აგრეთვე ეს გამონათვლები საგანგებო კარტოგრაფიული პროექციებით, ანუ მეორეჯერ შესწორებულ უნდა გადავიტანოთ რუკაზე, რასაც ქვემოთ გავცნობთ. გაზომილი თარაზული კუთხეები კი გამოიყენება ისე, როგორც გეგმის შედგენის დროს.

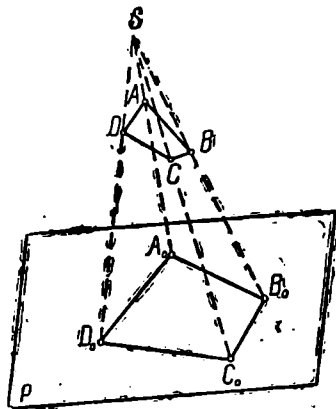
ზემოთქმულიდან გამომდინარე გეგმისა და რუკის შესახებ შეიძლება ასეთი განსაზღვრებები მივიღოთ:

გეგმა არის შედარებით მცირე ადგილის თარაზული ქვედებულის შემცირებული ასლი ქაღალდზე (სიბრტყეზე), ხოლო რუკა წარმოადგენს მთელი ლედამიწის ან მისი დიდი ნაწილების გეგმილთ ზედაპირის სიმრუდის გამო შესაძლებლისად ორჯერ შესწორებული ქვედებულის შემცირებულ, გამოსახულებას ქაღალდზე (სიბრტყეზე).

გეოდეზიაში, გარდა ორთოგონალურად დაგეგმილებული პორიზონტული და პორიზონტალური პროექციებისა, დიდად გამოიყენება ე. წ. ცენტრალური პროექციები. ამ შემთხვევაში P გეგმილთ ზედაპირზე დაგეგმილება ხდება ერთი S წერტილიდან გამომდინარე სხივების საშუალებით.

ბით, რომლებიც გაივლიან დასაგეგმილებელი ადგილის დამახასიათებელ წერტილებზე (ნახ. 6).

A_0 წერტილი, რომელიც მიიღება SA მაგეგმილებელი სხივით გეგმილთ P სიბრტყის გადაკვეთით, არის სივრცის A წერტილის ცენტრალური პროექცია P სიბრტყეზე; ასევე, $A_0B_0C_0D_0$ ობიექტზე არის ადგილის სივრცობრივი $ABCD$ ობიექტზე ცენტრალური პროექცია, მიღებული S პროექციის ცენტრიდან ობიექტის წერტილებზე ვალებული მაგეგმილებელი სხივების P გეგმილთ სიბრტყის განკვეთის შედეგად. ორთოგონალური დაგეგმილება ცენტრალური პროექციების კერძო შემთხვევაა, სადაც ივლისსმება რომ S წერტილი უსასრულობაშია.



ნახ. 2.3.3.6

საინჟინრო საქმეში დიდი პრაქტიკული გამოყენება აქვს ადგილის რელიეფის ვერტიკალურ კრილს, რომელსაც პროფილი ეწოდება (ნახ. 4). პროფილი შეიძლება მივიღოთ რუკის ან გეგმის სასურველი მიმართულებით ვერტიკალურად განკვეთით, ან უშუალოდ ადგილზე გარკვეული მიმართულებით ნიველოზის შესრულების და გამოწვანის სათანადო შემცირებით ქალაქზე გამოხატვით.

პროფილის ხაზის მნიშვნელოვანი გენერალიზაციისა და ქალაქზე გამოხატვის დროს თარაზული და შეეული მანძილების არაერთნაირად შემცირების გამო პროფილი ტლანქი მიახლოებაა სინამდვილისა.



2.3.4. მასშტაბები

გეგმების, რუკების, პროფილების განსაზღვრებებიდან ცნობილია, რომ მათი შედგენის დროს ადგილის და ცალკეული წვლილადების ფარგების ქვედებულების და საერთოდ ნებისმიერი გეოდეზიური ნახაზის აგებისათვის საჭიროა სათანადო შემცირების გამოყენება, რასაც მასშტაბი ეწოდება.

საინჟინრო საქმეში მრავალი ამოცანა დაკავშირებულია არსებული გრაფიკული მასალის გამოყენებასთან, ანუ გარკვეულ მასშტაბში გამოსახული ქვედებულების გაზომვით ადგილზე მათი შესაბამისი სიგრძეების დადგენასთან და სხვა.

გამოყენების შესაბამისად მასშტაბების შესახებ შეიძლება ვაყოფიეროთ სხვადასხვა განსაზღვრებები, მაგალითად: პროფილის ვერტიკალური მასშტაბი ეწოდება წერტილის ნიშნულის შესაბამისი სიმაღლის ქალაქზე (სიბრტყეზე) გამოხატვის დროს შემცირების ზომას ან, პირიქით, პროფილზე გამოხატული ვერტიკალური მონაკვეთის ფარდობას ადგილის ვერტიკალურ კრილზე მის შესაბამის სიგრძესთან.

გეგმის თარაზული მასშტაბია ქალაღღზე (სიბრტყეზე) ადგილის ქვედებულების გამოხაზვის დროს შემციარების ზომა ან, პირიქით, გეგმაზე აღებული ქვედებულის ფარღობა ადგიღზე მის შესაბამის ქვედებულთან;

რუქის მასშტაბი ეწოდება გეგმიღ ზედაპირის სიბრუღდის გამო შესაღლებლისად შესწორებული ქვედებულების ქალაღღზე (სიბრტყეზე) გამოხაზვის დროს შემციარების ზომას ან, უფრო ზუსტად, მოცემულ წერტიღში გარკვეული მიმართულებით რუქის მასშტაბი ეწოდება ამ წერტიღიდან იმავე მიმართულებით აღებულ უსასრუღო მციარე სიგრძის ფარღობას ადგიღზე მის შესაბამის ქვედებულთან.

როგორც ცნობიღია, გეგმის მასშტაბი უცვლელიღ, ხოღო რუქის მასშტაბი კი ცვაღებადიღ მის სხვადასხვა უბნებზე ან მხოღოდ გარკვეული მიმართულებით არის უცვლელი.

ძირითადღ ცნობიღია რიცხვითი, სახელღებული და ხაზვითი მასშტაბები.

4. რიცხვითი და სახელღებული მასშტაბები

რიცხვითი 1: M მასშტაბი აღიქვოტურად (მრიცხვეღში ერთი) დაწერიღი წიღადიღ, რომღის M მნიშვნელი განყენებული რიცხვიღ და გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ უნღა შემციარდეს ქვედებულები ქალაღღზე გამოხაზვის დროს. მასშტაბის ზემომოყვანიღი ორგვარი განსაზღვრებების შესაბამისად, რიცხვითი მასშტაბი შეიღლება შეიარჩეს გეგმის შედგენის დროს ან იგი მივიღოთ, თუ გეგმიდან ამოღებულ რაიმე სიგრძეს შევუფარდებთ ადგიღზე მის შესაბამის ქვედებულს და შეკვეციტ წიღადს მივციემთ აღიქვოტურ სახეს. გეგმების 1: 10000, 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000, 1: 500 მასშტაბების მნიშვნელები, შესაბამისად, გამოსახავს ქალაღღზე გამოსახაზავი ქვედებუღის სიგრძის 10000-ჯერ, 5000-, 2000-, 1000- და 500-ჯერ შემციარების ზომას. რაც უფრო დიღია მასშტაბის მნიშვნელი, მით უფრო წერიღია იგი. მაშასადამე, პირვეღი მასშტაბი დანარჩენებზე შესაბამისად ორჯერ, ხუთჯერ, ათჯერ და ოციჯერ უფრო წერიღია, რაც უფრო მციარე მისი მნიშვნელი, მით უფრო მსხვიღი იქნება მასშტაბი. ცხადღა, ერთი და იგივე საგანი წერიღი მასშტაბით უფრო მციარე გამოიხაზება გეგმაზე, ვიდრე მსხვიღი მასშტაბით. თუ რომელი ითვლება წერიღ, საშუაღო და მსხვიღ მასშტაბებად, ეს განმარტებული იქნება რუკებისა და გეგმების კლასიფიკაციის საკითხების შესწავღის დროს.

მოცემული რიცხვითი 1: M მასშტაბის მიმართ შეიღლება სხვაგვარი განსაზღვრებაც ვაკეთდეს. მაგალითად, ვიტყვიტ გეგმაზე ზომის ერთ ერთეულს (სანტიმეტრს, გოჯს) ადგიღის თარაზულ გეგმაზე (ქვედებულზე) იგივე ზომის M ერთეული უნღა შეესაბამებოდეს ან შეესაბამება. აქედან ვიღებთ სახელღებულ, ანუ განმარტებით მასშტაბებს ასეთი სიხით: 1 სმ — M სმ ან 1 გოჯს — M გოჯი, რაც ნიშნავს გეგმის ერთ სანტიმეტრს ადგიღის ქვედებულზე M სანტიმეტრი უნღა შეესაბამებოდეს (შეესაბამება) ან გეგმის ერთ გოჯს ადგიღის ქვედებულზე M გოჯი უნღა შეესაბამებოდეს (შეესაბამება).

მაშასადამე, ზემოთ მოყვანილი რიცხვითი მასშტაბების საფუძველზე შესაბამისად დაიწერება სახელდებული (განმარტებითი) მასშტაბები ასე:

1 სმ — 10000 სმ (100 მ); 1 სმ — 5000 სმ (50 მ); 1 სმ — 2000 სმ (20 მ);
1 სმ — 1000 სმ (10 მ); 1 სმ — 500 სმ (5 მ);

ან

1 გოჯს — 10000 გოჯი; 1 გ — 5000 გ; 1 გ — 2000 გ; 1 გ — 1000 გ;
1 გ — 500 გ. ცხადია, შებრუნებული მოქმედებით, ანუ ცნობილი სახელდებუ-
ლი მასშტაბით შეიძლება რიცხვითი მასშტაბის დადგენა.

რიცხვითი და მათი საშუალებით მიღებული სახელდებული მასშტაბების განსაზღვრებების შესაბამისად შეიძლება დავადგინოთ გეგმის მასშტა-
ბი; განვსაზღვროთ ადგილზე გაზომილი ხაზის მონაკვეთე-
ბის ქვედებულების შესაბამისი სიგრძე გეგმაზე და, პირი-
ქით, გავიგოთ გეგმაზე გაზომილი მონაკვეთის შესაბამისი
სიგრძე ადგილის თარაზულ ქვედებულზე.

მაგალითი 2.3.4.1. გეგმაზე ხაზის მონაკვეთის სიგრძეა 3 სმ, ხოლო
ადგილზე მისი შესაბამისი მონაკვეთის ქვედებულაა 300 მეტრი. გავიგოთ გეგ-
მის მასშტაბი. გეგმის მასშტაბისა და რიცხვითი მასშტაბის განსაზღვრის შე-
საბამისად დავწერთ:

$$\frac{1}{M} = \frac{3 \text{ სმ}}{30000 \text{ სმ}} = \frac{1}{10000}$$

ხოლო სახელდებული მასშტაბის განსაზღვრების შესაბამისად დაიწერება:

3 სმ — 300 მეტრი

1 სმ — x .

აქედან

$$x = \frac{300 \text{ მ } 1 \text{ სმ}}{3 \text{ სმ}} = 100 \text{ მ,}$$

ე. ი. გეგმის სახელდებული მასშტაბი იქნება

1 სმ — 100 მ.

მაგალითი 2.3.4.2. ადგილზე გაზომილი ხაზის ქვედებულაა 258 მ.
განსაზღვროს გეგმაზე გამოსახაზი მისი სიგრძე 1:5000 მასშტაბში. რიცხვი-
თი მასშტაბის განსაზღვრების შესაბამისად მივიღებთ

$$258 \text{ მ} : 5000 = 5,16 \text{ სმ,}$$

ხოლო სახელდებული მასშტაბის მიხედვით დავწერთ:

1 სმ — 50 მ

x სმ — 258 მ.

აქედან

$$x = \frac{258 \text{ მ } 1 \text{ სმ}}{50 \text{ მ}} = 5,16 \text{ სმ.}$$

მაგალითი 2.3.4.3. 1:10000 მასშტაბში შედგენილ გეგმაზე გაზომი-
ლი ხაზის მონაკვეთის სიგრძეა 1,25 სმ. განსაზღვროს ადგილზე მისი შესა-
ბამისი მონაკვეთის ქვედებულის სიგრძე.

რიცხვითი მასშტაბის განსაზღვრების შესაბამისად მივიღებთ:

$$1,25 \text{ სმ} \cdot 10000 = 125 \text{ მ},$$

ხოლო სახელდებული მასშტაბის მიხედვით \times

$$1 \text{ სმ} - 100 \text{ მ}$$

$$1,25 - x.$$

აქედან

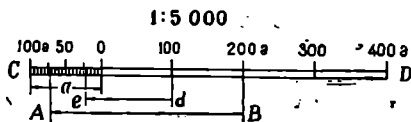
$$x = \frac{1,25 \text{ სმ} \cdot 100 \text{ მ}}{1 \text{ სმ}} = 125 \text{ მ}.$$

B. ხაზვითი მასშტაბები

განხილული მაგალითებიდან ჩანს, რომ რიცხვითი ან სახელდებული მასშტაბებით სარგებლობის დროს საკურო ხდება გარკვეული გამოთვლების შესრულება. აგრეთვე საკუროა გამოთვლილი რიცხვების ფარგლით სახაზავზე აღება და ქალაღზე გადაზომების წარმოება. დიდი მოცულობის სამუშაოების შესრულების დროს სახაზავის გამოყენება უზერხულია და მოითხოვს ბევრ დროს, საერთოდ კი მთელი პროცესი დამლელია და წარმოადგენს შეცდომების წარმოშობის წყაროს, ამიტომ მოცემული $1:M$ რიცხვითი მასშტაბის საფუძველზე საგანგებო გრაფიკული აგების წესით წინასწარ აღგენენ ხაზვით მასშტაბებს, ძირითადად ხაზოვანი, სოლისებრი და განივი მასშტაბების სახით. თითოეული მათგანი წარმოადგენს სკალას, რომელთა დანაყოფების შტრინგებზე მოცემული რიცხვითი მასშტაბის მიხედვით წარწერილია რიცხვები. ასეთი მასშტაბებით სარგებლობენ ქალაღზე (გეგმაზე, რუკაზე, პროფილზე, ნახაზებზე) ქვედებულების გამოხაზვისათვის და ქალაღზე ვაზოვებისათვის მათი შესაბამისი ქვედებულების სიგრძეების დასადგენად.

ა. მეტრული ხაზოვანი მასშტაბი

მეტრული ხაზოვანი მასშტაბის ასაგებად გამოყენებული ფარგლის მაქსიმალური ლაჯის, ანუ დაახლოებით ათი სანტიმეტრის სიგრძის, შედარებით სქელი CD ხაზის პარალელურად ერთი მილიმეტრის დაშორებით გაატარებენ ზედმიწევნით წმინდა, $0,08$ მმ სისქის ხაზს, რომელსაც ზომის ხაზი ეწოდება (ნახ. 1).



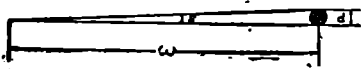
ნახ. 2.3.4.1

შეარჩევნ a მონაკვეთს სანტიმეტრებში ისე, რომ მოცემული რიცხვითი მასშტაბის შესაბამისად მას რაც შეიძლება მოხერხებული რიცხვი შეესაბამებოდეს ქვედებულზე, მაგალითად ერთეული, ათეული, ასეული მეტრები ან კილომეტრები ((1) ცხრილის 1, 2, 3 სვეტი). ამ მონაკვეთს C წერტილიდან მარჯვნივ რამდენიმეჯერ გადაზომავენ. a მონაკვეთს მასშტაბის ფუძე ეწოდება, ხოლო აღვილზე მის შესაბამის ქვედებულს კი მასშტაბის ოდენობა ჰქვია. (1) ნახაზზე მასშტაბის ფუძედ მიღებულია 2 სმ, მისი ოდენობა 100 მეტრია. როდესაც $a=2$ სმ, მასშტაბს ნორმულს ეწოდებენ. მასშტაბის გამოყენების გა-

ადვილებსა და აგრეთვე სიზუსტის გაზრდის მიზნით პირველ ფუძეს ჰყოფენ მცირე ნაწილებად. აქედან გამომდინარე 1: M მასშტაბისათვის ხშირად ფუძის უმცირესი ნაწილის შესაბამის რიცხვს სიზუსტეს უწოდებენ. მაგალითად, ფუძე (ნახ. 1) დაყოფილია ოც ნაწილად; შეიძლება ათ ნაწილად დაყოფა, მაგრამ სიზუსტე ორჯერ უმცირდება, რადგანაც პირველ შემთხვევაში 1:5000 მასშტაბის შესაბამის ორსანტიმეტრიანი ფუძის მეოცედ შესაბამება 5 მეტრი სიზუსტე, ხოლო მეორე შემთხვევაში 10 მეტრი. მაშასადამე. ერთი და იმავე რიცხვითი მასშტაბის შესაბამისი ხაზოვანი მასშტაბის სიზუსტე ცვალებადია და პროპორციულია ფუძის დანაყოფების რაოდენობისა. ხაზოვანი მასშტაბის ფუძის მარჯვენა ბოლოში იწერება ნული, მარცხენა ბოლოში, ანუ C წერტილში კი მისი ოდენობა, ანუ მოცემულ 1:5000 მასშტაბით ფუძის შესაბამისი სიგრძე, ქვედებულზე 100 მეტრი, ხოლო დანარჩენი მონაკვეთების ბოლოებში 0-დან მარჯვნივ წარწერილია მოცემული მასშტაბის შესაბამისი ოდენობის ჯერადი რიცხვები 100, 200, 300 მეტრი... პირველი ფუძის მარცხნივ, ანუ C წერტილთან რომ ნული წაგვეწერა, საჭირო გახდებოდა მასშტაბის ყველა მონაკვეთების დაყოფა. აგრეთვე მარცხენა ფარგლის წვერი მასშტაბის გამოყენების დროს ყოველთვის საწყის მარცხენა წერტილზე უნდა დაგვებჯინა, რაც გამოიწვევდა მის ამოღრღნას და დაზიანებას.

ბ. ხაზოვანი მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე

ნებისმიერი გრაფიკული აგების ძირითად ელემენტებს წარმოადგენს წერტილები და ხაზები. ადვილზე წერტილად იგულისხმება ნიადაგზე ჩხირის, ლურსმნის, პალოს, სარის დაჭირების ან ნიადაგში ჩასმულ რკინაზე კერნის დარტყმის შედეგად მათი ღერძების შესაბამისი უაღრესად მცირე კვალის (ანაბეჭდი). წერტილის გამოსახულება ქალაქებში მიიღება კვალის ან კვეთილობის სახით ფანქრის წვერის, კალმის ან ნემსის დაჭირების შედეგად. ტოპოგრაფიული გამოხატვების დროს უფრო გამოყენებულია ქალაქებში წერტილის დანიშვნა ფარგლის წვერის დაჭირებით. საერთოდ, წერტილის ძირითადი თვისება ნულოვანი განზომილებაა (მას ზომა არა აქვს) მიუხედავად იმისა, რომ ის ფიზიკურად გარკვეულ სივრცეს იკავებს. ამიტომ საჭიროა განვსაზღვროთ ის ზღვრული უმცირესი ზომა წერტილისა, რომელიც უნდა გარჩიოს ადამიანის შეუიარაღებელმა თვალმა.



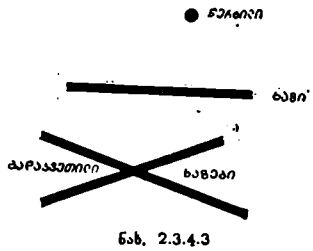
ნახ. 2.3.4.2

უაღრესად მცირე d დიამეტრის მქონე ფიზიკური წერტილის ხილვა საუკეთესო მხედველობის ან მანძილზე შეიძლება ϵ კრიტიკული კუთხით. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ $\epsilon = 250$ მმ საუკეთესო მხედველობის მანძილზე ϵ კრიტიკული კუთხე $47'' - 60''$ ფარგლებში იცვლება. ასე რომ, (2) ნახაზის მიხედვით:

$$d = \frac{\epsilon''}{\rho''} \cdot \omega = \frac{60''}{206265''} \cdot 250 \text{ მმ} = 0,073 \text{ მმ} \approx 0,1 \text{ მმ}, \quad (2.3.4.1)$$

სადაც ρ'' — რადიანის კუთხური ოდენობაა.

ყოველი ხაზი, გატარებული მეტად წაწვეტებული ფანქრით, წარმოადგენს გარკვეულ ზოლს. ქაღალდზე ხაზების გადაკვეთით იქმნება წერტილისაგან განსხვავებული მცირე ოთხკუთხედი. აღნიშნული დასტურდება, როდესაც ხაზების გადაკვეთას ქაღალდზე ლუპით ვიხილავთ (ნახ. 3). ცხადია, რაც უფრო წვრილი და ურთიერთმართობი იქნება გადაკვეთილი ხაზები, მით უფრო ახლო იქნება გადაკვეთის ოთხკუთხედი წერტილთან.



მართლაც, ცდებით დადგენილია, რომ 0,1 მმ დიამეტრის მქონე წერტილი და 0,07 — 0,08 მმ სისქის ხაზი შეუიარაღებელი სალი თვალით გარკვევით ჩანს, უფრო ნაკლები ზომის წერტილი და ხაზი არ ჩანს, ხოლო, თუ მათ მიეცემთ ზემოთ მოყვანილზე მეტ ოდენობებს, გრაფიკული მუშაობის სიზუსტე შემცირდება. ასე რომ, 0,1 მმ

წარმოადგენს იმ გრაფიკულ ზღვრულ სიზუსტეს, რომელიც შეუიარაღებელი თვალთ იხილება. ამიტომ ამ მუდმივ 0,1 მმ ეწოდება ხაზოვანი მასშტაბის ზღვრული გრაფიკული სიზუსტე. ვინაიდან მოცემული რიცხვითი მასშტაბი საფუძველია ხაზითი მასშტაბის შედგენისათვის, დავასკვნით, რომ ნებისმიერი მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე იქნება ქვედებულზე ის რიცხვი, რომელიც შეესაბამება 0,01 სმ გრაფიკულ ზღვრულ სიზუსტეს. ასევე, მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე ეს ის მაქსიმალური სიზუსტეა, რომლის შესაბამისად შეიძლება განისაზღვროს როგორც ქვედებულზე, ისე სიბრტყეზე (რუკაზე, გეგმაზე და სხვა) მანძილები. მაშასადამე, მასშტაბის ზღვრული სიზუსტის ცნების გამოყენებით შეიძლება ორი ამოცანის გადაწყვეტა: 1) დავადგინოთ ასაგეგმავი ადგილის წვლილადების (მოხვეულობები, კონტურები და საერთოდ საგნები) მინიმალური ზომებს, რომლების გამოხაზვა შეიძლება რუკაზე (გეგმაზე) მოცემულ მასშტაბში; 2) შევარჩევთ აგეგმვის მასშტაბს წვლილადების შესაბამისად. მაგალითად, 1:5000 მასშტაბში საგნების კონტურების თარაზული მანძილები სიგრძით 0,5 მეტრზე ნაკლები არ შეიძლება გადატანილ (გამოსახული) იქნეს გეგმაზე, რადგანაც მოცემული მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე 0,5 მეტრია. ასევე, განხილავი მასშტაბის მქონე გეგმაზე ხაზების გაზომვით მიღებულ ყოველ ცალკეულ მონაკვეთში უნდა ველოდეთ ადგილზე 0,5 მეტრით შეცდომას ან კიდევ ადგილის წვლილადის ზომა თუ 0,2 მეტრია, საჭიროა 1:2000 მასშტაბის შერჩევა და სხვა. აქედან დასკვნა: რაც უფრო მცირე ოდენობისაა მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე, ანუ რაც უფრო მსხვილია მასშტაბი, მით უფრო საჭიროა აგეგმვების დროს დავიცვათ დეტალიზაცია, ხოლო, რაც უფრო დიდი ოდენობის იქნება ზღვრული სიზუსტე, საჭირო ხდება აგეგმვების დროს მივმართოთ დეტალების უგულვებელყოფას, ანუ გენერალიზაციას.

როგორც ვხედავთ, მოცემული რიცხვითი მასშტაბისათვის ხაზოვანი მასშტაბის სიზუსტე დამოკიდებულია მის აგებაზე, ანუ მისი ფუძის დაყოფაზე, ანუ იგი ცვალებადია, ხოლო ზღვრული სიზუსტე მუდმივია ((1) ცხრილი). არსებული ნომენკლატურის მიხედვით ტოპოგრაფიული რუკებისა და

გეგმების მასშტაბები და მათი რიცხობრივი მაჩვენებლები მოცემულია (1) ცხრილში.

ცხრილი 2.3.4.1

რიცხვითი მასშტაბი	სახელმწიფო მასშტაბი (ერთი სანტიმეტრის შესაბამისი კვადრატული)	ფურცლის ფურცლის სიგრძე (სმ)	ფურცლის შესაბამისი კვადრატული სიგრძე (სმ), ანუ მასშტაბის ოდენობა	ფურცლის დანაყოფების რაოდენობა	სიზუსტე	ზღვრული გრაფიკული სიზუსტე	ხელმოწერილი სიზუსტე
1	2	3	4	5	6	7	8
1 : 200000	2 კმ	2,5	5 კმ	5	1	0,01 სმ	20 მ
1 : 100000	1 " "	1,0	1 " "	10	100	" "	10 " "
1 : 50000	500 მ	2,0	1 " "	20	50	" "	5 " "
1 : 25000	250 " "	2,0	500 მ	20	25	" "	2,5 " "
1 : 10000	100 " "	2,0	200 " "	20	10	" "	1,0 " "
1 : 5000	50 " "	2,0	100 " "	20	5	" "	0,5 " "
1 : 2000	20 " "	2,5	50 " "	10	5	" "	0,2 " "
1 : 1000	10 " "	1,0	10 " "	10	1	" "	0,1 " "
1 : 500	5 " "	2,0	10 " "	20	0,5	" "	0,05 " "

საერთოდ მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ რუკების შედგენასთან, ქალაქის დეფორმაციასთან და სხვა მრავალ მიზეზებთან დაკავშირებული მოვლენებით დაგროვილი უცილობელი შეცდომების გამო რუკებსა და გეგმებზე ქვედებულების გაზომვების შეცდომები გრაფიკულ ზღვრულ შეცდომასთან შედარებით პრაქტიკულად დაახლოებით ათჯერ მეტი გამოდის. ასე რომ, 1 : 5000 გეგმაზე გაზომვების დროს შეცდომებს უნდა ველოდეთ არა 0,5 მეტრს, არამედ 5 მეტრს. ამიტომ მასშტაბის შეუცვლელად მიმართავენ სიზუსტის გაზრდის სხვა ხერხს. ერთ-ერთი მდგომარეობს იმაში, რომ თუ ქალაქზე გასაზომი მონაკვეთები ერთ წრფეზეა, მათ შეაჯამებენ და ერთბაშად ათვლიან მასშტაბზე. იგივე მიზნით ერთ წრფეზე მონაკვეთებს აჯამებენ და ისე ახდენენ ქალაქზე გადაზომვებს.

ხაზოვანი მასშტაბზე ანათვალის იღება ფარგლის დახმარებით, რომელიც უნდა გვეჭიროს ვერტიკალურად. ყოველი ანათვალის ტოლია მასშტაბის ნულიდან ფარგლის მარჯვენა და მარცხენა წვერის შესაბამისი ანათვლების ჯამის. ფარგლის მარჯვენა წვერო უნდა შეუთავსდეს მასშტაბის ნულს, როცა ქალაქზე გადასაზომი ან გაზომილი ქვედებული ნაკლებია ფურცლის შესაბამის ოდენობაზე, ხოლო როცა მეტია, მაშინ ეს წვერო შესაბამისად უთავსდება მასშტაბის ნულის მარჯვნივ დანაყოფს. ფარგლის მარცხენა წვერო კი შეიძლება მოთავსებულ იქნეს ნულთან (ფურცლის გერადი რიცხვების შემთხვევაში) ან პირველი ფურცლის ფარგლებში. ფარგლის მარცხენა ბოლოთი ანათვლების აღება მოითხოვს მასშტაბის სიზუსტის და ზღვრული სიზუსტის ცნებების ნაყოფიერად გამოყენებას.

მაგალითი 2.3.4.4. ადგილზე გაზომილი ხაზის სიგრძე ტოლია 273,15 მეტრისა. გადავიტანოთ ეს ხაზი გეგმაზე (ნახ. 1) მოცემული ხაზოვანი მასშტაბით. ვინაიდან მოცემული მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე 0,5 მეტრია, 0,15 მეტრს, როგორც ზღვრული სიზუსტის ნახევარზე ნაკლებს, გაზომილს ხაზში, უგულებელვყოფთ და გადავიტანთ 273 მეტრს (ნახაზზე AB მონაკვეთი),

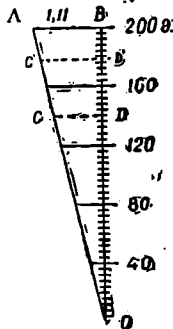
ფარგლის მარჯვენა წვეროს დაკაბევენ B წერტილის შესაბამისად ზომის ხაზზე, სადაც 200 მეტრი წერია, და მარცხენა ფეხს — A წერტილის შესაბამისად მეთხუთმეტე დანაყოფის (მილიმეტრის) 0,6-ზე, ანუ უფრო მოხერხებულაა სამ მესხუთედზე. ფარგალი ვერტიკალურად უნდა გვეპიროს.

მაგალითი 2.3.4.5. 1:5000 მასშტაბიან გეგმაზე გავზომეთ მონაკვეთი ფარგლით, რომლის შესაბამისი (ნახ. 1) არის cd , ე. ი. ადგილზე მისი შესაბამისი სიგრძე იქნება 122 მეტრი.

მეოთხე მაგალითში უნდა მივიღოთ 0,5 მეტრამდე შეცდომა, ხოლო როგორც იყო თქმული, მესხუთე მაგალითში გაცილებით მეტი შეცდომა გვექნება.

ვ. სოლისებრი მასშტაბი

სოლისებრ მასშტაბს ხშირად იყენებენ აეროსურათების შესაბამისი მანძილების განსაზღვრისათვის. ვთქვათ, აეროსურათზე ორ წერტილს შორის მანძილი $d=2,14$ სმ, ადგილზე ამ წერტილებს შორის თარაზული ქვედებულ $L_0=385,2$ მ. აეროსურათის მასშტაბი იქნება 1: $M=2,4:385,2=1:18000$.



ნახ. 2.3.4.4

განხილავთ აეროსურათის სოლისებრი მასშტაბის შესადგენად დადგენილი 1:18000 მასშტაბის შესაბამისად შევარჩევთ AB ფუჭეს ადგილად გამოსაყენებელი რიცხვისათვის, ვთქვათ, 200 მეტრისათვის და თარაზულ AB ხაზზე გადავზომავთ $200:180=1,11$ სმ (ნახ. 4). B წერტილში ქვემოთ დავეშვებთ პერპენდიკულარს და მასზე გადავზომავთ ნებისმიერ ხუთ ან ათ მონაკვეთს იმ ანგარიშით, რომ კუთხე AOB იყოს მახვილი (არა უმეტეს 30°) და დავყოთ გადაზომილ მონაკვეთებს რაც შეიძლება მეტი რაოდენობის მონაკვეთებად. როგორც ნახაზიდან ჩანს, O წვეროს ზევით ყოველი ქვესურის შესაბამისი თარაზული სიგრძე ურთიერთ განსხვავდება AB ფუძის 0,02-ით. ვთქვათ, აეროსურათზე ფარგლით ავიღეთ წერტილებს შორის ორი მანძილი, რომელთა სიგრძეები სოლისებრ მასშტაბზეა CD და $C'D'$. ამ მასშტაბზე ამოკითხვით ადგილზე მათი შესაბამისი სიგრძეები პირველ შემთხვევაში იქნება $120+4 \times 5=140$ მ, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი — $160+4 \times 4,6=178,4$ მეტრი (ნახაზზე წყვეტილი ხაზები).

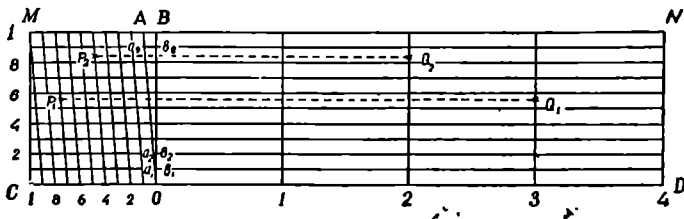
განხილავთ რიცხვითი მასშტაბის შესაბამისი ხაზოვანი მასშტაბის ზღვრული სიზუსტეა 1,8 მეტრი; სოლისებრი მასშტაბით კი მიიღწევა 0,4—0,8 მეტრი. მაშასადამე, სოლისებრი მასშტაბის გამოყენების დროს შეცდომა ხაზოვან მასშტაბთან შედარებით დაახლოებით სამჯერ ნაკლებია.

დ. განივი მასშტაბი

განივი მასშტაბის გამოყენებით ვთავისუფლებით ხაზოვანი მასშტაბის პირველ ფუძეზე ამოკითხვების დროს მცირე ნაწილების თვალთ შეფასებისაგან, რითაც ვაღწევთ ნახაზების სწრაფად, მოხერხებულად და ზუსტად აგებებსა და განსაზღვრებს.

განივი მასშტაბი ხაზოვანი და სოლისებრი მასშტაბის შეერთებას წარმოადგენს.

შერჩეულ a ფუძეს CD წრფეზე თანამიმდევრობით გადაზომავენ რამდენიმეჯერ (ნახ. 5). a ფუძედ მიღებულია 2 სმ. პირველ CO ფუძეს ჰყოფენ m ტოლ ნაწილებად, მაშასადამე, პირველად შედგენილ იქნა ხაზოვანი მასშტაბი. შემდეგ გადაზომილი მონაკვეთების ბოლოებში ამართავენ მართობებს; განა-



ნახ. 2.3.4.5

პირა მართობებზე C და D წერტილებიდან, ჩვეულებრივ, გადაზომავენ n ტოლ 2—3 მმ სიგრძის მონაკვეთებს და თანასახელობის გადაზომვის წერტილებიდან გაატარებენ CD წრფის პარალელურ წრფეებს. პირველ ზედა MB ფუძესაც ჰყოფენ m ტოლ ნაწილად. პირველი ქვემო და ზემო ფუძეების დანყოფნებს შეაერთებენ ირიბი წრფეებით ისე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები. ამ ირიბ ხაზებს ჰქვია ტრანსვერსალები და ამიტომ მასშტაბსაც ხშირად ტრანსვერსალური მასშტაბი ეწოდება. როგორც ვხედავთ, შესრულებული აგებით მარცხენა მხარეზე მივიღეთ თავისებური სახის სოლისებური მასშტაბი. თვით ირიბ ხაზებს შორის ჰორიზონტალური მონაკვეთები ურთიერთ-ტოლებია.

აგების თანახმად $AB = \frac{a}{m}$; $Ob_1 = \frac{OB}{n}$. Oa_1b_1 და OAB მსგავსი სამკუთხედებიდან განივი მასშტაბის უმცირესი მონაკვეთი

$$a_1b_1 = AB \frac{Ob_1}{OB}, \text{ ანუ } a_1b_1 = \frac{a}{mn}. \quad (2.3.4.2)$$

მაშასადამე, განივი მასშტაბის a_1b_1 უმცირესი მონაკვეთი ტოლია წილადის, რომლის მრიცხველია a ფუძე და მნიშვნელი mn ნამრავლი.

ჩვეულებრივ იღებენ $m=n=10$. ასეთ განივ მასშტაბს ასიანი მასშტაბს ეწოდებენ, რადგანაც a_1b_1 წარმოადგენს a ფუძის მეასედს, ხოლო, როცა $a=2$ სმ და $m=n=10$, მაშინ მას განივი ნორმალური ასიანი მასშტაბი ეწოდება. ასეთია (5) ნახაზზე წარმოდგენილი მასშტაბი.

(2) ტოლობის ანალოგიურად განხილავი მასშტაბის მეზობელ a_1b_1 , a_2b_2 , a_3b_3 , ... მონაკვეთებს შორის დამოკიდებულება მათი შესაბამისი სამკუ-

თხედების OAB სამკუთხედთან სათანადო პროპორციების შედგენით დაიწერება:

$$\left. \begin{aligned} a_1 b_1 &= \frac{a}{mn} \\ a_2 b_2 &= 2 \frac{a}{mn} \\ a_3 b_3 &= 3 \frac{a}{mn} \\ a_4 b_4 &= 4 \frac{a}{mn} \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \right\} (2.3.4.3)$$

O და C შესაბამისად (ნახ. 5) O და 1 წარწერა ნიშნავს მასშტაბის ფუძეს, ხოლო მათ შორის წარწერები გამოხატავს $\frac{a}{m}$, $2 \frac{a}{m}$, $3 \frac{a}{m}$, ... განივ ნორმალურ ასიან მასშტაბზე O -სა და 1 -ს შორის, კენტი ციფრების გამოშვებით წერენ 2 , 4 , 6 , 8 , რაც ფუძის მეათედებს ნიშნავს. მასშტაბის მოხერხებულად გამოსაყენებლად CM პირველ მართობზე თანამიმდევრობით ეწერება $\frac{a}{mn}$, $2 \frac{a}{mn}$, $3 \frac{a}{mn}$, ..., ე. ო. ჩვენს შემთხვევაში კენტი ციფრების გამოტოვებით ეწერება 2 , 4 , 6 , 8 , რაც ფუძის მეასედებს ნიშნავს. ახლა განვიხილოთ მცირე $Oa_1 b_1$ სამკუთხედი. დავხაზოთ იგი ვადიდებულად და Ob_1 მონაკვეთი დაეყოთ ათ ტოლ ნაწილად. დაყოფის წერტილებში გავატაროთ თარაზული ხაზები Ob_1 და Oa_1 შორის, რითაც მივიღებთ მსგავს სამკუთხედებს. Ob_1 და Oa_1 შორის თარაზულ მონაკვეთებს თანამიმდევრობით წავაწერთ $a' b'$, $a'' b''$, $a''' b'''$, ... მივიღებთ

$$\left. \begin{aligned} a' b' &= \frac{a_1 b_1}{10} = \frac{a}{10 mn} = \frac{a}{1000} \\ a'' b'' &= 2 \frac{a_1 b_1}{10} = 2 \frac{a}{1000} \\ a''' b''' &= 3 \frac{a_1 b_1}{10} = 3 \frac{a}{1000} \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \right\} (2.3.4.4)$$

მაშასადამე, $Oa_1 b_1$ მცირე სამკუთხედის თარაზული $a' b'$, $a'' b''$, ... მონაკვეთები ურთიერთ ფუძის მეათასდლით განსხვავდებიან.

ქალაღღზე გადასაზომი ან ქალაღლიდან აღებული სიგრძე განივ მასშტაბზე შედგება ოთხი შესაკრებისაგან: 1) O -დან მარჯვნივ ფუძის შესაბამისი ქვედებულის ჯერადი რიცხვი, ათვლილი ფარგლის მარჯვენა ბოლოთი, 2) O -დან მარცხნივ ფუძის მეათედების შესაბამისი ქვედებულის ჯერადი რიცხვი, ათვლილი თვლით პირველ ფუძეზე, 3) ტრანსვერსალზე ფუძის მეასედის შესაბამისი ქვედებულის ჯერადი რიცხვი, ათვლილი CM მართობზე წარწერების მიხედვით, 4) ტრანსვერსალის მონაკვეთზე ფუძის მეათასედის შესაბამისი ქვედებულის ჯერადი რიცხვი, მიღებული თვლით შეფასების შედეგად. ზემოხსენებული თანამიმდევრობის შედეგად ვნახავთ, რომ საბოლოო ანათელის აღე-

ბის ღროს ფარგლის ორივე წვერი იქნება ერთ თარაზულ ხაზზე. მაგალითად (ნახ. 5),

$$Q_1 P_1 = 3_{\text{გ}} + 0,7_{\text{გ}} + 0,05_{\text{გ}} + 0,006_{\text{გ}} = 3,756_{\text{გ}}$$

ვთქვათ, იმავე (5) ნახაზზე ფუძეა ერთი სანტიმეტრი, მაშინ 1:1000 მასშტაბისათვის სათანადო წარწერების მიხედვით ქალაქზე აღებული სიგრძის შესაბამისი ქვედებული ადგილზე $Q_1 P_1 = 37,56$ მ, ან კიდევ ასე, ადგილზე თარაზული ქვედებულის 37,56 მ ქალაქზე შესაბამემა 3,756 სმ. ახლა ვთქვათ, (ნახ.5) წარწერებია 1:2000 მასშტაბის შესაბამისად, როცა ფუძეა 2,5 სმ მაშინ

$$Q_2 P_1 = 100 \text{ მ} + 20 \text{ მ} + 4 \text{ მ} + 0,15 \text{ მ} = 124,15 \text{ მ}$$

(5) ნახაზის მსგავსი განივი მასშტაბები, რომელთაც ფუძედ 1 ან 2 სმ აქვთ, ლითონისაგან გაკეთებული როგორც ტრანსპორტირებზე, ისე სახაზავებზე, ქარხნული წესით მზადდება. ასეთი მასშტაბი შეუძლია გამოიყენოს რამდენიმე მუშაკმა, რომლებიც სხვადასხვა მასშტაბიან გეგმებზე მუშაობენ ან გეგმებს ადგენენ. ვთქვათ, განივი მასშტაბის ფუძე არის 1 სმ, $n=m=10$. ეს მასშტაბი შეიძლება გამოიყენოთ სხვადასხვა მასშტაბიანი გეგმის შესადგენად. ამისათვის გეგმაზე გადასაზომ ქვედებულს გამოვსახავთ სანტიმეტრებში და გავყოფთ მოცემული რიცხვითი მასშტაბის მნიშვნელზე შეათასელი სიზუსტით და მიღებულ რიცხვის შესაბამის სიგრძეს ავიღებთ ზემოხსენებულ განივი მასშტაბზე. როცა გვაქვს განივი ნორმალური ასიანი მასშტაბი, მაშინ მიღებული განაყოფი რიცხვი კიდევ უნდა გავყოთ ორზე და შესაბამისი სიგრძე ავიღოთ მასშტაბზე.

მაგალითი 2.3.4.6. 1:1000 მასშტაბიან გეგმაზე გადასაზომი ქვედებულის სიგრძეა 37,56 მ. გამოვიყენოთ ტრანსპორტირის მასშტაბი (ნახ. 5) და ვივულისხმობთ, რომ მისი ფუძეა ერთი სანტიმეტრი, $n=m=10$. გეგმაზე გადასაზომი მონაკვეთი ამ მასშტაბზე იქნება

$$Q_1 P_1 = 3756 \text{ სმ} : 1000 = 3,756 \text{ სმ}$$

მაგალითი 2.3.4.7. 1:5000 გეგმაზე გადასატანია 124,165 მ სიგრძის ქვედებული. (5) ნახაზზე გადაიზომება

$$Q_2 P_1 = 12416,5 \text{ სმ} : 5000 = 2,483 \text{ სმ}$$

ფუძე, რომ ორი სანტიმეტრი იყოს, ზემოგანხილულ ორივე მაგალითში გადასაზომი რიცხვი გაყოფა ორზე.

ადგილის გეგმის შესაბამისი ქვედებულების სიგრძეების დადგენა შებრუნებულ ამოცანას წარმოადგენს, რაც იგივე მაგალითიდან ნათელია.

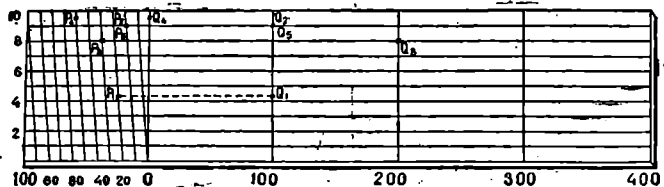
ზემოხსენებულ არითმეტიკული მოქმედებები რომ თავიდან ავიშოროთ, ასე იქცევიან: იმახსოვრებენ თითქოს მასშტაბზე წარწერილ რიცხვებს, რომლებიც მოცემული რიცხვითი მასშტაბისათვის ექნებოდა მას და გამოსახაზავ მანძილს პირდაპირ აიღებენ მასშტაბზე (ნახ. 6). ვთქვათ, მასშტაბის ფუძე ორი სანტიმეტრია (ნახ. 6). მეშვიდე მაგალითისათვის გადასაზომ ქვედებულს დაგამრგვალებთ ხუთი სანტიმეტრის ფარგლებში, ე. ი. გადავზომათ $Q_1 P_1 = 124,165 \approx 124,2$ მ.

როგორც ვხედავთ, განივი მასშტაბზე, როცა მისი ფუძე ერთი სანტიმეტრია და $n=m=10$, ხაზოვანი მასშტაბის გრაფიკული ზღვრული სიზუსტის ტოლი $a_1, b_1 = 0,01$ სმ ადვილად გასარკვევია. ცხადია, იგი მით მეტი სიცხა-

დით გამოჩნდება, რაც უფრო დიდი (არანაკლებ 2 მმ) $O_{b_1}, b_1, b_2, b_3, b_4, \dots$ მონაკვეთები იქნება გადაზომილი. ასე, რომ განივ მასშტაბზე ზომები აიღება ათჯერ უფრო ზუსტად და ადვილად, ვიდრე ხაზოვან მასშტაბზე, მხოლოდ ცალკე აღება ფარგლით ფუძის შეათავსებისა შეუძლებელია.

აქვე დავსძენთ, რომ მოცემული რიცხვითი მასშტაბისათვის განივი მასშტაბის ფუძეები:— n და m ისეთები უნდა შევიარჩიოთ, რომ შესაბამისი რი-

1:5000



ნახ. 2.3.4.6

ცხვები გამოსაყენებლად ადვილი (მრგვალი) იყოს. მაგალითად, როცა მოცემულია მასშტაბის მნიშვნელი 2 ნულით (1:200000, 1:2000, 1:200), უმჯობესია ფუძედ ორნახევარი სანტიმეტრი შევიარჩიოთ ((1) ცხრილი).

ე. მასშტაბი წილად ფუძეზე

იმ შემთხვევაში, როდესაც რიცხვითი მასშტაბის მნიშვნელი არ არის გამოსაყენებლად მოხერხებული რიცხვი ან ვსარგებლობთ არამეტრული ათობითი სისტემის მასშტაბიანი რუკებით და გეგმებით, მუშაობის გაადვილების მიზნით ადგენენ ისეთ ხაზვით მასშტაბს, რომელსაც ფუძე ექნება წილადი, მხოლოდ ქვედებულზე შესაბამისი რიცხვები მრგვალი იქნება. მაგალითად, სოლისებრი მასშტაბის ფუძეა (ნახ. 4) 1,11 სმ, იმის გამო, რომ აეროსურათის რიცხვითი მასშტაბის მნიშვნელი დავამრგვალებთ შემდეგნაირად: აეროსურათის მასშტაბი არის 1:18000, ე. ი. გეგმაზე 1 სმ ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 180 მ. ვადგენთ პროპორციას — რას უნდა უდრიდეს a ფუძე, რომ შესაბამისი ქვედებულის სიგრძე ადგილზე 200 მეტრი იქნეს. მაშასადამე,

$$1 \text{ მს} \text{ --- } 180 \text{ მ} \quad a = \frac{200 \text{ მ} \cdot 1 \text{ სმ}}{180 \text{ მ}} = 1,111 \text{ სმ.}$$

$$a \text{ --- } 200 \text{ მ}$$

ან კიდევ, ვთქვათ, ვსარგებლობთ 200 სე რუკით, ე. ი. გეგმაზე 1 გოჯს ადგილზე შეესაბამება 200 სე. საერთოდ, პირველ რიგში უნდა გავივით რიცხვითი მასშტაბი, რისთვისაც ვერსები და საყენები გოჯებში უნდა გამოვსახოთ. მაშასადამე, ვინაიდან 1 სე=84 გოჯს, 200 სე რუკის მასშტაბი იქნება 1:16800. ვადგენთ პროპორციას.

მოცემული 200 საყენიანი რუკის მასშტაბის მიხედვით 1 სმ ფუძეს ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 168 მეტრი. რას უნდა უდრიდეს a ფუძე, რომ მას შეესაბამებოდეს 200 მეტრი, ე. ი. მასშტაბის ფუძე უნდა იქნეს

$$a = \frac{200 \text{ მ} \cdot 1 \text{ სმ}}{168 \text{ მ}} = 1,1904 \text{ სმ.}$$

განხილავთ რუკისათვის ნებისმიერი სახის ხაზებით (ხაზოვანი, სოლისებრი, განივი) მასშტაბის ფუძეს ავიღებთ 1,19 ან 2,38 სმ. პირველ შემთხვევაში ადგილის ქვედებულის შესაბამისი რიცხვები იქნება 200 მეტრი და მეორე შემთხვევაში 400 მეტრი. ამით რუკის რიცხვითი მასშტაბი იგივე იქნება და ასეც უნდა იყოს, ხოლო წილადფუძიანი მასშტაბის სიზუსტე მცირეოდენ შემცირდება.

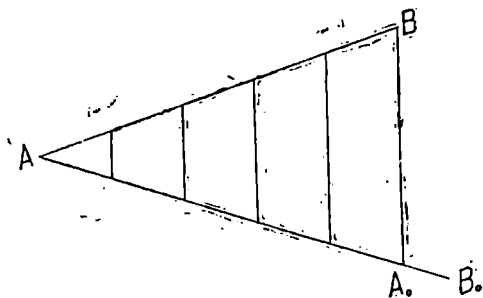
საერთოდ უნდა გვანსოვდეს, ხაზვითი მასშტაბის ფუძე უნდა ავიღოთ 1,19 ან 2,38 სმ. პირველ შემთხვევაში სათანადო რიცხვები ადგილზე იქნება იმდენი მეტრი, რამდენ საქენიანი რუკაც გვაქვს, ხოლო მეორე შემთხვევაში მეტრების რაოდენობა ორჯერ მეტი იქნება. მაგალითად, 500 სჟ რუკისათვის (რუკაზე 1 გოჯს ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 500 სჟ. რიცხვითი მასშტაბი კი იქნება 1:42000) ხაზვითი მასშტაბის 1,19 ფუძეს ადგილზე 500 მეტრი ქვედებული შეესაბამება, ხოლო 2,38 სმ ფუძეს კი ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 1000 მეტრი. რიცხვითი მასშტაბი იგივე დარჩება. მასშტაბს წილად ფუძეზე ხშირად გადასაყვანი მასშტაბი ეწოდება. ამ დონისძიებით ნებისმიერი სისტემით შედგენილ რუკებზე განაზომები მეტრულ სისტემაში მიიღება, რაც მეტად ხელს უწყობს ძველი (საქენური) და სხვადასხვა სისტემის რუკების გამოყენებას. არსებული განივი მასშტაბიდან შეიძლება ავიღოთ გადასაყვანი მასშტაბების ფუძეები შემდეგნაირად:

მაგალითი 2.3.4.8. ვთქვათ, მასშტაბი არის ერთსანტიმეტრიანი ფუძით (ნახ. 6), მაშინ $Q_2P_2=1,19$ სმ, ხოლო $Q_3P_3=2,38$ სმ.

მაგალითი 2.3.4.9. ვთქვათ, მასშტაბი არის ორსანტიმეტრიანი ფუძით (ნახ. 6), მაშინ $Q_1P_1=1,19$, ხოლო $Q_2P_2=2,38$.

ფ. მასშტაბის ფუძის დაყოფის შეხახებ

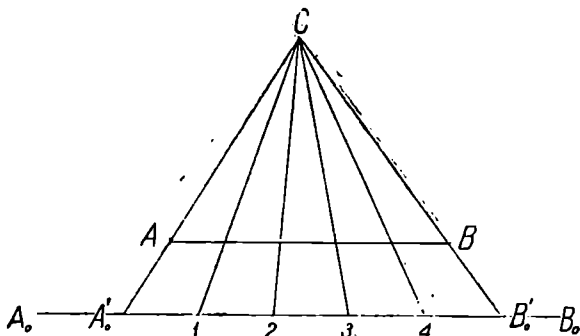
ხაზვითი მასშტაბის ფუძე შეიძლება იყოს სანტიმეტრების ჯერადი სიგრძე და დაგვირდეს არალუწ რიცხვჯერ დაყოფა ან ის იყოს წილადი და საჭირო იყოს ლუწ ან კენტ რიცხვჯერ დაყოფა. ნებისმიერ შემთხვევაში იყე-



ნახ. 2.3.4.7

ნებენ ევკლიდის ან ოსტროგრადსკის ხერხს, რომელთათვისაც დასაყოფი მონაკვეთისადმი დამხმარე ხაზებზე აწარმოებენ იმდენი მონაკვეთის გადაზომვას, რამდენ ნაწილადაც გვინდა ფუძის დაყოფა (ნახ. 7). ევკლიდის

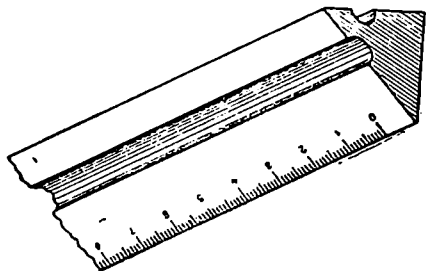
ხერხით AB დასაყოფი მონაკვეთის A წერტილში მახვილი კუთხით გატარებულ AB_0 დამხმარე ხაზზე A წერტილიდან გადაზომილია ხუთი მონაკვეთი და გატარებულია A_0B მონაკვეთის პარალელური ხაზები, რითაც AB მონაკვეთი დაყოფილია ხუთ ტოლ ნაწილად. ოსტროგრადსკის ხერხით (ნახ. 8) დასაყოფი AB ხაზის ქვემოთ ან ზემოთ გატარებულ პარალელურ



ნახ. 2.3.4.8

დამხმარე A_0B_0 ხაზზე ნებისმიერი A_0' წერტილიდან გადავზომავთ ხუთ ტოლ მონაკვეთს (ნახაზზე 1, 2, 3, 4, B_0' წერტილები); $A_0'A$ და $B_0'B$ წერტილების შემაერთებელი წრფეების გაგრძელებით მათ გადაკვეთაზე მივიღებთ C პოლუსს. C პოლუსისა და A_0B_0 დამხმარე წრფეზე გადავზომილ 1, 2, 3, 4 წერტილების შეერთებით AB ხაზი დაიყოფა ხუთ ტოლ ნაწილად.

არსებობს ხაზის დაყოფის ზემოთ აღწერილ ხერხებზე უფრო მოხერხებული და ზუსტი საშუალება, როგორცაა სამიზნე ანუ მასშტაბური



ნახ. 2.3.4.9

(ნახ. 9, უფრო უკეთესია ჟენევის) სახაზავის გამოყენება, რისთვისაც საჭიროა ამ სახაზავს ჰქონდეს უაღრესად თხელი წიბო, ანუ ქალაღზე სახაზავის დადებისას წიბო ქალაღთან უნდა ირწყმოდეს.

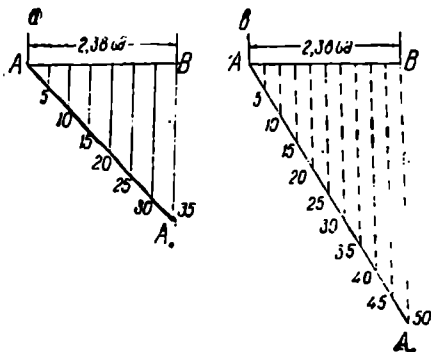
ვთქვათ, AB მონაკვეთია ერთი სანტიმეტრი და საჭიროა მისი ათ ტოლ ნაწილად

დაყოფა. ამისათვის ზემოხსენებული სახაზავი ქვემოდან მიედება დასაყოფ ხაზს ისე, რომ სახაზავის 0 კვესური ზუსტად შეუთავსდეს მონაკვეთის A წერტილს, ხოლო მეათე მილიმეტრი B წერტილს. ვინაიდან სახაზავი მილიმეტრებად არის დაყოფილი და ამავე დროს მისი წიბო თათქმის შერწყმულია

დასაყოფ AB ხაზთან, უაღრესად წაწვეტებული სახაზავი ფანქრის წვერით შეგვიძლია მილიმეტრების შესაბამისი ცხრა შუალედი კვესურის AB მონაკვეთზე დანიშვნა, რითაც მოცემული მონაკვეთი დაიყოფა ათ ნაწილად.

ახლა ვთქვათ, დასაყოფა 2,38 სმ სიგრძის AB მონაკვეთი 7 ან 10 ტოლ ნაწილად (ნახ. 10). B წერტილიდან დაეუშვებთ AB ხაზისადმი მარ-

თობს. მივადებთ სახაზავის 0-ს A წერტილს და როგორც სახსრის მიმართ, ისე ვაბრუნებთ, სანამ სახაზავი B წერტილის მართობს არ გადაკვეთს პირველ შემთხვევაში (ნახ. 10^ა) 7-ს ჯერად (35 მილიმეტრებიან) და მეორე (ნახ. 10^ბ) შემთხვევაში 10-ს ჯერად (50 მილიმეტრებიან) რიცხვზე (წერტილები A_0). შემდეგ A -დან თანამიმდევრობით ფანქრით დაენიშნავთ სახაზავის წიბოს ყოველ მეხუთე კვესურის შესაბამის წერტილს ქალაღზე და ბოლოს ამ წერტილებში გავატარებთ A_0B პერპენდიკულარის პარალელურ ხაზებს, რითაც ზუსტად დაიყოფა AB ხაზი შვიდ და ათ ტოლ ნაწილებად. ეს ხერხი უფრო ზუსტია, რადგანაც აქ გამოყენებულია ზუსტი სახაზავი და ამავე დროს პარალელური ხაზები AB ხაზს მართობულად ჰკვეთს. გაცილებით უფრო ზუსტ შედეგს მოგვცემს ენევეის სახაზავის გამოყენება, რომელზეც 0,2 მმ მონაკვეთებია დატანილი და აგრეთვე მას აქვს ლუპა (გამადიდებელი შუშით).



ნახ. 2.3.4.10

1.

ნაჩვილთა მღებარეობის განსაზღვრის საკითხისათვის

პრაქტიკაში სხვადასხვა მიზნით საჭირო ხდება წერტილთა მღებარეობის განსაზღვრა. მაგალითად, ადგილზე აწარმოებენ წერტილთა მღებარეობის განსაზღვრას ქალაღღზე (რუკაზე, გეგმებზე) მათი გადატა ისათვის; გეგმაზე (ან რუკაზე) საზღვრავენ წერტილთა მღებარეობას ადგილზე მათი მოძებნის მიზნით; საზღვრავენ პროექტის წერტილთა მღებარეობებს ადგილზე მათი გადატანის მიზნით.

წერტილთა მღებარეობის განსაზღვრის ნებისმიერი შემთხვევა დაკავშირებულია კოორდინატების განსაზღვრის ცნებებთან, რომლებიც, თავის მხრივ, მოიცავს ცნებებს მიმართებისა და მიმართულების შესახებ. ამიტომ მიზანშეწონილად მიგვაჩნია პირველ რიგში განვიხილოთ საკითხები მიმართებისა და მიმართულების შესახებ.

2.4.1. ადგილზე ხაზი. მიმართული მონაკვეთები. ღერძი

ადგილზე ხაზს წარმოადგენს წერტილთა უწყვეტი ღია ან შეკრული ნებისმიერი წარმოდგენითი ზოლი, რომელსაც აქვს ერთი განზომილება — სიგრძე, ე. ი. ხაზის ძირითადი თვისება ერთეული განზომილებაა. ამიტომ ზღვრული გრაფიკული სიზუსტის შესაბამისად (2.3.4 პარაგრაფი) ზომის ხაზებს ქალაღღზე უაღრესად ვიწრო (0,07—0,08 მმ) ზოლის სახით ხაზავენ. ადგილის გეგმის (ან რუკის) შედგენისათვის ტოპოგრაფიულ ზედაპირზე ინიშნება მოხვევისა და ვერტიკალური გარდატეხის წერტილები, ანუ ხაზებს ჰყოფენ მონაკვეთებად.

ადგილზე და სათანადოდ შემციირებულ ქალაღღზეც, ხაზის მონაკვეთს ეწოდება მიმართული, ანუ მოგეზილი, თუ მის განაპირა ერთ-ერთ წერტილს მივიღებთ სათავედ, ხოლო მეორეს — ბოლოდ. მაგალითად, \overline{AB} აღნიშნავს მიმართულ (მოგეზილ) მონაკვეთს, რომლის სათავეა A , ხოლო

ნახ. 2.4.1.1.

ბოლო B წერტილი; ასევე \overline{BA} ნიშნავს მიმართულ მონაკვეთს, რომლის სათავეა B , ხოლო A ბოლო.

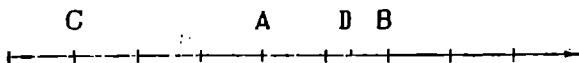
სივრცეში ნებისმიერი მღებარეობის სიბრტყეზე გატარებული მიმართული მონაკვეთების ურთიერთდაკავშირებისათვის როგორც ადგილზე, ისე ქალაღღზე საჭიროა გეჰონდეს გამოსაკალი (შესადარი) ხაზი, ანუ ღერძი. ადგილზე, ასევე ქალაღღზე წრფეს, რომელზეც პირობით დაინიშნება მიმართება

(გეზი) და ზომის ერთეულების შესაბამისი მონაკვეთები, ეწოდება ლერძი. ლერძის მიმართება ითვლება დაღებითაღ (ნახ. 1).

მიმართული მონაკვეთის ოდენობა ხასიათდება მისი სიგრძით და ნიშნით, რომელიც დგინდება მოცემული ლერძისადმი ამ მონაკვეთების შედარებით.

მონაკვეთის მიმართება თუ ლერძის მიმართებისაა, მონაკვეთი დაღებითაა, წინააღმდეგ შემთხვევაში უარყოფითი იქნება.

\overline{AB} მიმართული მონაკვეთის ოდენობა გამოისახება \overline{AB} სიმბოლოთი. მაგალითად, ლერძზე მდებარე A, B, C, D წერტილების შესაბამისი მონაკვეთების (ნახ. 2) სიგრძეებია: $AB=2; AC=3; AD=\sqrt{2}$, ხოლო $\overline{AB}, \overline{AC}$,

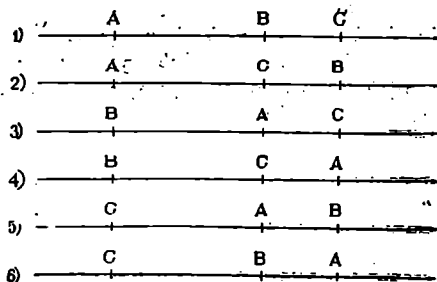


ნახ. 2.4.1.2.

$\overline{BD}, \overline{CD}$ მიმართული მონაკვეთების ოდენობები იქნება: $\overline{AB}=+2; \overline{AC}=-3; \overline{BD}=\overline{BA}-\overline{DA}=-2-(-\sqrt{2}); \overline{CD}=\overline{CA}+\overline{AD}=+3+\sqrt{2}$.

სამთო გეომეტრიული ამოცანების ამოხსნის დროს ხშირად მონაკვეთს აძლევენ მიმართებას (გეზს) დაღმართისაკენ, ანუ უმაღლესი ნიშნულის წერტილიდან დაბალი ნიშნულის წერტილისაკენ. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში ნებისმიერი მონაკვეთის გეზი განსაზღვრულია და ჩვენზე არ არის დამოკიდებული მისი მიმართების დანიშვნა.

ზემოხსენებულის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს გეომეტრიაში საკირო იგივეობის განსაზღვრება შემდეგნაირად: მოცემულ ლერძზე ნებისმიერი რაოდენობის წერტილებს შორის ნებისმიერი განლაგების მქონე მიმართული მონაკვეთების ჯამითოლია მიმართების მქონე ისეთი მონაკვეთისა, რომელსაც საწყის წერტილად აქვს პირველი შესაკრები მონაკვეთის სათავე, ხოლო ბოლო წერტილად ბოლო შესაკრები მონაკვეთის ბოლო. მაგალითად, A, B, C წერტილებს შეიძლება ჰქონდეთ ექვსი სხვადასხვა მდებარეობა, რომელთა შესაბამის მიმართულ მონაკვეთებს შორის მართებული იქნება ასეთი დამოკიდებულება:



ნახ. 2.4.1.3.

$$\overline{AB} + \overline{BC} = \overline{AC}. \quad (2.4.1.1)$$

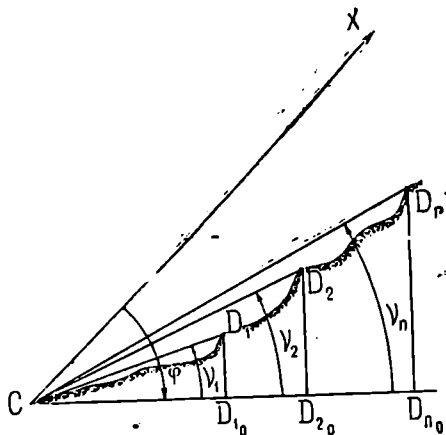
მართლაც, (3 ნახაზის) შესაბამისად დატულია იგივეობები:

- 1) $\overline{AB} + \overline{BC} = +\overline{AC}$; 2) $\overline{AB} - \overline{BC} = +\overline{AC}$; 3) $-\overline{AB} + \overline{BC} = +\overline{AC}$;
 4) $-\overline{AB} + \overline{BC} = -\overline{AC}$; 5) $+\overline{AB} - \overline{BC} = -\overline{AC}$; 6) $-\overline{AB} - \overline{BC} = -\overline{AC}$.

2.4.2. მიმართულება. თარაზული მიმართულება (ორიენტირება). ვერტიკალური მიმართულება. სივრცეში (აღვიწევი) მიმართულება

მიმართული მონაკვეთის მიმართულება ეწოდება კუთხეს, რომელსაც ამ მონაკვეთის ქვედებული ჰქმნის რაიმე გამოსავალ სიბრტყესთან ან ღერძთან.

ადგილის C წერტილიდან D_i ($i=1, 2, \dots, n$) წერტილზე ორიენტირებისათვის, ანუ გაგნებისათვის, საჭიროა D_i წერტილი დაუკავშიროთ C წერტილსა და მის დონებრივ (თარაზულ) სიბრტყეზე გატარებულ X ღერძს, ანუ გავზომოთ ფკოლარული თარაზული კუთხე, რომელსაც ეწოდება თარაზული მიმართულება (ნახ. 1). როგორც ნახაზიდან ჩანს, ფ თარაზული მიმართულება საშუალებას იძლევა გასწვრივობაში



ნახ. 2.4.2.

მყოფ D_1, D_2, \dots, D_n წერტილებზე ორიენტირებისას, ხოლო, როცა საჭიროა სახელდობრ რომელიმე წერტილზე მიმართულების აღება, მაშინ, გარდა ფ საორიენტირო კუთხისა, საჭიროა ვიცოდეთ შესაბამისი v_i დახრის კუთხე, რომელსაც C წერტილიდან D_i წერტილზე მიმართული მონაკვეთი ადგენს თავის CD_i ქვედებულთან და რასაც ვერტიკალური მიმართულება ეწოდება. მაშასადამე, ადგილზე დგომის C წერტილიდან სივრცის ნებისმიერ D_i წერტილზე მიმართულების, ანუ სივრ-

ცეში მიმართულების დადგენისათვის საჭიროა საორიენტირო ფ კუთხისა და შესაბამისი v_i დახრის კუთხის, ანუ თარაზული და ვერტიკალური მიმართულების ცოდნა. ეს კუთხეები, რთვორც ქვემოთ ვნახავთ, CD_i მანძილებთან ერთად საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ სივრცის D_i წერტილთა მდებარეობა.

როგორც ვხედავთ, ორიენტირება, ანუ თარაზული მიმართულება და სივრცეში ანუ სახელდობრ წერტილზე მიმართულება სხვადასხვა ცნებებია.

პირველ შემთხვევაში საკმარისია მხოლოდ ფ კუთხის ცოდნა, ხოლო მეორე შემთხვევაში საჭიროა სათანადო v_i დახრის კუთხეც.

ძირითადად ორიენტირების (გაგნების) სამი შემთხვევა გვხვდება:

1. როცა საჭიროა საორიენტირო ფ კუთხის გაზომვა;
2. როცა საჭიროა ცნობილი საორიენტირო ფ კუთხით წერტილზე

გაგნება;

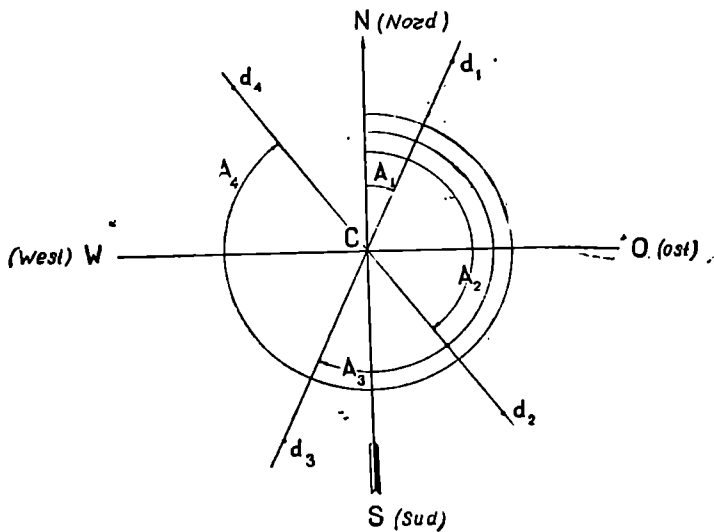
3. არსებული რუკებისა და გეგმების ორიენტირება, ანუ თარაზულად მათი ისე შებრუნება, რომ ადგილზე დგომის წერტილსა და ნებისმიერ წერტილზე გატარებულ შვეულ სიბრტყეში (გასწვრივობაში) მოხვდეს გეგმაზე (ან რუკაზე) არსებული შესაბამისი წერტილები.

ცნობილია, რომ გეოდეზიაში დგომის C წერტილში ნაცვლად X ღერძისა გამოსავალ (საორიენტაციო) ღერძად იყენებენ C წერტილის ასტრონომიულ მერიდიანს, გეოდეზიურ მერიდიანს და აგრეთვე, როგორც ქვემოთ ვნახავთ, ღერძა მერიდიანის გეოდეზიურ პარალელს, მაგნიტურ მერიდიანს და საყრდენ პუნქტებს შორის ხაზების პროექციებს სფეროიდულ, სფერულ ზედაპირზე ან დონებრივ სიბრტყეზე. ამ შემთხვევაში თარაზული მიმართულების გამოქსახველ ფკუთხეს შესაბამისად ეწოდება: გეოგრაფიული აზიმუტი ან რუგბი (ასტრონომიული და გეოდეზიური), ღირექციული კუთხე ან ღირექციული რუგბი, მაგნიტური აზიმუტი ან რუგბი და მიმართების კუთხე.

4. გეოგრაფიული აზიმუტი და აზიმი

(გეოგრაფიული ორიენტირება)

განსაზღვრება α აზიმუტის, როგორც ერთ-ერთი ციური კოორდინატის შესახებ, მოცემულია (1.3.5) პარაგრაფში. ადგილის ნებისმიერი პუნქტის ასტრონომიული ორიენტირების, ანუ A ასტრონომიული აზიმუტის განსაზღვრებისა და განსაზღვრის საკითხზე მიძღვნილია 8.1 თავი, ხოლო მისი ორ-

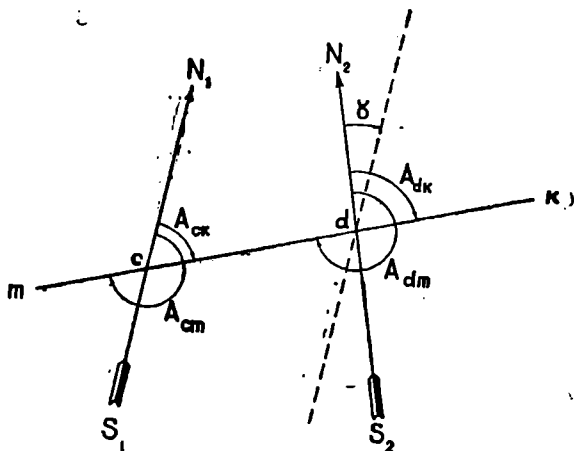


ნახ. 2.4.2.2.

გეარი ბუნებისა და A_3 გეოდეზიური აზიმუტის ლაბლასის (2.1.2.20) ფორმულით გამოყვანის შესახებ დაწვრილებითაა გაშუქებული (2.1.2) პარაგრაფში;

იქვეა მოხსენებული, რომ A ასტრონომიული აზიმუტები, გაზომილი $\pm 30 - \pm 60''$ სიზუსტით, მიღებულია გეოდეზიურ აზიმუტად და როგორც ასტრონომიულ, ისე გეოდეზიურ მერიდიანებს, კოორდინატებსა და აზიმუტებს მოკლედ უწოდებენ გეოგრაფიულ (კეშმარიტ) მერიდიანებს, კოორდინატებს და აზიმუტებს. ამ პუნქტში განვიხილოთ საკითხი დონებრივ სიბრტყეზე გეოგრაფიული A აზიმუტის შესახებ, ე. ი. საქმე გვექნება გეოგრაფიულ საშუალებო ხაზთან, რომელიც შეეხება როგორც ასტრონომიულ, ისე გეოდეზიურ აზიმუტს. მაშასადამე, აზიმუტის განსაზღვრების შესაბამისად, ადგილზე რგომის C პუნქტიდან ნებისმიერ D , პუნქტის გეოგრაფიული A , აზიმუტი იქნება თარაზული კუთხე, შედგენილი პუნქტზე მიმართული მონაკვეთის cA ქვედებულის მიერ c პუნქტის საშუალებო ხაზის ჩრდილო მიმართებასთან და იცვლება $0^\circ - 360^\circ$ — ჩათვლით საათის ისრის მოძრაობის შესაბამისად (ნახ. 2).

mk წრფეზე (ნახ. 3) მდებარე k^1 პუნქტის გეოგრაფიული აზიმუტი იზრდება γ კუთხით, თუ ადგილზე დაკვირვების პუნქტს c წერტილიდან გადავა-



ნახ. 2.4.2.3.

ადგილებზე d წერტილში და პირიქით, m პუნქტის გეოგრაფიული აზიმუტი შემცირდება γ კუთხით, როცა დაკვირვების პუნქტს d წერტილიდან გადავადგილებთ c წერტილში. მართლაც (ნახ. 3),

$$\left. \begin{aligned} A_{d\kappa} &= A_{c\kappa} + \gamma \\ A_{dm} &= A_{cm} - \gamma \end{aligned} \right\} \quad (2.4.2.1)$$

სადაც $A_{c\kappa}$ არის mk (ქალაღზე) მიმართული ქვედებულის c წერტილში აზიმუტი. შეიძლება იგი აღინიშნოს ($c\kappa$) სიმბოლოთი;

¹ საერთოდ მთავარი ისევეა ადგილზე პუნქტებს აღნიშნავენ, სიბრტყეზე კი გამოსახვენ მცირე ასოებით.

A_{dk} — mk მიმართული ქვედებულის d წერტილში აზიმუტი და შეიძლება აღინიშნოს (dk) სიმბოლოთი;

A_{dm} — km მიმართული ქვედებულის d წერტილში აზიმუტი და შეიძლება აღინიშნოს (dm) სიმბოლოთი;

A_{cm} — km მიმართული ქვედებულის e წერტილში აზიმუტი და შეიძლება აღინიშნოს (cm) სიმბოლოთი;

γ — გეოგრაფიული მერიდიანების, ანუ მათი საშუალო ხაზების, შეახლოების კუთხე (მოკლედ, მერიდიანების შეახლოების კუთხე).

მაშასადამე, მიმართული ქვედებულის აზიმუტი იზრდება შესაბამის მერიდიანთა შეახლოების γ კუთხით, როცა დაკვირვების სადგურს აღმოსავლეთით გადავადგილებთ, ხოლო დასავლეთით გადაადგილებით იგივე წესით მცირდება.

ასხვავებენ mk ქვედებულზე პირდაპირ და შებრუნებულ აზიმუტს. საერთოდ, პირდაპირი აზიმუტი ცნობილია გაზომვის შედეგიდან ან ცნობარებიდან, შებრუნებულ აზიმუტს კი მათი საშუალებით ანგარიშობენ. ვთქვათ, mk ქვედებულის (ნახ. 3) e წერტილში $A_{ek} = A_{ek}$ არის პირდაპირი აზიმუტი, რომელიც აღვნიშნოთ A_1 სიმბოლოთი, შებრუნებული კი იქნება A_{em} და აღვნიშნოთ A_2 , მაშინ

$$A_2 = A_1 \pm 180^\circ, \quad (2.4.2.2)$$

ხოლო d წერტილში mk ქვედებულის (e წერტილისადმი) შებრუნებული აზიმუტი იქნება A_{de} (ნახაზზე A_{em}), რომელიც აღვნიშნოთ A_3 სიმბოლოთი, მაშინ ნახაზის მიხედვით დავწერთ:

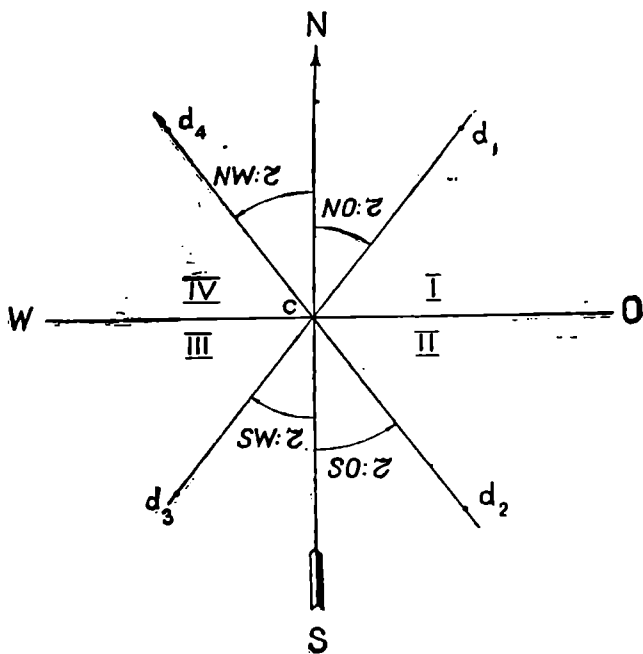
$$A_3 = A_1 \pm 180^\circ \pm \gamma. \quad (2.4.2.3)$$

მაშასადამე, (2) და (3) დამოკიდებულებების შესაბამისად სივრცეში მიმართული მონაკვეთის mk ქვედებულის ერთი და იმავე e წერტილში შებრუნებულ აზიმუტი უდრის პირდაპირ აზიმუტს $\pm 180^\circ$, ხოლო მის სხვადასხვა e და d წერტილში შებრუნებულ აზიმუტი ტოლია პირდაპირ აზიმუტს $\pm 180^\circ \pm \gamma$. ორივე შემთხვევაში პლუსებს ავიღებთ, როცა პირდაპირი აზიმუტი ნაკლებია 180° , ხოლო მინუსებს, როცა იგი მეტია 180° -ზე.

გეოგრაფიული რუმბი ეწოდება უმცირეს მოსაზღვრე თარაზულ კუთხეს, რომელსაც დგომის წერტილის საშუალო ხაზთან ადგენს ამავე წერტილიდან მიმართული მონაკვეთის ქვედებულს (ნახ. 4). მაშასადამე, მისი როდენობა იცვლება $0^\circ - 90^\circ$ -მდე მერიდიანის როგორც N ჩრდილო, ისე S სამხრეთ მიმართებიდან O აღმოსავლეთით და W დასავლეთით. გარდა r კუთხური ოდენობებისა, საჭიროა იმ კვადრანტის (სრული კუთხის მეოთხედის) ცოდნა, რომელშიც იმყოფება ესა თუ ის მიმართული მონაკვეთი. მაგალითად: I კვადრანტი — NO ($Nord-Ost$); II — SO ($Sud-Ost$); III — SW ($Sud-West$) და IV — NW ($Nord-West$). ყველა შემთხვევაში პირველ ასოდ იწერება მერიდიანის N ან S მხარე. ამ წესის დაცვით (ნახ. 4)

cd_1	მონაკვეთის გეოგრაფიულ რუმბს აღნიშნავენ	$NO : r$;
cd_2	" " " "	$SO : r$;
cd_3	" " " "	$SW : r$;
cd_4	" " " "	$NW : r$.

როგორც ცნობილია, მათემატიკაში მთავარია აბსცისათა x ღერძი და შეთანხმების თანახმად კვადრანტები იზრდება x ღერძის მიმართებიდან, ანუ დადებითი მიმართულებიდან y ორდინატთა ღერძის მიმართებისაკენ მცირე კუთხური მანძილით, რომელსაც შეესაბამება მარცხენა სისტემა, ანუ I, II, III, IV კვადრანტის ნომრების ზრდა საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. გეოდეზიაში x აბსცისათა ღერძის როლს ასრულებს პერიდიანი (საშუაღლო ხაზი), ხოლო y ორდინატებისას — WO ღერძი. მაშასადამე, რომ დავიცათ კვადრანტების დანომრვის მათემატიკაში მიღებული წესი (x ღერძის) დადებითი მიმართებიდან y ღერძის დადებითი მიმართებისაკენ (მცირე კუთხუ-



ნახ. 2.4.2.4:

რი მანძილით), საჭიროა N -დან კვადრანტების ნუმერაცია იზრდებოდეს საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ეს წესი დაკუთვლია აზიმუტის მიმართაც, რის გამართლებას ვნახავთ პოლარული კოორდინატების შესწავლის დროსაც.

(2) და (4) ნახაზების შეთავსებით, ანუ აზიმუტისა და რუმბის ცნების

შესაბამისად, (1) ცხრილში მოცემულია მათი დამოკიდებულების განმსაზღვრელი ფორმულები.

ცხრილი 2.4.21

მიმართული მონაკვეთი	ცნობილი აზიმუტები	გამოთვლება რუშებებზე	ცნობილი რუშებები	გამოთვლება აზიმუტები
cd_1	$A_1=0^\circ-90^\circ$	$NO:r=A_1$	$NO:r$	$A_1=NO:r$
cd_2	$A_2=0^\circ-180^\circ$	$SO:r=180^\circ-A_2$	$SO:r$	$A_2=180^\circ-SO:r$
cd_3	$A_3=0^\circ-270^\circ$	$SW:r=A_3-180^\circ$	$SW:r$	$A_3=180^\circ+SW:r$
cd_4	$A_4=0^\circ-360^\circ$	$NW:r=360^\circ-A_4$	$NW:r$	$A_4=360^\circ-NW:r$

აღვილი მისახვედრია, რომ შებრუნებული რუშებების კუთხური ოდენობა იგივე იქნება, რაც პირდაპირის, მხოლოდ კვადრანტის სახელწოდება შეიცვლება მათი სიმეტრიული კვადრანტებით. მაგალითად, თუ cd_1 პირდაპირი რუშებია $NO:r$, შებრუნებული რუშები ანუ cd_4 ქვედებულის რუშები იქნება $SW:r$. აქ შედარებით მოკლე მანძილებზე მერიდიანთა შეახლოების კუთხეს მხედველობაში არ ვღებულობთ.

ბ. დიამეტრული კუთხე. გეოგრაფიულ აზიმუტებსა და დიამეტრული კუთხეებს შორის დამოკიდებულება. დიამეტრული რუშები (გეოგრაფიული ორიენტორება)

ცნობილია, რომ ბრუნვის ელიფსოიდზე CM_1M_2D გეოდეზიური ხაზის გეოდეზიური აზიმუტი (ნახ. 5), ანუ წინა მუხლში ჩენი დაშვებით გეოგრაფიული აზიმუტი, M_1 წერტილში იქნება სფერული $A_{M_1M_2}$ კუთხე, რომელიც შექმნილია გეოდეზიური ხაზის მიერ M_1 წერტილის გეოგრაფიული (გეოდეზიური) მერიდიანის მხების ჩრდილო მიმართებასთან. იმავე ხაზის M_2 წერტილში $A_{M_1M_2}$ აზიმუტი მეტი იქნება γ კუთხით, რომელსაც ვუწოდებთ M_1 და M_2 წერტილების გეოგრაფიული (გეოდეზიური) მერიდიანების შეახლოების კუთხე (ნახ. 5)¹. M_2F არის M_1P მერიდიანის გეოდეზიური პარალელის რკალი, რადგანაც იგი აერთებს M_1P მერიდიანის სხვადასხვა წერტილებიდან დაშვებული ტოლი სიგრძის გეოდეზიური ხაზების მონაკვეთების ბოლო წერტილებს, ანუ პარალელურია M_1P მერიდიანისა (2.2.3 პარაგრ. E მუხლი). ამიტომ γ კუთხეს შეიძლება ეწოდოს M_2 წერტილში M_2F გეოდეზიური პარალელის აზიმუტი. მისი ოდენობა იზრდება გეოდეზიურ ხაზზე აღმოსავლეთით გადაადგილებისას და მცირდება დასავლეთით გადაადგილების დროს.

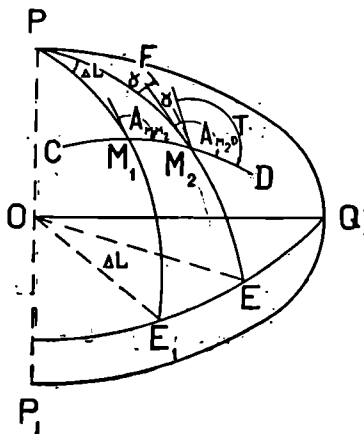
ახლა ვთქვათ, ვმუშაობთ სფერული ორგვერდოვანედის, ანუ ფიუზოს² ფარგლებში, რაც ჩვენში გაუსის პროექციებისა და კოორდინატების შემოღებასთან არის დაკავშირებული (2.5.4 პარაგრაფი). აგრეთვე დაუშვათ, რომ ამ

¹ გამოთვლილი რუშებების მნიშვნელობები გამოხატავს ყოველ კვადრანტში F -ის რიცხვით ოდენობას.

² მერიდიანთა შეახლოების γ კუთხის გამოსათვლელი ფორმულების გამოყვანა მოცემულია 2.5.4 პარაგრაფის A მუხლის E პუნქტში.

³ სფერულ ან სფეროიდულ ორგვერდოვანედს, ზოგადად, ეწოდება ფიუზო, რაც ქართულად თითისტარს ნიშნავს.

ორგვერდოვანედის ღერძა მერიდიანია M_1P (ნახ. 5) და M_2 წერტილში გვინდა გამოვიყენოთ არა A_{M_1D} აზიმუტი M_2D მონაკვეთის საორიენტაციოდ, არამედ T , რომელსაც ელიფსოიდზე CM_1M_2D გეოდეზიური ხაზის



ნახ. 2.4.2.5.

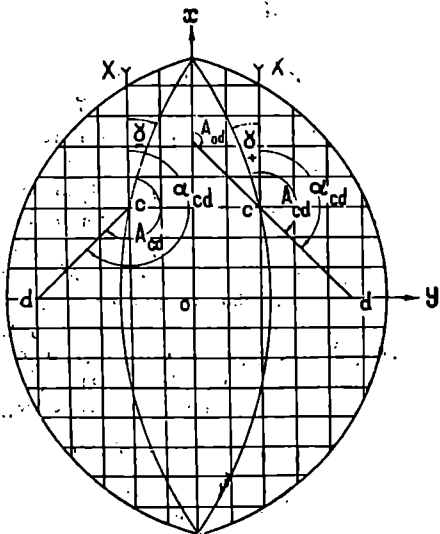
მიმართების დირექციული კუთხე ეწოდება და რომელიც ფიუზოს ფარგლებში მუდმივია გეოდეზიური ხაზის ყოველ წერტილში. მაშასადამე, $FM_2D = T$ დირექციული კუთხე ეწოდება კუთხეს, შექმნილს გასაგანები (საორიენტაციოდ) მიმართების მიერ მოცემულ წერტილში ღერძა მერიდიანის გეოდეზიური პარალელის ჩრდილო მიმართებასთან. ახლა γ -ს ეწოდება მერიდიანთა შეახლოების კუთხე გაუსიტ. ნახზიდან:

$$\left. \begin{aligned} \text{ანუ } T &= A_{M_2D} - \gamma \\ A_{M_2D} &= T + \gamma \end{aligned} \right\} \quad (2.4.2.4)$$

საორიენტაციო CM_1M_2D გეოდეზიური ხაზისა და ღერძა მერიდიანის გადაკვეთის M_1 წერტილში $A_{M_1M_2}$ აზიმუტი და T დირექციული კუთხე ოდენობით ტოლებია, მაგრამ

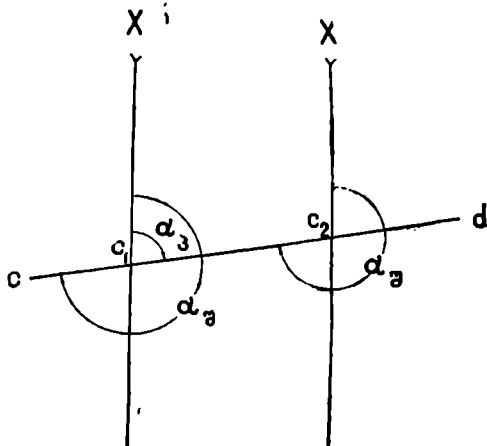
შინაარსობრივად ურთიერთგანსხვავებული სიდიდეებია, ამიტომ ვამბობთ $A_{M_1M_2}$ აზიმუტს და არა T დირექციულ კუთხეს, რადგანაც T დირექციული კუთხე განსაზღვრების შესაბამისად დაკავშირებულია არა ღერძა მერიდიანთან, არამედ მის პარალელურ ღერძთან, რომელიც მერიდიანს არ წარმოადგენს.

როდესაც გეოდეზიურ ქსელებს ავეგმილებენ ელიფსოიდის (ან სფეროს) ზედაპირიდან სიბრტყეზე გაუსის პროექციებში, მაშინ როგორც ითქვა, ფიუზოს ფარგლებში ყველა საო-

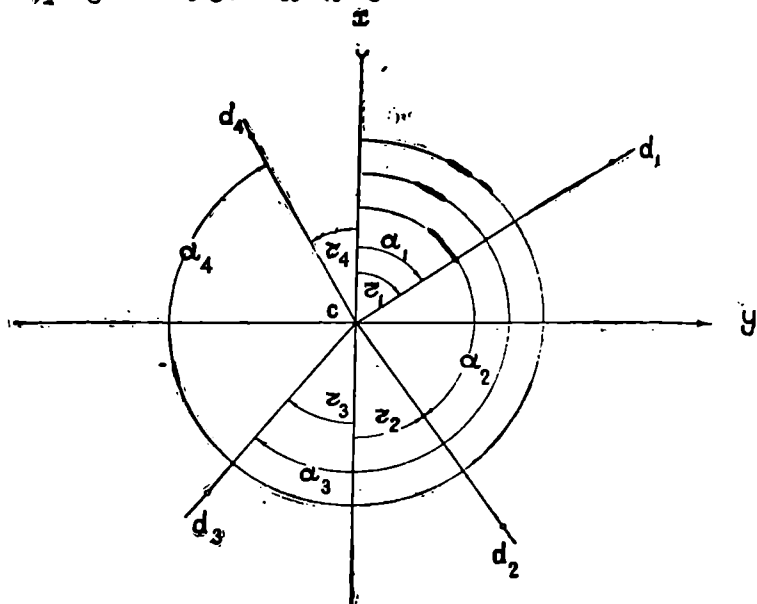


ნახ. 2.4.2.6.

რიენტრო ქვედებულებს უკავშირებენ x ღერძა მერიდიანის პარალელურ ღერძებს, რომელთაც განსტოებულ გეზიანი x ღერძით აღნიშნავენ (6, 7, 8 ნახაზი), ხოლო დირექციულ კუთხეებს აღნიშნავენ α სიმბოლოთი, ჰქმნიან კილომეტრულ ბადეს და გეგმაზე (ან რუკაზე) ადვილდება მუშაობა დირექციული კუთხეების გამოყენებით. აქ განიხილება ორი შემთხვევა: 1) როცა გეოდეზიური ხაზების სიგრძეები მეტია 5 კმ-ზე. ამ შემთხვევაში საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული σ რედუქცია (მესწორება) საორიენტრო გეოდეზიური ხაზის სფეროიდის (ან სფეროს) ზედაპირიდან სიბრტყეზე გამოსახულების სიმრუდისათვის და 2) როცა საორიენტრო გეოდეზიური ხაზები ნაკლებია 5 კმ, სადაც სიმ-



ნახ. 2.4.2.7.



ნახ. 2.4.2.8.

ცირის გამო σ მხედველობაში არ მიიღება. პირველი შემთხვევა განხილულია 2.5.4 პარაგრაფის A მუხლის d პუნქტში.

ახლა განვიხილოთ საკითხი აზიმუტებსა და დირექციულ კუთხეებს შორის დამოკიდებულების შესახებ.

აქ განვიხილავთ შემთხვევას, ანუ, როცა მხედველობაში არ მიიღება σ შესწორება. ამ შემთხვევაში (6) ნახაზის მიხედვით დაიწერება ალგებრული ტოლობა:

$$A_{ei} = \alpha_{ei} \pm \gamma = \alpha_{ei} + \gamma, \quad (2.4.2.5)$$

ანუ

$$\alpha_{ei} = A_{ei} \mp \gamma = A_{ei} - \gamma. \quad (2.4.2.6)$$

როგორც ნახაზიდან ჩანს γ მერიდიანთა შეახლოება არის ალგებრული რიცხვი, რომელსაც ღერძა მერიდიანიდან აღმოსავლეთისაკენ + ნიშანი აქვს, ხოლო დასავლეთისაკენ — მინუსი. მაშასადამე, სიბრტყეზე მიმართული მონაკვეთის გეოგრაფიული აზიმუტი უდრის α დირექციული კუთხისა და მერიდიანთა შეახლოების ალგებრულ ჯამს, ანუ დირექციული α კუთხე ტოლია მიმართული მონაკვეთის გეოგრაფიული აზიმუტისა და მერიდიანთა შეახლოების ალგებრული სხვაობის.

თუ დავაკვირდებით მე-7 ნახაზს, დავასკვნით, რომ წრფის დირექციული კუთხე მუდმივაა და მის, როგორც ერთი და იმავე, ისე სხვადასხვა წერტილში შებრუნებული დირექციული კუთხე უდრის პირდაპირ დირექციულ კუთხეს $\pm 180^\circ$; პლუსი, როცა პირდაპირი დირექციული კუთხეა 180° -ზე ნაკლები, და მინუსი, როცა პირდაპირი დირექციული კუთხე მეტია 180° -ზე. მაშასადამე, დავწერთ

$$\alpha_3 = \alpha_3 \pm 180^\circ. \quad (2.4.2.7)$$

დირექციული რუმბი ეწოდება უმცირეს მოსახლვრე კუთხეს, რომელსაც CM მიმართული მონაკვეთის ქვედებულ ადგენს e წერტილში გატარებულ ღერძა მერიდიანის პარალელურ ღერძთან. (8) ნახაზზე აღნიშნულია როგორც α_i დირექციული კუთხეები, ისე დირექციული r_i რუმბები, r_i რუმბებს ხშირად ცხრილურ კუთხეებს უწოდებენ.

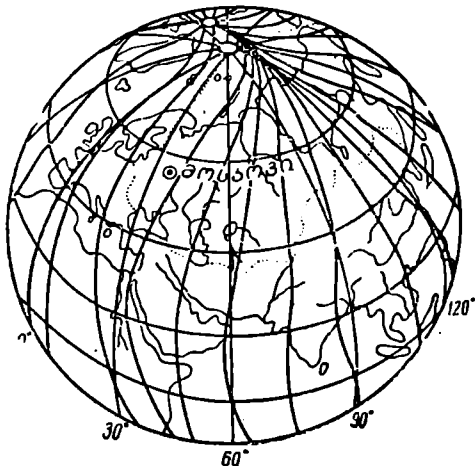
რუმბების ინდექსები გამოსახავს კვადრანტებს. დირექციულ კუთხეებსა და დირექციულ რუმბებს (ცხრილურ კუთხეებს) შორის ზუსტად ისეთივე დამოკიდებულებაა, როგორც გეოგრაფიულ აზიმუტებსა და გეოგრაფიულ რუმბებს შორის. მაშასადამე, შეგვიძლია ვისარგებლოთ (1) ცხრილით, თუ მასში ნაცვლად A_i , $NO:r$, $SO:r$, $SW:r$, $NW:r$ სიმბოლოებისა შესაბამისად შევიტანთ α_i და r_i სიმბოლოებს (მე-2 ცხრილი).

ცხრილი 2.4.2.2

მიმართული მონაკვეთი	ცნობილი დირექციული კუთხით	გამოითვლება დირექციული რუმბი ანუ ცხრილური კუთხე	ცნობილი დირექციული რუმბით ანუ ცხრ. კუთხით	გამოითვლება დირექციული კუთხეები
cd_1	$\alpha_1 = 0^\circ - 90^\circ$	$r_1 = \alpha_1$	r_1	$\alpha_1 = r_1$
cd_2	$\alpha_2 = 0^\circ - 180^\circ$	$r_2 = 180^\circ - \alpha_2$	r_2	$\alpha_2 = 180^\circ - r_2$
cd_3	$\alpha_3 = 0^\circ - 270^\circ$	$r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$	r_3	$\alpha_3 = 180^\circ + r_3$
cd_4	$\alpha_4 = 0^\circ - 360^\circ$	$r_4 = 360^\circ - \alpha_4$	r_4	$\alpha_4 = 360^\circ - r_4$

შედარებით მცირე სივრცეებზე ორიენტირებისათვის იყენებენ მაგნიტურ მერიდიანებს, ანუ დედამიწის მაგნიტურ ველის ძალხაზებს, რომლებიც საერთოდ არ ემთხვევიან სათანადო გეოგრაფიულ (ქეშმარიტ) მერიდიანებს და წარმოადგენენ რთული სახის მრუდ ხაზებს (ნახ. 9). მაგნიტური მერიდიანები სამხრეთი მაგნიტური პოლუსიდან (რო-

მელიც აღმოაჩინა 1908 წელს შეკლტონმა და მდებარეობს ვიქტორიის მიწის საზღვრებში — ანტარქტიდა, მისი ასტრონომიული კოორდინატებია $\varphi = -78^\circ$ და $\lambda = +107^\circ$) გადის ჩრდილოეთ მაგნიტურ პოლუსზე (მდებარეობს პრინც უელსის კუნძულზე — კანადა, რომელიც 1830 წელს აღმოაჩინა ჯემს როსმა და რომლის ასტრონომიული კოორდინატებია $\varphi = +74^\circ$ და $\lambda = -100^\circ$).



ნახ. 2.4.2.9.

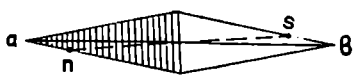
როგორც ვხედავთ, მაგნიტური პოლუსები არ ემთხვევა გეოგრაფიულ პოლუსებს. მაგნიტური პოლუსების შემაერთებელი წრფე დედამიწის ბრუნვის ღერძთან ჰქმნის დაახლოებით $11^\circ,5$ კუთხეს და არ გადის დედამიწის ცენტრში (G მუხლი).

ტაიმიორის ნახევარკუნძულის ჩრდილო აღმოსავლეთით მაგნიტური მერიდიანები ურთიერთს უახლოვდება და ჰქმნის კონას, რომელიც ემთხვევა ადგილობრივი მაგნიტური დაჭიმულობის მაქსიმუმს, რის გამო ამ ადგილს ზოგიერთი მკვლევარი უწოდებდა მეორე ჩრდილო მაგნიტურ პოლუსს.

როგორც ვხედავთ, ყოველ წერტილში მაგნიტური მერიდიანების, ისევე როგორც საერთოდ მრუდის, მიმართულება იცვლება და ამიტომ მას ვსაზღვრავთ იმავე წერტილებში მხების მიმართულებების გაზომვებით. ეს მხების წრფეები გამოიყენება დგომის წერტილიდან როგორც ადგილის ნებისმიერ წერტილზე ორიენტირების კუთხის გასაზომად, ისე ამ კუთხის ქეშმარიტი (გეოგრაფიული) მერიდიანისადმი დაკავშირებისათვის. დედამიწის ყოველ წერტილში ასეთი მხების განხორციელების საშუალებას იძლევა მაგნიტური ისრის მაგნიტური ღერძი.

მაგნიტური ისარი წარმოადგენს ხელოვნურად დამზადებულ ფოლადის ვიწრო თხელ ფირფიტას, რომლის ერთი ბოლო შედამ მიმართულია ჩრდილოეთისაკენ, ხოლო მეორე — სამხრეთისაკენ; ჩრდილო მხარე სამხრეთისაკენ

განსხვავებით მოსევალებულია. ისარს აქვს მაგნიტური და გეომეტრიული, ანუ სიმეტრიის ღერძი. პირველი აერთებს ისრის ბოლოების ახლო მდებარე უდიდესი მაგნიტური დაძაბულობის n და s წერტილებს, ანუ მაგნიტურ პოლუსებს, ხოლო ისრის გეომეტრიული ღერძია მისი a და b წვეროების შემაერთებელი წრფე. ეს ღერძები ერთმანეთს უნდა ემთხვეოდეს, მაგრამ დამზადების დროს ხშირად ამას ვერ ახერხებენ (ნახ. 10).



ნახ. 2.4.2.10.

ნახე, მისი მაგნიტური n ს ღერძი დგება ამ წერტილში მხებ მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყეში.

მაშასადამე, ადგილის ყოველ წერტილში მაგნიტურ ისარს, როგორც ამ წერტილის მაგნიტური მერიდიანის განხორციელებას, შეიძლება დავუყავშიროთ ნებისმიერ წერტილზე მიმართება აზიმუტის ან რუმბის სახით და აგრეთვე თვით მაგნიტური ისრის მიმართება დავუყავშიროთ დგომის წერტილის გეოგრაფიულ მერიდიანს.

გეოგრაფიული A აზიმუტის ანალოგიურად დგომის წერტილში ადგილის ნებისმიერი წერტილის A_0 მაგნიტური აზიმუტი არის თარაზული კუთხე, რომელსაც ამ წერტილიდან მიმართული მონაკვეთის ქვედებულ ადგენს დგომის წერტილზე მაგნიტური ისრის ღერძის ჩრდილო მიმართებასთან. ამ კუთხის ოდენობა ისრის ჩრდილო პოლუსიდან საათის ისრის მოძრაობის (აღმოსავლეთისაკენ) შესაბამისად იცვლება 0° — 360° -მდე, ხოლო იმავე წერტილზე მაგნიტური α რუმბი არის უმცირესი მონაზღვრე კუთხე, რომელსაც ადგენს წერტილზე მიმართული ხაზის ქვედებული დგომის წერტილზე მაგნიტური ისრის ღერძთან.

საერთოდ, მაგნიტური მერიდიანი არ ემთხვევა გეოგრაფიულ მერიდიანს, ამიტომ ადგილის მოცემულ წერტილში მაგნიტური ისრის დაკავშირება გეოგრაფიულ მერიდიანთან ხდება იმ δ კუთხის განსაზღვრით, რომელსაც მაგნიტური ისრის n (ნახ. 11) ღერძი (აქ ივულისხმება, რომ ისრის მაგნიტური და გეომეტრიული ღერძი შეთავსებულია) ადგენს NS საშუალოდგო ხაზთან (გეოგრაფიულ მერიდიანთან). δ კუთხეს ეწოდება მაგნიტური ისრის მიხრილობა. როდესაც ისრის ჩრდილო ბოლო გადახრილია აღმოსავლეთისაკენ, მაშინ უწოდებენ აღმოსავლურ მიხრილობას და პირობით, აღნიშნავენ δ ლუსით, ხოლო გადახრა საწინააღმდეგო მხარეზე იწოდება დასავლურად და აღნიშნება მინუსით. α ხაზის c წერტილში მიხრილობა შეიძლება იყოს $+$ ან $-$, ამიტომ A ქვეშარიტ და A_0 მაგნიტური აზიმუტებს შორის დამოკიდებულება (11) ნახაზების შესაბამისად დაიწერება:

$$\left. \begin{aligned} A_{\alpha} &= A_0 + \delta \\ A_{\alpha} &= A_0 - \delta \end{aligned} \right\}, \quad (2.4.2.8)$$

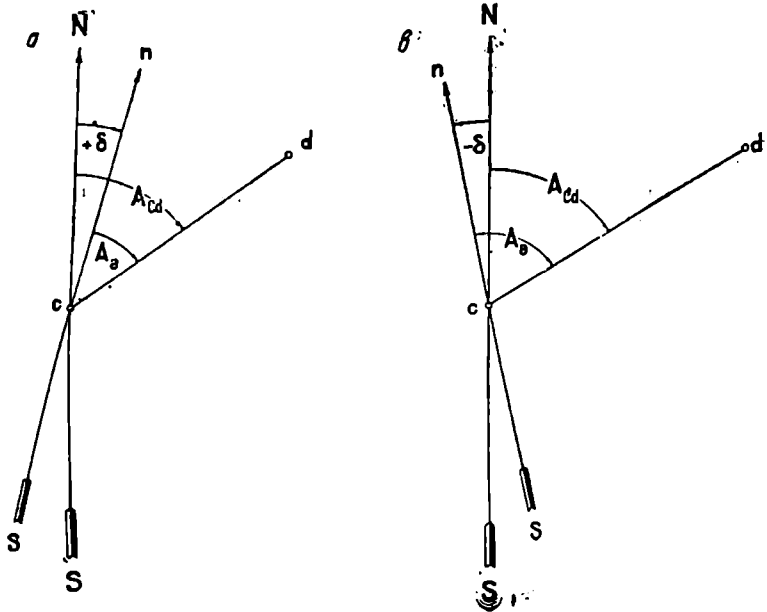
ანუ

$$A_{\alpha} = A_0 \pm \delta.$$

როგორც აღენიშნეთ, პირობით δ მიხრილობა ალგებრული რიცხვია, ე. ი. \pm შეეცვალოთ მოქმედების $+$ ნიშნით, დავწერთ:

$$A_{cd} = A_g + \delta. \quad (2.4.2.9)$$

მაშასადამე, მოცემულ წერტილში cd წრფის A_{cd} გეოგრაფიული აზიმუტის უდრის იმავე წერტილში A_g მაგნიტური აზიმუტისა და δ მიხრილობის ალგებრულ ჯამს. (8.1.6) პარაგრაფის B მუხლში ვრცლად ახსნილია მაგნიტური ისრის მიხრილობის განსაზღვრის საკითხი. ანალოგიურია დამოკიდებულება კემპარტ



ნახ. 2.4.2.11.

და მაგნიტურ რუმბებს შორის, მაგალითად, აღმოსავლური მიხრილობის დროს I და III კვადრანტში მიხრილობას და დებთით ნიშანი ექნება, ხოლო II და IV კვადრანტში — უარყოფითი; დასავლური მიხრილობის შემთხვევაში I და III კვადრანტში მიხრილობას უარყოფითი ნიშანი ექნება, II და IV კვადრანტში — დადებითი. საერთოდ (9) დამოკიდებულებით ანგარიშობენ A გეოგრაფიულ აზიმუტებს და შემდეგ (1) ცხრილით გამოითვლიან შესაბამის რუმბებს. დამოკიდებულება მაგნიტურ აზიმუტებსა და რუმბებს შორის (1) ცხრილის შესაბამისია.

D. ღიკიეციულ კუთხეებსა და მაგნიტურ აზიმუტებს შორის დამოკიდებულება

აღიღონე ორიენტირება სრულდება A_g მაგნიტური აზიმუტებით, ხოლო გეგმაზე იმავე შიშარტულეების გადატანა ხდება α ; დირექციულ კუთხეებით.

აგრეთვე, ხშირად საჭიროა ცნობილი დირექციული კუთხით მაგნიტური აზიმუტის განსაზღვრა. ამიტომ საჭიროა მათ შორის დამოკიდებულების დამყარება, რისთვისაც დავაკავშიროთ (5) და (9) ტოლობა, ე. ი. დავწერთ:

$$\alpha + \gamma = A_0 + \delta,$$

ანუ

$$\alpha = A_0 + (\delta - \gamma);$$

აღწინაშით

$$\delta - \gamma = \delta_0. \quad (2.4.2.10)$$

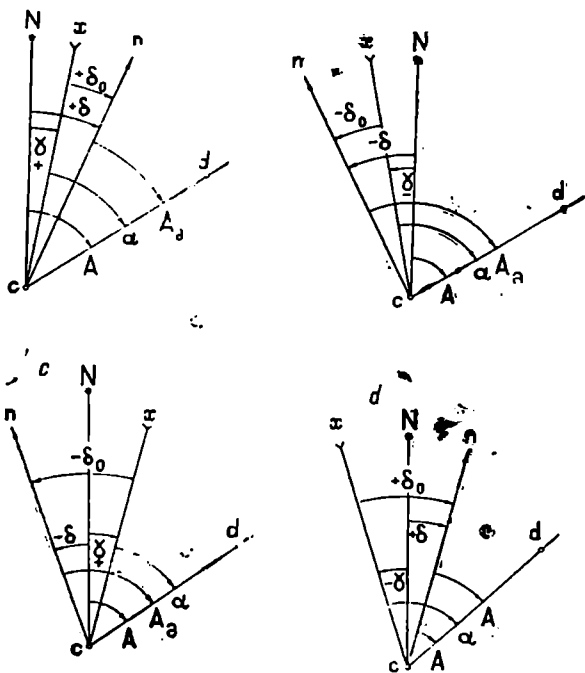
მაშასადამე,

$$\alpha = A_0 + \delta_0, \quad (2.4.2.11)$$

სადაც δ_0 არის ალგებრული რიცხვი და წარმოადგენს ღერძა-მერიდიანის პარალელური ღერძებიდან მაგნიტური ისრის მიხრილობას; იგი, როცა აღმოსავლურია, ითვლება პლუსად და, როცა დასავლურია, მინუსად.

(11) ფორმულის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია ოთხი შემთხვევის სახით მოცემულია (12) ნახაზებზე.

(ა) და (ბ) ნახაზებზე ივლისსმება, რომ $|\delta| > |\gamma|$. როცა $|\delta| < |\gamma|$, მაშინ (ა) შემთხვევაში მივიღებთ $-\delta_0$, ხოლო (ბ) შემთხვევაში $+\delta_0$. საერთოდ ორიენ-



ნახ. 2.4.2.12.

ტირ ბუსოლით δ_0 ადვილად ისაზღვრება გვემიდან.

მაშასადამე, წრფის ნებისმიერ წერტილში α დირექციული კუთხე უდრის ამავე წერტილში მაგნიტური აზიმუტისა და ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი მაგნიტური ისრის δ_0 მიხრილობის ალგებრულ ჯამს. (11) ფორმულადან ცნობილი დირექციული კუთხით გამოითვლება მაგნიტური აზიმუტი:

$$A_{\theta} = \alpha - \delta_0, \quad (2.4.2.12)$$

ე. ი. წრფის ნებისმიერ წერტილში მაგნიტური აზიმუტი უდრის იმავე წერტილში დირექციული კუთხისა და ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი მაგნიტური ისრის δ_0 მიხრილობის ალგებრულ სხვაობას.

ზნირად δ_0 მიხრილობას უწოდებენ შეთავსებულ ან მიმართულების შესწორებას და აღნიშნავენ II ასოთი.

**ე. აზიმუტებით, დირექციული კუთხეებით და რუმბებით
თარაზული კუთხეების განსაზღვრა**

დგომის წერტილში თარაზული კუთხე ტოლია მისი მარჯვენა გვერდის აზიმუტისა (დირექციული კუთხისა) და მარცხენა გვერდის აზიმუტის (დირექციული კუთხის) სხვაობისა (ნახ. 13):

$$\beta = A_{ef} - A_{ed} = \alpha_{ef} - \alpha_{ed}. \quad (2.4.2.13)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც საკლები ნაკლებია მაკლებზე, საკლებს უნდა დავუმატოთ 360° (ნახ. 13)

$$\beta_1 = (A_{ed} + 360^\circ) - A_{ef} = (\alpha_{ed} + 360^\circ) - \alpha_{ef}. \quad (2.4.2.14)$$

რუმბების საშუალებით საზღვრავენ ასტროლიაბურ, ანუ მიმართულებათა შორის 180° -ზე ნაკლებ კუთხეებს ოთხი შემთხვევის შესაბამისად. გამოვიყენოთ დირექციული რუმბები.

I შემთხვევა (ნახ. 14^ა)

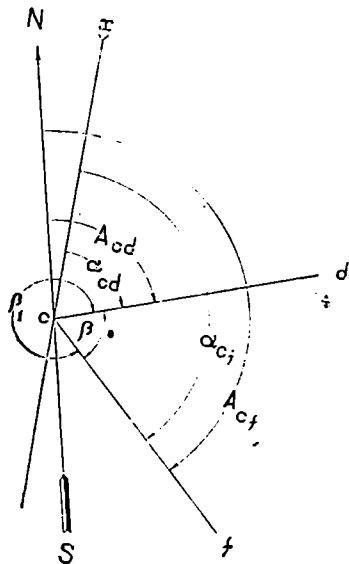
მოცემულია r_1 და r_4 ან r_2 და r_3 დირექციული რუმბები, ანუ ცხრილური კუთხეები, მაშინ

$$\left. \begin{aligned} \beta &= r_1 + r_4 \\ \beta_1 &= r_2 + r_3 \end{aligned} \right\}; \quad (2.4.2.15)$$

II შემთხვევა (ნახ. 14^ბ)

მოცემულია r_1 და r_1' დირექციული რუმბი, მაშინ

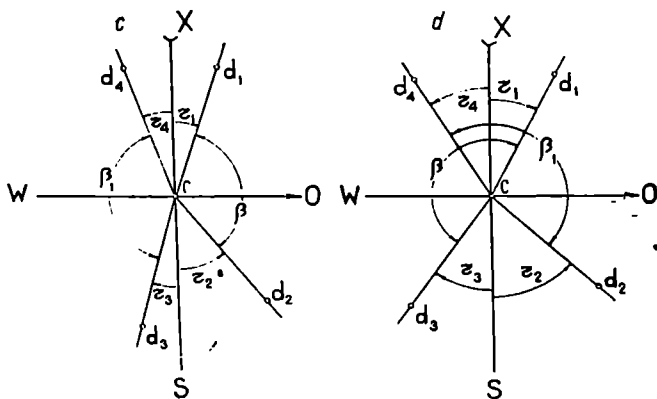
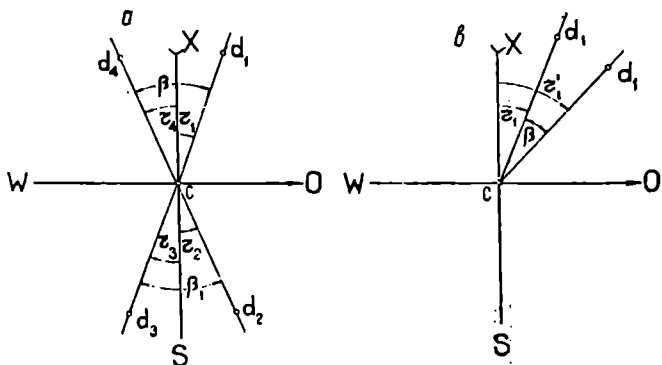
$$\beta = r_1' - r_1; \quad (2.4.2.16)$$



ნახ. 2.4.2.13

მოცემულია r_1 და r_2 ან r_3 და r_4 დირექციული რუმბები, მაშინ

$$\left. \begin{aligned} \beta &= 180^\circ - (r_1 + r_2) \\ \beta_1 &= 180^\circ - (r_3 + r_4) \end{aligned} \right\}; \quad (2.4.2.17)$$



ნახ. 2.4.2.14

IV უმეტესობა (ნახ. 14^ბ)

მოცემულია r_1 და r_2 ან r_3 და r_4 დირექციული რუმბები, მაშინ

$$\left. \begin{aligned} \beta &= 180^\circ - (r_3 - r_1) \\ \beta_1 &= 180^\circ - (r_2 - r_4) \end{aligned} \right\}. \quad (2.4.2.18)$$

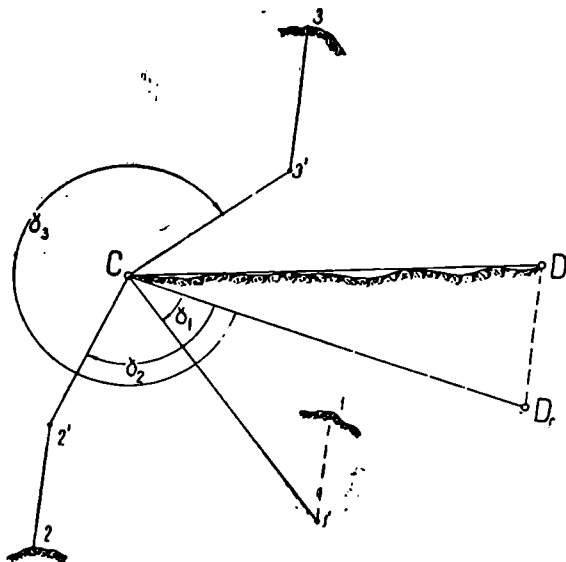
მაშასადამე, როდესაც რუმბი სიმეტრიულ კვადრანტებშია, მაშინ მიმართულებათა შორის ასტროლიაბური კუთხე უდ-

რის 120° მინუს უდიდესი და უმცირესი ცხრილური კუთხეების, ანუ რუმბების სხვაობა.

ზემოთ მოყვანილ თხი შემთხვევა ვრცელდება გეოგრაფიული და მაგნიტური რუმბების გამოყენების დროსაც.

F. მიმართების კუთხე

საყრდენი C და D პუნქტების შემაერთებელი ხაზის თარაზულ CD_0 გეგმითან რელიეფის მახასიათებელი 1, 2, 3 წერტილებზე ან რაიმე წელიწადზე მიმართული მონაკვეთების თარაზული გეგმილების მიერ შედგენილ კუთხე-



ნახ. 2.4.2.15

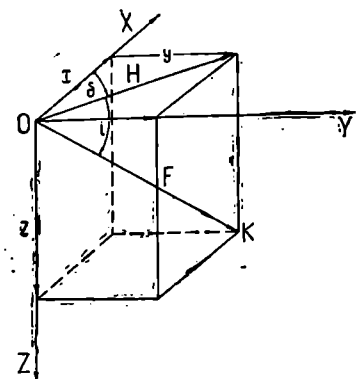
ებს ვუწოდებთ მიმართების კუთხეებს და აღვნიშნავთ γ სიმბოლოთი¹ (ნახ. 15). შებრუნებული მიმართების კუთხე არ გამოიყენება.

G. დედამიწის მაგნიტიზმი

დედამიწის მაგნიტიზმს უწოდებენ დედამიწის მაგნიტურ ძალურ ველს, რომელიც ანიჭებს თავისუფლად დაკიდებულ ან წვეტანაზე ცენტრით დაყრდნობილ მაგნიტურ ისარს გარკვეულ მიმართულებას. მაგნიტური ძალური ველი ყოველ წერტილში ხასიათდება F და ძა-

¹ მიმართებისა და მერიდიანთა შეხლოების კუთხეს ერთი და იმავე სიმბოლოთი აღვნიშნავთ, რადგანაც მეორე პირველის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს, მაგალითად, CD_0 თუ შეუთავსდა ღერძა მერიდიანის პარალელურ ღერძს, ყივნება მერიდიანთა შეხლოების კუთხე.

ბ უ ლ ო ბ ი ს ოდენობითა და მიმართულებით (მ მისხრილობით და i დახრილობით). F დაძაბულობაში იკულისხმება ძალა, რომლითაც ისარი მოქმედებს დადებითი მაგნიტური მასის ერთეულზე სხვაგვარად, ეს ის ძალაა, რომლის ზემოქმედებით მოცემულ წერტილში მაგნიტური ისარი მისწრაფვის შეინარჩუნოს გარკვეული მიმართულება. დედამიწის მაგნეტიზმის ზემო განსაზღვრება



ნახ. 2.4.2.16

თულებას. ჩვეულებრივ, პრაქტიკული საქმიანობისათვის საზღვრავენ F დაძაბულობის H თარაზულ მდგენელს ფორმულით:

$$H = F \cos i. \tag{2.4.2.19}$$

F დაძაბულობასა და მის H თარაზულ და z ვერტიკალურ მდგენელებზე გატარებული სიბრტყე წარმოადგენს O წერტილის მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყეს, ხოლო xoz სიბრტყე კი არის გეოგრაფიული მერიდიანის სიბრტყე. მაშასადამე, H თარაზული მდგენელის ჩრდილო და აღმოსავლური მდგენელი განსაზღვრება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= H \cos \delta \\ y &= H \sin \delta \end{aligned} \right\} \tag{2.4.2.20}$$

ანუ (19) ტოლობის გამოყენებით

$$\left. \begin{aligned} x &= F \cos \delta \cos i \\ y &= F \sin \delta \cos i \end{aligned} \right\} \tag{2.4.2.21}$$

როგორც ვიცით, საერთოდ დედამიწაზე მ იკვლება 0° — 180° -მდე, როგორც აღმოსავლეთით, ისე დასავლეთით (აღმოსავლური (+) და დასავლური (-) მისხრილობის სხივით).

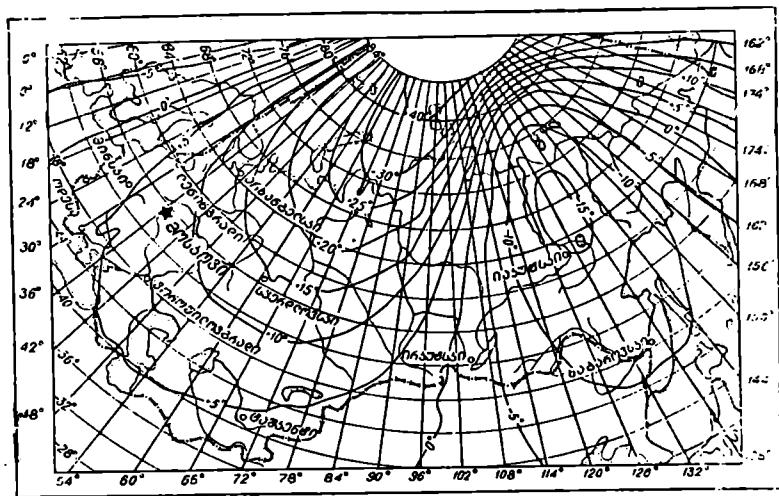
i კი იკვლება 0° — 90° . როცა ჩრდილოეთი ბოლო მიმართულია თარაზული სიბრტყის ქვევით, იგი ითვლება პ ლ უ ს ა დ და თუ ზემოთ არის აწეული, იგი მ ი ნ უ ს ი ა:

მ მისხრილობის ცოდნის გარეშე შეუძლებელია მაგნიტური ისრის გამოყე-

ნებით აგეგმეების წარმოება, რის გამო საჭიროა მისი თვისებების უფრო ვრცლად შესწავლა.

მ მიხრილობა მიიღება გაზომვების შედეგად, რისთვისაც საჭირო ხდება წერტილზე გეოგრაფიული მერიდიანის დაღვენა და მასთან მაგნიტური ისრის მიმართულების გაზომვა (8.1.8 პარაგრაფის B მუხლი). საკითხის სირთულე ის არის, რომ მიხრილობის ოდენობა, საზოგადოდ, სხვადასხვა წერტილში სხვადასხვაა. ასე რომ, მიხრილობის ოდენობის დასადგენად გარკვეული სივრცეების მონაცველ წერტილებში საჭირო ხდება გეოგრაფიული მერიდიანის დამზერა. ჯარდა ამისა, საერთოდ ღრთთა ვითარებაში ერთსა და იმავე ადგილას მისი ოდენობა იცვლება.

დედამიწის სხვადასხვა წერტილზე გაზომილი მიხრილობების მოხერხებულად გამოყენების მიზნით ადგენენ მაგნიტური მიხრილობის რუ-



ნახ. 2.4.2.17

ე ბ ს. მაგალითად, (17) ნახაზი წარმოადგენს მაგნიტური მიხრილობების რუკას 1960 წლის ეპოქისათვის.

ასეთი რუკების შედგენის საფუძვლად იყენებენ გეოგრაფიულ რუკებს და მათზე გადააქვთ ის პუნქტები, რომლებზეც მაგნიტური ისრის მიხრილობებია გაზომილი გარკვეული წლების მიხედვით. შემდეგ მათზე მრუდი ხაზებით აერთებენ ერთხაირი მიხრილობის მქონე წერტილებს. ეს წესი შემოღებულ იქნა ვალილეის წინადადებით; ასეთ მრუდებს კი უწოდეს იზოგონები. ნულოვან იზოგონს, ასუ იმ მრუდს, რომელიც რუკაზე აერთებს ნულოვანი მიხრილობის წერტილებს, ეწოდება აგონური ხაზი. როგორც იზოგონები, ისე აგონური ხაზი სხვადასხვა ღრთს სხვადასხვა წერტილებზე გადის, რადგანაღ დედამიწის ერთი და იმავე წერტილში ღრთის მიხედვით მიხრილობის ოდენო-

ბები იცვლება. ცნობილია მიხრილობების ს ა ქ უ ნ ე ო ბ რ ი ვ ი დ დ ე ლ ა -
მ უ რ ი დ ა შ ე შ ფ ო თ ე ბ ი თ ი ც ვ ლ ი ლ ე ბ ე ბ ი .

მრავალი წლის დაკვირვებების შედეგად დადგენილია, რომ მიხრილობების ს ა -
უ ქ უ ხ ე ო ბ რ ი ვ ი ც ვ ლ ი ლ ე ბ ა ზ ო გ ი ე რ თ ა დ გ ი ლ ა ს ა ლ წ ე ვ ს მ ნ ი შ ე ნ ე ლ ო -
ვ ა ნ ო დ ნ ი ო ბ ა ს . მ ა გ ა ლ ი თ ა დ , ო თ ხ ა ს ი წ ლ ს დაკვირვების შედეგად აღმოჩენილია
მიხრილობის ცვლილების ამპლიტუდა: ლონდონში 36°, პარიზში 32°. მიხრი-
ლობის საუკუნეობრივი ცვლილება საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ წ ლ ი ს
გ ა ნ მ ა ვ ლ ო ბ ა შ ი მ ი ს ი ც ვ ლ ი ლ ე ბ ის ო დ ე ნ ო ბ ა და ვ უ ჩ ე ვ ნ ო თ მიხრილობების რუ-
კ ა ზ ე ე რ თ ი და ი მ ა ვ ე წ ლ ი უ რ ი მ ი ხ რ ი ლ ო ბ ის ც ვ ა ლ ე ბ ა დ ო ბ ის ხ ა ზ ი ,
რომელსაც იზოპორს უწოდებენ. ისინი საშუალებას გვაძლევენ ნებისმი-
ერ წერტილზე მოცემული წლის გარკვეული პერიოდისათვის დავადგინოთ
მიხრილობის წლიური ცვალეზადობა. საზოგადოდ, წლის განმავლობაში მიხრი-
ლობის საუკუნეობრივი ცვალეზადობა არ აღემატება 8'. ასე რომ, დროის მოკ-
ლე პერიოდისათვის იგი შეიძლება სრულებით არ იყოს მხედველობაში მიღე-
ბული.

იზოგონების განლაგება, რომელიც მოცემულია მე-17 ნახაზზე, შეესაბა-
მება საშუალოდ ერთნაირი მაგნიტური მიხრილობის წერტილების განლაგე-
ბებს. გარდა ამისა, დედამიწის ზედაპირზე ცალკეულ უბნებში არსებობს სა-
შუალოდ 0° მიხრილობის წერტილების შემაერთებელი ჩაკეტილი მრუდები,
რომელთაც საერთოდ ეწოდებათ ა გ ო ნ უ რ ი ხ ა ზ ე ბ ი . მ ა გ ა ლ ი თ ა დ , ასეთი
მრუდი მოიცავს დიდ სივრცეებს, რომელშიც მოქცეულია აღმოსავლეთი ციმ-
ბირის ნაწილი, იაპონია, კორეა, ნაწილი ჩინეთისა და წყნარი ოკეანის აკვატო-
რიუნი. ამ სივრცის შიგნით ყველგან მიხრილობა დასავლურია და ზოგ ადგ-
ლ ა ს ა ლ წ ე ვ ს 10°-ს. როგორც ვხედავთ, ეს მრუდები საშუალო მნიშვნელობა-
საა. სინამდვილეში მაგნიტური მიხრილობის განაწილება გაცილებით
რთულია სახისა და რიგ რაიონებში შეიძლება იცვლებოდეს 1—2 კმ მანძილზე
რამდენიმე გრადუსით. საშუალო განაწილების მქონე მრუდებიდან გადახრებს
უწოდებენ მ ა გ ნ ი ტ უ რ ა ნ ო მ ა ლ ი ე ბ ს .

ბაგნიტური ანომალიები დედამიწაზე სხვადასხვა ინტენსივობისა და ნიშ-
ნისაა. უმთავრესად იგი გვხვდება მთაგორიან რაიონებში. მათი შესწავლა წარ-
მოადგენს უდიდეს ინტერესს დედამიწის ზედაპირზე მაგნიტური ველის ცვალე-
ზადობის შესწავლის თვალსაზრისით. ამავე დროს ამას აქვს უაღრესი პრაქტი-
კული მნიშვნელობაც, რადგანაც ანომალიები დაკავშირებულია ლითონფეროს
გ ე ო ლ ო გ ი უ რ ა ვ ე ბ უ ლ ო ბ ა ს თ ა ნ , სასარგებლო ნამარხთა საბადო-
ებთან და სხვა. ამ მხრივ უდიდეს ინტერესს იწვევს კ უ რ ს კ ი ს , კ რ ი ვ ო რ -
ო გ ი ს , მ ა გ ნ ი ტ ო გ ო რ ს კ ი ს რაიონის ანომალიები და სხვა.

რადგანაც მიხრილობები განიცდის საუკუნეობრივ ცვლილებებს, ამიტომ
იზოგონებიც გადაინაცვლებს დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე და, მაშასადამე,
აუცილებელი ღდება დროგამოშვებით იზოგონური რუკების განმეორებით შედ-
გენა. საერთოდ, იზოგონების მიმართულება ჩრდილოეთ-სამხრეთულია, მაგრამ
ზოგიერთ მათგანს აქვს ფრიალ უსწორმასწორო სანე.

იზოგონები იკვეთება როგორც გეოგრაფიულ, ისე მაგნიტურ პოლუსებში.
გეოგრაფიულ პოლუსებში, სადაც იკვეთება დედამიწის ყველა მერიდიანი, რა
მიმართულებაც არ უნდა ჰქონდეს მაგნიტურ ისარს, ამავე პოლუსებში გადაიკვე-
თება იზოგონები, რადგანაც პოლუსებში მიხრილობებს უნდა ჰქონდეს 0°—180°
მნიშვნელობები, როგორც დასავლურს, ისე აღმოსავლურს იმისდა მიხედვით,

თუ რომელი მერიდიანისათვის ვსაზღვრავთ მიხრილობას. ამავე დროს მაგნიტურ პოლუსებში მიხრილობას აქვს ყოველგვარი მნიშვნელობა, სადაც კვლავ გადაიკვეთება იზოგონები, ხოლო აქ სხვა მიზეზის გამო. მართლაც, გეოგრაფიულ პოლუსებზე, როგორც იყო თქმული, პორიზონტალურად დაკიდებულ მაგნიტურ ისარს აქვს სრულიად გარკვეული მიმართულება და იქ ყოველგვარ ოდენობის მიხრილობის არსებობა დაკავშირებულია იმ გარემოებასთან, რომ გეოგრაფიულ პოლუსებში იკვეთება ყველა მერიდიანი, რაც შეეხება მაგნიტურ პოლუსებს, იქ სიმძიმის ცენტრზე თავისუფლად დაკიდებული მაგნიტური ისარი ღებულბს შვეულ მიმართულებას, ხოლო საპირწონით პორიზონტალურად დაყუბებული ისარი ექცევა განურჩევლობის მდგომარეობაში, ე. ი. ჰქმნის მაგნიტურ პოლუსებზე გამავალ ერთადერთ გეოგრაფიულ მერიდიანთან ყოველგვარ კუთხეს. მაშასადამე, მაგნიტურ მერიდიანებსა და იზოგონებს შორის განსხვავება, რადგანაც მაგნიტური მერიდიანები იკვეთება ხოლო ორ წერტილში—მაგნიტურ პოლუსებში, ხოლო იზოგონები, როგორც ითქვა, იკვეთება ოთხ წერტილში (გეოგრაფიულ და მაგნიტურ პოლუსებში). აგრეთვე აღსანიშნავია საინტერესო მოვლენა: გეოგრაფიულ და შესაბამის მაგნიტურ პოლუსებს შორის მაგნიტურ ისარს აქვს 180° მიხრილობა, ე. ი. ისრის ბოლოები მიმართულია შებრუნებულად: ჩრდილოეთისა სამხრეთისაკენ და პირიქით.

გარდა საუკუნეობრივი ცვლილებისა, როგორც იყო თქმული, არსებობს ისრის მიხრილობის დღე დამური ცვლილება, ანუ დღე დამური ვარიაციები. დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ყოველ წერტილში მაგნიტის ისარი დღე-ღამის განმავლობაში წელა იხრება რაიმე საშუალო მიმართულებიდან ორივე მხარეს. საერთოდ, ისრის დღე დამური ცვალებადობის ამპლიტუდა 15° -ს აღწევს, თუმცა არის შემთხვევები, რომ მისი ოდენობა 1° -ს აღწევს. მიხრილობის დღე დამური ცვალებადობა წლის სხვადასხვა პერიოდში და სხვადასხვა წერტილში სხვადასხვაა. დადგენილია, რომ მიხრილობის დღე დამური ცვლილება იზრდება განედის ზრდის შესაბამისად. გარდა ამისა, ამპლიტუდა ზაფხულობით მეტია, ვიდრე ზამთრობით; დღისით მეტია, ვიდრე ღამით; ზომიერ პოლარულ ქვეყნებში მეტია, ვიდრე ტროპიკულში. მიხრილობის დღე დამურ ცვალებადობას აქვს დაახლოებით სისტემატური ხასიათი. მაგალითად, შუა ევროპაში, დილის 8 საათის ახლოს საშუალო მდებარეობიდან ისრის ჩრდილო ბოლოს გადახრა არის უდიდესი აღმოსავლეთისაკენ; მერე ისრის იგივე ბოლო იწყებს გადახრას დასავლეთისაკენ და დილის დაახლოებით 10 საათზე ღებულბს თავის საშუალო მდებარეობას; შემდეგ ისარი განაგრძობს გადახრას დასავლეთისაკენ და 13—14 საათზე იღებს თავის უდიდეს დასავლურ მიხრილობას, რის შემდეგ მისი ჩრდილო ბოლო იწყებს ისევ უკან—აღმოსავლეთისაკენ გადახრას, და 18—20 საათზე კვლავ აღწევს თავის საშუალო მდებარეობას და 22 საათზე ისარი იღებს უდიდეს აღმოსავლურ გადახრას. საერთოდ, საბჭოთა ქვეყნების ევროპული ნაწილის საშუალო განედებზე ისარს აქვს საშუალო მდებარეობა 0 და 11 საათზე. ამ დროს შეიძლება შედარებით ზუსტად მოგახდინოთ ისრის ვამოყენებით ინსტრუმენტების ორიენტირება და საერთოდ ისართან დაკავშირებული ნებისმიერი გაზომვები. იმ შემთხვევაში, როდესაც გაზომვებს ვაწარმოებთ სხვა დროს, მაგნიტის ისრით განაზომებში საჭიროა შეტანილ იქნეს შესწორებები ცხრილების საშუალებით, რომლებიც შედგენილი არიან გარკვეული ტერიტორიისა და წლის სხვადასხვა პერიოდისათვის.

ჩორმალური მდებარეობიდან მაგნიტური ისრის მიხრილობის ზემოთ გან-

ხილული საუქუნეობრივი და დღეღამური ცვალებადობის გარდა ცნობილია მავნიტური ისრის ე. წ. შეშფოთება. ზოგჯერ ისარბ თითქოს სრულებით უმრეზოდ დაიწყებს შეშფოთებას და რხევას რომელიმე მხარეზე და მასთან საშუალო განედებზე იგი აღწევს 2°, ხოლო ჩრდილო განედებზე 10°-ს. ამ შემთხვევით, რხევათა თავისებურება ის არის, რომ იგი ჩნდება თანადროულად დიდ სივრცეებზე. ზოგჯერ მთელი დედამიწის ხილულ ზედაპირზე, მაგრამ განსაკუთრებული დამახულობით იგი იჩენს თავს პოლარულ ქვეყნებში. მავნიტური შეშფოთები! ხანგრძლივობა ერთიდან რამდენიმე დღე გრძელდება, ხოლო შედარებით ძლიერი მერყეობა გრძელდება რამდენიმე საათით. როგორც წესა, ძლიერი შეშფოთებები იწვევს პოლარულ ციალს და არღვევს რადიოკავშირს.

ამჟამად დადგენილია, რომ მიხრილობის დღეღამურ ცვალებადობასა და შეშფოთებებს იწვევს მზის ზემოქმედების პერიოდული აქტივობა. ჯარდა აღნიშნულისა, დადგენილია, რომ მავნიტური ისრის შეშფოთებები დაკავშირებულია ქარიშხალთან, მიწისძვრასთან, ვულკანურ ამოფრქვევებთან და განსაკუთრებით მზის ლაქების უხვად გაჩენის პერიოდთან, რომელიც პერიოდულად მეორდება ყოველ თერთმეტ წელიწადში. ამ დროს მავნიტური შეშფოთებები განსაკუთრებით მძლავრი და ხშირია 26-27 დღე-ღამე, რომელიც შეესაბამება თავისი ღერძის ირგვლივ მზის სრული ბრუნვის პერიოდს.

ტოპოგრაფიული აგეგმვები ყოველთვის უზრუნველყოფილია მავნიტო მეტრიული მასალით, ანუ ყოველი ასაგეგმი ტრაპეციის ფარგლებში მრავალ წერტილზეა მავნიტური ისრის მიხრილობის განაზომები. ამ განაზომებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე მავნიტური ისრის მიხრილობის განაწილების საკითხების შესწავლის დროს.

ტოპოგრაფიული რუკის ყოველი ფურცლის ჩარჩოს სამხრეთ მხარეზე მოთავსებულია ამ ფურცლებისათვის მავნიტური ისრის საშუალო მიხრილობის, მისი წლიური ცვალებადობისა და მერიდიანთა საშუალო შეახლოების ოდენობები.

მაგალითი 2.4.2.1. გეოგრაფიული მერიდიანიდან მავნიტური ისრის საშუალო მიხრილობა $\delta = +10^{\circ}15'$, ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი გეოგრაფიული მერიდიანის შეახლოება $\gamma = -2^{\circ}10'$. განვსაზღვროთ მიმართულების II შესწორება, ანუ ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი მავნიტური ისრის δ_0 მიხრილობა.

$$\delta_0 = +10^{\circ}15' - (-2^{\circ}10') = +12^{\circ}25'.$$

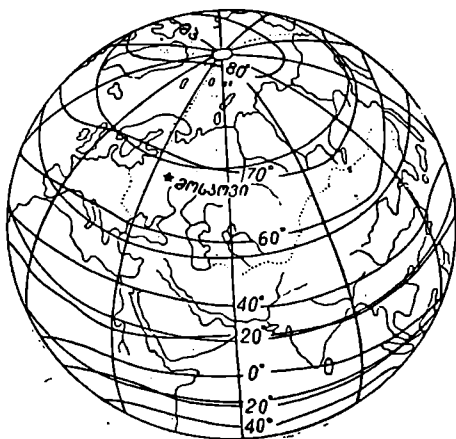
(10) ფორმულით ცნობილი $\delta_0 = II$ ოდენობის (11) ტოლობაში ჩასმით განვსაზღვრავთ ნებისმიერი მიმართების α დირექციულ კუთხეს ან მავნიტურ აზიმუტს.

პრაქტიკაში ხშირად საჭირო ხდება რუკებზე გაზომილი დირექციული კუთხეებიდან გადავიდეთ ადგილზე გაგნებისათვის საჭირო მავნიტურ აზიმუტზე და პირიქით. მაგალითად, გარკვეული მიზნით რუკაზე იზომება რაიმე მიმართულების დირექციული კუთხე, შემდეგ რუკიდან ცნობილი δ და γ ოდენობების (10) ფორმულაში ჩასმით გამოითვლება δ_0 , ხოლო (12) ფორმულით გამოითვლება მავნიტური აზიმუტი, რომლითაც ადგილზე მონიხება აღნიშნული მიმართულება; ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა გვსურს დავიტანოთ რუკაზე რაიმე ობი-

ეტი, მაშინ რამდენიმე დასაყრდენი (დაკვირვების) წერტილებიდან გაიზომება მაგნიტური აზიმუტი და (10) ფორმულით განსაზღვრულ ზღ-ს შვეიტანთ (11) ფორმულაში გაზომილ აზიმუტებთან ერთად, რითაც განისაზღვრება დირექციული კუთხე. შემდეგ, ცნობილ დირექციულ კუთხეს ტრანსპორტირით გადავიტანთ რუკაზე, რაც საშუალებას მოგვცემს აღნიშნული ობიექტის ადგილსამყოფელი დანინშნოს რუკაზე.

როგორც ვთქვით, მაგნიტური ძალური ხაზები გარდა იმისა, რომ არ ემთხვევა წერტილების გეოგრაფიულ მერიდიანებს, აგრეთვე ისინი დახრილი არიან დედამიწის ამ წერტილში გატარებული მხები თარაზული სიბრტყის მიმართ. მაგალითად, თუ თავისუფლად დაკიდებული დაუმაგნიტებელი ისარა ჩრდილო ნახევარსფეროში წონასწორობაში იმყოფებოდა, დამაგნიტების შემდეგ მისი ჩრდილო ბოლო დაიწევს ნიადაგისაკენ და თუ სამხრეთ ნახევარსფეროში ვიმყოფებით, სამხრეთი ბოლო დაიხრება ნიადაგისაკენ. მაშასადამე, მაგნიტური ისარი, დამზადებული რომელიმე ადგილისათვის, პკარგავს თავის წონასწორობას ჩრდილოეთით ან სამხრეთით გადანაცვლების დროს და ნიადაგისაკენ მისი დახრა მითვით იქნება, რაც უფრო დაეშორდებათ გამოსავალ წერტილს. ამ მოკლესას, როგორც ამ მუხლის შესავალში აღვნიშნეთ, ეწოდება მაგნიტურა ისრის δ დახრილობა და მოცემულ წერტილში იმ დახრის კუთხესაც, რომელსაც λ მნიშნის მაგნიტური ღერძი თარაზულ სიბრტყესთან, ეწოდება მაგნიტური ისრის დახრილობა, ანუ მაგნიტური დახრილობა. ისრის მიერ დახრილობის გამოვლინების შემთხვევაში ისრის აწეულ ბოლოს დაამძიმებენ, ანუ გააბიარწონებენ და მისცემენ თარაზულ მიმართულებას, რაც საშუალებას მოგვცემს დაუბრკოლებრივ გამოვიყენოთ მაგნიტის ისარი. მაგნიტური დახრილობის კანონზომიერების შესწავლის მიზნით რუკებზე აერთებენ ერთნაირი დახრილობის წერტილებს, რომლის შემაერთებელ მრუდებს ეწოდება

იზოკლინები (ნახ. 18).



ნახ. 2.4.2.18

18). საერთოდ იზოკლინების მიმართულება ახლოა გეოგრაფიული პარალელების მიმართულებასთან, თუმცა აქაც ისე, როგორც იზოგონების შემთხვევაში, შემჩნეულია გადახრა მათგან, მაგრამ შედარებით გაცილებით ნაკლები. 0°-იანი იზოკლინი, ანუ ის ხაზი, რომელიც აერთებს იმ წერტილებს, სადაც მაგნიტური ისარი პორიზონტულ მდგომარეობაშია, ეწოდება მაგნიტური ეკვა-

ტო რ ა დ. მაგნიტურ პოლუსებზე დახრილობა 90° -ია. თბილისში 55° , არხან-გელსკში 74° . მსგავსად მიხრილობისა, დახრილობაც განიცდის საუკუნეობრივ და დღეღამურ ცვალებადობას.

რაც შეეხება F მაგნიტური ველის დაძაბულობას, რომლის გულენითაც ამა თუ იმ წერტილში ისარი ცდილობს შეინარჩუნოს გარკვეული მიმართულება და რომელსაც გამოსახავენ CGS (გ, სმ, სე) სისტემით, დედამიწის მაგნეტიზმის თეორიაში დიდი მნიშვნელობა აქვს. დედამიწის სხვადასხვა წერტილებში მაგნიტური ველის დაძაბულობების გაზომვები დაიწყო ჰუმბოლტმა, რომლის წინადადებით რუკებზე დაიწვეს ტოლი დაძაბულობის მქონე წერტილების უწყვეტი ხაზებით შეერთება, რომელთაც ეწოდათ იზოდინები. იზოდინები არ ემთხვევა გეოგრაფიულ მერიდიანებსა და პარალელებსა და აქვთ მეტად რთული სახე. მაგნიტური ველის დაძაბულობა იზრდება ეკვატორიდან ჩრდილოეთისაკენ და სამხრეთისაკენ, მაგრამ ჯერ კიდევ უცნობი მიზეზით მათი ოდენობები მაქსიმუმს აღწევს არა მაგნიტურ პოლუსებზე, არამედ დაახლოებით 70° — 75° განედებზე. აგრეთვე საყურადღებოა ის, რომ ასეთი წერტილები ჩრდილო ნახევარსფეროზეა ორი (ჩრდილო ამერიკაში გუძონის უბის დასავლეთით და ციმბირში მდინარე ლენის შესართავთან), ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროზეა ერთი.

ჯერჯერობით პრაქტიკულად შენიშნული და გამოყენებული დედამიწის მაგნეტიზმის ზემოხსენებული მოვლენების არამც თუ ზუსტი თეორია, არამედ დამამაყოფილებელი პიპოთეზებიც კი არ არსებობს.

ტოპოგრაფიული აგებმებისათვის, როგორც აღვნიშნეთ, საჭიროა ცოდნა მაგნიტური ისარის მიხრილობისა. რაც შეეხება დახრილობისა და დაძაბულობის საკითხს, მათი ცოდნა მხოლოდ იმითომ არის საჭირო, რომ გავაწონასწოროთ მაგნიტური ისარი იარაღებში მათი გამოყენების მიზნით.

დედამიწის მაგნეტიზმის შესწავლას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მისი გეოლოგიური წარსულის შესწავლის საქმეში, რასაც აწარმოებს გეოფიზიკის ერთ-ერთი ახალი დარგი, რომელსაც პალეომაგნეტიზმი ეწოდება. დადგენილია, რომ დედამიწის როგორც ჩრდილო, ისე სამხრეთ მაგნიტური პოლუსები გადაადგილდება დედამიწის ზედაპირზე. მაგალითად, მაგნიტური ჩრდილო პოლუსი ნელ-ნელა აღწევს სპირალურ გზას რაიმე საშუალო მდგომარეობის მიმართ და იხრება ამ წერტილიდან იქეთ ან აქეთ რამდენიმე მეტრით. ეს პოლუსი აგრეთვე განიცდის გადატანით მოძრაობას. თანამედროვე მეცნიერთა დასკვნებით დედამიწის მაგნიტური ველი დაკავშირებულია მის ბრუნვის მოძრაობასთან და გეოგრაფიული და მაგნიტური პოლუსების ახლობლობა შემთხვევითი არ არის. წარსულში მათ გადაადგილებას ჰქონდა ერთიანი (ერთი-ერთდაკავშირებული) ხასიათი. მაგნიტური ველის კვალი აღმოჩენილია მთის ქანებში, რომელსაც ნარჩენი მაგნეტიზმი ეწოდება, ასევე, დანალექ ქანებშიც არის მაგნიტური ველის კვალი. გარდა პალეომაგნეტიზმი გამოკვლევებისა, არქეომაგნეტიზმი ძიებითაც შეიძლება დედამიწის უახლესი გეოლოგიური წარსულის შესწავლა.

წინა პარაგრაფში განხილული ორიენტირების სხვადასხვა ხერხების გარდა არსებობს გეოდეზიური ქსელების დასაყრდენი პუნქტების კოორდინატების საშუალებით მიმართულებათა გაგნების ზუსტი ხერხი.

თანამედროვე სწრაფად მზარდი ზუსტი ტექნიკის დონის შესაბამისად საჭირო გახდა ორიენტირების საკითხების სრულყოფილად მოგვარება, რაც თავის მხრივ გაპირობებულია აზიმუტების განსაზღვრის ავტონომიური მეთოდების ნაყოფიერად გამოყენებით.

აზიმუტების განსაზღვრის თანამედროვე ავტონომიურ მეთოდებს ეკუთვნის ასტრონომიული, რადიო-გეოდეზიური და გიროსკოპიული მეთოდები, რომლებიც დამოკიდებული არ არიან გეოდეზიური დასაყრდენი ქსელების არსებობაზე, მათი პუნქტების სიზშირეზე და თავისუფალი არიან შეცდომათა დაგროვებისაგან.

აღნიშნული ავტონომიური მეთოდებიდან შედარებით ზუსტად ითვლება ასტრონომიული მეთოდები, რომელთა შესატყვის ცნებათა განსაზღვრებები და ოდენობათა განსაზღვრები მოცემულია 8.1 თავში.

ამ მეთოდს ნაკლია ის, რომ შრომის ნაყოფიერება დამოკიდებულია მეტეოროლოგიურ პირობებზე.

აზიმუტების გაზომვის რადიოგეოდეზიური მეთოდის უპირატესობა ასტრონომიული მეთოდისადმი მდგომარეობს იმაში, რომ ე. წ. რადიოთეოდოლიტის ანტენური მოწყობილობა საშუალებას იძლევა მისი ჰოგრის სამიზნე ღერძი მიმართული იქნეს მზის რადიოგამოსხივების ცენტრისადმი, ნებისმიერ და მათ შორის მოღრუბლულ ამინდშიც. მიმართულებათა გაგნებისათვის დასარჩენი სამუშაოები არსებითად იგივეა, რაც ასტრონომიული მეთოდის შესრულების დროს. რადიოგეოდეზიური მეთოდით ჰემსპირიტი აზიმუტი იზომება მზის სიმაღლის ან მისი საათური კუთხის საშუალებით.

ჰემსპირიტი აზიმუტის გაზომვის რადიოგეოდეზიური მეთოდის ნაკლია მზის რადიოგამოსხივების ცენტრის გადაადგილება (არათანმთხვევა) მისი დისკის გეომეტრიულ ცენტრთან შედარებით. ეს დაშორება დღე-ღამეში აღწევს რამდენიმე მინუტს, რის გამო საჭირო ხდება დამზერის მომენტისათვის ამ ცენტრების დაუმთხვევლობის შესწორების განსაზღვრა. ამ მეთოდის მეორე ნაკლია ინსტრუმენტებზე რადიო ტალღების დახშობის გავლენა.

აზიმუტების გაზომვის ავტონომიური მეთოდებიდან ამჟამად შედარებით ეფექტურ მეთოდად ითვლება გიროსკოპიული მეთოდი, რომელიც გიროსკოპიული აზიმუტების გაზომვის საშუალებას იძლევა დაახლოებით 40—45 მინუტში დღე-ღამის ნებისმიერ დროს და მეტეოროლოგიური პირობების დამოუკიდებლად, 10"-15" შეცდომის ფარგლებში.

თანამედროვე სამთო მრეწველობა ხასიათდება დიდი სიღრმის (1000 მეტრამდე) და ურთულესი სისტემების მომცველი გამონამუშევრების შესრულებით. მშენებლობით. კაპიტალური სამთო გამონამუშევრების გაყვანა უმრავლეს შემთხვევაში წინხედრი სანგრევეებით სრულდება. აგრეთვე ფართოდ არის გაშლილი ზემოხსენებული და სხვა მრავალი სამუშაოები მოითხოვს სწრაფად და სათანადო სიზუსტით ორიენტირების საკითხების გადაწყვეტას. ამ საქმეში უდიდესი როლის შესრულება შეუძლია გიროსკოპიული მეთოდი ანუ გირო-

კომპასით ორიენტირებას. კონკრეტულად, გიროსკოპიული ორიენტირების გამოყენების საკითხს შევეხებით მაშინ, როცა ახსნილი იქნება ამ მეთოდით ორიენტირების საკითხები. აქ მხოლოდ მოცემული იქნება განსაზღვრება გიროსკოპიული ორიენტირების ცნების შესახებ.

გიროთეოდოლით ან გიროკომპასით იზომება $A_{გირ}$ გიროსკოპიული აზიმუტი, რომლითაც ისაზღვრება A^0 ასტრონომიული აზიმუტი ფორმულით:

$$A^0 = A_{გირ} + \Delta, \quad (2.4.3.1)$$

სადაც Δ — გიროთეოდოლიტის შესწორებაა.

შემდეგ განისაზღვრება $A_{გეო}$ გეოდეზიური აზიმუტი (2.1.2.20) ლაპლასის ფორმულით:

$$A_{გეო} = A^0 + (L - \lambda) \sin \varphi, \quad (2.4.3.2)$$

სადაც $(L - \lambda) \sin \varphi = \Delta A$ არის ასტრონომიულ აზიმუტში შევეულის გადახრის შესწორება (2.1.2.22 ფორმულა). ბოლოს დიდ სივრცეებზე (2.5.4 პარაგრაფის A მუხლის d პუნქტი) განისაზღვრება α დირექციული კუთხე (2.5.4.40) ფორმულით

$$\alpha = A_{გეო} - \gamma + \sigma, \quad (2.4.3.3)$$

სადაც γ არის ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი წერტილის მერიდიანის შეახლოების კუთხე, გაუსობით;

σ — გაუსის პროექციის სიბრტყეზე გეოდეზიური ხაზის სიმრუდის, ანუ ორიენტირებული ხაზის დაყვანის შესწორება.

კოორდინატთა სისხვაპები სანიჟინრო გეოლენიჟი

როგორც ცნობილია, კოორდინატებს უწოდებენ სახელდებულ (კუთხური, ხაზოვანი ან დროის განზომილების) ფარდობით რიცხვებს, რომლებითაც ისაზღვრება წერტილის მდებარეობა სივრცის ნებისმიერ ელემენტზე. აგრევე ცნობილია, რომ ხაზები და სიბრტყეები, რომელთა მიმართაც ისაზღვრება წერტილთა მდებარეობები, შესაბამისად იწოდება კოორდინატთა ღერძებად და საკოორდინატო სიბრტყეებად.

წერტილების მდებარეობის როგორც ელიფსოიდზე, სფეროზე და სიბრტყეზე, ისე ადგილზე განსაზღვრისათვის საინჟინრო გეოლენიჟიში გარდა გეოგრაფიული კოორდინატებისა და სიმაღლეებისა, რომლებიც განხილული იყო წინათა თავებში, გამოიყენება პირობით მართკუთხა, პოლარული, ბიპოლარული და გაუსის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატების სისტემები.

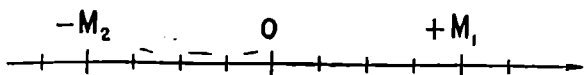
2. 5. 1. მართკუთხა კოორდინატები

ა. დეკარტის კოორდინატები ჩიცხვთა დეკარტი

მიმართულ ღერძს, როგორც ადგილზე, ისე ქაღალდზე, რომელზეც დაინიშნება საწყისი O წერტილი (სათავე პოლუსი), ეწოდება საკოორდინატო ანუ რიცხვით ღერძი, ე. ი. ამ ღერძზე შემოღებულთა ფრანგი მათემატიკოსისა და ფილოსოფოსის დეკარტის (1556—1650) კოორდინატთა სისტემა. მათემატიკაში, შეთანხმების თანახმად, O -დან მარჯვნივ ღერძის მიმართება პლუსადაა მიღებული, ხოლო მარცხნივ—მინუსად.

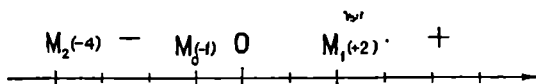
დეკარტის კოორდინატთა სისტემის შემოღება საშუალებას იძლევა ერთმნიშვნელოვნად განესაზღვროთ ამ ღერძზე წერტილების მდებარეობა ფარდობით სახელდებული რიცხვებით. შერჩეულ კოორდინატთა სისტემაში თარაზულ ღერძზე ნებისმიერი M , წერტილის კოორდინატი ეწოდება რიცხვს, რომელიც მიიღება საწყისი O წერტილიდან M , წერტილამდე ადგილზე გაზომილი შესაბამისი უმოკლესი მანძილის ქვედებულის გამოთვლის შედეგად. OM , სიგრძის გამომსახველ X რიცხვს ეწება დადებითი ნიშანი, თუ OM , მონაკვეთის მიმართება იქნება ისეთი, როგორც აქვს კოორდინატთა ღერძს. მაგალითად (ნახ. 1), M_1 წერტილის კოორდინატთა $x_{M_1} = +4$ ზომის ერთეული, ხოლო M_2 წერტილის კოორდინატი იქნება $x_{M_2} = -4$ ზომის ერთეული და შესაბამისად აღინიშნება $M_1(+4)$ და $M_2(-4)$ სიმბოლოთი. ქაღალდზე სათანადო შემცირებით გადაიტანება როგორც კოორდინატთა ღერძი, ისე მიმართული $OM_1 = x_{M_1}$ და $OM_2 = -x_{M_2}$ მონაკვეთები. მაშასადამე, როგორც ადგილზე, ისე ქაღალდზე ერთმნიშვნელოვანი შესაბამისობა საკოორდინატო ღერძის

წერტილთა სიმრავლესა და ფარდობით სახელდებულ რიცხვებს შორის, რადგანაც ნებისმიერ სახელდებულ x_{M_i} რიცხვს ღერძზე შეესაბამება M_i წერტილი



ნახ. 2.5.1.1.

ლო და, პირიქით, საკოორდინატო ღერძის ყოველ M_i წერტილს შეესაბამება x_{M_i} კოორდინატი. მაგალითად (ნახ. 2), $M_1(+2)$ და $M_2(-4)$ წერტილებს



ნახ. 2.5.1.2.

შორის $\overline{M_1 M_2}$ მიმართების მქონე მონაკვეთის ოდენობა (სიგრძე და ნიშანი) $\overline{M_1 M_2} = \overline{M_1 O} + \overline{O M_2} = -2 + (-4) = -6$ ზომის ერთეულს, ხოლო ამ წერტილებს შორის სიგრძე $d = |-2 + (-4)| = 6$ ზომის ერთეულს.

მოცემულ წერტილებს შორის ნებისმიერ M_0 წერტილის x_0 კოორდინატის განსაზღვრა შეიძლება, თუ მოცემული გვექნება $\overline{M_1 M_0}$ და $\overline{M_0 M_2}$ ფარდობის გამოსახველი λ რიცხვი. მართლაც,

$$\lambda = \frac{\overline{M_1 M_0}}{\overline{M_0 M_2}} = \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_0}, \quad (2.5.1.1)$$

საიდანაც

$$x_0 = \frac{x_1 + \lambda x_2}{1 + \lambda}. \quad (2.5.1.2)$$

მეორე ნახაზის შესაბამისად (1) ფორმულით $\lambda = 1$, ხოლო (2) ფორმულით M_0 წერტილის კოორდინატი $x_0 = \frac{+2 + 1(-4)}{1 + 1} = \frac{-2}{2} = -1$.

(2) ტოლობით შეგვიძლია $\overline{M_1 M_2}$ მიმართების მქონე მონაკვეთის შუალედო წერტილების დანიშვნა λ ($\lambda \neq -1$) ფარდობის შესაბამისად ცალსახად.

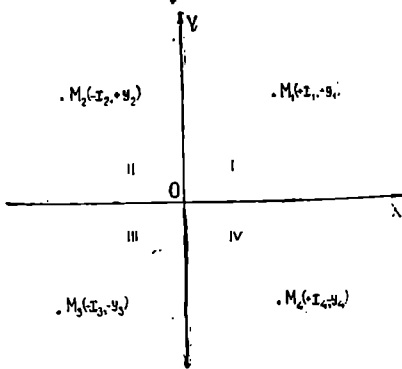
B. დეკარტის მართკუთხა კოორდინატები სიბრტყეზე

დეკარტის მართკუთხა კოორდინატთა სისტემის შესაბამისად სიბრტყის ნებისმიერ M_i წერტილს x აბსცისისა და y ორდინატის სახით მხოლოდ და მხოლოდ ორი სახელდებული ფარდობითი რიცხვი შეესაბამება და პირიქით, ამავე სახის ყოველ წყვილ რიცხვს სიბრტყეზე შეესაბამება მხოლოდ და მხოლოდ ერთი წერტილი. ამ სისტემით სიბრტყეზე წერტილის მდებარეობის ერთმნიშვნელოვნად განსაზღვრა ან სიბრტყეზე წერტილის გადატანა ანუ რიცხვებისა და წერტილების ურთიერთდაკავშირება ძლიერ აადვილებს ანალიზური ხერხებით გეომეტრიული ამოცანების ამოხსნას. შეთანხმების თანახმად, მათე-

მატიკაში მიღებულია სრული კუთხის მეოთხედები, ანუ კვადრანტები I, II, III, IV იცვლებოდეს აბსცისათა x ღერძის მიმართებიდან ორდინატთა y ღერძის მიმართებისაკენ მცირე კუთხური გზით, რასაც შეესაბამება მარცხენა სისტემა, ანუ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით

ცხრილი 2.5.1.1.

კვადრანტები	x	y
I	+	+
II	-	+
III	-	-
IV	+	-

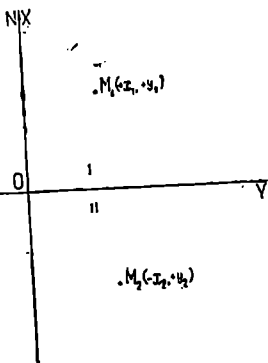


ნახ. 2.5.1.3

კვადრანტების ნუმერაციის ზრდა (ნახ. 3). კვადრანტების მიხედვით კოორდინატების ნიშნები მოცემულია (1) ცხრილში. x აბსცისათა ღერძის ზემოთ მდებარე წერტილის ორდინატს პლუს ნიშანი აქვს, ქვემოთას კი — მინუსი, ხოლო y ორდინატთა ღერძის მარჯვნივ მდებარე წერტილის აბსცისის პლუსი აქვს, მარცხნივ მდებარეს კი მინუსი; x ღერძზე მდებარე წერტილის ორდინატი ნულია, აგრეთვე y ღერძზე მდებარე წერტილის აბსცისი ნულია, ხოლო კოორდინატთა O სათავისათვის ორივე კოორდინატი ნულია. შეთანხმების თანახმად, ხშირად რიცხვთა ღერძების მიმართების აღმნიშვნელი ისრების ნაცვლად ღერძებს უწერენ მხოლოდ x და y .

გეოდეზიაში გამოიყენება დეკარტის კოორდინატთა მარჯვენა სისტემა შემდეგი მიზეზით: როგორც ცნობილია, გეოდეზიაში გამოსავალ, მთავარ მიმართულებას წარმოადგენს დგომის წერტილის მერიდიანის შესაბამისი საშუალო ხაზი, რომლის მიმართებაა N ჩრდილოეთით (ნახ. 4). ამიტომ აბსცისათა x ღერძი შევუთავსეთ მერიდიანს, ხოლო კვადრანტების ნუმერაციის ზრდის

მათემატიკაში მიღებული წესა დავიცავით, რის გამო საათის ისრის მოძრაობის შესაბამისი, ანუ მარჯვენა სისტემა მივიღეთ. როგორც ვხედავთ, მე (4) ნახაზს იგივე (1) ცხრილი შეესაბამება. x ღერძის მარჯვნივ ორდინატები დადებითია, მარცხნივ უარყოფითი, ხოლო y ღერძის ზემოთ აბსცისები დადებითი



ნახ. 2.5.1.4

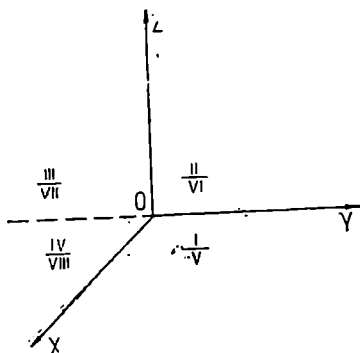
მათემატიკაში მიღებულია სრული კუთხის მეოთხედები, ანუ კვადრანტები I, II, III, IV იცვლებოდეს აბსცისათა x ღერძის მიმართებიდან ორდინატთა y ღერძის მიმართებისაკენ მცირე კუთხური გზით, რასაც შეესაბამება მარცხენა სისტემა, ანუ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით

ბითია და ქვემოთ უარყოფითი. მაშასადამე, მათემატიკიდან ცნობილი ყველა ფორმულა ლერძთა ასეთი განლაგებისათვის უცვლელად გამოიყენება.

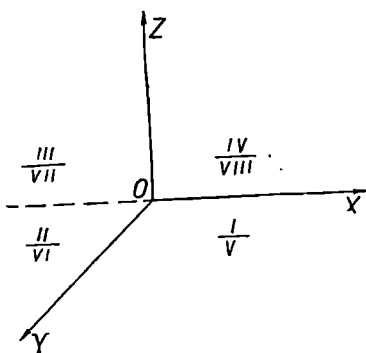
ზოგჯერ უფრო მოხერხებულია x აბსცისათა ლერძი არ დაამთხვიონ 0 წერტილის საშუალებო ზაზს და მისცენ უფრო მოხერხებული მიმართულება. ასეთ შემთხვევაში საქმე გვექნება კოორდინატთა პირობით სისტემასთან.

ც. დეკარტის მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში

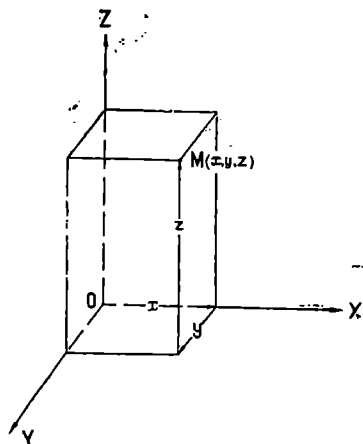
დეკარტის მართკუთხა კოორდინატთა სისტემის შესაბამისად სივრცის ნებისმიერ M წერტილს x აბსცისისა, y ორდინატისა და z აპლიკატის სახით



ნახ. 2.5.1.5



ნახ. 2.5.1.6



ნახ. 2.5.1.7

ცხრილი 2.5.1.2.

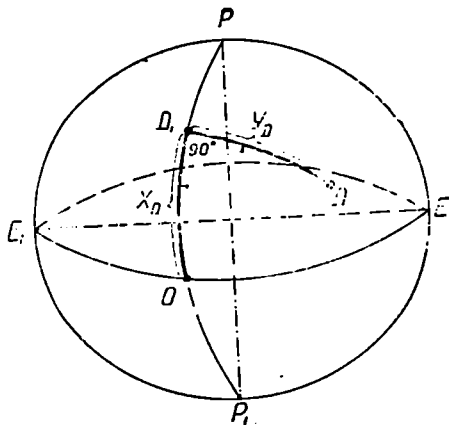
ოქტანტები	x	y	z
I	+	+	+
II	-	+	+
III	-	-	+
IV	+	-	+
V	+	+	-
VI	-	+	-
VII	-	-	-
VIII	+	-	-

მხოლოდ და მხოლოდ სამი სახე-
 ლდებული ფარლობითი რიცხვი
 შეესაბამება და, პირიქით, ამავე
 სახის ყოველ სამ რიცხვს სივრ-
 ცეში შეესაბამება მხოლოდ და
 მხოლოდ ერთი წერტილი. ისევე
 როგორც სიბრტყეზე, სივრცეშიც
 არსებობს დეკარტის მარცხენა

(ნახ. 5) და მარჯვენა (ნახ. 6) სისტემები. გეოდეზიაში უმთავრესად გამოიყენება მარჯვენა სისტემა. xoy , xoz და yoz საკოორდინატო სიბრტყეებით, რომლებიც გატარებულია რიცხვთა x , y და z ღერძებზე, სივრცე იყოფა რვა ოქტანტად. I ოქტანტის ფარგლებში M წერტილის კოორდინატები დადებითია და სრული გადაადგილების თვისებით ხასიათდება. მაგალითად xyz , xzy , yxz , yzx , zxy , zyx განსაზღვრავს M წერტილის მდებარეობას I ოქტანტში (ნახ. 7). ანალოგიურად ისაზღვრება დანარჩენ ოქტანტებში წერტილის მდებარეობა კოორდინატების ნიშნების წესის დაცვით (2) ცხრილის შესაბამისად.

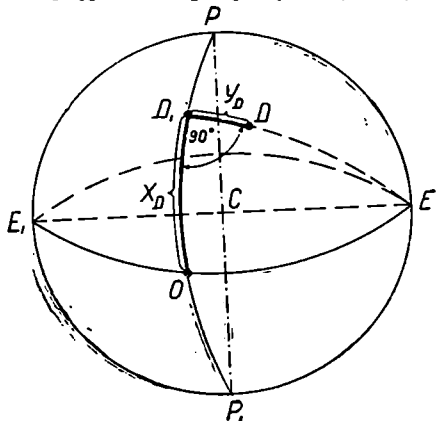
D. მართკუთხა კოორდინატები სფეროიდსა და სფეროზე

სფეროიდის (ანუ ელიფსოიდის) ზედაპირზე წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის გარდა გეოგრაფიული კოორდინატებისა, ანუ გეოდეზიურ L გრძედისა და B განედისა, სარგებლობენ ზოლდნერის



ნახ. 2.5.1.8.

მიერ შემოღებული მართკუთხა სფერული კოორდინატებით. ამ სისტემის მიხედვით აბსცისათა x ღერძად იღებენ სფეროიდის ორგვერდოვანედს ღერძა, ვთქვათ, POP_1 მერიდიანს (ნახ. 8), ხოლო ორდინატა y ღერძად გეოდეზიურ ხაზს. კოორდინატთა სათავედ იღებენ ღერძა მერიდიანისა და ეკვატორის გადაკვეთის O წერტილს, რომლის გეოდეზიური L_0B_0 კოორდინატები ცნობილია. ელიფსოიდზე D წერტილის მდებარეობა განსაზღვრება ღერძა მერიდიანის $OD_1 = X_D$ რკალით



ნახ. 2.5.1.9.

და გეოდეზიური ხაზის (უმოკლესი) $DD_1 = Y_D$ მონაკვეთით, რომელიც მართობულად კვეთს ღერძა მერიდიანს. მაშასადამე, X_D და Y_D მონაკვე-

თები, გამოსახული ხაზოვან განზომილებებში, წარმოადგენს D წერტილის მართკუთხა სფეროიდულ კოორდინატებს სფეროიდზე. კოორდინატთა

სათავედ შეიძლება მივიღოთ ნებისმიერი წერტილი. მხოლოდ საჭიროა ეიცოდეთ ამ წერტილის B და L გეოდეზიური კოორდინატები.

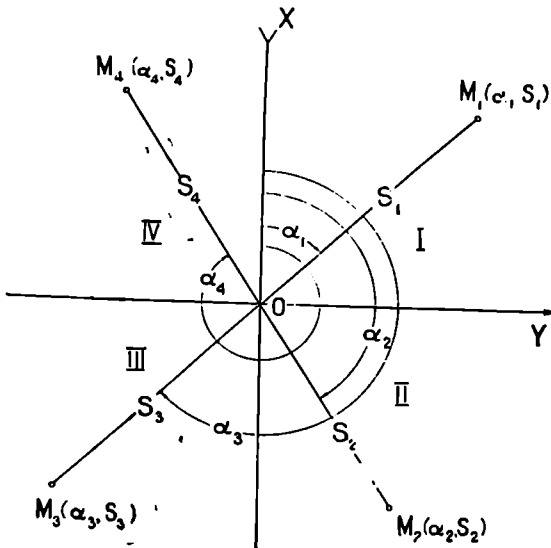
სფეროიდული კოორდინატების კერძო შემთხვევას წარმოადგენს სფერული X_D და Y_D კოორდინატები (ნახ. 9), რომლებიც დიდი წრეხაზის რკალებს წარმოადგენენ. ნიშნების წესი ჩვეულებრივია აბსცისა ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და ორდინატი მერიდიანის აღმოსავლეთით დადებითია, ხოლო წინააღმდეგ — უარყოფითი.

როგორც სფეროიდულ, ისე სფერულ მართკუთხა კოორდინატს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როცა გეოდეზიური L და B კოორდინატებიდან გადადიან ბრტყელ მართკუთხა x და y კოორდინატთა სისტემაზე, რადგანაც ზემონსენებულ მრუდხაზოვან მართკუთხა და სიბრტყეზე სწორხაზოვან მართკუთხა კოორდინატებს ბევრი საერთო აქვთ (2.5.4 პარაგრაფი).

2.5.2. პოლარული კოორდინატები

1. პოლარული კოორდინატები სიბრტყეზე

განხილად სისტემაში სიბრტყეზე ნებისმიერ ადგილას დანიშნულ O პოლუსსა და პოლარული Ox ღერძის მიმართ M წერტილის მდებარეობის ცალსახად განსაზღვრისა, ან სიბრტყეზე წერტილის გადატანისათვის გეოდეზიაში იყენებენ S რადიუს ვექტორსა და α დირექციულ კუთხეს, რომელთაც M წერტილის პოლარული კოორდინატები ეწოდებათ (ნახ. 1). აქ იგულისხმება:



ნ.ხ. 2.5.2.1.

რომ Ox არის ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძი. მაშასადამე, წინა პ-რაგრაფიდან ცნობილი მოსაზრების გამო აქაც იყენებენ მარჯვენა სისტემას. წერტილის მდებარეობა პოლარულ კოორდინატებში აღინიშნება $M(\alpha, r)$ ან უბრალოდ (α, r) . ღირექციული კუთხე იცვლება 0° -დან 360° -მდე საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. სიბრტყეზე მართკუთხა კოორდინატებისა და პოლარულ კოორდინატებს შორის დამაკავშირებელი ფორმულებია:

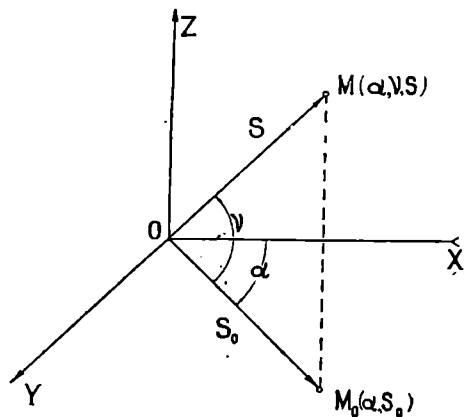
$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \alpha \\ y &= r \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.5.2.1)$$

კვადრანტებში კოსინუსებისა და სინუსების ნიშნები მოყვანილია (1) ცხრილში.

ცხრილი 2.5.2.1		
კვადრანტები	x $\cos \alpha$	y $\sin \alpha$
I	+	+
II	-	+
III	-	-
IV	+	-

B. პოლარული კოორდინატები სივრცეში

სივრცეში M წერტილის კოორდინატები მარჯვენა სისტემის შესაბამისად არის სივრცის M წერტილზე მიმართული OM მონაკვეთის OM_0 ქვედებულის მიერ x ღერძის მიმართებასთან შექმნილი α ღირექციული კუთხე xy სიბრტყეზე. იმავე OM მიმართული მონაკვეთის მიერ თავის OM_0 -ს ქვედებულთან შედგენილი დახრის



ნახ. 2.5.2.2.

კოორდინატებისა, ხოლო ქაღალდზე და ადგილზეც წერტილების გადატანა უფრო ზუსტი და მოსახერხებელია დეკარტის მართკუთხა კოორდინატებით. ამიტომ გაზომილი პოლარული კოორდინატებით გამოითვლება მართკუთხა კოორდინატები.

როგორც იყო თქმული, ადგილზე ფაქტობრივად იზომება A_0 კეშმარიტი ან A_0 მაგნიტური აზიმუტი და გამოითვლება α ღირექციული კუთხე.

როგორც ვიცით, γ დახრის კუთხეს აქვს \pm ნიშანი აღმართისა და დაღმართის შესაბამისად.

ადგილზე პოლარული კოორდინატების გაზომვა უფრო მოსახერხებელია, ვიდრე დეკარტის მართკუთხა

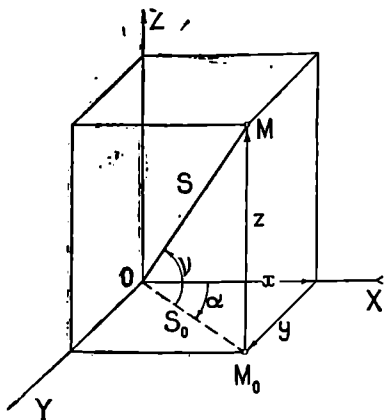
(3) ნახაზის შესაბამისად პოლარული კოორდინატების საშუალებით მართკუთხა კოორდინატების გამოსათვლელი ფორმულებია:

$$\left. \begin{aligned} x &= r_0 \cos \alpha = r \cos \nu \cos \alpha \\ y &= r_0 \sin \alpha = r \cos \nu \sin \alpha \\ z &= r_0 \operatorname{tg} \nu = r \sin \nu \end{aligned} \right\} (2.5.2.2)$$

კოორდინატა ნიშნები კვადრანტებისა და ოქტანტების მიხედვით შესაბამისად მოცემულია (2.5.1.2) და (1) ცხრილში.

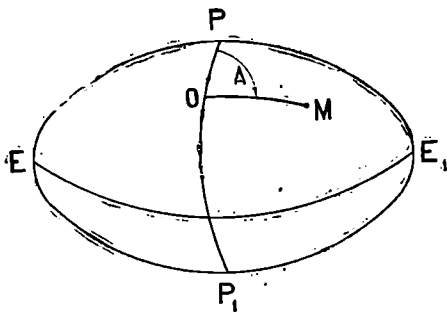
C. პოლარული კოორდინატები სფეროიდსა და სფეროზე

როგორც ცნობილია, საერთოდ, იმისდა მიხედვით, თუ რომელ მიმართულებას ავიღებთ პოლარულ ღერძად, პოლარულ კუთხეს სხვადასხვა სახელწოდება ექნება. მაგალითად, სიბრტყეზე თუ პოლარულ ღერძად მივიღებთ



ნახ. 2.5.2.3.

დგომის წერტილის საშუადადგო ხაზს, მაშინ პოლარული კოორდინატი იქნება ასტრონომიული A აზიმუტი. ასევე, თუ ელიფსოიდზე პოლარულ ღერძად ავირჩევთ გეოდეზიურ მერიდიანს და მასზე O წერტილს პოლუსად, M წერტილის პოლარული კოორდინატები იქნება A გეოდეზიური აზიმუტი და OM გეოდეზიური ხაზი (ნახ. 4). ორივე ამ კოორდინატს ეწოდება M წერტილის სფეროიდული პოლარული კოორდინატები, ხოლო M წერტილის სფერული პოლარული კოორდინატებია A აზიმუტი და დიდი წრის რკალი.

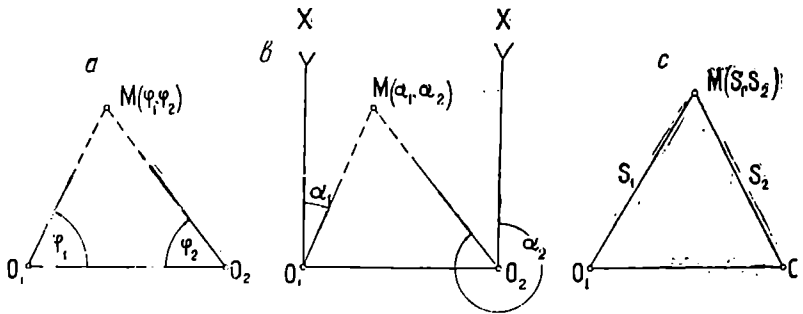


ნახ. 2.5.2.4.

აქაც, ისევე როგორც სიბრტყეზე, ცნობილი ასტრონომიული აზიმუტებით გამოითვლება გეოდეზიური აზიმუტები და შემდეგ დირექციული კუთხეები, რომლებიც აღინიშნება T -თი.

2.5.3. ბიპოლარული კოორდინატები

ბიპოლარული კოორდინატებით სიბრტყეზე M წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება კუთხური ან ხაზოვანი გადაკვეთით. პირველ შემთხვევაში გამოიყენება O_1 და O_2 პოლუსზე გაზოხილი φ_1 და φ_2 კუთხე (ნახ. 1^ა) ან



ნახ. 2.5.3.1.

α_1 და α_2 დირექციული კუთხე (ნახ. 1^ბ). * ხაზოვანი გადაკვეთისათვის კი M წერტილის კოორდინატებია ადგილზე გაზომილი s_1 და s_2 რადიუს ვექტორები (ნახ. 1^გ). ქალაქზე მათი გადატანისათვის პირველ შემთხვევაში საჭიროა ტრანსპორტირი და მეორეში კი ფარგალი.

2.5.4. ბაშის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატების ზონალური სისტემა

საყრდენი წერტილების მდებარეობა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს წინა პარაგრაფებში განხილული ნებისმიერი კოორდინატთა სისტემით. მაგრამ, როგორც წესი, მათი კოორდინატების განსაზღვრა მიღებულია გეოდეზიური კოორდინატებით ან ბრტყელი მართკუთხა სისტემით, რადგანაც პირველი ხასიათდება ზოგადობით და მეორე სიმარტივეთა და პრაქტიკული გამოყენების მხრივ მოსურხებულობით. როგორც ვიცით, ადგილის ნებისმიერი წერტილის ცნობილი გეოდეზიური B განედი და L გრძედი შეიძლება გავრცელებული იყოს როგორც ერთიანი კოორდინატთა სისტემა დედამიწის ელიფსოიდის მთელ ზედაპირზე. აგრეთვე, დედამიწის ფორმისა და ზომის შესწავლისას დიდ მანძილებთან დაკავშირებული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნის დროს იგი შედარებით უფრო კარგად გამოსაყენებელია. ჩვეულებრივ, ამ სისტემით გამოსახავენ საბჭოთა კავშირის ასტრონომიულ-გეოდეზიური ქსელების საყრდენი პუნქტების კოორდინატებს და გამოიყენება ელიფსოიდის ზედაპირზე სხვადასხვა კოორდინატთა სისტემებზე გადასასვლელად.

პრაქტიკულად ფართო გამოყენებისათვის გეოდეზიური კოორდინატების სისტემა ნაკლებად მოხერხებულია, რადგანაც წერტილთა ურთიერთმდებარეობა ამ სისტემით გამოთახება კუთხურ განზომილებაში, მაშინ როდესაც პუნქტებს შორის მანძილები იზომება ან მოიცემა მხოლოდ ხაზოვან განზომილებებში. ვარდა აღნიშნულისა, კუთხური ერთეულების შესაბამისი რკალური სიგრძეება განედების ცვლის მიხედვით სხვადასხვაა; აგრეთვე მერიდიანები, რომელთა მიმართ აზიმუტები ისაზღვრება, ურთიერთპარალელურები არ არის. გეოდეზიური კოორდინატებით გამოთვლები, თუგინდ მცირე მანძილები იყოს პუნქტებს შორის, მნიშვნელოვნად შრომატევადია, რადგანაც წერტილთა კოორდინატებსა, მანძილებსა და აზიმუტებს შორის დამოკიდებულება რთულია.

ამავე დროს, როგორც ვთქვით, პრაქტიკული გამოყენების მხრივ ბრტყელ-მართკუთხა კოორდინატების სისტემა უფრო მოხერხებულია. ამ სისტემაში წერტილების კოორდინატებსა, მანძილებსა და მიმართულებებს შორის ტრიგონომეტრიის მართკუთხე ფორმულებით, რაც მეტიად ადვილად გამოთვლებს.

მაგრამ გეოდეზიური კოორდინატების სისტემის ნაცვლად ბრტყელი მართკუთხა სისტემის გამოყენება მოითხოვს ელიფსოიდის ან სფეროს ზედაპირიდან სიბრტყეზე გადასვლას. ამავე დროს, სიბრტყეზე ელიფსოიდის (სფეროს) ზედაპირის და მასზე დაგეგმილებული ადგილის ფარგების განშლად მახინჯეების გარეშე შეუძლებელია. ამიტომ იყენებენ მათემატიკური კარტოგრაფიის წესებით დამუშავებულ სხვადასხვა სახის კარტოგრაფიულ პროექციებს, ანუ გრადუსული ბადის სფეროს (სფეროიდის) ზედაპირიდან სიბრტყეზე გადატანის მათემატიკურ ხერხებს, რომლებიც ხასიათდებიან დამახინჯების ამათუ იმ სახითა და ოდენობით.

მასასადასე, რუკების შედგენისათვის პირველ რიგში მერიდიანებისა და პარალელებისაგან ქალაღზე აგებენ საფუძველს გეოგრაფიული ბადის სახით. ამ საფუძველის შედგენა და მასზე საყრდენი პუნქტების დატანა ხდება გარკვეული კარტოგრაფიული პროექციების შესაბამისი მართკუთხა კოორდინატებით.

კარტოგრაფიული პროექციები გეოდეზიაში შეზღუდულად გამოიყენება. მაგალითად, თუ მათემატიკურ კარტოგრაფიაში სიბრტყეზე ახდენენ გამოსახვას ღეღამიწის საერთო სახის (რეფერენციულიფსოიდის) დიდი ნაწილებისას ან ნაეილი ზეღაპირისას, გეოდეზიაში იყენებენ ამ ზეღაპირის შეღარებით მცირე ზიერციებს. ასეთი შეზღუდვის ძირითადი მიზეზია პრაქტიკის მოთხოვნა იმან შესანებ, რომ ელიფსოიდის ზეღაპირსა და სიბრტყეზე შესაბამის ხაზოვან და კუთხურ ელემენტებს შორის განსხვავება იყოს რაც შეიძლება მცირე, ე. ი. ელიფსოიდის ზეღაპირიდან სიბრტყეზე კონტურების განშლის დროს მის კუთხურ და ხაზოვან ელემენტებს ჰქონდეს რაც შეიძლება მცირე დამახინჯებები. ცხადია, ელიფსოიდის ზეღაპირის სიბრტყეზე განშლისას ნებისმიერი ოდენობის დამახინჯების მცდეღეღობაში მიღება შეიძლება, ე. ი. შეიძლება დიდი სიერციეების გამოყენება, მაგრამ პრაქტიკული მნიშვნეღობა სიბრტყეზე გადასვლისა უნაყოფო გახდებოღა იმის გამო, რომ დიდი დამახინჯებების გამოთვლა შეღარებით უფრო შრომატეღვაღი გამოვიღოღა, ვიღრე თეღი ელიფსოიდის ზეღაპირზე უშუალოღ გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნა. ამიტომ გეოდეზიაში სიბრტყეზე გამოსახეღენ ელიფსოიდის ზეღაპირის შეღარებით მცირე ნაწილს, რომლის დამახინჯებები მცირე და ადვილოღ გამოსათეღლეღა. როცა საჭიროა დიღი სიერციეების გამოსახეღა სიბრტყეზე, მაშინ, როგორც ქეღმოთ ვნახავთ, მას ჰყოფენ შეღარებით მცირე ნაწილებად (ზონებად) და ყოველი სიერციე გამოსახეღა სიბრტყეზე თავისი ბრტყელი კოორდინატთა სისტემის მიმართ.

კარტოგრაფიული პროექციების კლასიფიკაცია ხდება დამახინჯების ხასიათისა და, აგრეთვე, გეოგრაფიული ბადეების სახეობების მიხედვით.

დამახინჯების ხასიათის მიხედვით კარტოგრაფიული პროექციები:

1 ტოლკუთხა-საღაც სფეროიდის (ან სფეროს) ზეღაპირიდან სიბრტყეზე

უსასრულოდ მცირე ფარგების გადატანის დროს დაცულია მათი მსგავსობა, ანუ აღნიშნული პროექცია არის კონფორმული. საერთოდ ფარგების მსგავსობა მოითხოვს კუთხეების ტოლობას და შესაბამისი გვერდების პროპორციულად შემცირებას ან გადიდებას. ამ პროექციაში დაცულია მხოლოდ ჰორიზონტალური ხარისხი ცვალებადია, რაც იმას ნიშნავს, რომ წერტილიდან წერტილზე გამოსახულების მასშტაბი იცვლება, მხოლოდ ყოველ წერტილში ნებისმიერი მიმართულებით მასშტაბი მუდმივი, ანუ დამოუკიდებელია. როგორც ქვემოთ ვნახავთ, მხოლოდ ამ სახის პროექციებში შეიძლება სფეროს ზედაპირზე დაგეგმილებული უსასრულოდ მცირე სფერული წრის მიღება სიბრტყეზე ცოტა გადილებული. მაგრამ ისევ უსასრულოდ მცირე წრის სახით. ეს პროექციებია ატარებს გ ა უ ს ი ს სახელს.

2. ტოლდიდი, ანუ ექვივალენტური, სადაც სფეროიდის (ან სფეროს) ზედაპირიდან სიბრტყეზე ფარგების გადატანის დროს დაცულია მათი ფართობების ტოლობა.

როგორც ქვემოთ ვნახავთ. ამ პროექციებით სფეროს ზედაპირზე ნებისმიერი უსასრულო მცირე ოდენობის სფერული წრე რუკაზე გამოსახება ელიფსის სახით, მხოლოდ მისი ფართობი აუცილებლად ტოლი იქნება სფერული წრის ფართობისა. რადგანაც აქ მსგავსება არ არის დაცული, ამ პროექციებს არაკონფორმულსაც უწოდებენ. ეს პროექციები განსაკუთრებით დაკავშირებულია ზოლდნერის სახელთან. აქვე შევნიშნავთ, რომ შეუძლებელია არსებული პროექციები თანადროულად იყოს კონფორმულიცა და არაკონფორმულიც.

3. ტოლშუალედებიანი, სადაც რუკების ერთ-ერთი მთავარი (მერიდიანების ან პარალელების) მიმართულებისაკენ დაცულია რუკის მთავარი მასშტაბი, ანუ სიგრძეები არ არის დამახინჯებული, ხოლო დანარჩენი მიმართულებებისაკენ მახინჯდება როგორც კუთხეები, ისე გვერდები და ფართობები.

4. ნებისმიერი, რომლებიც არ ხასიათდებიან არც ერთი ზემოთ აღნიშნული პროექციების თვისებებით, ე. ი. აქ არ არის დაცული მსგავსება, ფართობების გამოსახულებების პროპორციულობა და რომელიმე მთავარი მიმართულებით მასშტაბის მუდმივობა.

კარტოგრაფიული ბადის სახეობის მიხედვით არსებობს პროექციები: კონუსური, ცილინდრული, აზიმუტური, პოლიკონუსური და სხვა. ამასთანავე, ყოველ ამ სახის პროექციაში შეიძლება სხვადასხვა ხასიათის დამახინჯების პროექციას ჰქონდეს ადგილი. მაგალითად, ცილინდრული ტოლკუთხა, ცილინდრული ტოლდიდი ან კონუსური ტოლკუთხა, კონუსური ტოლდიდი და სხვა.

კონუსური და ცილინდრული პროექციების გეომეტრიული არსის ის არის, რომ მერიდიანებისა და პარალელების ბადე გეგმილდება კონუსის ან ცილინდრის შიგა ჰორიზონტალურ და შემდეგ ხდება მათი განშლა სიბრტყეზე. აზიმუტური პროექციების გამოყენების დროს კი აღნიშნული ბადე გეგმილდება გლობუსის ერთ-ერთ პოლუსზე გატარებულ მხებ სიბრტყეზე. ხოლო პოლიკონუსური, ანუ მრავალკონუსური პროექცია, რომელიც საფუძვლად უდევს 1:1000 000 მასშტაბის საერთაშორისო რუკას, ხასიათდება იმით, რომ ნორმალური ბადის ზოგიერთი საშუალო მერიდიანები იხაზება წრფეების სახით და წარმოადგენს პროექციების სიმეტრიის ღერძებს; პარალელები ისა-

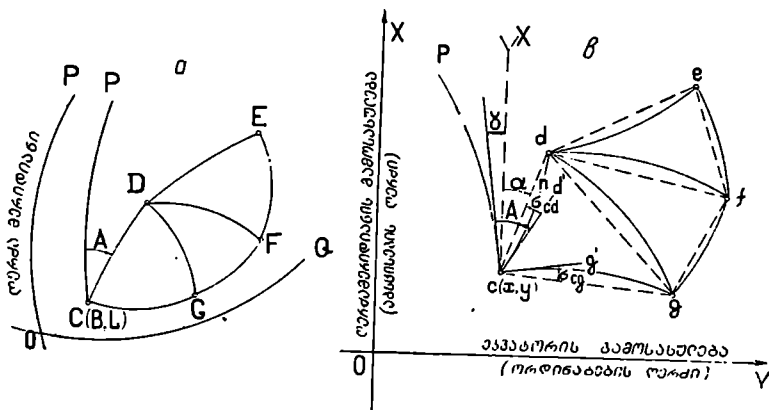
სება წრფწირებად, რომელთა რადიუსების სიგრძეებია განსილადი პარალელის მზების მონაკვეთები დედამიწის ღერძის გადაკვეთამდე; ეს პარალელები ორ-აოჯინალურებია საშუალო მერიდიანებისადმი; სხვა მერიდიანები გამოისახება სხვადასხვა მრუდის სახით.

საბჭოთა კავშირში 1 : 500 000 და უფრო მსხვილმასშტაბიანი რუკებისათვის საჭირო კარტოგრაფიული ბადის შესადგენად იყენებენ განივ-ცილინდრულ ტოლკუთხა (კონფორმულ) სიმეტრიულ პროექციებს, რომლის საერთო თეორია და მასთან დაკავშირებით ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატების გამოყენებით ფარგების სიბრტყეზე კონფორმულად გამოსახვის ხერხები დამუშავებული იქნა გაუსის მიერ მეცხრამეტე საუკუნის ოცდაათიან წლებში. ამ სისტემას მოკლედ უწოდებენ გაუსის ბრტყელ მართკუთხა კოორდინატთა ზონალურ სისტემას.

გაუსის ბრტყელი მართკუთხა ზონალური სისტემა ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური სამუშაოებისათვის შემოღებულ იქნა საბჭოთა კავშირში 1928 წლიდან.

1. გაუსის პროექციებში სიგრძეზე გეოდეზიური ძხელის გამოსახვის არსი

გაუსის ბრტყელი მართკუთხა ზონალურ კოორდინატთა სისტემის გამოყენების არე ძირითადად დიუზოს ფარგლებს არ სცილდება. ამიტომ ამ სისტემასთან დაკავშირებულ საკითხებს დაუუკავშირებთ ღერძა მერიდიანისა და მის მართობ გვეტორის გამოსახულებას სფეროიდსა და სიბრტყეზე.



ნახ. 2.5.4.1.

ვთქვათ, სფეროიდის (რეფერენც-ელიფსოიდის) ერთ-ერთი ფიუზოს ღერძა მერიდიანის აღმოსავლეთ მხარეზე გაშლილია გეოდეზიური საყრდენი ქსელი $CDEFG$ ტრიანგულაციის სახით (ნახ. 1^ა), სადაც ცნობილია: ერთ-ერთი (ვთქვათ C) პუნქტის გეოდეზიური კოორდინატები (B, L), CD გვერდის სიგრძე, ამ გვერდის A გეოდეზიური აზიმუტი და სამკუთხედების ყველა კუთხე. CP რომ იყოს OP ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძი, მაშინ A აზიმუტის ნაცვლად იქნება T დირექციული კუთხე.

ეს ქსელი გაუსის პროექციებში სიმორცხეზე გამოისახება (1^4) ნახაზის სახით. ფიუზოს OP ღერძა მერიდიანი და OQ ეკვატორის რკალი, რომელთა შორის მოქცეულია აღნიშნული ქსელი, გამოისახება ურთიერთმართობი წრფივი Ox აბსცისებისა და Oy ორდინატების რიცხვთა ღერძებად. სფეროიდული CDG, DFG, DEF სამკუთხედების პროექციები იქნებიან ბრტყელი cdg, dfg, def მრუდგვერდებიანი სამკუთხედები, რომელთა სიგრძეები გაუსის პროექციებში ტოლი არ იქნება სფეროიდზე შესაბამისი გვერდებისა, მხოლოდ დაცულია შესაბამისი კუთხეების ტოლობა. C პუნქტის CP მერიდიანი (ნახ. 1^4) სიმბრტყეზე გამოისახება CP მრუდის სახით (ნახ. 1^4).

ბრტყელი მრუდგვერდა სამკუთხედების ამოხსნის, ანუ მათი წვეროების შესაბამისი კოორდინატების გამოთვლის შეუძლებლობის გამო განხილვად სამკუთხედებს იღებენ მათი გვერდების შესაბამისი ქორდებისაგან შემდგარ სამკუთხედებად. ისე როგორც ეს (1^4) ნახაზზეა ნაჩვენები წყვეტილი ხაზები. მამასაღამე, ნაცვლად ბრტყელი, მრუდგვერდა სამკუთხედებისა, იღებენ ბრტყელ სწორგვერდა სამკუთხედებს, რომელთა ამოხსნა არავითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს. სიმბრტყეზე სამკუთხედების მრუდე გვერდების (გეოდეზიურა ხაზების) შესაბამისი ქორდებით შეცვლა პრაქტიკულად სრულიად დასაშვებია და ასეც ვიქცევით, მაგრამ, როგორც ვთქვით და ქვემოთ იქნება დამტკიცებული. სფეროიდის (ან სფეროს) ზედაპირიდან სიმბრტყეზე გაუსის პროექციებში სამკუთხედების გვერდების გადატანის (განშლის) დროს ხდება საყურადღებო დამახინჯება, ე. ი. სფეროიდზე გეოდეზიურ ხაზსა და სიმბრტყეზე მისი შესაბამისი მრუდი ხაზის ქორდას შორის სხვაობა მნიშვნელოვანი ოდენობები გამოდის. ამიტომ გაუსის პროექციებით სფეროიდის ზედაპირიდან ავადანსხვა ფიგურების შესაბამისი ხაზების სიმბრტყეზე განშლის დროს ამ სიგრძეებში საჭიროა შეტანილ იქნეს შესწორებები, რომელთაც ეწოდებათ მანძილები და ΔS რედუქციები. გარდა აღნიშნულისა, ქორდებს შორის კუთხეები ახ იქნება ტოლი შესაბამის მრუდგვერდებს შორის კუთხეებისა. ამიტომ საჭიროა მრუდ გვერდებს შორის კუთხეებში შეტანილ იქნეს შესწორება. პრაქტიკულად შესწორებები შეაქვთ არა კუთხეებში, არამედ მიმართულებებში. მაგალითად, C წერტილში cdg სამკუთხედის cd მრუდ გვერდსა და cd ქორდას შორის σ_{cd} კუთხე წარმოადგენს cmd მიმართულების შესწორებას, რომელსაც უწოდებენ cmd გეოდეზიური ხაზის გამოსახულებების სიმრუდისათვის შესწორებას. მამასაღამე, $\sigma_{cd} = d'cd'$ წარმოადგენს cmd გეოდეზიური ხაზის სიმრუდისათვის მისი მიმართულების შესწორებას გაუსის პროექციებში სიმბრტყეზე გამოსახვის დროს.

ფიუზოს ფარგლებში წერტილებზე და საერაოდ ხაზებზე ორიენტირება ხდება ღერძა მერიდიანის სწორივე ღერძების მიმართ. მამასაღამე, საჭირო ხდება C წერტილში α დირექციული კუთხის განსაზღვრა ცნობილი A გეოდეზიური აზიმუტის საშუალებით, სადაც, რა თქმა უნდა, საჭირო გახდება გაუსით γ მერიდიანთა შეახლოების დადგენა.

როგორც ვხედავთ, გაუსის პროექციებში სფეროიდის ზედაპირიდან სიმბრტყეზე გეოდეზიური ქსელის გადატანისათვის საჭიროა:

ა. გამოთვლილ იქნეს გზომილი გვერდების შესწორებები, ანუ მანძილების რედუქციები სფეროიდის (ან სფეროს) ზედაპირიდან სიმბრტყეზე მათი გადატანის დროს;

ბ. გამოთვლილ იქნეს გავრცელებულ მიმართულებებში (სამკუთხედების გვერდებში) σ შესწორების ოდენობები გეოდეზიური ხაზების გამოსახულების სიმრუდისათვის გაუსის პროექციებში სიბრტყეზე მათი გამოსახვის დროს;

გ. ემოსავალ პუნქტებში გამოთვლილ იქნეს მერიდიანთა შეახლოების γ კუთხე;

დ. გადავიდეთ საწყისი მიმართების გეოდეზიური A აზიმუტიდან დირექციულ α კუთხეზე;

ე. საწყისი პუნქტის B, L გეოდეზიური კოორდინატებიდან გადავიდეთ სიბრტყის მართკუთხა x, y კოორდინატებზე.

ასეთი სახის მოსამზადებელი სამუშაოების შესრულება უზრუნველყოფს გეოდეზიური ქსელის გამოთვლას არა სფეროიდზე, არამედ სიბრტყეზე მარტივი ფორმულებით.

განვიხილოთ ყველა შემოხსენებული საკითხი თანამიმდევრობით:

ა. გაუსის პროექციებში გამოსახულების მასშტაბი. ელიფსოიდის ზედაპირიდან მანძილების სიბრტყეზე გადასაყვანი ფორმულები. მანძილების რედუქციების ფორმულები

გაუსის პროექციებში გამოსახულების მასშტაბის ფორმულების გამოყვანის დროს მცირედი შეცდომის უგულებელყოფით გეგმილთ ზედაპირად, ნაცვლად სფეროიდის ზედაპირისა შეიძლება მივიღოთ მისი ტოლი სფეროს ზედაპირი (ნახ. 2). ამ ზედაპირზე დავაგეგმილოთ უსასრულოდ მცირე $ABCD$ წრე. ამ სფერული წრის O ცენტრის ზოლდენერის მართკუთხა სფერული კოორდინატები იქნება X_0 და Y_0 , ხოლო მათი გამოსავალი O წერტილის გეოდეზიური კოორდინატებია B_0, L_0 . სფერული წრის დიამეტრის შესაბამისი AB რკალის r რადიუსი გამოითვლება ფორმულით (ნახ. 2):

$$r = R_0 \cos \frac{Y_0}{R_0}, \quad (2.5.4.1)$$

სადაც R_0 — დედამიწის რადიუსია.

განხილავი სფერო მოვითავსოთ იმავე დიამეტრის მქონე ცილინდრში ისე, რომ PP_1 ლერძა მერიდიანის კვეთილობა დაემთხვეს ცილინდრის კვეთილობას. მაშინ ექვსკრადუსიანი ფიქსურების შემთხვევაში მისი განაპირა მერიდიანები ცილინდრის შიგა პირეულიდან, ანუ O წერტილში ეკვატორის მხების გასწვრივ K_1 და K_2 წერტილები დაშორებული იქნება დაახლოებით 10-10 კილომეტრით. გადავიტანოთ აღნიშნული სფერული $ABCD$ წრე ცილინდრის შიგა პირეულზე. ამისათვის გავატაროთ ლერძა მერიდიანის A_0 და B_0 წერტილებზე ცილინდრის $B_0 u_1, A_0 u_2$ მსახველები და $A_0 A, B_0 B$ გეოდეზიური ხაზები გადავიტანოთ ცილინდრის შიგა პირეულზე. ცხადია, ამ პირეულზე გადაიტანება განხილავი უსასრულოდ მცირე სფერული გაკვიმული წრე. ანუ ნიღება ელიფსი, რომლის დიდი დიამეტრი იქნება $A'B' = A_0 B_0$ და, პრომელსაც შეესაბამება დედამიწის R_0 რადიუსი. ეს გაკვიმული წრე, ანუ ელიფსი ნახაზზე წყვეტილი ხაზით არის ნაჩვენები. მათსადამე, სფერული წრის სფე-

ექვსკრადუსიანი ფიქსირებული ფარგლებში $\beta = \frac{Y_0}{R_0}$ არ აღემატება 3° -ს, ამის გამო

$4 \sin^4 \frac{Y_0}{2R_0}$ ოდენობა შეიძლება უგულებელვყოთ. აგრეთვე ნაცვლად $2 \sin^2 \frac{Y_0}{2R_0}$

გამოსახულებისა შეიძლება მივიღოთ $\frac{Y_0^2}{2R_0^2}$. მაშასადამე, ღვეწვართ

$$m_x = \frac{A'B'}{AB} = 1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2}. \quad (2.5.4.2)$$

უფრო ზუსტ შედეგს მივიღებთ, თუ $\frac{1}{\cos \frac{Y_0}{R_0}}$ ღვეწვით მწკრივის სახით

$$m_x = \frac{1}{\cos \frac{Y_0}{R_0}} = \sec \frac{Y_0}{R_0} = 1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2} + \frac{5Y_0^4}{24R_0^4} + \dots \quad (2.5.4.3)$$

ასეთია ფარგლის საშუალო წერტილში გამოსახულების მასშტაბის ფორმულა ღერძი მერიდიანის გასწვრივ. ცხადია, ცილინდრის შიგა პირეულზე გადატანისას დამახინჯებული გამოსახულება შეიძლება გაშლილ იქნეს სიბრტყეზე დამატებითი დამახინჯების გარეშე, რითაც, როგორც ვთქვით, სიბრტყეზე მივიღებთ ზოლდნერის არატოლკუთხა პროექციას (მე-2^ბ ნახაზი, პუნქტით ელიფსი), რადგანაც აქ გამოსახულების მასშტაბი იცვლება არა მარტო წერტილიდან წერტილზე გადასვლის დროს, აგრეთვე, მოცემულ წერტილში სხვადასხვა მიმართულებით, რაც იწვევს თანადროულად როგორც კუთხეების, ისე სიგრძეების დამახინჯებას.

პროექციების ტოლკუთხოვნის მიღწევისათვის საჭირო იყო გამოსახულების მასშტაბი ყოველ წერტილში ნებისმიერი მიმართულებით ყოფილიყო მუდმივი, ე. ი. საჭირო იყო ზემოხსენებული უსასრულოდ მცირე სფერული წრე სიბრტყეზე გამოსახულიყო ისევე წრის სახით, რაც გადაწყვეტილ იქნა გაუსის მიერ.

კონფორმულობის, ანუ მსგავსების, დაცვის მიზნით გაუსმა ხელოვნურად იმავე მასშტაბში დაამახინჯა (გაჭიმა) განხილადი ფარგი (ჩვენს შემთხვევაში სფერული წრე) ორდინატა y ღერძის გასწვრივ, ე. ი. (2) ტოლობიდან თუ x ღერძის გასწვრივ ელიფსის დიამეტრი გამოვიდა

$$A'B' = AB \left(1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2} \right), \quad (2.5.4.4)$$

ხელოვნურად მივიღოთ y ღერძის გასწვრივაც ასეთივე დამახინჯება, რითაც CD დიამეტრი გაიზარდება და მივიღებთ გამოსახულების მასშტაბს

$$m_y = \frac{C'D'}{CD} = 1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2}. \quad (2.5.4.5)$$

ელიფსოიდის ზედაპირიდან მანძილების სიბრტყეზე ორდინატის გასწვრივ გადასაყვანი ფორმულა კი იქნება:

$$C'D' = CD \left(1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2} \right). \quad (2.5.4.5')$$

მაშასადამე, ცილინდრის შიგა პირეულზე მივიღებთ ისევ წრეს, მხოლოდ ოდენობით გაზრდილს. CD დიამეტრის ხელოვნურად გაზრდისათვის გაუსმა წრის D და C წერტილები გადაადგილა D' და C' წერტილებში, რისთვისაც Y სფერული, ანუ, რაც იგივეა, y ბრტყელი ორდინატები გამოსახა ზოლდნერის სფერული ორდინატებით შემდეგნაირად:

$$\left. \begin{aligned} Y_{D'} &= y_{D'} = Y_D \left(1 + \frac{Y_D^2}{6R_0^2} \right) \\ Y_{C'} &= y_{C'} = Y_C \left(1 + \frac{Y_C^2}{6R_0^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4.6)$$

მართლაც, თუ ავიღებთ მათ სხვაობას, მივიღებთ:

$$Y_{D'} - Y_{C'} = (Y_D - Y_C) + (Y_D - Y_C) \frac{Y_D^2 + Y_D Y_C + Y_C^2}{6R_0^2}. \quad (a)$$

უსასრულოდ მცირე წრის შესაბამისი ორდინატების ურთიერთუკულებელსა-ყოფი განსხვავების გამო მივიღებთ

$$\frac{Y_D^2 + Y_D Y_C + Y_C^2}{6R_0^2} = \frac{3Y_0^2}{6R_0^2} = \frac{Y_0^2}{2R_0^2}.$$

აგრეთვე, $(Y_{D'} - Y_{C'})$ და $(Y_D - Y_C)$ ოდენობების ნაცვლად (a) გამოსახულებაში შევიტანთ მათ $C'D'$ და CD -ს მნიშვნელობებს, ე. ი: (a)-ს ნაცვლად მივიღებთ (5') ტოლობას.

გაუსის მიერ მიღებული (6) დამოკიდებულებების მართებულობა შეიძლება დასაბუთდეს აგრეთვე ფუნქციის დიფერენციალისა და ინტეგრაციის ცნებების გამოყენებით. გაუსისათვის (4) და (5') ტოლობების სახით ცნობილი იყო ფუნქციის დიფერენციალი, რომლითაც ცილინდრის შიგა პირეულის, ანუ, რაც იგივეა, სიბრტყეზე გადატანილი ელემენტების შესაბამისად $C'D' = dy$ და $CD = dY$ დამოკიდებულება გამოისახება ასე:

$$dy = dY \left(1 + \frac{Y^2}{2R_0^2} \right). \quad (b)$$

ამ ფუნქციის მიმართ შეიძლება დაისვას საკითხი ფუნქციის პირველყოფილი სახის, ანუ ორდინატის დადგენის შესახებ. განხილავი ფუნქციის პირველადი სახით დადგენა შეიძლება დიფერენციალის საწინააღმდეგო მოქმედებით, ანუ ინტეგრებით. მაშასადამე, დაწერეთ (b) გამოსახულების ინტეგრალს:

$$\int dy = \int dY + \frac{1}{2R_0^2} \int Y^2 dY, \quad (\text{მუდმივი } C=0)$$

ანუ

$$y = Y + \frac{1}{2R_0^2} \cdot \frac{Y^3}{3} = Y \left(1 + \frac{Y^2}{6R_0^2} \right), \quad (c)$$

საიდანაც

$$Y = y - \frac{Y^3}{6R_0^2}. \quad (d)$$

მიღებული (C) ფუნქცია კი (6) დამოკიდებულებების შესაბამისია.

ზემოთ მიღებული ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატები გაძოსახულია ზოლდნერის მართკუთხა სფერული კოორდინატებით, რომელთაც პრაქტიკაში არ იყენებენ. ფიუზოს ფარგლებში მწკრივის მეოთხე რიგის წევრი არ აღემატება $1 : 5000000$, აგრეთვე განსხვავება ბრტყელ მართკუთხა x, y და სფერულ მართკუთხა X, Y კოორდინატებს შორის უგულვებელსაყოფია. ასე რომ, გაუსის პროექციებში ნაცვლად გამოსახულების მასშტაბის (2), (5) და ელიფსოიდის ზედაპირიდან მანძილების სიბრტყეზე გადასაყვანი (4), (5') ფორმულები-სა, შესაბამისად მივიღებთ იგივე ფორმულებს, გამოსახულს ბრტყელ xy მართკუთხა კოორდინატებში შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} m_x = m_y = \frac{A'B'}{AB} = \frac{C'D'}{CD} &= \left(1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2}\right) \\ A'B' &= AB \left(1 + \frac{y_0^2}{2R_0^2}\right) \\ C'D' &= CD \left(1 + \frac{y_0^2}{2R_0^2}\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4.7)$$

მართლაც, (d) დამოკიდებულებიდან თუ ზოლდნერის სფერულ Y ორდინატის მნიშვნელობას შევიტანთ (5) დამოკიდებულებაში და მეოთხე რიგის წევრებს (რომლებშიც Y სფერულ და ბრტყელ y ორდინატებს ვთვლით ტოლებად) უგულვებელსაყოფთ, მივიღებთ (7) დამოკიდებულების პირველ ტოლობას.

ზოგადად კი, თუ სფერულ კონტურს აღვნიშნავთ ω ასოთი და სიბრტყეზე იგივე კონტურს — W სიმბოლოთი, დავწერთ:

$$W = \omega \cdot \left(1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2}\right). \quad (2.5.4.8)$$

მაშინ კონტურის ოდენობაში შეცდომა $\Delta\omega$ გამოისახება ფორმულით:

$$\Delta\omega = W - \omega = \omega \frac{Y_0^2}{2R_0^2}, \quad (2.5.4.9)$$

ხოლო, ფარდობითი შეცდომა, ანუ სიზუსტე იქნება:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{Y_0^2}{2R_0^2}. \quad (2.5.4.10)$$

ასევე, ნებისმიერ, ვთქვათ, $EF = S$ გეოდეზიური ხაზის სიგრძე (ნახ. 1) სფეროიდის ზედაპირიდან სიბრტყეზე გაუსის პროექციებში გადატანის (განშლის) დროს იქნება მრუდის მომკმბავი $ef = d$ ქორდა, რომელიც (7) დამოკიდებულების მიხედვით გამოითვლება ფორმულით:

$$d = S \left(1 + \frac{Y_0^2}{2R_0^2}\right). \quad (2.5.4.11)$$

სადაც $Y_0 = \frac{Y_E + Y_F}{2}$ არის გეოდეზიური ხაზის საშუალო ორდინატა;

$R_0 = \sqrt{MN}$ — გეოდეზიური ხაზის საშუალო წერტილში საუკეთესოდ შერჩეული, ანუ სიმრუდის საშუალო გეომეტრიული რადიუსი (იხ. 2.2.1 პარაგრაფი);

$\frac{d}{S} = m$ — გამოსახულების მასშტაბი გეოდეზიური ხაზის საშუალო წერტილში.

მაშასადამე, იმისათვის, რომ გაუსის პროექციებში სფეროიდის ზედაპირიდან ხაზის S სიგრძე გადავიტანოთ სიბრტყეზე, საჭიროა ეს ხაზი გავამრავლოთ მის საშუალო წერტილში პროექციის მასშტაბზე.

სიბრტყეზე ef ხაზის ყოველი ბრტყელი y_e და y_f ორდინატი კი გამოითვლება Y_E და Y_F ზოლდნერის ორდინატების (6) ფორმულაში სათანადოდ შეტანით:

$$\left. \begin{aligned} y_e &= Y_E \left(1 + \frac{Y_E^2}{6R_0^2} \right) \\ y_f &= Y_F \left(1 + \frac{Y_F^2}{6R_0^2} \right) \\ y_0 &= Y_0 \left(1 + \frac{Y_0^2}{6R_0^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4.12)$$

პრაქტიკულად უფრო მოხერხებულია d სიგრძის ნაცვლად გამოთვლილ იქნეს ΔS შესწორების (რედუქციების) ოდენობა და ის მიემატოს S სიგრძეს, რადგანაც ΔS შესწორება ღერძა მერიდიანის როგორც აღმოსავლეთით, ისე დასავლეთით პლუსია, ანუ სიბრტყეზე გეოდეზიური ხაზებით d ქორდის სიგრძე ყოველთვის მეტია სფეროიდზე S სიგრძესთან შედარებით. მართლაც, (11) დამოკიდებულებიდან

$$d = S + S \frac{Y_0^2}{2R_0^2} = S + \Delta S. \quad (2.5.4.13)$$

ანუ

$$\Delta S = S \frac{Y_0^2}{2R_0^2}. \quad (2.5.4.14)$$

(14) ფორმულიდან ნათლად ჩანს, რომ გაუსის პროექციებში ხაზის სიგრძის დამახინჯება მისი შუა წერტილის ღერძა მერიდიანიდან დაშორების, ანუ ორდინატის კვადრატის, პროპორციულია. აქვე შევნიშნავთ, რომ ეს ფორმულა მიახლოებითია, რადგანაც იგი არ ითვალისწინებს ხაზის სხვადასხვა წერტილში მასშტაბის სხვადასხვაობას (ხოლო ყველა შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, ყოველ წერტილში ნებისმიერი მიმართულებით მასშტაბი უცვლელია). (14) ფორმულით გამოთვლილ ΔS შესწორებაში, ანუ სიბრტყეზე მანძილების რედუქციებში, შეცდომა, როცა ხაზი 10 კმ ნაკლებია, აღწევს 1 მმ.

არსებობს კიდევ ΔS შესწორების გამოსათვლელი უფრო ზუსტი ფორმულა, რომელიც 25 კილომეტრამდე ხაზის შემთხვევაში იძლევა 2—3 მმ შეცდომას. ეს ფორმულა ასეთია:

$$\Delta S = S \frac{Y_0^2}{2R_0^2} + S \frac{(\Delta Y)^2}{24R_0^2}, \quad (2.5.4.15)$$

სადაც $\Delta Y = Y_F - Y_E$ — ხაზის განაპირა წერტილების ორდინატების სხვაობაა.

იმ შემთხვევაში, როცა ΔS შესწორებას ვსაზღვრავთ მოკლე ხაზების სიბრტყეზე რედუცირებისათვის მცირე, მაგალითად $\Delta S : S = 1 : 1000$, სიზუსტით, საუკეთესოდ შერჩეული R_0 რადიუსი შეიქლება მივიღოთ 6380 კმ. ამ შემთხვევაში, თუ (14) ფორმულაში S სიგრძეს და საშუალო Y_0 ორდინატს კილომეტრებში გამოვსახავთ, ხოლო ΔS შესწორებას კი მილიმეტრებში, მაშინ

$$\Delta S = S \frac{Y_0^2}{2 \cdot 6380^2} \cdot 10^6 = 0,012283S \cdot Y_0^2. \quad (2.5, 4.16)$$

(16) დამოკიდებულების შესაბამისად $S=1$ კმ; Y_0 სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის მრავალი ავტორის მიერ შედგენილია ΔS შესწორების ცხრილები, რომელთა ნიმუშია (1) ცხრილი

ცხრილი 2.5.4.1

Y_0 (კმ)	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
ΔS (მმ)	20	44	79	123	177	241	315	398	492	595	708	831	964

ეთქვათ, ადგილზე გაზომილი და შემდეგ რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე დაგეგმილებული ხაზის სიგრძე $S=1338,0$ მ და ამ ხაზის საშუალო წერტილის ორდინატი $Y_0=228$ კმ. (1) ცხრილიდან ხაზოვანი ინტერპოლაციით $S=1$ კმ სიგრძისათვის მივიღებთ:

$$\Delta S_1 = 595 + \frac{113 \cdot 8}{20} \approx 640 \text{ მმ},$$

ხოლო $S=1,338$ კმ სიგრძისათვის

$$\Delta S = 1,338 \times 640 = 856 \text{ მმ} \approx 0,9 \text{ მ}.$$

მაშასადამე, (13) ფორმულით გაუსის პროექციებში სიბრტყეზე განხილავი ხაზის სიგრძე

$$d = S + \Delta S = 1338 \text{ მ} + 0,9 \text{ მ} = 1338,9 \text{ მ}.$$

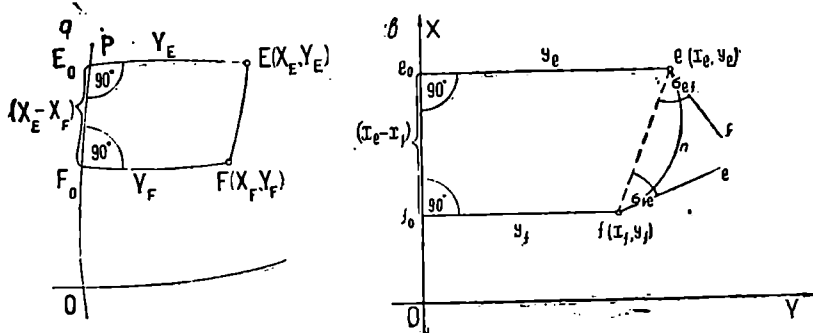
როგორც აღვნიშნეთ, (14) ფორმულიდან ნათლად ჩანს, რომ გაუსის პროექციებით სფეროიდიდან (ან სფეროდან) სიბრტყეზე ხაზის გადატანის დროს დამახინჯებას ოდენობა ღერძა მერიდიანიდან როგორც აღმოსავლეთით, ისე დასავლეთით იზრდება ხაზის საშუალო წერტილის ორდინატის კვადრატის პროპორციულად. ცხადია, როცა ხაზი ძვეს თვით ღერძა მერიდიანზე ($y_0=0$), სიბრტყეზე გაშლის დროს ამ ხაზის დამახინჯებას ადგილი არ ექნება.

**ბ. მიმართულებების შესწორებების გამოსათვლელი ფორმულები
სიბრტყეზე გეოდეზიური ხაზების გამოსახულების
სიმრუდისათვის**

ეთქვათ, რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე გვაქვს ადგილზე ტრიანგულაციის ერთ-ერთი სამკუთხედის E და F წერტილები, რომელთა შორის EF გვერდი წარმოადგენს გეოდეზიურ ხაზს (ნახ. 3). ამ ხაზის ბოლო წერტილების ზოლდნერის კოორდინატებია X_E, Y_E და X_F, Y_F , რომლებიც აგ-

რთვე წარმოადგენენ გეოდეზიურ ხაზებს. ცხადია, Y_E და Y_F ორდინატები ზონის ღერძა მერიდიანების მართობები იქნება.

გაუსის პროექციების სიბრტყეზე შესაბამისი წერტილები და ხაზები მოცემულია (3) ნახაზზე. პროექციების ტოლკუთხობის თვისებების გამო კუ-



ნახ. 2.5.4.3.

თხეები დაუშინჯებლად გამოისახება. EFF_0E_0 სფეროიდული ტრაპეციის ანუ ბრტყელ $enf f_0e_0$ ტრაპეციის შინაგანი კუთხეების ჯამი, თანხმად (1.2.6.8) დამოკიდებულებისა, იქნება $360^\circ + \epsilon$, სადა ϵ არის EFF_0E_0 ($enf f_0e_0$) ფარგის სფერული სიჭარბე.

აღნიშნულის გამო წინა A მუხლში იყო თქმული, რომ სფეროიდის EF გეოდეზიური ხაზი გაუსის პროექციებში გამოისახება გარკვეული enf მრუდის (გეოდეზიური ხაზის) სახით, რომლის შედუნვა ყოველთვის მიმართულია აბსცისათა, ანუ ღერძა მერიდიანის სწვრივი ღერძისაკენ. ცხადია, enf გეოდეზიური ხაზის მიერ e და f წერტილებში ef ქორდასთან შედგენილი σ_e და σ_f კუთხეების აბსოლუტური მნიშვნელობების ჯამი ტოლი იქნება სფეროიდული ტრაპეციის სფერული სიჭარბისა, ე. ი. დავწერთ:

$$\epsilon = |\sigma_e| + |\sigma_f|. \quad (2.5.4.17)$$

სფერული ტრიგონომეტრიის (1.2.7.9) ფორმულის შესაბამისად

$$\epsilon'' = \frac{P}{R_0^2} \rho'', \quad (2.5.4.18)$$

სადაც ჩვენს შემთხვევაში P ასოთი აღნიშნულია სფეროიდული EFF_0E_0 ტრაპეციის, ანუ მისგან საუგულეებლო განსხვავების მქონე ბრტყელი $enf f_0e_0$ ტრაპეციის ფართობი, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$P = (x_e - x_f) \frac{y_0 + y_f}{2} = (x_e - x_f) y_0. \quad (2.5.4.19)$$

(19) ტოლობაში y_0 წარმოადგენს გეოდეზიური ხაზის ქორდის შუა წერტილის ორდინატს. (19) დამოკიდებულებიდან P -ს მნიშვნელობა შევითანოთ (18)-ში, მივიღებთ:

$$\epsilon'' = \frac{\rho''}{R_0^2} (x_e - x_f) y_0. \quad (2.5.4.20)$$

სადაც R_0 არის დედამიწის საუკეთესოდ შერჩეული რადიუსი მოცემული ხე-
ლაპირის ცენტრისათვის.

(20)-ში (17)-ის გამოყენებით დავწერთ:

$$|\sigma_{ef}| + |\sigma_{fe}| = \frac{P''}{R_0^2} (x_e - x_f) y_0. \quad (2.5.4.21)$$

საერთოდ σ_{ef} და σ_{fe} სიდიდეების აბსოლუტური ოდენობები სხვადასხვაა, მაგრამ, როცა E და F პუნქტებს შორის მანძილი დიდი არ არის, მაგალითად, როცა იგი 10 კმ და $y_0 \leq 100$ კმ, მათი ოდენობები შეიძლება მივიღოთ ურთიერთტოლედად $|\sigma_{ef}| = |\sigma_{fe}| = \sigma$; მაშინ, გეოდეზიური enf ხაზის სიბრტყეზე გამოსახულებასა და მის ef ქორდას შორის კუთხე გამოითვლება ფორმულით:

$$\sigma'' = -\frac{P''}{2R_0^2} (x_e - x_f) y_0. \quad (2.5.4.22)$$

ა შესწორებები წარმოადგენს ალგებრულ რიცხვებს, რომელთა ნიშნები დამოკიდებულია გეოდეზიური ხაზის სათავისა და ბოლო წერტილების კოორდინატებზე. მაგალითად, როცა $x_e - x_f > 0$ და $y_0 > 0$ ისე, როგორც ეს მოცემულია (3) ნახაზზე, e პუნქტიდან f პუნქტზე ანუ ef მიმართულების σ_{ef} შესწორება იქნება დადებითი, ხოლო შებრუნებული fe მიმართულების σ_{fe} შესწორების ნიშანი იქნება უარყოფითი. მაშასადამე, თუ მივიღებთ, რომ $|\sigma_{ef}| = |\sigma_{fe}|$, სიმრუდისათვის შესწორების ფორმულა იქნება ასეთი:

$$\sigma_{ef} = -\sigma_{fe} = \frac{P''}{2R_0^2} (x_e - x_f) y_0.$$

ჩვეულებრივ, $\frac{P''}{2R_0^2}$ კოეფიციენტს აღნიშნავენ f სიმბოლოთი

$$\sigma_{ef} = -\sigma_{fe} = f (x_e - x_f) y_0. \quad (2.5.4.23)$$

არსებობს უფრო ზუსტი ფორმულებიც, რომელთა საშუალებით შესწორებები გამოითვლება $0,01$ და მეტი სიზუსტით, მაგალითად:

$$\sigma_{ef} = \frac{1}{3} f (x_e - x_f) (2y_e + y_f), \quad (2.5.4.24)$$

ხოლო შებრუნებული მიმართულებისათვის დაიწერება

$$\sigma_{fe} = \frac{1}{3} f (x_f - x_e) (2y_f + y_e). \quad (2.5.4.25)$$

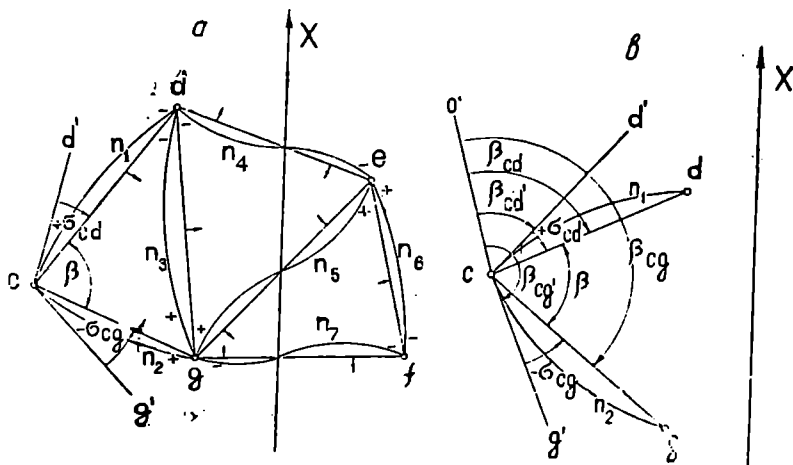
მაშასადამე, როცა $x_e \neq x_f$, საერთოდ, ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების σ_{ef} და σ_{fe} შესწორებები აბსოლუტური მნიშვნელობებით ტოლები არ არის და აქვთ ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშანი. აგრეთვე ხაზის იმ ბოლოს აბსცისას ვიღებთ საკლებად, რომლის მიმართაც გვინდა განვსაზღვროთ σ

სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელების, ანუ მაღალი სიზუსტით კუთხეების გაზომვების დროს გაუსის პროექციებში EF გეოდეზიური ხაზების სიბრტყეზე enf გამოსახულების სიმრუდის σ შესწორებებს საზღვრავენ (24), (25) ფორმულებით, ხოლო დაბალი სიზუსტის საქმეობებს შესაძლებლად დროს იყენებ-

ბენ (23) ფორმულას, სადაც გულისხმობენ, რომ $f = \frac{1}{400} = 0,0025$. ყველა

ფორმულით სიმრუდის შესწორებები პრაქტიკაში იანგარიშება არითმომეტრზე, ლოგარითმულ საზღავეზე, ცხრილებით და სხვა.

სიმრუდის σ შესწორების ნიშნის დადგენა, გარდა $(x_0 - x_f)$ და $(2y_0 + y_f)$ ან y_0 თანამამრავლების ნიშნებისა, ხდება სხვაგვარადაც. მაგალითად, ქსელის ორიენტირებულ სქემაზე (ნახ. 4) პუნქტებს შორის ტარდება გეოდეზიური ხაზების გამომსახველი cn_1d , cn_2g , dn_3g , dn_4e , en_5g , en_6f , fn_7g მრუდები, რომლებიც თავიანთი ჩაზნეჩილი მხარეებით არის მიმართული აბსცისათა, ანუ



ნახ. 2.5.4.4.

ღერძა მერიდიანისაკენ. სამკუთხედის ყოველ წვეროში შემავალი მრუდე მიმართულების შესწორებას აქვს დადებითი ნიშანი თუ წვეროზე მრუდის მხები ქორდაზე შეთავსებისათვის უმცირესი კუთხური მანძილით ბრუნავს საათის ისრის ბრუნვის შესაბამისად, წინააღმდეგ შემთხვევაში შესწორებას ექნება მინუსი ნიშანი. მაგალითად, σ_{cd} არის დადებითი, ხოლო σ_{cg} უარყოფითი (ნახ. 4^b), ეს წესი გამოიყენება კუთხის შესწორების დასადგენად. მაგალითად, $\beta = \angle ceg$ კუთხის β შესწორება გამოითვლება ისევე, როგორც თვით β კუთხე eg და ed მიმართულებების სხვაობით. ყოველთვის მარჯვენა cn_3g მიმართულების σ_{cg} შესწორებას აკლდება მარცხენა cn_1d მიმართულების σ_{cd} შესწორება, ე. ი.

$$\sigma_{\beta} = -\sigma_{cg} - (+\sigma_{cd}) = -(\sigma_{cg} + \sigma_{cd}). \quad (2.5.4.26)$$

მართლაც, β კუთხე ტოლია (ნახ. 4^b) მარჯვენა β_{cg} მიმართულებას მინუს მარცხენა β_{cd} მიმართულება, ანუ

$$\beta = \beta_{cg} - \beta_{cd}. \quad (2.5.4.27)$$

ხოლო ყოველი მიმართულება ისაზღვრება: ათვილი (მრუდ) მიმართულებას მიმატებული შესწორება გეოდეზიური ხაზის სიმრუდისათვის თავისი ნიშნით, ე. ი.

$$\left. \begin{aligned} \beta_{eg} &= \beta_{eg'} + (-\sigma_{eg}) = \beta_{eg'} - \sigma_{eg} \\ \beta_{ed} &= \beta_{ed'} + (+\sigma_{ed}) = \beta_{ed'} + \sigma_{ed} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4.28)$$

(28) მნიშვნელობები შევიტანოთ (27)-ში, მივიღებთ:

$$\beta = (\beta_{eg'} - \beta_{ed'}) - (\sigma_{eg} + \sigma_{ed}). \quad (2.5.4.29)$$

(26) დამოკიდებულების გამოყენებით:

$$\beta = (\beta_{eg'} - \beta_{ed'}) + \sigma_{\beta}. \quad (2.5.4.29')$$

მაშასადამე, ყოველი კუთხე უდრის ათვილი მარჯვენა (მრუდ) მიმართულებას მიწის ათვილი მარცხენა (მრუდი) მიმართულება პლუს σ_{β} ალგებრული სიდიდე, გამოთვლილი (26) ფორმულით, ხოლო ყოველი შესწორების აბსოლუტური ოდენობა მიმართულებაში გამოითვლება (24), (25) ან (23) ფორმულით.

ე. მერიდიანების შეახლოების კუთხის გამოსათვლელი ფორმულები

ნებისმიერ წერტილთა მერიდიანების გეოგრაფიული შეახლოებისა და ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი ზონის ფარგლებში მდებარე წერტილის გაუსით მერიდიანის შეახლოების ფორმულების გამოყენება ერთნაირი მსჯელობითა და ფორმულებით გამოისახება. ვინაიდან მომავლისათვის უფრო საჭიროა ზონის ფარგლებში წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრის შესწავლა, ამიტომ აქ განვიხილავთ ნებისმიერ წერტილში ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძისადმი წერტილის გეოგრაფიული მერიდიანის შეახლოების განსაზღვრის საკითხს და საერთოდ ვუწოდებთ მერიდიანთა შეახლოების ფორმულის გამოყენებას.

ვთქვათ, ელიფსოიდის ერთ-ერთი ზონის ზედაპირზე მოცემულია D წერტილი (ნახ. 5), რომლის გეოდეზიური განედია B . ხოლო L ზონალური გრძედი აღებულია ერთ-ერთი ზონის PQ ღერძა მერიდიანიდან D წერტილის PE მერიდიანამდე, რომლის შესაბამისი CD პარალელის რკალი აღნიშნულია S -ით; DF მრუდი არის ელიფსოიდის განკვეთა D წერტილში PQ ღერძა მერიდიანის პარალელური სიბრტყით, რომელსაც, როგორც ცნობილია, ეწოდება ღერძა მერიდიანისადმი გეოდეზიური პარალელი და რომლის მხებია DF' ; CM და DM მხები C და D წერტილების საშუალოდ ხაზებია; როგორც შევთანხმდით, M წერტილში γ -ს ზოგადად ვუწოდოთ მერიდიანთა შეახლოების კუთხე. L ზონალური გრძედის მცირე ოდენობის გამო ვგულისხმობთ, რომ DF გეოდეზიური პარალელის DF' მხები ძვეს MCD სიბრტყეში და პარალელურია PQ ღერძა მერიდიანის საშუალოდ ხაზისა, აგრეთვე C და D წერტილების მერიდიანთა შეახლოების $CMD = \gamma$ კუთხე ტოლია D წერტილში სფერული კუთხის შესა-

ბამისი $F'DM$ კუთხისა. როგორც (5) ნახაზიდან ჩანს, მცირე მოხრილობის S პარალელის რკალს ეყრდნობა მცირე γ და l კუთხე, რის გამო, თანახმად (2.2.2.6) ფორმულისა, ამ რკალის რადიუსად შეგვიძლია მივიღოთ როგორც $r = N \cos B$, ისე $DM = N \operatorname{ctg} B$. როგორც ცნობილია, N არის Dn ნორმალის სიგრძე, რომელიც წარმოადგენს D წერტილში მთავარი (პირველი) ვერტიკალის სიმრუდის რადიუსს. $O'CD$ სექტორისა და $O'Dn$ სამკუთხედის შესაბამისად დაიწერება:

$$S = \frac{l}{\rho} \cdot r = \frac{l}{\rho} \cdot N \cos B, \quad (a)$$

ხოლო MCD ბრტყელი სექტორისა და MDn სამკუთხედის მიხედვით დავწერთ

$$S = \frac{\gamma}{\rho} \cdot DM = \frac{\gamma}{\rho} \cdot N \operatorname{ctg} B. \quad (b)$$

(b) და (a) ტოლობების მარჯვენა ნაწილების ურთიერთ გატოლებით მივიღებთ:

$$\gamma = l \sin B. \quad (2.5.4.30)$$

ზონალური გრძედი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$l = L - L_0, \quad (2.5.4.31)$$

სადაც L არის ზონის ნებისმიერი წერტილის გრძედი;

L_0 — ზონის ღერძა მერიდიანის გრძედი.

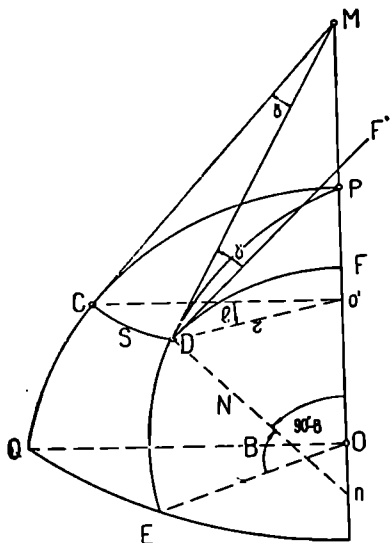
(30) ფორმულას ეწოდება მერიდიანების შეახლოების გამოთვლელი ფორმულა გეოგრაფიული კოორდინატების საშუალებით. ამ ფორმულაში γ კუთხეს განზომილება და ნიშანი იგივე აქვს, რაც l ზონალურ გრძედს. დადგენილია, რომ (30) ფორმულით γ -ს განსაზღვრის შეცდომა, როცა $l \leq 3^\circ$, არ აღემატება $4''$, ხოლო, როცა $l \leq 1^\circ,5$, ეს შეცდომა ტოლია $0'',5$.

(30) ფორმულიდან დავასკვნით, რომ ერთი და იმავე მერიდიანზე მდებარე წერტილების მერიდიანების შეახლოების კუთხეების აბსოლუტური ოდენობები იცვლება 0° -დან l -მდე. B განედის შესაბამისად, როცა $B=0$, მაშინ $\gamma=0$, ხოლო, როცა $B=90^\circ$, მაშინ $\gamma=l$. ეკვატორზე ან ღერძა მერიდიანზე მყოფი წერტილებისათვის $\gamma=0$, აგრეთვე 6° ზონის ნებისმიერი წერტილის მერიდიანის შეახლოების კუთხის აბსოლუტური მნიშვნელობა არ აღემატება 3° .

როდესაც ცნობილია S რკალის სიგრძე, მაშინ γ -ს გამოსათვლელად გამოვიყენებთ მხოლოდ (b) ტოლობას, საიდანაც დავწერთ

$$\gamma = \frac{S}{N} \rho \operatorname{tg} B, \quad (2.5.4.32)$$

სადაც ρ არის რადიანი.



ნახ. 2.5.4.5.

იმ შემთხვევაში, როდესაც რედუცირების ზედაპირად R რადიუსის მქონე სფეროს ზედაპირია და ამავე დროს ცნობილია S რკალის სიგრძე, (32) ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს:

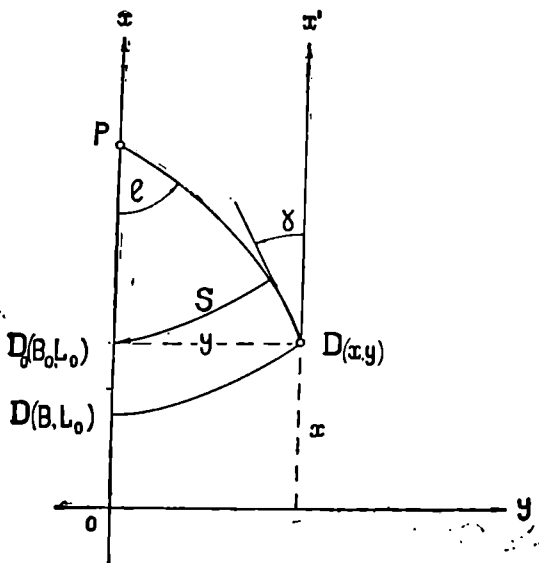
$$\gamma = \frac{S}{R} \rho \operatorname{tg} B. \quad (2.5.4.33)$$

(33) ფორმულაში ჩავსვათ $\rho = 3438'$, $R = 6371,11$ კმ. ძივლებით

$$\gamma = 0',540 S \text{ კმ } \operatorname{tg} B. \quad (2.5.4.34)$$

იმის გამო, რომ (33) და (34) ფორმულების გამოყენებისას დედამიწის შეკუმშულობა არ არის მხედველობაში მიღებული, ამ ფორმულებით გამოთვლილი γ კუთხე შეიძლება იყოს $0',5$ შეცდომით და ამიტომ ხშირად ტოპოგრაფიული სამუშაოების დროს ასეთი ოდენობის γ -ს მხედველობაში არ ღებულობენ, რომლის შესაბამისი რკალის სიგრძე (34) ფორმულით საშუალო განედებზე გამოდის დაახლოებით 1 კმ. ე. ი. როცა $S < 1$ კმ, მერიდიანთა შეახლოების კუთხეს მხედველობაში არ იღებენ.

იმ შემთხვევაში, როდესაც არ არის ცნობილი D წერტილის გეოდეზიური კოორდინატები და ცნობილია მისი ბრტყელი x და y კოორდინატები, მაშინ γ მერიდიანთა შეახლოების გამოთვლა ხდება ამ კოორდინატების საშუა-



ნახ. 2.5.4.6.

ლებით, რისთვისაც (30) ფორმულაში l და B სცელიან შემდეგნაირად (ნახ. 6): l მცირე ოდენობის გამო D წერტილის უცნობ B განედს სცელიან ლერძა მერიდიანზე მდებარე D_0 წერტილის B_0 განედით, რომელსაც აქვს D წერტილის x აბსცისის ტოლი აბსცისა.

B_0 განედის ოდენობა D წერტილის ცნობილი x აბსცისის საშუალებით თავისუფლად ისაზღვრება გეოდეზიური გამოთვლებისათვის საგანგებოდ შედგენილი ცხრილებიდან [49] გადასაყვანი (13) ცხრილის საშუალებით. y ორდინატი შეიძლება გავეტოლოთ პარალელის S რკალს, რომლის განედია B_0 და ლერძა

მერიდიანიდან ზონალური l გრძელი. მაშასადამე, (ა) ფორმულა, რომელიც (7) ნახაზს შეესაბამება, გადაიწერება ასე

$$S = y = \frac{l}{\rho} N_0 \cos B_0,$$

საიდანაც

$$l = \frac{y}{N_0 \cos B_0} \rho, \quad (e)$$

სადაც N_0 არის ნორმალის სიგრძის ტოლი სიმრუდის რადიუსი, პირველი ვერტიკალის იმ წერტილში, რომლის განედია B_0 .

(c) ფორმულის მნიშვნელობის (30) ფორმულაში შეტანით და დაშვებით, რომ $B = B_0$, მივიღებთ:

$$\gamma' = \frac{y}{N_0} \rho' \operatorname{tg} B_0. \quad (2.5.4.35)$$

(35) ფორმულიდან ნათლად ჩანს, რომ ერთი და იმავე პარალელზე მდებარე წერტილების მერიდიანთა შეახლოების ოდენობა პროპორციულია y -ს, ხოლო $\frac{\rho}{N_0} \operatorname{tg} B_0$, რომელიც დამოკიდებულია x აბსცისაზე, წარმოადგენს პროპორციულობის კოეფიციენტს.

თუ y -ს გამოვსახავთ კილომეტრებში, N_0 ნორმალის სიგრძეს მეტრებში და საძებნი γ მერიდიანთა შეახლოების კუთხეს მინუტებში, (35) ფორმულა გადაიწერება ასე:

$$\left. \begin{aligned} \gamma' &= \rho' \frac{\operatorname{tg} B_0}{N_{0s}} 1000y \text{ კმ} \\ \gamma' &= Ky \text{ კმ} \end{aligned} \right\}, \quad (2.5.4.36)$$

ანუ

სადაც

$$K = -\frac{\rho'}{N_{0s}} \operatorname{tg} B_0 1000. \quad (2.5.4.37)$$

(36) ფორმულით γ კუთხის გასაგებად გეოდეზიური გამოთვლებისათვის შედგენილ საგანგებო ცხრილებში განხილადი წერტილის ცნობილი x აბსცისების შესაბამისად იგებენ K პროპორციულობის კოეფიციენტს და კილომეტრებში გამოსახულ y ორდინატზე ამრავლებენ.

(36) ფორმულით γ კუთხე განისაზღვრება $0',1$ შეცდომით, თუ ამ ფორმულაში y ორდინატის მნიშვნელობას ჩავსვამთ $0,1$ კმ შეცდომით. γ კუთხის ნიშანი y ორდინატის შესაბამისია.

ცხრილი 2.5.4.2.

x კმ	K	Δ
6400	0,8511	30
10	0,85,1	30
20	0,85,1	30
30	0,86,1	30
40	0,86,1	30
50	0,86,1	30
60	0,86,1	30
70	0,87,2	31
80	0,87,2	30
90	0,87,3	31
6500	0,8814	31

მაგალითი 2.5.4.1. D წერტილის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატებია $x=6454,6$ კმ, $y=-160,4$ კმ. განვსაზღვროთ γ . 1. გეოდეზიური გა-

ძოთვლებისათვის შედგენილ საგანგებო [49] ცხრილებიდან ამოღებულ (2) ცხრილიდან x აბსცისის შესაბამისად $K=0,8675$. 2. (36) ფორმულით

$$\gamma = 0,8675 \times (-160,4) = -139',1 = -2^{\circ}19',1.$$

(30) და (36) და მათთან დაკავშირებული ფორმულები მიახლოებითაა. უფრო ზუსტი ფორმულებია:

გეოდეზიური კოორდინატების მიხედვით

$$\gamma'' = l \sin B + \frac{l''^3}{3\rho''^3} \sin B \cos^2 B; \quad (2.5.4.38)$$

ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატების მიხედვით

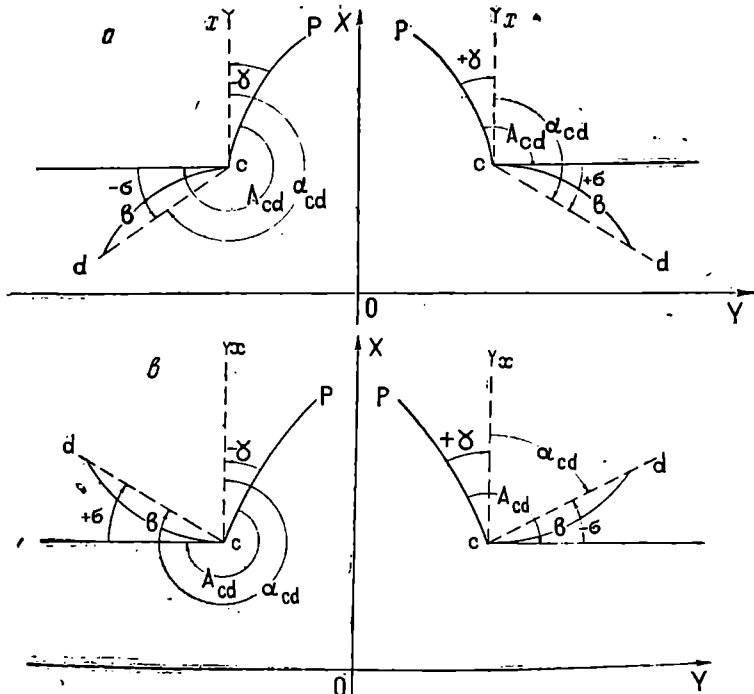
$$\gamma'' = \frac{\rho''}{N_0} \operatorname{tg} B_0 y - \frac{\rho''}{3N_0^3} \operatorname{tg} B_0 (1 + \operatorname{tg} B_0) y^2. \quad (2.5.4.39)$$

ყველა ტოპოგრაფიული რუკის ფურცლების ჩარჩოს საპირველ ნაწილზე აწერია ფურცლის საშუალო წერტილის მერიდიანის ზონის ღერძა მერიდიანისადმი შეახლოების კუთხე, რომელსაც მრავალი მაგალითის ამოხსნის დროს (მაგალითად, როცა რუკების ფურცლებზე ტრანსპორტირით ვივებთ საორიენტაციო კუთხეებს) ავრცელებენ მთელ ფურცელზე. ამავე დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ შეუღებით წვრილმასშტაბიანი (1 : 50 000, 1 : 100 000) რუკების ფურცლებზე სხვადასხვა წერტილების მერიდიანთა შეახლოების კუთხე უფრო შიშველია იცვლებოდეს $20'$ — $30'$. ასე რომ, რუკის ფურცლის დასავლეთ ან აღმოსავლეთ ნაწილის წერტილების მერიდიანების ღერძა მერიდიანისადმი შეახლოების კუთხე შეიძლება განსხვავდებოდეს მასზე წარწერილი საშუალო კუთხისაგან $10'$ — $15'$. აღნიშნული მდგომარეობა საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული მოთხოვნილი სიზუსტის შესაბამისად ამოცანების ამოხსნის დროს.

d. გეოდეზიურ აზიმუტსა და ღირექციულ კუთხეს შორის დამოკიდებულება დიდ მანძილებზე (მეორე შემთხვევა)

ვთქვათ, c და d არის ელიფსოიდის C და D წერტილების გაუსის პროექცია სიბრტყეზე ზონის ფარგლებში (ნახ. 7). cbd გეოდეზიური ხაზი შეიძლება მდებარეობდეს ღერძა მერიდიანის აღმოსავლეთით ან დასავლეთით. ნებისმიერ შემთხვევაში cbd გეოდეზიური ხაზის ჩაზნეილი მხარე იქნება მიმართული x ღერძა მერიდიანისაკენ, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. აგრეთვე, როგორც ვიცით, გაუსის პროექციაში, ნაცვლად სიბრტყეზე მიღებული cbd გეოდეზიური ხაზისა ვიყენებთ cd ქორდას, რომელთანაც (7a და b) ნახაზების მიხედვით აღმოსავლეთით გეოდეზიური ხაზის მდებარეობის შემთხვევაში c წერტილში მხები ადგენს $+\sigma$ ან $-\sigma$ კუთხეს, ასევე დასავლეთით $-\sigma$ ან $+\sigma$ კუთხეს. მაშასადამე, σ ალგებრული სიდიდეა. σ სიდიდის ნიშნებისა და მისი ოდენობის დადგენის შესახებ წინა b მუხლშია განმარტებული. როგორც ვხედავთ, სიბრტყეზე cd საორიენტაციო ხაზის გაგნება შეიძლება α_{cd} ღირექციული კუთხით, რომელსაც cd მიმართული მონაკვეთი ადგენს c წერტილში გატარებული ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძის ჩრდილო მიმართებასთან. როგორც ვთქვით,

ოკუთხეს, რომელიც სიბრტყეზე წარმოადგენს ϵ წერტილში ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძის აზიმუტს, ეწოდება მერიდიანთა შეახლოების კუთხე გაუსით, რადგანაც იგი გამოხსახველია ϵ წერტილში გატარებული ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძის (არა მერიდიანის) მიმართების მიერ იმავე წერტილის მერიდიანისადმი შექმნილი კუთხისა. γ -ს ნიშანი და წერტილის ორდინატის ნიშანი ერთი და იგივეა, ე. ი. როგორც ცნობი-



ნახ. 2.5.4.7.

ლია, მერიდიანთა შეახლოება აღმოსავლეთში მდებარე წერტილებისათვის იქნება დადებითი და დასავლეთში მდებარე წერტილებისათვის კი უარყოფითი. მაშასადამე, როცა წერტილის მერიდიანიდან გატარებული ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძი გაიკლის აღმოსავლეთით, γ პლუსია, ხოლო ეს ღერძი როცა დასავლეთით არის, მაშინ მერიდიანთა შეახლოების კუთხე გაუსით მინუსია. (7-a) და (7-b) ნახაზების მიხედვით ზოგადად დავწერთ:

$$\left. \begin{aligned}
 \text{ანუ} \quad \alpha_{ei} &= \alpha_{ei} + \gamma - \sigma \\
 \alpha_{ed} &= \alpha_{ed} - \gamma + \sigma
 \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4.40)$$

მაშასადამე, სფეროიდზე მდებარე ხაზების ცნობილი გეოგრაფიული აზიმუტებიდან რომ გადავიღეთ სიბრტყეზე შესაბამისი წოფის დირექციულ კუ-

თხეზე, ანუ გადავიდეთ საწყისი მიმართების გეოდეზიური აზიმუტიდან დირექციულ კუთხეზე, საჭიროა ცნობილ გეოდეზიურ აზიმუტს ალგებრულად გამოვაკლოთ γ მერიდიანთა შეახლოება და ასევე ალგებრულად მივეშაბოთ გეოდეზიური ხაზის სიბრტყეზე წრფელ გამოსახულებისათვის σ შესწორება.

როგორც ვხედავთ, იმისათვის, რომ დიდი სივრცეების შესაბამისად განესაზღვროთ პუნქტის α დირექციული კუთხე სიბრტყეზე, საჭიროა პუნქტის A ასტრონომიული აზიმუტის განსაზღვრა 8.1 თავში განხილული ერთ-ერთი ხერხით; შემდეგ (2.2.2.20) ლაპლასის ფორმულით ან გეოდეზიური გამოთვლებით განისაზღვროს A_g გეოდეზიური აზიმუტი და ბოლოს (40) ფორმულით გამოთვლილ იქნეს α დირექციული კუთხე.

r მუხლი განხილული იქნება (2.5.7) და მომდევნო პარაგრაფებში.

B. ზონები. ზონების გამოსახულება ხიბრძეზე. გაუსის კოორდინატები

დავადგინოთ თუ რას არ უნდა აღემატებოდეს ფიუზოს სიგანე, რომ მის ფარგლებში კონტურების ოდენობებში დამახინჯება იყოს უგულვებელსაყოფი. ამისათვის საჭიროა დადგენილ იქნეს, თუ რა ოდენობას არ უნდა გადასცილდეს ხაზების დამახინჯებები ტოპოგრაფიული რუკების შედგენის დროს.

უჩრავლეს შემთხვევაში ტოპოგრაფიულ რუკებზე გაზომვების წარმოების დროს დასაშვებ შეცდომად ღებულობენ რუკაზე გასაზომი ან გადასაზომი ხაზის სიგრძის 0,001. ეს კი ნიშნავს, რომ ტოპოგრაფიულ რუკაზე 10 სმ სიგრძის ხაზის გადაზომის ან გაზომვის დროს გაუსის პროექციებში გამოსახულების მასშტაბის ცვალებადობის შეცდომა დასაშვებია $100 \text{ მმ} \cdot 0,001 = 0,1 \text{ მმ}$, რაც არ აღემატება მასშტაბის ზღვრულ გრაფიულ სიზუსტეს. მაშასადამე, გაუსის პროექციაში გამოსახულების მასშტაბის ცვალებადობით გამოწვეული შეცდომის უგულვებელსაყოფი სიდიდე იქნება:

$$\Delta S = 0,001 S, \quad (2.5.4.41)$$

ე. ი. (14) ტოლობის მიხედვით:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta S}{S} = \frac{y_0^2}{2R_0^2} = 0.001 \end{aligned} \right\} \quad (2.5.4.42)$$

საიდანაც

$$y_0 = \pm R \sqrt{0,002}$$

(42) ფორმულაში თუ შევიტანთ დედამიწის რადიუსის მაქსიმალურ ოდენობას (6400 კმ), მივიღებთ

$$y_0 \approx \pm 287 \text{ კმ.}$$

ე. ი. ფიუზოს სიგანე შეიძლება მივიღოთ $287 \cdot 2 = 574 \text{ კმ}$.

საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე პარალელის 1° რკალის სიგრძე არ აღემატება 91 კმ. მაშასადამე, ფიუზოს სიგანე არ უნდა აღემატებოდეს $6^\circ, 3$ გრძედის მიმართებით. აღნიშნულის გამო საბჭოთა კავშირში მიღებული გაუსის პროექციების შესაბამის მისივე სახელწოდების მართკუთხა კოორდინატების ზონალურ სისტემაში დედამიწას, როგორც სფეროს, წარმოდგენით ჰყოფენ ექვს-ექვსგრადუსიან სფერულ ორგვერდოვანედებად და მათ ნომრავენ 1-დან 60-მდე საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით

კრინეჩის მერიდიანის იმ მხრიდან, საითაც თეო გრინეჩია. ამ სფერულ გვერდოვანედებს, ანუ ფიზიკებს, გეოდეზისტები უწოდებენ ზონებს. ყოველ ზონას აქვს თავისი (დამოუკიდებელი) მართკუთხა კოორდინატა სისტემა, რომელთა x აბსცისათა და y ორდინატა ღერქებად, შესაბამისად, მიღებულია ზონის ღერძა (შუა) მერიდიანისა და ეკვატორის სიბრტყეების გადაკვეთის წრფეები. მაშასადამე, გრინეჩი და პირველი ზონის ღერძა მერიდიანის გრძელი $L_0^1 = 6^\circ \cdot 1 - 3^\circ = 3^\circ$, მეორე ზონის $L_0^2 = 6^\circ \cdot 2 - 3^\circ = 9^\circ$, მესამე ზონის — $L_0^3 = 6^\circ \cdot 3 - 3^\circ = 15^\circ$, ანუ ზოგადად, ნებისმიერი ზონის ღერძა მერიდიანის გრძელი გამოითვლება ფორმულით:

$$L_0^N = 6^\circ N - 3^\circ, \quad (2.5.4.43)$$

სადაც ზონის ნომერი $N = 1, 2, 3, \dots, 60$.

(43) დამოკიდებულებიდან ზონის ნომერი გამოითვლება ფორმულით:

$$N = \frac{L_0^N + 3^\circ}{6^\circ} \quad (2.5.4.44)$$

ან

$$N = \frac{L}{6^\circ} + 1, \quad (2.5.4.45)$$

სადაც L არის ნებისმიერი წერტილის გრძელი.

ზონების სიბრტყედ მიღებასთან დაკავშირებული დამახინჯების ანალიზით, როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები, დადგინდა, რომ ეს დამახინჯებები 1:10 000 და უფრო წვრილ მასშტაბიან ტოპოგრაფიულ რუკებზე არ გადასცილდება ამ რუკების გრაფიკულად გამოსახვის შეცდომებს. ამიტომ გაუსის პროექციებით შედგენილი რუკების ნებისმიერ წერტილზე ყოველი მიმართულებით დატულია ერთი და იგივე მასშტაბი.

საბჭოთა კავშირში, გარდა ექვსგრადუსიანი ზონებისა, შექმნილია სამგრადუსიანი ზონები, რომელთაც იყენებენ: 1) მსხვილმასშტაბიანი (1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500) აგეგმვების დროს, რადგანაც 1:10 000 უფრო მსხვილმასშტაბიან გეგმებზე ექვსგრადუსიანი ზონის ზემოხსენებული დამახინჯებანი აღემატება გრაფიკულად მათი გამოხაზვის შეცდომებს; 2) როცა ასაგეგმავი ტერიტორიის ანუ გეოდეზიური სამუშაოების უბანი მდებარეობს ორი ზონის კოორდინატა სისტემის პირაპირზე.

(8) ნახაზზე ნაჩვენებია ექვს და სამგრადუსიანი ზონები. სამგრადუსიანი ზონების ღერძა მერიდიანებს წარმოადგენს ექვსგრადუსიანი ზონების როგორც განაპირა, ისე ღერძა მერიდიანები. გარდა ამისა, ექვსგრადუსიანი № 1 და სამგრადუსიანი № 1 ზონის ღერძა მერიდიანები ურთიერთშეოწყმულია, ამის შესაბამისად სამგრადუსიანი ზონების ღერძა მერიდიანების გრძედების გამოსათვლელი ფორმულა ასეთი იქნება:

$$L_0^n = 3^\circ n. \quad (2.5.4.46)$$

საიდანაც სამგრადუსიანი ზონების ნომერი

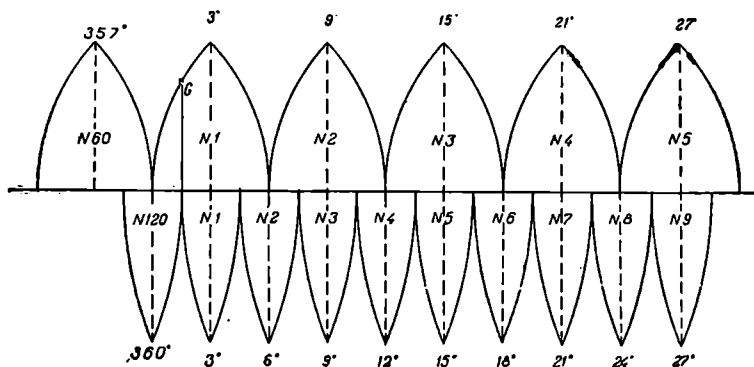
$$n = \frac{L_0^n}{3^\circ}. \quad (2.5.4.47)$$

($n = 1, 2, \dots, 120$).

სამგრადუსიანი ზონების განაპირა დამახინჯება დაახლოებით ოთხჯერ ნაკლებია ექვსგრადუსიან ზონაზე შესაბამისი ადგილის დამახინჯებასთან შედარებით.

სიმბრტყეზე ყოველი ზონის განშლისას შესაბამისი ღერძა მერიდიანი და ეკვატორი ურთიერთმართობ წრფეებს წარმოადგენს, ხოლო, როგორც ვიცით, დანარჩენი მერიდიანები და პარალელები (გაუსის პროექციებით) გამოისახება მრუდე ხაზებით, მაგრამ ტოპოგრაფიული რუკების ფურცლებზე როგორც მერიდიანებს, ისე პარალელებს და ტრაპეციების ჩარჩოებს ატარებენ მათი შესაბამისი ქორდების, ანუ წრფეების სახით, რადგანაც რუკის ყოველი ფურცლის ფარგლებში აღნიშნული სიმრუდეები ფაქტობრივად შეუმჩნეველია.

ყოველი ზონა გაუსის პროექციებში წარმოადგენს ერთ მთლიან ბრტყელ გამოსახულებას, ამიტომ ყოველი ზონის შესაბამისი მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკების ფურცლებს ურთიერთ აწებებენ პირისპირ ყოველგვარი ნაკებისა და გათიშვის გარეშე, ხოლო ვინაიდან ზონები სიმბრტყეზე განშლისას ურთიერთგათიშულებია (ნახ. 8), ცხადია მათი განაპირა არეების შესაბამისი რუკის ფურცლების გათიშვის გარეშე დაწებება არ შეიძლება. აქვე შევნიშნავთ, რომ ზომების დაცვის სიძნელის გამო (8) ნახაზზე არ არის სწორად ნაჩვენები ზონების დასავლეთ-აღმოსავლეთით



ნახ. 2.5.4.8.

(სივანის) და ჩრდილო-სამხრეთით (სიმაღლის) შედარებითი განფენილობა. მართლაც, ზონაში ექვსი გრადუსის შესაბამისი ეკვატორის რკალს შეესაბამება $\approx 100 \times 6 \approx 600$ კმ, ხოლო შესაბამისი ღერძა მერიდიანის რკალი იქნება $(180^\circ : 57^\circ, 3) \cdot 6371$ კმ ≈ 20000 კმ. მაშასადამე, ზონის სიმაღლე დაახლოებით 30-ჯერ მეტია მის სივანესთან შედარებით, ე. ი. მისი განაპირა მერიდიანები სიმბრტყეზე ახლოს იქნება წრფეებთან, ხოლო ზონებს შორის გათიშვა არც თუ ისე დიდი იქნება როგორც ეს ნახაზზეა მოცემული.

გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით გაუსის კოორდინატების გამოთვლის დროს ზონების ღერძა მერიდიანების ორდინატებს იღებენ ნულის ტოლად. მაშასადამე, ყოველ ზონაში ღერძა მერიდიანიდან ორდინატები აღმოსავლეთით დადებითი იქნება და დასავლეთით უარყოფითი ნიშნით. კატალოგებში და რუკებზე რომ არ დაიწეროს ორდინატების ნიშნები, აწარმოე-

ბენ მათ პირობით გარდაქმნებს. ამისათვის კი გამოთვლილ ორდინატებს ხელოვნურად უმატებენ 500 კმ, ე. ი. ყოველ ღერძა მერიდიანს ზონის ცენტრიდან დასავლეთისაკენ გადაადგილებენ 500 კმ. ამ გარდაქმნილ (პირობით) ორდინატებს უნიშნოდ წერენ კატალოგებში. აბსცისები კი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიისათვის ყველა დადებითი იქნება. ყოველ ზონაში იმ წერტილებს, რომლებიც მდებარეობენ ერთი და იმავე პარალელზე და ტოლი მანძილებით არიან დაშორებული ღერძა მერიდიანიდან, ექნება ერთნაირი კოორდინატები. მაშასადამე, დედამიწაზე წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრისათვის აუცილებელია იმ ზონის ნომრის ცოდნა, რომელშიც განხილავი წერტილია. ამიტომ პირობით გარდაქმნილი ორდინატების წინ ცოტა მოშორებით იწერება ზონის N ნომერი. კოორდინატები კი გამოისახება კილომეტრებში, ე. ი. M წერტილისათვის ჩანაწერს ზოგადად ასეთი სახე აქვს: $M(xNy)$. მაგალითად, 8 ზონის c და d წერტილების გაუსის მართკუთხა ზონალური კოორდინატები კატალოგებში იწერება აქე:

$$x_c = 5000 \text{ კმ}, \quad x_d = 8000 \text{ კმ},$$

$$y_c = 8300 \text{ კმ}, \quad y_d = 8656 \text{ კმ}.$$

ეს ამონაწერი ნიშნავს (ნახ. 9)

$$c(5000 \ 8-200) \text{ და } d(8000 \ 8+156).$$

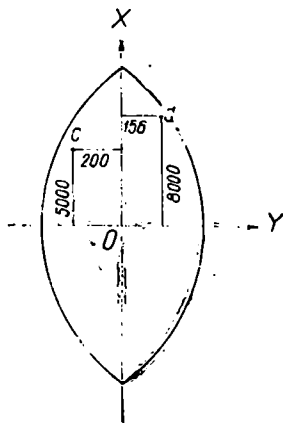
საერთო დასკვნა. ყოველი ცალკეული ზონისათვის გაუსის პროექციები ხასიათდება შემდეგი ძირითადი თვისებებით:

1. აბსცისათა ღერძად მიღებულია ზონის ღერძა მერიდიანი, რომელიც სიბრტყეზე გამოსახულია წრფის სახით, ორდინატთა ღერძად კი მიღებულია სიბრტყეზე წრფედ გამოსახული ეკვატორი. ასე რომ, ყოველ ზონას კოორდინატთა თავისი სათავე აქვს;

2. ღერძა მერიდიანის გასწვრივ გამოსახულების მასშტაბი მუდმივია და ტოლია ერთის. მაშასადამე, ღერძა მერიდიანის წერტილების აბსცისები ტოლებია ელიფსოიდზე ეკვატორიდან იმავე წერტილებამდე შესაბამისი რკალეების სიგრძეებისა;

3. პროექციებში კუთხურ დამახინჯებებს ადგილი არა აქვს, ე. ი. იგი არის ტოლკუთხა. ამავე დროს ელიფსოიდზე დაგეგმილებული რაიმე უსასრულოდ მცირე ფარგი სიბრტყეზე გამოისახება მსგავსი ფარგის სახით, ანუ გამოსახულება კონფორმულია.

ძველთაგან უმრავლეს შემთხვევაში აგეგმვებს ასრულებდნენ კოორდინატთა პირობითი სისტემების ანუ იმ სისტემების საფუძველზე, რომლებიც დაკავშირებული არ იყო სახელმწიფო საყრდენ ქსელთან, რის შედეგად იღებდნენ გეგმებს. როგორც ცნობილია, ამჟამად (მცირედი გამოჩასისის დაშვებით) ჩვენში სავალდებულოა, რომ ყოველგვარი აგეგმვები დაკავშირებული იყოს გაუსის ზონალური კოორდინატების სისტემის შესაბამის სახელმწიფო



ნახ. 2.5.4.9.

საყრდენ ქსელთან, რის შედეგად მიიღებენ არა გეგმებს, არამედ ტოპოგრაფიულ რუკებს. ამ პროექციებით შედგენილ რუკებს დედამიწის სფეროიდულობის გამო აქვს იმდენად მცირე დამახინჯებანი, რომ მათზე გრაფიკული სამუშაოების შესრულების დროს ამ დამახინჯებებს უგულებელვყოფთ და რუკებზე ვმუშაობთ ისე, როგორც გეგმებზე.

მაგალითი 2.5.4.2. ვთქვათ, D წერტილის გეოდეზიური განედი $B = 58^{\circ} 12', 5$ და გრძედი $L = 36^{\circ} 16', 3$. განვსაზღვროთ ექვსკრადუსიან ზონაში შესაბამისი შეახლოების γ კუთხე.

1. ზონის ნომერი გრინვიჩის მერიდიანის 0° -დან (45) ფორმულით

$$N = \frac{L}{6^{\circ}} + 1 = \frac{36^{\circ} 16', 3}{6^{\circ}} + 1 = 6 + 1 = 7;$$

2. მეშვიდე ზონის ღერძა მერიდიანის გრძედი (43) ფორმულით

$$L_0 = 6^{\circ} N - 3^{\circ} = 39^{\circ};$$

3. ზონალური გრძედის გამოსათვლელად ვიყენებთ (31) ფორმულას

$$l = L - L_0 = 36^{\circ} 16', 3 - 39^{\circ} = -2^{\circ} 43', 7;$$

4. (30) ფორმულით

$$\gamma = -2^{\circ} 43', 7 \cdot 0,8500 = -139', 1 = -2^{\circ} 19', 1.$$

პასუხი შეადარეთ (1) მაგალითს.

2.5.5. საბჯრთა კავშირის ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების კლასიფიკაცია, მათი დაყოფა, აღნიშვნა-დანომრვა და ნომინალატურა

A. რუკებისა და გეგმების კლასიფიკაცია

რუკებსა და გეგმებზე განმოსაზღვრილი ადგილის შესახებ ცნობების ერთობლიობას მათი შინაარსი ეწოდება. შინაარსის მიხედვით არსებობს საერთო გეოგრაფიული და სპეციალური რუკები.

რუკებს, რომლებიც ადგილს ახასიათებენ, ფიზიკურ-გეოგრაფიული და ეკონომიური თვალსაზრისით საერთო გეოგრაფიული ეწოდება. მათზე გამოსახულია რელიეფი, ჰიდროგრაფია, გზები, მცენარეულობა, მანახლეობა, კავშირგაბმულობის ხაზები, სახელმწიფო და ადმინისტრაციული საზღვრები და ზოგიერთი ობიექტები, რომლებთაც აქვთ სამეურნეო და კულტურული მნიშვნელობა.

რუკებს, რომლებზეც უფრო დეტალურად არის გამოსახული საერთო გეოგრაფიული რუკების ცალკეული ელემენტების შინაარსი ან გამოსახულია ისეთი ბუნებრივი და სოციალურ-ეკონომიური ელემენტები, რომლებიც საერთო გეოგრაფიულ რუკებზე არაა გადაღებული, სპეციალური ჰქვია. მაგალითად, სპეციალურ რუკებს ეკუთვნის გეოლოგიური, გეოფიზიკური, სატყეო, საგზაო, საზღვაო, საჰაერო, გაზური; ელექტრული. სინოპტიკური და სხვა. ქარებისათვის შედგენილი, ანუ სამხედრო რუკები, სპეციალურ რუკებს ეკუთვნის, რომლებზეც გადატანილია რელიეფისა და ობიექტების გარდა ადგილზე ტრანსპორტისა და სხვა სამხედრო აღჭურვილობა.

ბის გამტარ უნარიანობის (გრუნტები, ნიადაგები) და სელების შესახებ ცნობები და სხვა. სამხედრო რუკები: სტრატეგიული (1:1 000 000 და უფრო წვრილმასშტაბიანი რუკები), ოპერატიული (1:500 000—1:200 000 მასშტაბიანი), ტაქტიკური (1:100 000—1:25 000 მასშტაბიანი).

მასშტაბის სიდიდის რიგის მიხედვით საბჭოთა კავშირში მიღებულია შემდეგი საერთო გეოგრაფიული რუკები: მიმოხილვითი (წვრილმასშტაბიანი); მიმოხილვით-ტოპოგრაფიული (საშუალო მასშტაბიანი) და ტოპოგრაფიული (მსხვილმასშტაბიანი), რომლებიც მოიცავენ ტოპოგრაფიულ გეგმებსაც.

მიმოხილვითი სახის საერთო გეოგრაფიული (წვრილმასშტაბიანი) რუკები ღებდა 1:1 000 000-ზე უფრო წვრილი მასშტაბით. ასეთ რუკებს აკუთვნებენ მსოფლიოს ცალკეული მატერიკების ან ოკეანეების, ცალკეულ სახელმწიფოს ან მისი ნაწილების რუკებს.

მიმოხილვითი ტოპოგრაფიული სახის საერთო გეოგრაფიული (საშუალომასშტაბიანი) რუკები ღებდა 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000 და 1:200 000 მასშტაბებში.

ტოპოგრაფიული საერთო გეოგრაფიული (მსხვილმასშტაბიანი) რუკები ღებდა 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 მასშტაბებში; ხოლო ტოპოგრაფიულ რუკებს, რომლებიც 1:10 000-ზე უფრო მსხვილ მასშტაბშია შედგენილი, ეწოდება ტოპოგრაფიული გეგმები, ვინაიდან ისინი ხასიათდებიან გეგმების ყველა თვისებებით. ყველა ტოპოგრაფიული საერთო გეოგრაფიული რუკა პრაქტიკულად ინაჩუნებს გამოსახულების მუდმივ მასშტაბს და ამიტომ მათზე განაზომების მათემატიკური დამუშავების დროს არ ითვალისწინებენ პრაექციების დამახინჯებებს. მიმოხილვითი და მიმოხილვით-ტოპოგრაფიული რუკები კოეელთვის ღებდა (იქმნება) არსებული მსხვილმასშტაბიანი რუკებიდან, ხოლო როცა ასეთები არ არსებობს, როგორც გამოჩაკისი, 1:200 000 რუკა შეიძლება შედგეს უშუალოდ ტოპოგრაფიული აგეგმის შედეგად. მსხვილმასშტაბიანი 1:100 000 და უფრო მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიულ რუკებს ადგენენ უშუალოდ ტოპოგრაფიული აგეგმების საშუალებით და თუ არსებობს ასაგეგმავი ტერიტორიის უფრო მსხვილმასშტაბიანი რუკები მათი საშუალებითაც შეიძლება შედგეს ისინი.

ზემოხსენებულის შესაბამისად წვრილმასშტაბიანს უწოდებენ აგეგმვას, რის შედეგადაც მიიღება 1:200 000 ან 1:100 000 რუკა, რადგანაც ეს რუკები საფუძველი წვრილმასშტაბიანი რუკების შესადგენად. ასევე, საშუალო მასშტაბიანი აგეგმვები 1:500 000 და 1:250 000 რუკების მისაღებად, რადგანაც ამ რუკების საფუძველზე ღებდა საშუალომასშტაბიანი რუკები, ხოლო მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვების შედეგად იღებენ 1:10 000 და უფრო მსხვილმასშტაბიან რუკებს (გეგმებს). როგორც ვხედავთ, საჭიროა განვასხვავოთ წვრილმასშტაბიანი აგეგმვები წვრილმასშტაბიანი რუკებისაგან, საშუალომასშტაბიანი აგეგმვები საშუალომასშტაბიანი რუკებისაგან და სხვა.

მეტრული სისტემის შემოღებამდე ჩვენში ადგენდნენ რუკებს ძველი ზომის ერთეულებში. ასეთ რუკებზე ხაზოვან გაზომვებს ახდენდნენ გოჯებში (დუიებში 25,4 მმ), ხოლო ადგილზე უთავებდნენ მას საყენს, რომელიც ტოლია 84 გოჯის, ან ვერსს, რომელიც უდრის 500 საყენს. აღნიშნულის გამო, ძველი სისტემის შესაბამისი რუკების მასშტაბები იყო 1:8400, ანუ რუკაზე!

გოქს ადგილზე შეესაბამებოდა 100 საყენი და ეწოდებოდა 100 საყენიანი რუკა-ასევე, 1:21 000, ე. ი. 1 გ — 250 საყ. და ეწოდება ნახევარვერსიანი რუკა, 1:42 000, ე. ი. 1 გ—500 საყ. და ეწოდება ვერსიანი რუკა, 1:84 000, ე. ი. 1 გ—1000 საყ. და ეწოდება ორვერსიანი რუკა და სხვა (იხ. 2. 3. 4 პარაგრაფის *ე* მუხლი).

ჩ. მიმოხილვითი—ტოპოგრაფიული და ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების დაყოფა, აღნიშვნა-დანომრვა და ნომენკლატურა

მიმოხილვითი—ტოპოგრაფიული (1:1 000 000, 1:300 000, 1 200 000) რუკები და განსაკუთრებით კი ტოპოგრაფიული რუკები (1:100 000 — 1:500), რომლებშიც შედის ტოპოგრაფიული გეგმები (1:10 000 — 1:500), ხასიათდება შინაარსის სისრულით, კონტურებისა და რელიეფის გამოსახვის სიზუსტით; ისინი საშუალებას იძლევიან დეტალურად იქნეს წარმოდგენილი ადგილი. აღნიშნულს გამო მათ ძლიერ ფართოდ იყენებენ სახალხო მეურნეობაში საინჟინრო ნაგებობათა კვლევა-ძიების, დაპროექტების, მშენებლობის, ექსპლოატაციისა და სხვა მრავალი ამოცანების გადაწყვეტის დროს. აღნიშნული რუკებითა და გეგმებით სამხედრო საქმეში სწავლობენ რელიეფს და ადგენენ სხვადასხვა საბრძოლო ოპერაციების გეგმებს, აგრეთვე ისინი წარმოდგენენ საფუძველს სპეციალური რუკებისა და გეგმების შესადგენად.

პრაქტიკულად შექმნისა და მოხერხებულად გამოყენების მიზნით განხილადი რუკები არის მრავალფერულიანი, ანუ მთელი დედამიწა გამოისახება მრავალ ფურცელზე. ამავე დროს რუკების თითოეული ფურცელი დაახლოებით კვადრატის სახისაა და საზღვრებად, რომლებსაც ჩარჩო ეწოდება, მიღებულია მერიდიანები და პარალელები.

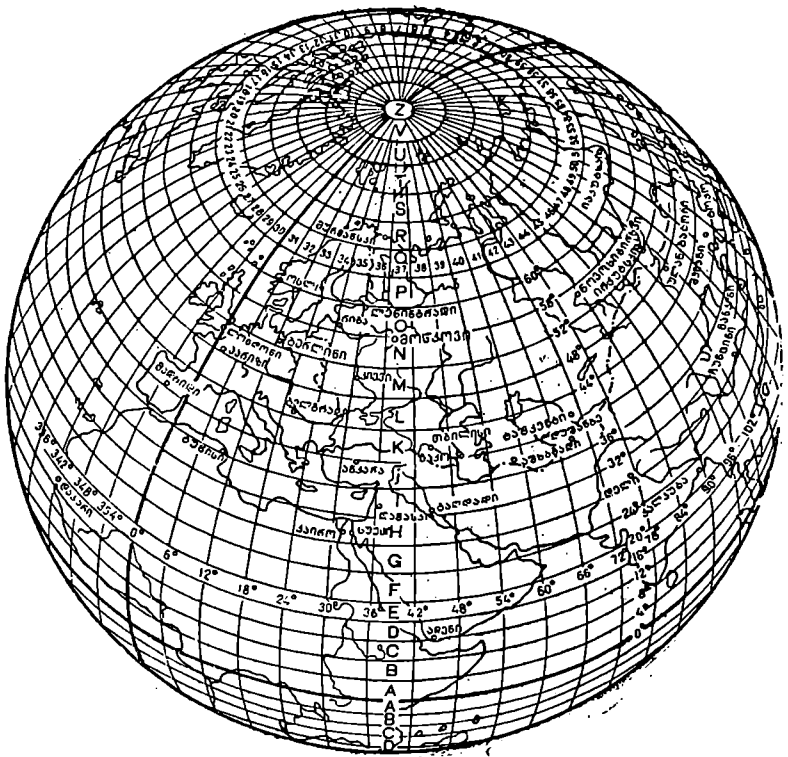
დიდი სივრცეების მრავალფერულიანი რუკების შესადგენად მიღებულია რუკების ფურცლებად დაყოფის სისტემა.

ამა თუ იმ მასშტაბიანი რუკის ყოველ ფურცელს ასოებით და რიცხვებით თავისი აღნიშვნები ან ნომრები აქვს. რუკის ფურცლების აღნიშვნებისა და დანომვრის სისტემას ნომენკლატურა ეწოდება. ფურცლების ურთიერთგანლაგება დგინდება მათი დაყოფის წესის საშუალებით. ნომენკლატურა საჭიროა გარკვეული რაიონისათვის ამა თუ იმ მასშტაბის რუკების შესარჩევად, საწყობებში რუკების სისტემატიზაციისა და თანადროულად მრავალ ფურცელზე მუშაობის დროს.

1918—1924 წლებში მეტრული სისტემის შემოღებასთან დაკავშირებით საბჭოთა კავშირში მიღებულია რუკების დაყოფის, აღნიშვნა-დანომვრისა და ნომენკლატურის სისტემები, რომლის საფუძველს წარმოადგენს 1:1 000 000 რუკის საერთაშორისო დაყოფა და ნომენკლატურა.

მილიონიანი რუკის დაყოფა ხდება პირობით, დედამიწის, როგორც სფეროს ზედაპირისა პარალელებით ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და სამხრეთით ყოველ 4°-ზე და მერიდიანებით გრინვიჩის მერიდიანის 180°-დან ყოველ 6°-ზე (ნახ. 1 და 2). პარალელებით დაყოფის შედეგად იქმნება $22 \times 2 = 44$ ცალი მწკრივი, ანუ 44 განედების სარტყელი, რომლე-

ბიკ აღინიშნებია ლათინური მთავრული ასოებით A-დან V-მდე. საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის შესაბამისი სარტყლებია I-დან U-მდე. მერიდიანებით დედამიწის აზრობრივ დაყოფის შედეგად იქმნება 60 სფერული ორგვერდოვანედი, რომელთაც კარტოგრაფიაში უწოდეს კოლონები. კოლონები ინომრება არაბული ციფრებით, მხოლოდ როგორც აღენიშნეთ, ზონებისაგან განსხვავებით დანომრვა იწყება არა გრინვიჩის მხარედან, არამედ მისი მოპირდაპირე ნაწილიდან ($L = 180^\circ$ -დან) საათის ისრის მოძრაობის საწინააღ-



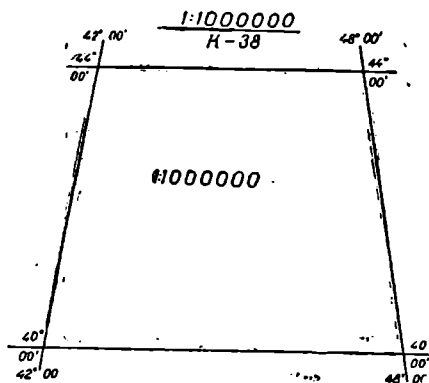
ნახ. 25.5.1.

მდგომ მიმართულებით 1-დან 60-მდე. როგორც ვხედავთ, ზონებისა და კოლონების ნომრები ურთიერთგანსხვავდება. 30-ით. მაგალითად, 1 ზონა იქნება 31 კოლონა მე-2 ზონა კი 32 და ასე შემდგომ. საბჭოთა კავშირის ტერიტორია განფენილია 29 ფიუზოზე (სფერულ ორგვერდოვანედზე), რაც შეესაბამება 4-დან 32 ზონას, ანუ 34-დან 2 კოლონას.

მაშასადამე, დედამიწის, როგორც სფეროს, ზედაპირი დაყოფილია

$44 \times 60 = 2640$ სფერულ ტრაპეციად, რომელთა გვერდები განედისა და გრძედის შესაბამისად იქნება $\Delta B = 4^{\circ} 00'$ და $\Delta L = 6^{\circ} 00'$ (ნახ. 1 და 1 ცხრილის შექვეყნებულ სვეტში).

თითოეული ტრაპეცია წარმოადგენს სფეროს ზედაპირზე ერთ ოგონალური პროექციების უბანს, რომელსაც შეესაბამება 1:1 000 000 რუკის თითო ფურცელი (ნახ. 1 და 2).



ნახ. 2.5.5.2.

ხევისფეროს ყოველ ფურცელს ნომენკლატურის წინ უწერენ N და სამხრეთ-ნახევარსფეროსას კი S . ვინაიდან საბჭოთა კავშირის ტერიტორია მთლიანად ჩრდილო ნახევარსფეროზე მდებარეობს, ასეთ მიწერას არ აწარმოებენ. ცხადია, როცა ცნობილია რუკის ნომენკლატურა, შეიძლება თავისუფლად განვსაზღვროთ ტრაპეციის კუთხეების B და L გეოგრაფიული კოორდინატები შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$\left. \begin{aligned} L_{\Delta} &= 6^{\circ} N \\ L_{\Delta 0} &= 6^{\circ} N - 6^{\circ} \\ B_{\Delta} &= 4^{\circ} M_0 \\ B_{\Delta 0} &= 4^{\circ} M_0 - 4^{\circ} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.5.1)$$

სადაც N არის ზონების, ანუ კოლონების, შესაბამისი რიცხვი ოცდაათის გამოკლებით;

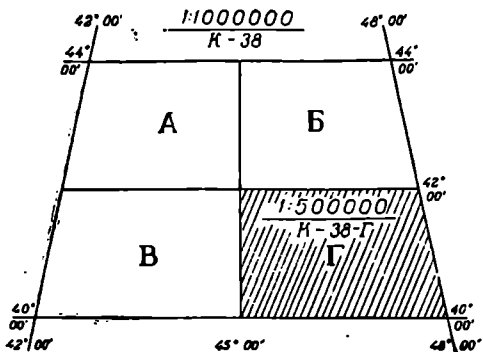
M_0 — აღფაბეტის მიხედვით სარტყლების შესაბამისი რიცხვი.

მაგალითად, $K-38$ ($N=8$, $M_0=K=11$) ნომენკლატურის ფურცლის (ნახ. 2) მარჯვენა კუთხეების გრძედი $L_{\Delta} = 6^{\circ} \cdot 8 = 48^{\circ} 00'$, მარცხენა კუთხეებისა კი $L_{\Delta 0} = 6^{\circ} \cdot 8 - 6^{\circ} = 42^{\circ} 00'$; ზედა კუთხეების განედები $B_{\Delta} = 4^{\circ} \cdot 11 = 44^{\circ} 00'$, ქვედა კუთხეებისა კი $B_{\Delta 0} = 4^{\circ} \cdot 11 - 4^{\circ} = 40^{\circ} 00'$.

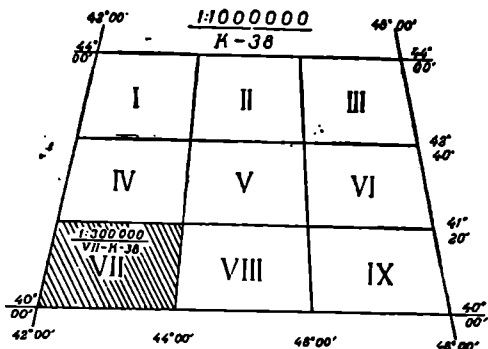
როგორც ცნობილია, კოლონის (ზონის) შუა გამავალ მერიდიანს ეწოდება ლერძა მერიდიანი და აღინიშნება x -ით. მისი გრძედი გამოითვლება (2.5.4.43) ფორმულით:

$$L_0^N = 6^{\circ} N - 3^{\circ}.$$

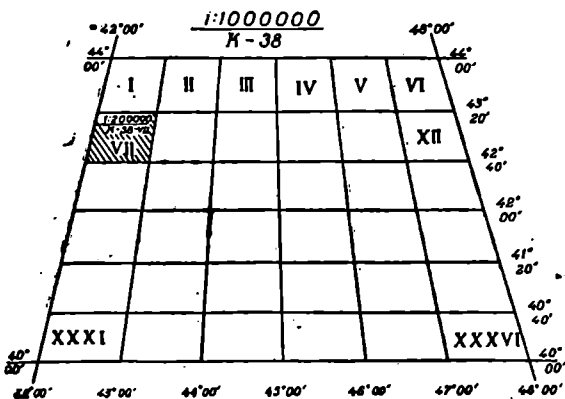
№	2	3	4	5	6	7	8	ჩარჩოს ზომები	
								9	10
1	1	1 : 100000	1 : 100000	22x2x60	2940	A, B, C, ..., V სარტ.	K-38	4°	6'
2	3	1 : 500000	1 : 1000000 (რუკა) K-38	4	10360	1, 2, 3, ..., 60 კოლონა	K-38-Γ	2'	3°
3	4	1 : 300000	1 : 1000000 K-38	9	23760	A, B, B, Γ	VII-K-38	1°20'	2'
4	5	1 : 200000	1 : 1000000 K-38	36	95040	I, II, III, ..., IX	K-38-VII	40'	1°
5	6	1 : 100000	1 : 1000000 K-38	144	380160	1, 2, 3, ..., 144	K-38-24	20'	30'
6	7	1 : 50000	1 : 100000 K-38-24	4	1520640	A, B, B, Γ	K-38-24-Γ	10'	15'
7	8	1 : 25000	1 : 50000 K-38-24-Γ	4	6092560	ა, ბ, ბ, გ	K-38-24-Γ-ბ	5'	7°20"
8	9	1 : 10000	1 : 25000 K-38-24-Γ-ბ	4	24830240	1, 2, 3, 4	K-38-24-Γ-ბ-4	2'30"	3'45"
9	10	1 : 5000	1 : 10000 K-38-24	256	97920960	1, 2, 3, ..., 256	K-38-24-(240)	1'15"	1°52",5
10	11	1 : 2000	1 : 5000 K-38-24-(240)	5 9	875886640 389233640	ა, ბ, ბ, რ, უ, ე, ზ, ა, უ A, B, B, Γ	K-38-24-(240-ჩ) K-38-24-(240-კ) 240-ა	25" 37",5	37",5 58",25
11	12	1 : 1000	1 : 2000 K-38-24-(240-ა)	4	1557135360	I, II, III, IV	K-38-24-(240-ა-III) 5 240-ა-III	18",75	28",125
12	13 14	1 : 500	1 : 2000 K-38-24-(240-ა)	16	6228541440	1, 2, 3, ..., 16	K-38-24-(240-ა-16) 5 240-ა-16	9',975	14",0625



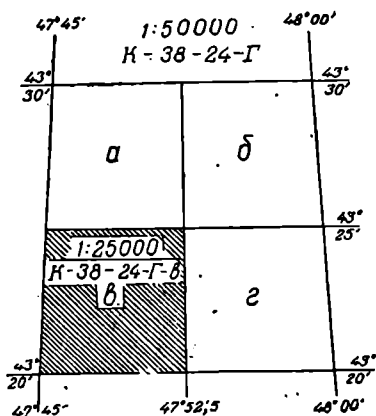
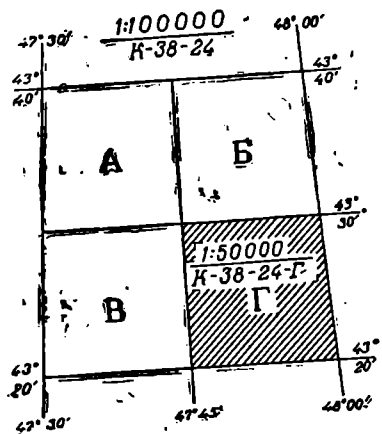
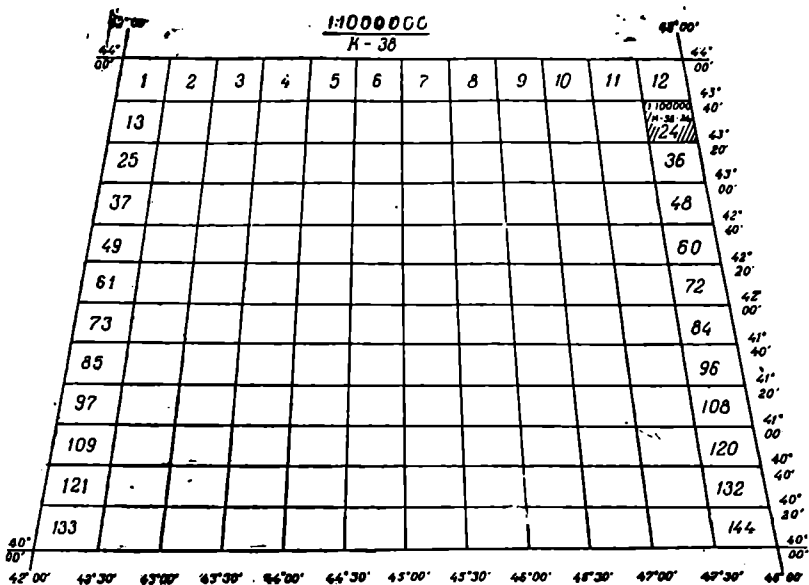
6об. 2.5.5.3.



6об. 2.5.5.4.

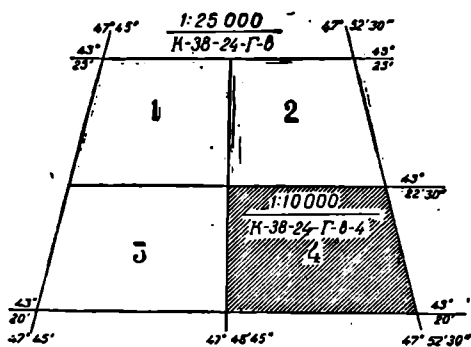


6об. 2.5.5.5.



მაგალითად, $K-38$ ტრაპეციის ღერძა (ნახ. 2) მერიდიანის გრძელი ამ ფორმულით

$$L_0^{\circ} = 6^{\circ}.8 - 3^{\circ} = 45^{\circ}.$$



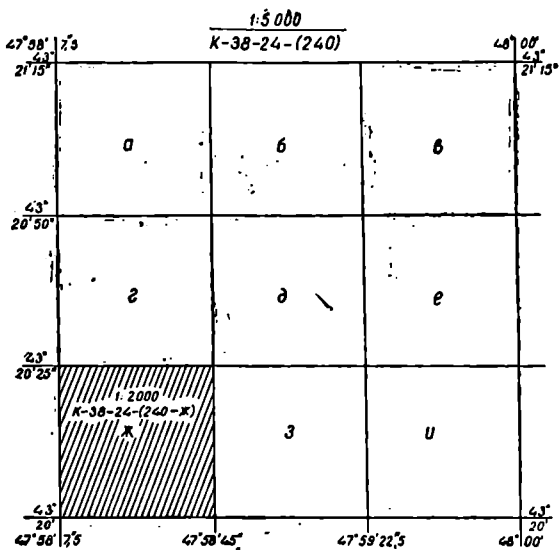
ნახ 2.5.5.9.

(1) ცხრილი და მასში მითითებული 1-დან 14-მდე ნახაზები (მეორე სვეტი) გვიჩვენებს მასშტაბების მიხედვით (მესამე სვეტი) მიმოხილვითი—ტოპოგრაფიული და ტოპოგრაფიული საერთო გეოგრაფიული რუკებისა და გეგმების ფურცლების ნომენკლატურის (მეოთხე სვეტი) და ჩარჩოს ზომების (მეცხრე და მეთათ სვეტი) დასადგენად რუ-

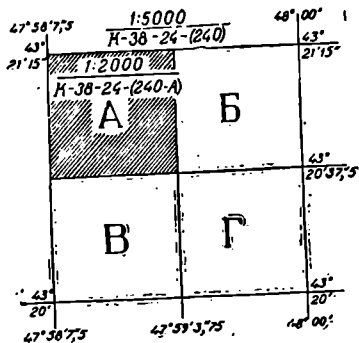
კის რომელი ფურცელია მიღებული გამოსავლად (მეოთხე სვეტის თარაზული ხაზის ზემოთ ნაჩვენებია მასშტაბი და ქვემოთ ნომენკლატურა), რამდენ

1:100000 K-38-24																	
47° 30' 20"	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	48° 00' 20"
17																	32
33																	48
49																	64
65																	80
81																	96
97																	112
113																	128
129																	144
145																	160
161																	176
177																	192
193																	208
209																	224
225																	240
47° 20' 20"	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	48° 00' 20"

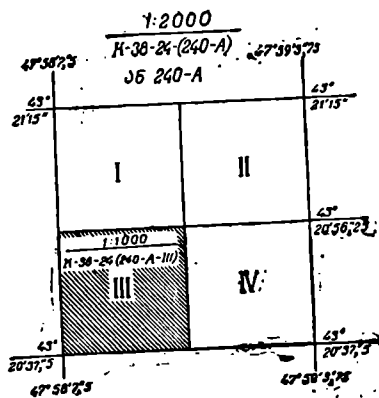
ნახ. 2.5.5.10.



Б.б. 2.5.5.11.

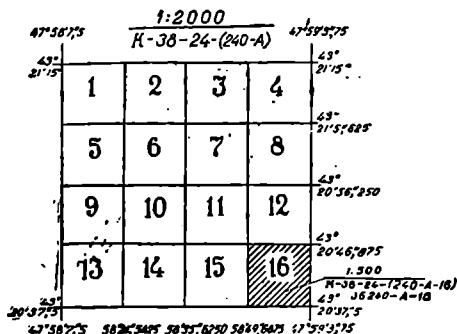


Б.б. 2.5.5.11'.



Б.б. 2.5.5.12.

ნაწილად არის ყოველი ფურცელი დაყოფილი (მეხუთე სვეტი), სულ რამდენი ფურცელი მიიღება განილად მასშტაბებისათვის (მეექვსე სვეტი), როგორ აღინიშნება ან დაინოზრება ყოველი გამოსავალი ფურცელი დაყოფის შემდეგ (მეშვიდე სვეტი)¹.



ნახ. 2.5.5.13.

მაგალითი 2.5.5.1. განისაზღვროს მერიდიანთა შეახლოების კუთხე R-37-110-A ტრაპეციის საშუალო წერტილისათვის.

1. მოცემული ტრაპეციის ჩარჩოს კუთხეების გეოგრაფიული (გეოდეზიური) კოორდინატების საშუალებით განსაზღვრული საშუალო წერტილის კოორდინატები (2.5.6 პარაგრაფი)

$$B_{საშ} = 60^{\circ}55', L_{საშ} = 36^{\circ}37',5.$$

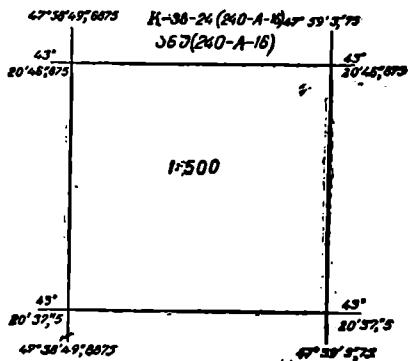
2. ტრაპეციის ნომენკლატურის მიხედვით ვიცით, რომ იგი ეკუთვნის მეშვიდე ზონას, რომლის ღერძა მერიდიანის გრძელი (2.5.4.43) ფორმულით $L_0 = 6^{\circ}.7 - 3 = 39^{\circ}$.

3. საშუალო წერტილის ზონალური გრძელი (2.5.4.31) ფორმულით

$$l = L_{საშ} - L_0 = 36^{\circ}37',5 - 39^{\circ} = -2^{\circ}22',5 = -142',5.$$

4. (2.5.4.30) ფორმულის მიხედვით

$$\gamma = -142',5 \sin 60^{\circ}55' = -124',5 = -2^{\circ}04',5.$$



ნახ. 2.5.5.14.

¹ (1) ცხრილის მეთე სტრიქონში მითითებულია ნახ. 11 და ნახ. 11'. ორივე ნახაზის, ანუ 1:2000 ფურცლების გამოსავალია 1:5000 ფურცელი, რომელიც იყოფა 9 ან 4 ფურცლად (მეხუთე სვეტი). პირველ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ ნომენკლატურა 1:2000 მასშტაბის ფურცლები მოთავსდება და ასე იყოფა. ამჟამად საერთო სავალდებულო ნომენკლატურაში შევიდა 1:1000 და 1:500 მასშტაბების ფურცლები, რომელთა საფუძველია 1:2000 ფურცელი, მხოლოდ 1:5000 ფურცლის არა მეცხრედი, არამედ მეოთხედი A, B, B ან F. მაგალითად, ცხრილის 11, 12 სტრიქონში 1:1000 და 1:500 ფურცლების გამოსავალია 1:2000 მასშტაბის A ფურცელი, პირველ შემთხვევაში იგი იყოფა ოთხ I, II, III, IV ნაწილად და მეორე შემთხვევაში კი 1, 2, 3, ..., 16 ნაწილად.

2.5.6. ტოპოგრაფიულ რუკებზე კოორდინატთა ბადების აღება

რუკებზე წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრისა და მათზე წერტილების მოხერხებულად გადატანის მიზნით, გარდა გეოგრაფიული ბადისა, აგებენ კილომეტრულ ბადესაც. ამ რუკებს იყენებენ როგორც წერტილთა გეოგრაფიული კოორდინატების, ისე გაუსის ბრტყელი მართკუთხა ზონალური ანუ გაუსის კოორდინატების განსაზღვრისათვის. მაშასადამე, ასეთი რუკებით ურთიერთდაკავშირებული იქნება ყოველი წერტილის გეოგრაფიული (გეოდეზიური) კოორდინატები გაუსის კოორდინატებთან.

როგორც ცნობილია, კოლონის (ზონის) ყოველ ფურცელზე დატანილია განაპირა დასავლური და აღმოსავლური მერიდიანები და სამხრეთი და ჩრდილოეთი პარალელები. ეს ბეწვისებური (არაუსქესი 0,1 მმ) ხაზები წარმოადგენს ტრაპეციის ჩარჩოს (ნახ. 2.5.5.2—2.5.5.14).

რუკის ჩარჩოს წვეროების გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით შეიძლება მასზე აგებულ იქნეს კილომეტრული ბადე. ამისათვის საჭიროა გავინსენოთ, რომ ნებისმიერი წერტილის B განედსა და x აბსცისს აქვს საერთო საწყისი — ეკვატორი, ხოლო L გრძედსა და y ორდინატს კი სხვადასხვა საწყისი აქვთ. როგორც ცნობილია, წერტილის L გრძედის საწყისია გრინვიჩის მერიდიანი, ხოლო y ორდინატის საწყისი — ყოველი ზონის X ღერძა მერიდიანი.

ცხადია, ზონის (კოლონის) რომელიმე წერტილის გეოდეზიური კოორდინატებით მისი მართკუთხა კოორდინატების განსაზღვრისათვის საჭიროა ამ წერტილის გრძედის ათვლაც ვაწარმოოთ ღერძა მერიდიანიდან. ამისათვის კი პირველ რიგში ზონის რაიმე წერტილის ზონალური გრძედი უნდა გამოვითვალოთ (2.5.4.31) ფორმულით:

$$l = L - L_0^N, \quad (2.5.6.1)$$

სადაც l არის წერტილის გრძედი ზონის ღერძა მერიდიანის მიმართ (ზონალური გრძედი);

L — წერტილის გრძედი გრინვიჩიდან;

L_0^N — ზონის ღერძა მერიდიანის გრძედი გრინვიჩიდან გამოთვლილი (2.5.4.43) ფორმულით.

ვთქვათ, საჭიროა $K-38-24-Γ-B$ და $K-38-24-Γ-B-4$ ნომენკლატურის, ანუ 1:25000 და 1:10000 მასშტაბიანი რუკის ფურცელზე აგებულ იქნეს კილომეტრული ბადე. ამისათვის თანამიმდევრობით უნდა შესრულდეს: 1. ჩარჩოს წვეროების გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით იმავე წვეროების გაუსის მართკუთხა კოორდინატების განსაზღვრა, 2. ჩარჩოს ფარგლებში (შიგნით) კილომეტრული ბადის ოთხივე წვეროს კოორდინატების განსაზღვრა, 3. კილომეტრული ბადისა და ჩარჩოს აგება-გაფორმება წარწერებით.

4. გეოგრაფიული ჩარჩოს წვეროების გაუსის კოორდინატების განსაზღვრა მათი გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით

ამისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ ა. ვიროვეცის ხელმძღვანელობით შედგენილი ცხრილი [7], რომელიც შედგება ორი ნაწილისაგან. პირველ ნაწილში მოყვანილია 1:25000 მასშტაბის ტოპოგრაფიული აგეგმვის ტრაპეციის კუთხე-

ების ანუ განედის მიმართულებით 5' და გრძედების მიმართულებით 7',5 ჯე-
რადი წერტილების გაუსის ბრტყელი კოორდინატები მეტრებში და ამავე
წერტილების მერიდიანების შეახლოების კუთხეები გაუსით. მეორე ნაწილში
კი მოცემულია 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000 მასშტა-
ბებში ტოპოგრაფიული ავეგმეების დროს ტრაპეციების ზომები და ფართო-
ბები (1, 2, 3, ცხრილები).

ვისარგებლოთ 1:25000 მასშტაბის K—38—24—Г—В ტრაპეციით (ნახ.
1). ამ ტრაპეციის ჩარჩოს პირველი (ქვედა) პარალელის განედი $B_1=43^{\circ}20'$
იწერება სამხრეთ კუთხეებთან: გრადუსები პირველი პარალელის გაგრძელების
ზემოთ, ხოლო მინუსები და სექუნდები ქვევიდან. ამ კუთხეების გაუსის x და
 y კოორდინატებს აქვს 1.1 და 1.2 ინდექსები. ამ ინდექსების პირველი ციფ-
რი აღნიშნავს პარალელის ნომერს, მეორე კი მერიდიანისას. ჩარჩოს მეორე
(ზედა) პარალელის განედი $B_2=43^{\circ}25'$ იწერება ჩრდილო კუთხესთან: ასევე,
გრადუსები ზემოთ, ხოლო მინუსები და სექუნდები მის ქვემოთ. შესაბამისი
მართკუთხა კოორდინატები იქნება $x_{2.1}$, $y_{2.1}$ და $x_{2.2}$, $y_{2.2}$. ანალოგიურად იწე-
რება $L_1=47^{\circ}45'$ და $L_2=47^{\circ}52'30''$ გრძედები. მაგალითად, ჩარჩოს როგორც
პირველი, ისე მეორე მერიდიანის ჩრდილოეთ და სამხრეთ გაგრძელებებზე
მარცხნივ შესაბამისად იწერება 47° , ხოლო მარჯვნივ $45'$ და $52'30''$.

განხილავი ჩარჩოს დასავლეთი და აღმოსავლეთი წვეროების ზონალური
გრძედები ღერძა მერიდიანის მიმართ (1) ფორმულით იქნება

$$l_{\text{დას}} = L_1 - L_0 = 47^{\circ}45' - 45^{\circ}00' = +2^{\circ}45'00'',$$

$$l_{\text{აღმ}} = L_2 - L_0 = 47^{\circ}52'30'' - 45^{\circ}00' = +2^{\circ}52'30'',$$

სადაც, როგორც ცნობილია, 38 კოლონის, ანუ მეორე ზონის ღერძა მერიდიან-
ის $L_0^{\circ} = 45^{\circ}$ გამოთვლილია (2.5.4.43) ფორმულით. ტრაპეციის ცნობილი B
განედებისა და l ზონალური გრძედების შესაბამისად (1) ცხრილის დახმარე-
ბით შედგენილია (1) სქემა და განსაზღვრულია (1) ნახაზის (1:25000 ჩარჩოს)
ოთხივე კუთხის გაუსის კოორდინატები. აგრეთვე (2) ცხრილით შედგენილია
(1) სქემის ქვემო ნაწილი, ანუ ჩარჩოს ოთხივე კუთხის წვეროზე მერიდიანთა
შეახლოების კუთხეები და მათი საშუალო γ კუთხის ოდენობა. (1) სქემაში
საყურადღებოა ის, რომ ტრაპეციის კუთხეების ნამდვილი ორდინატებისა და
მერიდიანთა შეახლოების კუთხეების ნიშნები დგინდება l -ის ნიშნის მიხედვით.
ჩვენს შემთხვევაში ტრაპეცია მდებარეობს ზონის ღერძა მერიდიანის აღმო-
სავლეთით, ამიტომ როგორც l გრძედები, ასევე შესაბამისი ორდინატები და
მერიდიანთა შეახლოების კუთხეები იქნება პლუსით, ხოლო, როგორც ცნობი-
ლია, რუკებზე იწერება გარდაქმნილი, ანუ პირობითი ორდინატე-
ბი, რისთვისაც ყოველ ორდინატს ალგებრულად ემატება 500000 მეტრი და
წინ მიეწერება ზონის ნომერი 8 (იხ. ნახაზი 1).

1:10000 მასშტაბის ტრაპეციების წვეროების მართკუთხა კოორდინა-
ტებს ვსაზღვრავთ ინტერპოლაციით, რისთვისაც ვიყენებთ 1:25000 ტრაპე-
ციის წვეროების ცნობილ კოორდინატებს. ამისათვის (1) სქემიდან (2) სქემა-
ში ამოიწერება 1:25000 ტრაპეციის კუთხეების კოორდინატები, რომელთა
საშუალებით გამოითვლება

$$x_1 = \frac{x_{1.1} + x_{2.1}}{2}, \quad x_4 = \frac{x_{1.2} + x_{2.2}}{2}, \quad x_3 = \frac{x_{2.1} + x_{2.2}}{2}, \quad x_2 = \frac{x_{1.1} + x_{1.2}}{2},$$

$$x_5 = \frac{x_1 + x_4}{2} = \frac{x_2 + x_3}{2}.$$

კ ხარტუელი
ა აბსცისებზე

გრძელი ±l						გრძელი ±l
	2°30'00"	2°37'30"	2°45'00"	2°52'30"	3°00'00"	
B განელო						განელო B
43° 0'	4765848,2	4766149,3	4766475,7	4766817,2	4767179,9	43° 0'
5	775093,8	775408,0	775734,4	776076,0	776428,8	5
10	784355,4	784666,7	784993,2	785334,8	785691,7	10
15	793614,2	793925,5	794252,1	794593,8	794950,7	15
20	802373,1	802684,5	803011,1	803352,9	803709,9	20
25	812132,1	812443,6	812770,2	813112,0	813469,1	25
30	821491,3	821802,7	822129,4	822471,3	822828,4	30
35	830850,5	831161,9	831498,7	831850,7	832219,9	35
40	839909,8	840221,4	840578,2	840949,2	841324,4	40
45	849169,3	849480,9	849807,7	850149,7	850507,0	45
50	858428,8	858740,5	859067,3	859409,4	859766,7	50
55	867688,5	868000,2	868327,1	868669,2	869026,6	55
44° 0'	4876948,3	4877260,0	4877586,9	4877929,1	4878286,5	44° 0'
განელო B						განელო B
±l გრძელი	2°30'00"	2°37'30"	2°45'00"	2°52'30"	3°00'00"	±l გრძელი

კ ხარტუელი
ყ ორდინატებზე

გრძელი ±l						გრძელი ±l
	2°30'00"	2°37'30"	2°45'00"	2°52'30"	3°00'00"	
B განელო						განელო B
43° 0'	203860,4	210540,0	221247,6	234441,2	24635,0	43° 00'
5	204584,5	211264,4	221971,0	235165,9	247079,8	5
10	205308,2	211988,1	222695,0	235890,0	247804,1	10
15	206031,4	212711,9	223419,5	236614,6	248528,9	15
20	206754,2	213435,8	224143,5	237338,8	249253,7	20
25	207476,6	214159,8	224867,1	238062,9	250000,0	25
30	208198,5	214883,8	225590,2	238787,0	250724,1	30
35	208920,0	215607,8	226313,2	239511,0	251448,2	35
40	209641,1	216331,8	227036,2	240235,0	252172,2	40
45	210361,8	217055,8	227759,2	240959,0	252896,2	45
50	211082,0	217779,8	228482,2	241683,0	253620,2	50
55	211801,8	218503,8	229205,2	242407,0	254344,2	55
44° 0'	200521,1	210547,5	220573,8	230600,2	240626,6	44° 0'
განელო B						განელო B
±l გრძელი	2°30'00"	2°37'30"	2°45'00"	2°52'30"	3°00'00"	±l გრძელი

კ სარტყელი
მერიდიანთა შეახლოება გაუსით

გრძელი ±l						გრძელი ±l
	2°30'00"	2°37'30"	2°45'00"	2°52'30"	3°00'00"	
<i>B</i> განედი						<i>B</i> განედი
43° 0'	1° 42' 20"	1° 47' 27"	1° 52' 35"	1° 57' 42"	2° 02' 49"	43° 0'
5	30	37	45	53	2 01 01	5
10	39	47	56	1 58 04	12	10
15	49	57	1 53 08	15	24	15
20	58	1 48 07	17	26	36	20
25	1 43 08	17	27	37	46	25
30	43 17	27	37	48	58	30
35	27	37	48	59	2 04 09	35
40	36	47	58	1 59 00	21	40
45	46	57	1 54 09	20	82	45
50	55	1 49 07	19	31	43	50
55	1 44 05	17	30	42	55	55
44° 0'	1° 44' 14"	1° 49' 27"	1° 54' 40"	1° 59' 53"	2° 05' 06"	44° 0'
განედი <i>B</i>						განედი <i>B</i>
±l გრძელი	2°30'00"	2°37'30"	2°45'00"	2°52'30"	3°00'00"	±l გრძელი

ცხრილი 2.5.6.3

სარტყლები	Δ შეხლოებები
I	36 1,8
	37 1,8
	38 1,8
	39 1,9
K	40 1,9
	41 1,9
	42 1,9
	43 1,9
L	44 1,9
	45 1,9
	46 1,9
	47 1,9

სქემა 2.5.6.1

<i>B</i>	L_0	47° 45' 00"	47° 52' 30"
	<i>l</i>		45 00 00
		+ 2 45 00	+ 2 52 30
აბსცისები			
43° 25' 00"	$x_{2,1}$	4 812 770,2	$x_{2,2}$ 4 813 112,0
	$x_{1,1}$	4 803 511,1	$x_{1,2}$ 4 803 852,9
ორდინატები			
43° 25' 00"	$y_{2,1}$	+223 725,1	$y_{2,2}$ +223 849,4
	$y_{1,1}$	+223 040,5	$y_{1,2}$ +223 168,8
გარდაქმნის ორდინატები			
43° 25' 00"	$y_{2,1}$	8 722 725,1	$y_{2,2}$ 8 722 849,4
	$y_{1,1}$	8 723 040,5	$y_{1,2}$ 8 723 168,8
მერიდიანთა შეახლოება			
43° 25' 00"		+1° 53' 27"	+1° 58' 37"
	43 20 00	+1 53 17	+1 58 26

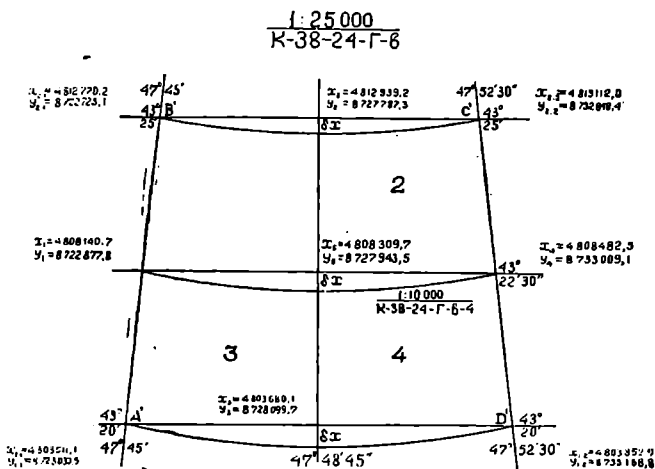
საშუალო მნიშვნელობა $\gamma = +1° 55' 57''$

B	L	$47^{\circ} 45' 00''$	$47^{\circ} 48' 45''$	$47^{\circ} 52' 30''$		
	L_p	45 00 00		45 00 00		
	l	+ 2 45 00		+ 2 52 30		
პირველადი მნიშვნელობები აბსცისების						
$43^{\circ} 25' 00''$	$x_{2,1}$	4 812 770,2	x_1	4 812 941,1—1,9	$x_{2,2}$	4 813 112,0
$43 22 30$	x_1	4 808 140,7	x_2	4 808 311,6—1,9	x_3	4 808 432,5
$43 20 00$	$x_{1,1}$	4 803 511,1	x_3	4 803 682,0—1,9	$x_{1,2}$	4 803 852,9
ორდინატების						
$43^{\circ} 25' 00''$	$y_{2,1}$	+222 725,1	y_2	+227 787,3	$y_{2,2}$	+232 849,4
$43 22 30$	y_1	+222 877,8	y_3	+227 943,5	y_4	+233 009,1
$43 20 00$	$y_{1,1}$	+223 030,5	y_4	+228 099,7	$y_{1,2}$	+233 169,8
საბოლოო მნიშვნელობები აბსცისების						
$43^{\circ} 25' 00''$	$x_{2,1}$	4 812 770,2	x_2	4 812 939,2	$x_{2,2}$	4 813 112,0
$43 22 30$	x_1	4 808 140,7	x_3	4 808 309,7	x_4	4 808 482,5
$43 20 00$	$x_{1,1}$	4 803 511,1	x_3	4 803 680,1	$x_{1,2}$	4 803 852,9
გარდაქმნილი ორდინატების						
$43^{\circ} 25' 00''$	$y_{2,1}$	8 722 725,1	y_2	8 727 787,3	$y_{2,2}$	8 732 849,4
$43 22 30$	y_1	8 722 877,8	y_3	8 727 943,5	y_4	8 733 009,1
$43 20 00$	$y_{1,1}$	8 723 030,5	y_4	8 728 099,7	$y_{1,2}$	8 733 169,8
მერიდიანების შეახლოება						
$43^{\circ} 25' 00''$		+1° 53' 27"		+1° 56' 02"		+1° 58' 37"
$43 22 30$		+1 53 22		+1 55 57		+1 59 32
$43 20 00$		+1 53 17		+1 55 52		+1 58 26

ს ა შ უ ა ლ ო $\gamma = +1^{\circ} 56' 49''$

ანალოგიურად გამოიყოფება y_1, y_4, y_2, y_3, y_4 ორდინატები. ყველა ეს მნიშვნელობა იწერება (2) სქემაში, როგორც პირველადი მნიშვნელობები. ამავე სქემაში კოორდინატების საბოლოო მნიშვნელობებისათვის საჭიროა 1 : 25000 ტრაპეციის პარალელების ეკვატორისაკენ გამოზნევილობის გამო x_2, x_3 და x_4 აბსცისებში, რომლებიც $47^{\circ} 48' 45''$ გრძედს შეესაბამებიათ, შევიტანოთ (3) ცხრილის K სარტყელის მიხედვით ინტერპოლაციის δ_x შესწორებები — 1,9 მეტრის ოდენობებით (ნახ. 1). გრძედების შესაბამისად x აბსცისების ინტერპოლაციის δ_x შესწორებები ყოველთვის აკლდება სათანადო აბსცისებს, რადგანაც ყოველი პარალელი გამოზნევილია ეკვატორისაკენ. ორდინატებში ასეთი შესწორებები არ შეიტანება ზონის ნაპირებისაკენ მერიდიანების შედარებით უმნიშვნელო გამოზნევილობის გამო. როგორც ვხედავთ, პირვე-

ლად გამოთვლილი კოორდინატები საბოლოო მნიშვნელობისაა გარდა x_2 , x_3 , x_4 წერტილების აბსცისებისა. კოორდინატების საბოლოო მნიშვნელობები ჩაწერილია (2) სქემაში და გადატანილია (1) ნახაზზე (ტრაპეცია K-38-24-4—Γ-Б). აგრეთვე (1) სქემის მერიდიანთა შეახლოების ინტერპოლაციით შედ-



გენილია (2) სქემის ბოლო, ანუ მერიდიანთა შეახლოების კუთხეები და 1:10000 ფურცლის K-38-24-Б-4 ტრაპეციისათვის მათი საშუალო

$$\gamma = (1^{\circ}55'57'' + 1^{\circ}58'32'' + 1^{\circ}55'52'' + 1^{\circ}58'26'') : 4 = 1^{\circ}56'49''.$$

**Б. ჩარჩოს შარბლავში კილომეტრული ბადის ოთხივე განაკირა
წვეროების გაუსის კოორდინატების განსაზღვრა**

ჩარჩოს წვეროების გაუსის ბრტყელი კოორდინატების საფუძველზე ხდება კილომეტრული ბადის ოთხივე წვეროს კოორდინატების განსაზღვრა. ამისათვის (1) ნახაზის მიხედვით ამოვიწერთ 1:25000 ჩარჩოს წვეროების გაუსის კოორდინატებს (ნახ. 2); შევარჩევთ ჩარჩოს სამხრეთი წვეროებიდან უდიდეს აბსცისაზე მეტრ კილომეტრების ჯერად რიცხვს, რომელიც ტოლი იქნება 4 804 000,0; ვსაზღვრავთ სამხრეთ წვეროებიდან პირველ და მეორე მერიდიანზე გადასაზომ რიცხვებს;

$$4\ 804\ 000,0 - x_{1,1} = 4\ 804\ 000,0 - 4\ 803\ 511,1 = 488,9\ \text{მ},$$

$$4\ 804\ 000,0 - x_{1,2} = 4\ 804\ 000,0 - 4\ 803\ 852,9 = 147,1\ \text{მ}.$$

სამხრეთ წვეროებიდან შესაბამისად პირველ და მეორე მერიდიანზე გადავზომავთ მასშტაბის მიახლოებითი დაცვიტ მიღებულ სხვაობებს და მათ ბოლოებზე გავატარებთ კოორდინატთა ბადის პირველ სამხრეთ კილომეტრულ, ანუ ეკვატორის პარალელურ AD ხაზს, რომლის გავრძელებაზე დასავლეთით და აღმოსავლეთით წავაწერთ 48_მ კმ. ჩარჩოს ჩრდილო წვეროებს შორის უმ-

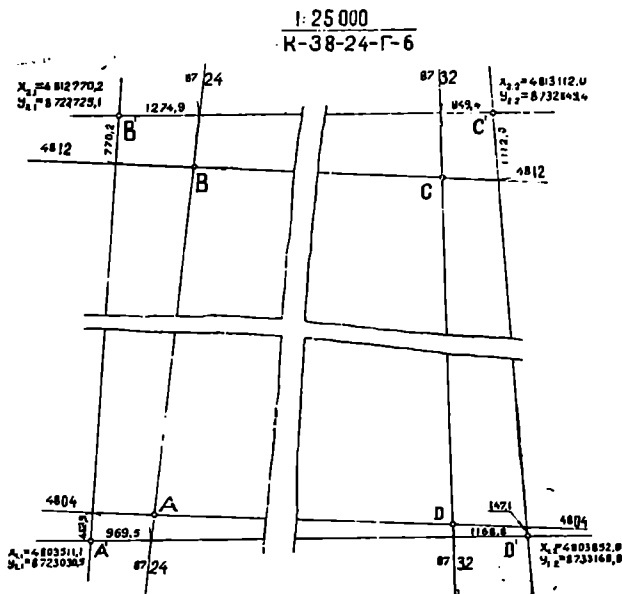
ცირეს აბსცისაზე ნაკლები კილომეტრების ჯერადი რიცხვი იქნება 4812000,0 მ; ჩარჩოს ჩრდილო წვეროებიდან პირველ და მეორე მერიდიანზე გადმოვზომავთ

$$4\ 812\ 770,2 - 4\ 812\ 000 = 770,2\ \text{მ},$$

$$4\ 813\ 112,0 - 4\ 812\ 000 = 1\ 112,0\ \text{მ}$$

მანძილებს და მათ ბოლოებზე გავატარებთ ეკვატორის პარალელურ უკანასკნელ ჩრდილო კილომეტრულ BC ხაზს, რომლის გაგრძელების დასავლეთით და აღმოსავლეთით წაეაწერთ 48₁₂ კმ.

იმავე წესით გატარდება ღერძა მერიდიანის პარალელური პირველი (დასავლეთით) და უკანასკნელი (აღმოსავლეთით) კილომეტრული ხაზი. ამისათვის



ნახ. 2.5.6.2.

შევარჩევთ $y_{1,1}$ ორდინატზე დიდ, კილომეტრების ჯერად რიცხვს, ეს იქნება 8724000,0 მ. პირველ (სამხრეთ) და მეორე (ჩრდილოეთ) პარალელზე გადავზომავთ

$$8\ 724\ 000,0 - y_{1,1} = 8\ 724\ 000,0 - 8\ 723\ 030,5 = 969,5\ \text{მ}$$

და

$$8\ 724\ 000,0 - y_{2,1} = 8\ 724\ 000,0 - 8\ 722\ 725,1 = 1\ 274,9\ \text{მ}$$

მანძილებს და მათ ბოლოებზე გავატარებთ პირველ ვერტიკალურ AB ხაზს, რომლის ჩრდილო და სამხრეთ მხარეზე მარცხნივ იწერება ზონის ნომერი და ასევე კილომეტრები, ანუ 87, ხოლო მარჯვნივ ათეული და ერთეული კილომეტრები ანუ 24. ასევე შევარჩევთ $y_{2,1}$ ორდინატზე კილომეტრების ჯე-

რად მცირე რიცხვს. ეს იქნება 8 732 000 მ. მაშასადამე, ჩარჩოს აღმოსავლეთ წვეროებიდან გადაიზომება

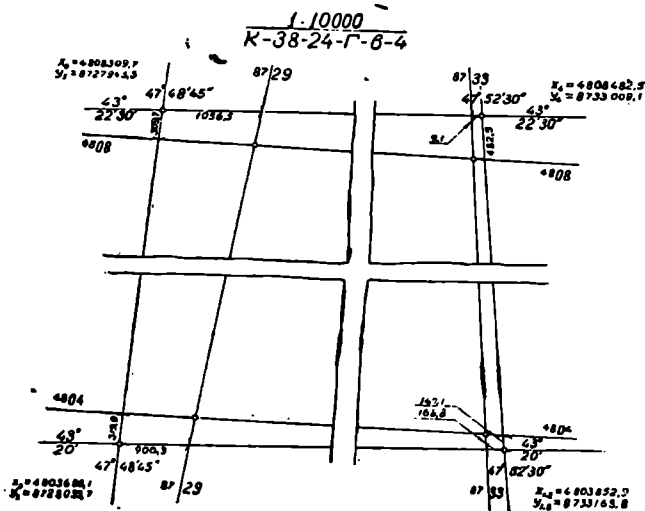
$$8\ 733\ 168,8 - 8\ 732\ 000,0 = 1\ 168,8\ \text{მ}$$

და

$$8\ 732\ 849,4 - 8\ 732\ 000,0 = 849,4\ \text{მ}$$

მანძილები და შათი ბოლოების შეერთება იქნება ჩარჩოს აღმოსავლეთით უკანასკნელი კილომეტრული CD ხაზი, რომლის ჩრდილო და სამხრეთ გაგრძელების ნაპირზე შემოსხენებული წესით წავაწერთ 87₃₃ კმ.

ანალოგიურად გამოითვლება და დაინიშნება კილომეტრული ბადის განაპირა კუთხეების გაუსის კოორდინატები 1:10000 მასშტაბიანი ტრაპეციის



ნახ. 2 5.6.3.

ჩარჩოს კუთხეების გაუსის ბრტყელი კოორდინატების საშუალებით. მაგალითად, $K-38-24-I-B-4$ ნომენკლატურის, ანუ 1:10000 მასშტაბიანი ტრაპეციის კილომეტრული ბადის განაპირა კუთხეების ბრტყელი კოორდინატების განსაზღვრას ვახდენთ (1) ნახაზიდან ამოღებული მეოთხე ტრაპეციის კოორდინატებზე შემოსხენებული წესით (ნახ. 3).

C. კილომეტრული ბადისა და ჩარჩოს აბეგა-გაფორმება და წარწერები.
წმრთილის გეოგრაფიული და მართკუთხა კოორდინატების განსაზღვრა

კილომეტრული ბადის განაპირა A, B, C, D წვეროებისა და ჩარჩოს A', B', C', D' წვეროების (ნახ. 2) ცნობილი გაუსის კოორდინატების საშუალებით აიკვება როგორც კილომეტრული ბადე, ისე ტრაპეციის ჩარჩო. ამისათვის კი პირველ რიგში საჭიროა ვიცოდეთ, თუ რას უნდა უღრიდეს კი-203

ლომეტრული ბადის კვადრატების გვერდების სიგრძეები მოცემული მასშტაბისათვის. საბჭოთა კავშირში მიღებულია, რომ კვადრატის ყოველი გვერდის სიგრძე ადგილზე უდრიდეს კილომეტრს ან მის ჯერად რიცხვს. ამიტომ როგორც თარაზულ, ისე ვერტიკალურ, ანუ ეკვატორის პარალელურ და ღერძა მერიდიანის პარალელურ ხაზებს ვუწოდეთ კილომეტრული ხაზები და ბადეს კი — კილომეტრული ბადე. ამ ბადის კილომეტრულ ხაზებს შორის მანძილები ტოპოგრაფიულ რუკებზე და ადგილზე მოცემულია საბჭოთა კავშირში მიღებული მასშტაბების რიგის შესაბამისად (4) ცხრილში. მხოლოდ ტოპოგრაფიულ რუკებზე, გარდა 1:200000 ფურცლებისა, კილომეტრულ ბადეს არ აგებენ და კმაყოფილებიან მხოლოდ გეოგრაფიული ბადით ანუ ჩარჩოს აგებით.

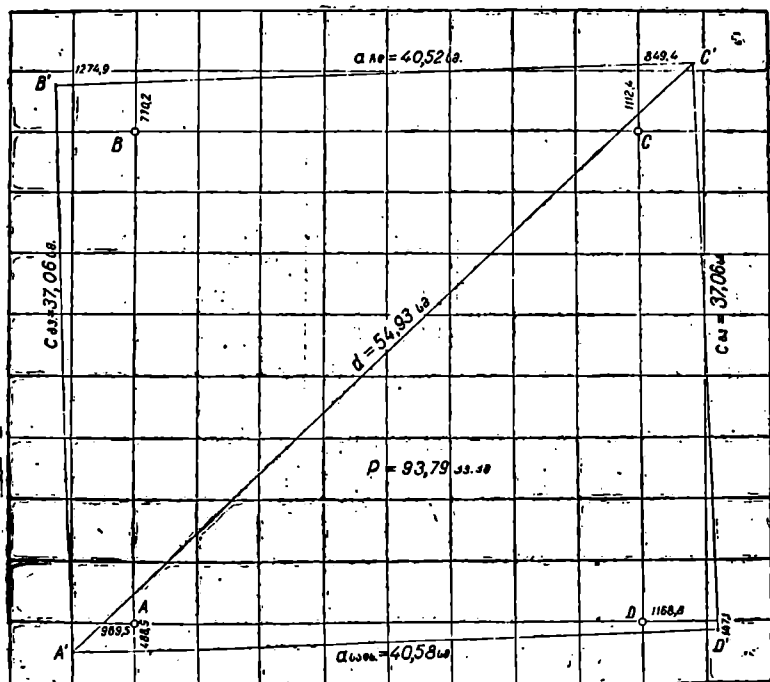
ცხრილი 2.5.6.4.

რუკების მასშტაბების რიგი	ნომენკლატურა	ზომა		კილომეტრული		პლანშეტის ზომა	
		მერიდიანის	პარალელის	ბადის გვერდის სიგრძე		რუკაზე	ადგილზე
				რუკაზე	ადგილზე		
1:200000	K-38-VII	40'	1°	5 სმ	10 კმ	—	—
1:100000	K-38-24	20'	30'	2 „	2 „	—	—
1:50000	K-38-24-Г	10'	15'	2 „	1 „	—	—
1:25000	K-38-24-Г-В	5'	7'30"	4 „	1 „	—	—
1:10000	K-38-24-Г-В-Г	2'30"	3'45"	10 „	1 „	—	—
1:5000	K-38-24-(240)	1'15"	1'52",5	10 „	0,5 „	40×40	24 კვ. კმ (400 ჰ)
1:2000	K-38-24-(240-A)	37",50	58",25	10 „	0,2 „	50×50	1 „ (100 ჰ)
1:1000	K-38-24-(240-A-III)	18",75	28",125	10 „	0,1 „	50×50	0,25 „ (25 ჰ)
1:500	K-38-24-(240-A-16)	9",375	14",625	10 „	0,05 „	50×50	0,0625 „ (6,25 ჰ)

1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000 მასშტაბიან რუკებისათვის ჩარჩოები წარმოადგენს ტრაპეციებს, მხოლოდ 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 მასშტაბებში ასაგეგმავი პლანშეტებისათვის საქალაქო, სასოფლო და სამრეწველო მშენებლობისათვის დაშვებულია კვადრატული ჩარჩოების გამოყენება და კილომეტრული ბადის აგება ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია (4) ცხრილში.

ახლა შევეუდგეთ (2) ნახაზის მიხედვით 1:25000 რუკის, კილომეტრული ბადისა და შესაბამისი ჩარჩოს აგება-გაფორმებას. კილომეტრული ბადის განაპირა *A, B, C, D* წვეროების კოორდინატების საშუალებით დავადგენთ, რომ 14. ნ. თეზაჰე

ვერტიკალური ხაზები საჭიროა $4812-4804=8$ კმ, ასევე ჰორიზონტალური მიმართულებითაც $8732-8724=8$ კმ. მაშასადამე, (4) ცხრილის შესაბამისად საჭიროა როგორც ვერტიკალურად, ისე თარაზულად დაიხაზოს ოთხსანტი-მეტრიანი გვერდების მქონე რვა-რვა კვადრატები. მაგრამ იმისათვის, რომ შეე-ძლოთ ჩარჩოების ოთხივე A', B', C', D' წვეროს აგებაც, საჭიროა კილო-მეტრული ბადის თარაზული მიმართულებით BB' და DD' მანძილების გამო აგებული იქნეს 12 კვადრატები, ხოლო შვეული მიმართულებით AA' და CC' მანძილების გამო 11 (იხ. ნახ. 4), რომელზეც (2) ნახაზის შესაბამისად პირველ რიგში დაინიშნება კილომეტრული ბადის A, B, C, D წვეროები და შემდეგ მათზე დაყრდნობით (2) ნახაზის გამოყენებით აიგება ჩარჩოს A', B', C', D' წვეროები (ნახ. 4)



ნახ. 2.5.6.4.

კოორდინატების გამოთვლის წინა მუხლში შესრულებული სამუშაოს სისწორე მოწმდება შემოსენებული α : ვიროვეცის [7] ცხრილის მეორე ნაწილის საშუალებით, სადაც განხილადი ტრაპეციის $B_1 = 43^\circ 20'$, $B_2 = 43^\circ 25'$ განედებისა და $l = 2^\circ 52' 30'' \approx 3^\circ$ ზონალური გრძედის საშუალებით ამოწერება

1 : 25000

B	a	c	d	P	B	a	c	d	P
40° 0'	42,70				42° 0'	41,48			
5	42,65	37,01	56,48	98,71	5	41,37	37,03	55,54	95,80
10	42,59	37,01	56,45	98,59	10	41,82	37,03	55,50	95,68
15	42,54	37,01	56,41	98,47	15	41,27	37,03	55,46	95,55
20	42,49	37,01	56,37	98,35	20	41,21	37,03	55,42	95,43
25	42,44	37,01	56,33	98,23	25	41,16	37,03	55,38	95,30
30	42,38	37,02	56,29	98,11	30	41,10	37,03	55,34	95,18
35	42,33	37,02	56,25	97,99	35	41,05	37,03	55,30	95,05
40	42,28	37,02	56,22	97,87	40	40,99	37,03	55,26	94,93
45	42,23	37,02	56,18	97,75	45	40,94	37,03	55,22	94,80
50	42,17	37,02	56,14	97,63	50	40,88	37,03	55,18	94,68
55	42,12	37,02	56,10	97,51	55	40,83	37,03	55,14	94,55
41° 0'	42,07	37,02	56,06	97,39	43° 0'	40,77	37,03	55,10	94,43
5	42,02	37,02	56,02	97,27	5	40,72	37,03	55,06	94,30
10	41,96	37,02	55,98	97,15	10	40,66	37,03	55,02	94,17
15	41,91	37,02	55,94	97,03	15	40,61	37,03	54,98	94,05
20	41,86	37,02	55,90	96,91	20	40,55	37,03	54,94	93,92
25	41,80	37,02	55,86	96,78	25	40,49	37,03	54,89	93,79
30	41,75	37,02	55,82	96,66	30	40,44	37,03	54,85	93,67
35	41,70	37,02	55,78	96,54	35	40,38	37,04	54,82	93,54
40	41,64	37,02	55,74	96,42	40	40,33	37,04	54,78	93,41
45	41,59	37,02	55,70	96,29	45	40,27	37,04	54,74	93,28
50	41,53	37,02	55,66	96,17	50	40,22	37,04	54,70	93,16
55	41,48	37,02	55,62	96,05	55	40,16	37,04	54,66	93,03
42° 0'	41,43	37,02	55,58	95,92	44° 0'	40,10	37,04	54,61	92,90

გაულის პროექციების დამახინჯების გამო ჩარჩოს ზომების შეცვორებები

l	Δa	Δc	Δd
0° 0'	0,00	0,00	0,00
0 30	0,00	0,00	0,00
1 0	0,00	0,00	0,00
1 30	0,01	0,01	0,01
2 0	0,01	0,01	0,02
2 30	0,02	0,02	0,03
3 0	0,03	0,03	0,04
3 30	0,04	0,04	0,06

$a_{საშ}$, $a_{ჩრდ}$, c გვერდითი ჩარჩოს, d დიაგონალის სიგრძეები სანტიმეტრებში და P ფართობი კვ. კილომეტრებში. მართლაც, (5) ცხრილიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} a_{საშ} &= 40,55 \text{ სმ} \\ a_{ჩრდ} &= 40,49 \text{ ,,} \\ c &= 37,03 \text{ ,,} \\ d &= 54,89 \text{ ,,} \\ P &= 93,79 \text{ კვ. კმ.} \end{aligned}$$

ხოლო გამოთვლით (ნახ. 2) მივიღებთ:

$$\begin{aligned} a_{საშ} &= y_{1,2} - y_{1,1} = 8733168,8 - 8723030,5 = 10138,3 : 250 = 40,55 \text{ სმ,} \\ a_{ჩრდ} &= y_{2,2} - y_{2,1} = 8732849,4 - 8722725,1 = 10124,3 : 250 = 40,49 \text{ სმ,} \\ c &= x_{2,1} - x_{1,1} = x_{2,2} - x_{1,2} = 4812770,2 - 4803511,1 = \\ &= 4813112,0 - 4803852,9 = 9259,1 : 250 = 37,04 \text{ სმ.} \end{aligned}$$

როგორც ვხედავთ, ა. ვიროვეცის ცხრილის პირველი ნაწილის (1) და (2) ცხრილის საფუძველზე გამონათვლები ემთხვევა მეორე ნაწილის (5) ცხრილიდან ამონაწერებს, რაც გამოთვლის სისწორის დამადასტურებელია. შეიძლება პირდაპირ (5) ცხრილის საშუალებით აგვეგო ტრაპეცია, მაგრამ მაშინ წინა ანგარიშების კონტროლს ავცდებოდით. იქვე, (5) ცხრილში, ქვემოთ, მოცემულია დამატებითი ცხრილი $\angle = 2^{\circ} 52' 30'' \approx 3^{\circ}$ შესაბამისად ჩარჩოს ზემოხსენებული მონაცემების შესასწორებლად, რადგანაც გაუსის პროექციებში ჩარჩოს აქვს დამახინჯება. ეს შესწორებები ყოველთვის ემატება ჩარჩოს ზემოხსენებულ ზომებს. მაგალითად, $\angle = 3^{\circ}$ -თვის შესწორებები იქნება:

$$\begin{aligned} \Delta a &= 0,03 \text{ სმ სამხრეთ და ჩრდილო ჩარჩოსათვის} \\ \Delta c &= 0,03 \text{ ,, ტრაპეციის გვერდებისათვის} \\ \Delta d &= 0,04 \text{ ,, ტრაპეციის დიაგონალისათვის} \end{aligned}$$

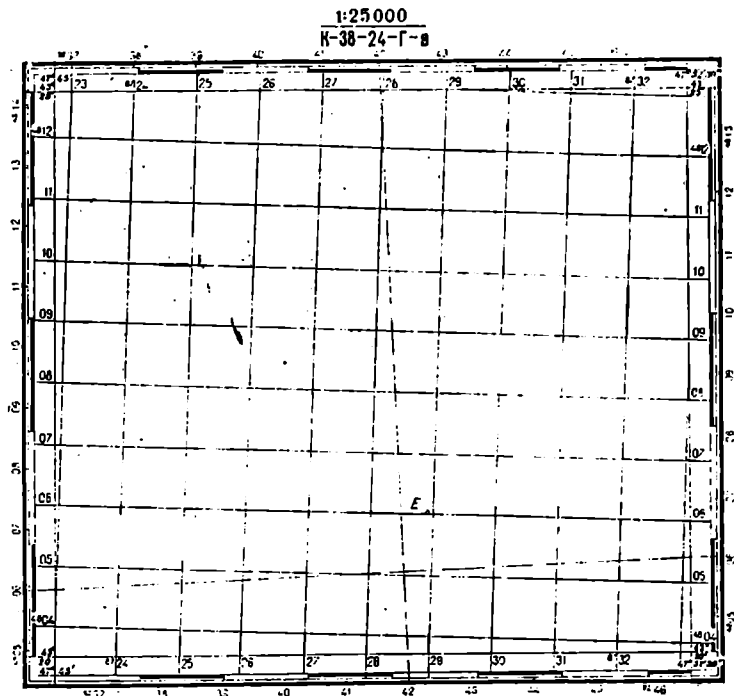
მაშასადამე, ჩარჩოს საბოლოო ზომები იქნება (იხ. ნახ. 4):

$$\begin{aligned} a_{საშ} &= 40,55 + 0,03 = 40,58 \text{ სმ} \\ a_{ჩრდ} &= 40,49 + 0,03 = 40,52 \text{ ,,} \\ c &= 37,03 + 0,03 = 37,06 \text{ ,,} \\ d &= 54,89 + 0,04 = 54,93 \text{ ,,} \end{aligned}$$

ზემოხსენებული კონტროლისა და შესწორების შემდეგ ხდება კილომეტრული ბადისა და ჩარჩოს გაფორმება ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია (5) ნახაზზე. მაგალითად, პირველი და უკანასკნელი ვერტიკალური კილომეტრული ხაზის როგორც სამხრეთ, ისე ჩრდილოეთ გაგრძელების მარცხნივ იწერება ზონის ნომერი და გარდაქმნილი ორდინატის ასეული კილომეტრების შესაბამისი ციფრები 87, მარჯვნივ კი ერთეული კილომეტრების რაოდენობა — 24 და 32, ხოლო შუალედი კილომეტრული ხაზების სამხრეთ და ჩრდილოეთ გაგრძელებების მარჯვნივ იწერება მხოლოდ ერთეული კილომეტრები. მაშასადამე, როგორც სამხრეთ, ისე ჩრდილო მხარეზე ორდინატები წარწერილია ასე:

$$87, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 87, 32.$$

ანალოგიურად არის აბსცისები წარწერილი დასავლეთით და აღმოსავლეთით: 48₀₄, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11 48₁₂, რაც შეეხება ჩარჩოს წარწერებს, აქ მხოლოდ კუთხეებზეა წარწერილი მისი წვეროების განედები და გრძედები. მათ შორის ჩარჩოს ოთხივე გვერდის პარალელურად გატარებულ ხაზებზე შავი და თეთრი ზოლებით დახაზულია მინუტები. კენტი მინუტები შავი ზოლებია, ხოლო ლუწი—თეთრი (განედის მიმართულებით ხუთი მინუტი და გრძედის 7',5). ნახაზებზე, თვალსაჩინოების მიზნით, როგორც ჩარჩო, ისე კილომეტრული ბადის გარე



ნახ. 2.5.6.5.

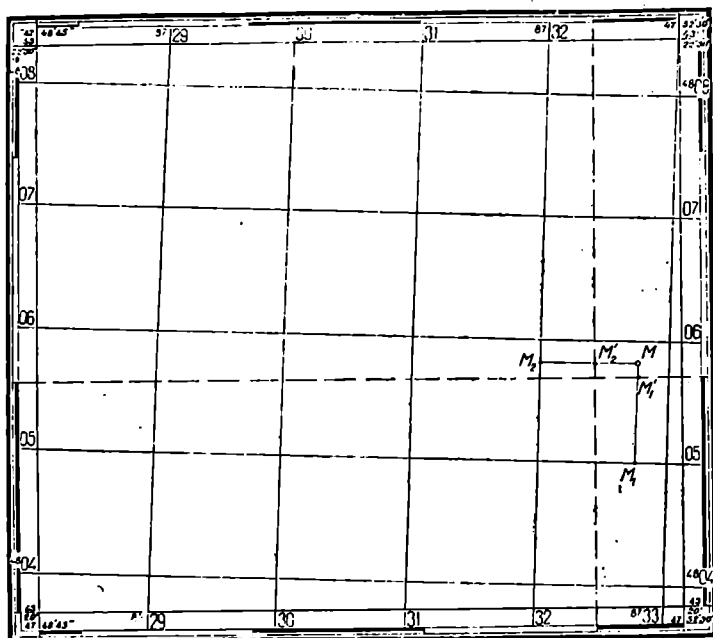
კონტური სქელი ხაზებით არის ნაჩვენები. სინამდვილეში ეს ხაზები უნდა იყოს ბეწვისებური.

ზემოხსენებული წესით დგება სხვადასხვა მასშტაბების შესაბამისი რუკები. მაგალითად, (3) ნახაზის საფუძველზეა შედგენილი (6) ნახაზი.

M წერტილის მართკუთხა კოორდინატების განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს MM_1 და MM_2 მონაკვეთები (ნახ. 6). ნახაზიდან $MM_1=0,8$ კმ, ხოლო $MM_2=0,75$ კმ, მაშასადამე $x_M=4805+0,80=4805,80$ კმ და $y_M=8732+0,75=8732,75$ კმ. კონტროლისათვის სჯობს M წერტილიდან გაიზომოს მანძილები კვადრატის დანარჩენი გვერდებისადმიც და მიღებული ოდენობები გამოაკლდეს 4806 კმ და 8733 კმ.

იმავე M წერტილის გეოგრაფიული (გეოდეზიური) კოორდინატები მიიღება, თუ მას განვსაზღვრავთ მის ახლო განედისა და გრძედების ერთსახელა მინუტების შემაერთებელი ხაზის მიმართ. მე-6 ნახაზზე შეერთებულია $43^{\circ}21'$ განედის დასავლეთი და აღმოსავლეთი წერტილები, ასევე გრძედის $47^{\circ}52'$

1:10000
H-38-24-Г-В-4



ნახ. 2.5.6.6.

მქონე წერტილები. ამ ხაზების მიმართ დაშვებული მართობები, რომლებიც გეგმაზე არ არის გატარებული, $MM_1' = 0,06 \times 1' = 3'',6$, ხოლო $MM_2' = 0,25 \times 1' = 15''$. მაშასადამე, $B_M = 43^{\circ}21' + 03'',6 = 43^{\circ}21'03'',6$, $L_M = 47^{\circ}52' + 15'' = 47^{\circ}52'15''$.

2.5.7. წერტილის გაუსის კოორდინატების გამოთვლა მისი გეოდეზიური კოორდინატების ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის.
წერტილის გეოდეზიური კოორდინატების გამოთვლა გაუსის კოორდინატების საშუალებით

A. წერტილის გაუსის კოორდინატების გამოთვლა მისი გეოდეზიური კოორდინატებით

ეთქვათ, საჭიროა განვსაზღვროს $K-38-24-Г-В$ 1:25000 ტრაპეციაზე E წერტილის x , y გაუსის კოორდინატები, რომლის გეოდეზიური განედი $B = 43^{\circ}21'15'',224 = 43^{\circ}21',25373$ და გრძედი $L = +47^{\circ}49'24'',375$.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება (2.5.6.5) ნახაზზე გრაფიკულად, თუ ამ ტრაპეციაზე მოცემული გეოდეზიური კოორდინატებით, დავსვათ E წერტილის და მერე კოორდინატთა კილომეტრული ბადის მიმართ განვსაზღვრავთ მის x და y კოორდინატებს (იხ. წინა პარაგრაფის ბოლო). მაგრამ ეს გზა შედარებით ტლანქია.

უფრო ზუსტად შეიძლება ამ ამოცანის გადაწყვეტა შემდეგი საინტერპოლო ფორმულების გამოყენებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_{1,1} + (x_{2,1} - x_{1,1}) \frac{B - B_1}{B_2 - B_1} + (x_{1,2} - x_{1,1}) \frac{l - l_1}{l_2 - l_1} - \delta_x \\ y &= y_{1,1} + (y_{2,1} - y_{1,1}) \frac{B - B_1}{B_2 - B_1} + (y_{1,2} - y_{1,1}) \frac{l - l_1}{l_2 - l_1} - \delta_y \\ \delta_x &= 0,135 \sin 2B (l - l_1)' (7',5 - (l - l_1)') \\ \delta_y &= ((y_{1,2} - y_{2,2}) - (y_{1,1} - y_{2,1})) \frac{B - B_1}{B_2 - B_1} \cdot \frac{l - l_1}{l_2 - l_1} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.7.1)$$

სადაც $x_{1,1}$, $x_{1,2}$, $x_{2,1}$, $x_{2,2}$, $y_{1,1}$, $y_{1,2}$, $y_{2,1}$, $y_{2,2}$ — ტრაპეციის წვეროების გაულის კოორდინატებია (იხ. 2.5.6 პარაგრაფი); B_1 , B_2 , l_1 , l_2 — იგივე ტრაპეციის წვეროების ზონალური გეოდეზიური კოორდინატები.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების ამოხსნისათვის ვიყენებთ ა. ვიროვეცის [7] ცნობილ ცხრილებს. თუ ცნობილი არაა ზონის ნომერი, მას გავარკვევთ M წერტილის გრძედის, ანუ (2.5.4.45) ფორმულის საშუალებით:

$$N = \frac{L_{\text{გრაფიკული}}}{6^\circ} + 1 = \frac{47^\circ}{6^\circ} + 1 = 7 + 1 = 8$$

ან $47^\circ 49' 24'', 375 : 6^\circ$ ფარდობით და ნაწილად დავამრგვალებთ მასზე უახლოეს მთელ რიცხვამდე.

(2.5.4.43) ფორმულით კი ღერძა მერიდიანის გრძედს

$$L_0^g = 6^\circ \cdot 8 - 3^\circ = 45^\circ 00' 00''.$$

აგრეთვე, მერვე ზონაში E წერტილის ზონალური გრძედის ოდენობა (2.5.4.31) ფორმულით იქნება:

$$l = L - L_0 = 47^\circ 49' 24'', 375 - 45^\circ = 2^\circ 49' 24'', 375.$$

მაშასადამე, E წერტილი მდებარეობს მერვე ზონის ღერძა მერიდიანის აღმოსავლეთით.

ანალოგიურად გამოითვლება ტრაპეციის კუთხეების ზონალური გრძედები ღერძა მერიდიანის მიმართ:

$$l_1 = 47^\circ 45' - 45^\circ = +2^\circ 45',$$

$$l_2 = 47^\circ 52' 30'' - 45^\circ = +2^\circ 52', 5.$$

(1) ფორმულებში ორდინატები შეტანილია გარდაუქმნელი (ნამდვილი). მოქმედებები შესრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

$$1. (B - B_1) : (B_2 - B_1) = (43^\circ 21', 25373 - 43^\circ 20') : (43^\circ 25' - 43^\circ 20') = +0,250746;$$

$$2. l - l_1 = +2^{\circ}49',40625 - 2^{\circ}45' = +4',40625;$$

$$3. (l - l_1) : (l_2 - l_1) = 4',40625 : (2^{\circ}52',5 - 2^{\circ}45') = 4',40625 : 7',5 = +0,58755;$$

$$4. (2.5.6.1) \text{ სქემიდან } x_{2,1} - x_{1,1} = 4812770,2 - 4803511,1 = +9259,1;$$

$$x_{1,2} - x_{1,1} = 4803852,9 - 4803511,1 = +341,8;$$

$$y_{2,1} - y_{1,1} = +222725,1 - 223030,5 = -305,4;$$

$$y_{1,2} - y_{1,1} = +233168,8 - 223030,5 = +10138,3;$$

$$y_{1,2} - y_{2,2} = +233168,8 - 232849,4 = +319,4;$$

$$y_{1,1} - y_{2,1} = +223030,5 - 222725,1 = +305,4;$$

$$(y_{1,2} - y_{2,2}) - (y_{1,1} - y_{2,1}) = +319,4 - 305,4 = +14,0;$$

5. მიღებული გამონათვლები ჩავსვით თავის იდგილას (1) ფორმულებში.

$$\delta_x = 0,135 \cdot \sin 86^{\circ}42'30'',5 (l - l_1)' \cdot (7',5 - (l - l_1)') = \\ = 0,135 \cdot 0,99835 \cdot 4',40625 \cdot 3',09375 = 1,8 \text{ მ};$$

$$\delta_y = ((y_{1,2} - y_{2,2}) - (y_{1,1} - y_{2,1})) \frac{B - B_1}{B_2 - B_1} \cdot \frac{l - l_1}{l_2 - l_1} = \\ = +14,0 \cdot 0,25075 \cdot 0,58755 = 2,1 \text{ მ};$$

$$x = 4803511,1 + 9259,1 \cdot 0,25075 + 341,8 \cdot 0,5876 - 1,8 = \\ = 4806031,8 \text{ მ};$$

$$y = 223030,5 - 305,4 \cdot 0,25075 + 10138,3 \cdot 0,5876 - 2,1 = \\ = +228908,1 \text{ მ}.$$

(2.5.6.5) ნახაზზე E (4806031,8; 8728908,1) წერტილის მდებარეობა შევამოწმოთ.

ცხრილებიდან ორდინატის ამოწერის დროს მათ ნიშანს ყურადღება არ უნდა მიაქციოთ და არც გარდაეჭმნათ, მხოლოდ როდესაც დავამთავრებთ ანგარიშს, შემდეგ გავითვალისწინებთ მის ნიშანს და ალგებრულად დავუმატებთ 500000 მეტრს.

იგივე მაგალითი შეიძლება ამოიხსნას შემდეგი ფორმულებისა და [49] ცხრილების გამოყენებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= (a_2 p + \Delta a_1 m + a_1) P + \Delta X m + X - I P + \Delta X m + X \\ y &= [(\Delta b_2 m + b_2) P + \Delta b_1 m + b_1 + \delta b_1] l'' + \delta y = II l'' + \delta y \end{aligned} \right\}, \quad (2.5.7.2)$$

სადაც: X, a_1, a_2, b_1, b_2 — ძირითადი სიდიდეებია (X სფეროიდული — სფერული აბსცისა);

$\Delta X, \Delta a_1, \Delta b_1, \Delta b_2$ — ძირითადი სიდიდეების ნაზრდებია;

$\delta b_1, \delta y$ — შესწორებებია;

$$P = (l'')^2 \cdot 10^{-8}; \quad (2.5.7.3)$$

$$m = (B - B_{\text{ცხრილი}})''. \quad (2.5.7.4)$$

(4) ტოლობაში $B_{\text{ცხრილი}}$ წარმოადგენს მოცემული წერტილის გეოდეზიური განედის უახლოეს მცირე ოდენობას, რომელიც მოყვანილია (1) ცხრილში, ე. ი. დამრგვალებულია ნაკლებობით 10-მდე. ზონაში წერტილის გრძელი გამოი-

თვლება ცნობილი (2.5.4.31) ფორმულით $l = L - L_0$ და გამოსახება სეკუნდებში.

(2) ტოლობების მიხედვით განხილავი მაგალითი ამოხსნილია (1) სქემაში შემდეგი თანამიმდევრობით: 1, 2 მოქმედებები ნათელია; 3. განისაზღვრება ზონის ნომერი (2.5.4.45) ფორმულით $N = (47:6) + 1 = 8$ და (2.5.4.43) ფორმულით $L_0^0 = 6^\circ \cdot 8 - 3 = 45^\circ 00' 00''$; 4. (2.5.4.31) ფორმულით მერვე ზონაში წერტილის გრძელი $l = L - L_0$; 5. l გრძელი გამოსახება სეკუნდებში $169.60 + 24'' = 375 = +10164''$; 6. (3) ტოლობით $P = (l'')^2 \cdot 10^{-8} = 1,03315$; 7. შევარჩევთ B -ზე უახლოეს ნაკლებ ოდენობას, ეს იქნება $B_{\text{სტ}} = 43^\circ 20'$ და (4) ფორმულით

$$m = (B - B_{\text{სტ}}) = 43^\circ 21' 15'' - 43^\circ 20' = 1' 15'', 224 = 75'', 224;$$

8. (1) ცხრილიდან $B_{\text{სტ}} = 43^\circ 20'$ შესაბამისად $a_2 = 160 \cdot 10^{-8} = +1,60$, ხოლო $a_2 \cdot P = 1,60 \cdot 1,03315 = +1,65$. დანარჩენი როგორც ძირითადი სიდიდეები, ისე მათი ნაზრდები ამოიღება (1) ცხრილის $B_{\text{სტ}} (43^\circ 20')$ შესაბამისი სტრიქონიდან ინტერპოლაციის გარეშე, მხოლოდ ამოღებული ოდენობები, რომლებიც მთელი რიცხვებით არიან გამოსახულნი, უნდა გადამრავლდეს შესაბამის ნამრავლებზე, რომლებიც ყოველი სექტის ზემოთ არის წარწერილი. მაგალითად, a_2 სექტის ზემო ნამრავლია 10^{-2} ; 9. იმავე სტრიქონიდან $\Delta a_1 = +21 \cdot 10^{-4} = +0,0021$, ხოლო $\Delta a_1 \cdot m = +0,0021 \cdot 75,224 = +0,16$; 10. იმავე სტრიქონიდან $a_1 = +37,4750 \cdot 10^{-2} = +3747,50$; 11. 8, 9, და 10 ჩანაწერების ჯამია, რაც აღნიშნული გვაქვს I სიმბოლოთი, ე. ი. $I = a_2 P + \Delta a_1 m + a_1 = 1,65 + 0,16 + 3747,50 = +3749,31$; 12. $I \cdot P = +3749,31 \cdot 1,03315 = +3873,60$; 13. (1) ცხრილის იგივე სტრიქონიდან $\Delta X = +30,8619$, ანუ $\Delta X \cdot m = +30,8619 \cdot 75,224 = +2321,56$; 14. (1) ცხრილის იმავე სტრიქონიდან $X = 4799836,61$; 15. (2) ფორმულის შესაბამისად $x = I \cdot P + \Delta X \cdot m + X = +3873,60 + 2321,56 + 4799836,61 = 4806031,77$; 16. (1) ცხრილის იმავე სტრიქონიდან $\Delta b_2 = -9 \cdot 10^{-8} = -0,00000009$, ე. ი. $\Delta b_2 \cdot m = -0,00000009 \cdot 75,224 = -0,000008$; 17. იმავე სტრიქონიდან $b_2 = +0,530 \cdot 10^{-3} = +0,000530$; 18. $\Delta b_2 \cdot m + b_2 = +0,000522$; 19. $(\Delta b_2 m + b_2) \cdot P = +0,000522 \cdot 1,03315 = 0,000539$; 20. იმავე სტრიქონიდან $\Delta b_1 = -10,284 \cdot 10^{-8} = -0,000103$, ე. ი. $\Delta b_1 \cdot m = -0,000103 \times 75,224 = -0,007748$; 21. იმავე სტრიქონიდან $b_1 = +22527820 \cdot 10^{-8} = -22,527820$; 22. b_1 შესწორება ამოიწერება (2) ცხრილიდან m -ის შესაბამისად დადებითი ნიშნით, მაგრამ $75,224$ აქ არ არის, ამიტომ იგი ამოიღება 70 და 78 შორის, ანუ $b_1 = +10 \cdot 10^{-8} = +0,000010$; 23. 19, 20, 21, 22 სტრიქონების ჩანაწერების ჯამი, რომელიც აღნიშნულია II სიმბოლოთი, $= +22,520621$; 24. $II \cdot l'' = +22,520634 \cdot 10164,375 = +228908,04$ მ. ეს გადამრავლება უნდა შესრულდეს დამრგვალების გარეშე; 25. Σy შესწორებას ვიღებთ (3) ცხრილიდან სანტიმეტრებში l'' შესაბამისად და მისი ნიშანი l ზონალური გრძელის ნიშნის საწინააღმდეგო უნდა მივიღოთ, ჩვენს შემთხვევაში Σy ამოიღება 9600 და 10270 რიცხვებს შორის, $\Sigma y = -3$ სმ $= -0,03$ მ; 26. $II \cdot l'' + \Sigma y = +228908,04 - 0,03 = +228908,01$ მ; 27. პირობითი, ანუ გარდაქმნილი ორდინატი $y = 8728908,01$ მ.

B_{006}	X	ΔX	α_i	$\Delta \alpha_i$	α_j	b_i	Δb_i	b_j	Δb_j	B_{006}
		+	$+10^{+8}$	10^{-4}	10^{-3}	$+10^{-6}$	-10^{-6}	10^{-3}	10^{-6}	
42° 00'	4 661 719,05	90,8547	37,3299	+38	+170	23 014 485	10,026	+0,961	-9	42° 00'
10	670 231,86	6556	3525	36	169	22 954 392	058	906	9	10
20	688 745,20	8566	3758	33	168	893 984	091	852	9	20
30	707 259,08	8574	3938	31	166	833 440	123	797	9	30
40	725 773,51	8583	4126	29	185	772 703	155	743	9	40
50	744 288,47	8592	4301	27	164	711 772	187	690	9	50
49 00'	4 762 803,97	90,8601	37,4463	+25	+163	22 650 647	10,220	+636	-9	49 00'
10	781 320,02	8610	4618	23	162	589 830	262	583	9	10
20	799 836,61	8619	4760	21	160	527 820	284	530	9	20
30	818 353,74	8628	4874	19	159	466 119	315	477	9	30
40	836 871,40	8637	4986	16	158	404 227	347	424	9	40
50	855 387,62	8646	5084	14	156	342 144	379	372	9	50
44° 00'	4 873 908,97	90,8655	37,5171	+12	+155	22 279 670	10,410	+320	-9	44° 00'

ტბრილი 2.5.7.2

m, m_1	δb_1	m, m_1
	10 ⁻⁴	554
46	7	547
53	8	539
61	9	530
70	10	522
78	11	513
87	12	503
97	13	494
106	14	483
117	15	472
128	16	461
139	17	448
152	18	434
166	19	419
181	20	401
199	21	380
220	22	349
251	23	300
300		

ტბრილი 2.5.7.3

r'	δy
	0
6 960	1
8 660	2
9 600	3
10 270	4
10 800	5
11 240	6
11 620	7
11 960	8
12 260	9
12 530	10
12 600	

სქემა 2.5.7.1

მოკმედეგების №№	პუნქტი	E	შენიშვნა
	ფორმულების ელემენტები		
1	B	43° 21' 16",224	
2	L	47 49 24,375	
3	$L_0 = 6''N - 3''$	45	
4	$l = L - L_0$	+ 2 49 24,375	
5	l''	+10 164,375	
6	$P = (l'')^2 \cdot 10^{-8}$	1,03315	
7	$m = (B - B_{ტბრი})''$	76,224	
8	$a_1 P$	+ 1,65	
9	$\Delta a_1 m$	+ 0,16	
10	a_1	+8 747,50	
11	I	+8 749,31	
12	$I P$	+3 673,60	
13	$\Delta X m$	+2 321,58	
14	X	4 799 836,61	
15	x	4 806 031,77	
16	$\Delta b_1 m$	- 0,000008	
17	b_1	+ 0,000590	
18	$\Delta b_1 m + b_1$	+ 0,000522	
19	$(\Delta b_1 m + b_1) P$	+ 0,000539	
20	$\Delta b_1 m$	- 0,007748	
21	b_1	+22,527820	
22	δb_1	+ 0,000010	
23	Π	+22,520621	
24	$\Pi r'$	+228 902,04	
25	δy	- 0,03	
26	y	+228 908,01	
27	y გარდაქმნილი	8 728 908,01	

ამისათვის იყენებენ შემდეგი სახის გადასაყვან ფორმულებს:

$$\left. \begin{aligned} B &= B_f - (B_f - B) \\ L &= L_0 + l \end{aligned} \right\}, \quad (2.5.7.5)$$

$$(B_f - B)'' = (A_2 q + \Delta A_1 m_1 + A_1) q, \quad (2.5.7.6)$$

$$l'' = \frac{y}{(\Delta B_2 m_1 + B_2) q + \Delta b_1 m_1 + b_1 + \delta b_1} + \delta l, \quad (2.5.7.7)$$

$$B_f = B_{\text{ცხრ}} + \frac{x - X}{\Delta X} = B_{\text{ცხრ}} + m_1, \quad (2.5.7.8)$$

$$q = y^2 \cdot 10^{-10}, \quad (2.5.7.9)$$

$$m_1 = \frac{x - X}{\Delta X} = (B_f - B_{\text{ცხრ}}), \quad (2.5.7.10)$$

სადაც $B_2, \Delta B_2, A_1, A_2$ — ძირითადი სიდიდეებია, რომელთა ოდენობები ამოღებულია (5) ცხრილიდან.

დანარჩენი სიდიდეების ოდენობები კი ამოიღება (1) და (3) ცხრილებიდან. ვთქვათ, მოცემულია E წერტილის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატებში გაუსის პროექციებში $x = 4\ 806\ 031,8$ მ, $y_{\text{ცხრ}} = 8\ 728\ 908,1$ მ. საჭიროა ამ წერტილის გეოდეზიური კოორდინატების გამოთვლა. (2) სქემაში შესრულებულია მოქმედებები შემდეგი თანამიმდევრობით:

1, 2, 3 მოქმედებები განმარტებას არ საჭიროებს; 4. (9) ტოლობით $q = y^2 \cdot 10^{-10} = (228\ 908,1)^2 \cdot 10^{-10} = +5,2\ 399$; 5. მოქმედება ნათელია; 6. (1) ცხრილის X სვეტიდან ამოიწერება E წერტილის $x = 4\ 806\ 031,80$ აბსცისაზე უახლოესი ნაკლები ოდენობა $X = 4\ 799\ 836,61$ მ (სფერული აბსცისა); 7. $x - X = 4\ 806\ 031,80 - 4\ 799\ 836,61 = +6\ 195,19$; 8. (1) ცხრილის ΔX სვეტიდან X -ის შესაბამისი მნიშვნელობა $\Delta X = +30,8\ 619$ და (10) ფორმულით $m_1 = (x - X) : \Delta X = 6\ 195,19 : 30,8\ 619 = +200'',739$; 9. $B_{\text{ცხრ}}$ ამოიწერება (1) ცხრილიდან X -ის შესაბამისად, ე. ი. $B_{\text{ცხრ}} = 43^\circ 20'$ და (8) ფორმულის მიხედვით $B_f = B_{\text{ცხრ}} + m_1 = 43^\circ 20' + 200'',739 = 43^\circ 23' 20'',739$; 10. (5) ცხრილიდან $B_{\text{ცხრ}}$ შესაბამის სტრიქონიდან $A_2 = -375 \cdot 10^{-5} = -0,00375$ და (6) ფორმულისათვის ვსაზღვრავთ $A_2 \cdot q = -0,00375 \cdot 5,2399 = -0,0196$; 11. (5) ცხრილიდან $\Delta A_1 = +232 \cdot 10^{-6}$ და მას არითმომეტრით ვამრავლებთ m_1 -ზე, ე. ი. $\Delta A_1 \cdot m_1 = +232 \cdot 10^{-6} \cdot 200,739 = +0,0465$; 12. (5) ცხრილიდან $A_1 = +239\ 269 \times 10^{-6} = +23,9269$; 13. (6) ფორმულისათვის 10, 11, 12 ჩანაწერების ალგებრული ჯამი აღენიშნოთ t -თი, ე. ი. $t = A_2 \cdot q + \Delta A_1 m_1 + A_1 = -0,0196 + 0,0466 + 23,9269 = +23,9539$; 14. (5) ფორმულისათვის $-t \cdot q = -23,9539 \times 5,2399 = -125'',516$; 15. (5) ფორმულით $B = B_f - (B_f - B)$ ამისათვის 9 მოქმედების შედეგს დაეუბატოთ ალგებრულად 14 მოქმედების შედეგი, ე. ი. $B = 43^\circ 23' 20'',739 - 125'',516 = 43^\circ 21' 15'',223$; 16. (5) ცხრილიდან $\Delta B_2 = +20 \cdot 10^{-6}$ და მას ვამრავლებთ m_1 -ზე, ე. ი. $\Delta B_2 \cdot m_1 = +20 \cdot 10^{-6} \cdot 200'',739 = +0,000\ 004$; 17. (5) ცხრილიდან $B_2 = +25\ 611 \cdot 10^{-7} = +0,0025611$; 18. (7) ფორმულისათვის 16 და 17 მოქმედების შედეგთა ჯამი $0,0000040 + 0,0025611 =$

$= +0,0025651$; 19. 18 მოქმედების შედეგის ნამრავლი q -ზე, ე. ი. $C = 0,0025651 \cdot 5,2399 = +0,013441$; 20. (1) ცხრილიდან $\Delta b_1 = -10\ 284 \cdot 10^{-8}$, ხოლო $\Delta b_1 \cdot m_1 = -10\ 284 \cdot 10^{-8} \cdot 200'' \cdot 739 = -0,020644$; 21. (1) ცხრილიდან $b_1 = +225\ 278\ 20 \cdot 10^{-8}$; 22. (2) ცხრილიდან m_1 სათვის, ანუ 199-სა და 220 შორის $b_1 = +0,000021$, იგი ყოველთვის დადებითი ნიშნით აიღება; 23. ალგებრული უკანა 19, 20, 21, 22 ჩანაწერებისა, ე. ი. $K = +22,520638$; 24. $y : K = +228\ 908,1 : 22,520\ 638 = +10\ 164'',370$; 25. (4) ცხრილიდან $9\ 570''$ და $10\ 230''$ შორის ამოვიწერათ $\delta l = +0'',003$, რადგანაც 24 თანამიმდევრობაში $l'' \approx 10\ 164'',379$ δl აიღება $0,003$ და ნიშანი იგივე ექნება, რაც აქვს l ზონალურ გრძელს; 26. (i) ფორმულით ანუ 24 და 25 ჩანაწერების უკანა $l'' = 10\ 164'',370 + 0'',003 = 10\ 164'',373$; 27. $l = +2^\circ\ 49'\ 24'',373$; 28. მეგრე ზონის ღერძა მერიდიანის გრძელი $L_0 = 45^\circ$; 29. მაშასადამე, $L = L_0 + l = 47^\circ\ 49'\ 24'',373$.

ცხრილი 2.5.7.4

წ"	მ"
	10 ⁻³
6 940	0
8 60	1
9 570	2
1) 2 0	3
10 700	4
11 200	5
11 580	6
11 920	7
12 220	8
12 490	9
12 600	10

ცხრილი 2.5.7.5

$B_{ცხრ}$	B_2	ΔB_2	A_1	ΔA_1	A_2
	+10 ⁻⁷	+10 ⁻⁸	+10 ⁻⁴	+10 ⁻⁶	-10 ⁻⁶
42° 00'	24 676	19	22 8423	222	347
10	791	19	9754	223	351
20	9 16	19	23 1092	224	354
30	25 021	19	2436	225	358
40	137	20	3768	227	361
50	254	20	5148	228	364
43 00	25 872	20	23 6 14	229	363
10	491	20	7888	230	372
20	611	20	9269	232	375
30	732	20	24 0 58	233	379
40	853	20	2054	234	383
50	978	21	3459	235	387
44 00	26 089	21	24 4871	237	390

სქემა 2.5.7.2

მოქმედებთა №№	ფორმულის ელემენტები	პუნქტი	E
1	2	3	
1	x		4 806 031,8
2	y გარდაქმნილი (პირობ.)		8 728 908,1
3	y ნამდვილი		+ 228 908,1
4	$q = y^2 \cdot 10^{-10}$		+ 5,2399
8	$m_1 = (x - X) : \Delta X$		+ 200'',739

1	2	3
10	$A_2 q$	— 0,0196
11	$\Delta A_1 m_1$	+ 0,0466
12	A_1	+ 23,9269
13	$A_2 q + \Delta A_1 m_1 + A_1 = l$	+ 23,9539
5	x	4 806 031,80
6	X	4 799 836,61
7	$x - X$	+ 6 195,19
9	$B_f = B_{\text{ობს}} + m_1$	43° 23' 20",739
14	$-(B_f - B) = -l q$	— 125",516
15	$B = (9) + (14)$	43° 21' 15",223
16	$\Delta B_2 m_1$	+ 0,0000040
17	B_2	+ 0,0025611
18	$\Delta B_2 m_1 + B_2$	+ 0,0025651
19	$(\Delta B_2 m_1 + B_2) q = C$	+ 0,013441
20	$l b_1 m_1$	— 0,020644
21	b_1	+ 22,527820
22	bb_1	+ 0,000021
23	$C + \Delta b_1 m_1 + b_1 + bb_1 = K$	+ 22,520638
24	$y : K = (3) : (23)$	+ 10 164",370
25	yl	+ 0,003
26	l''	10 164",373
27	l	+ 2° 49' 24",373
28	L_0	45°
29	$L = l + L_0$	+ 47° 49' 24",373

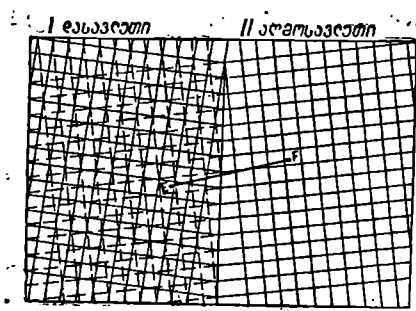
2.5.8. გაუსის პროექციებში ემსგრაღუსიანი ზონის წარტილის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატების გარღამენ მომეჯნავე ემსგრაღუსიანი ზონის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატების საშუალებით

წინა პარაგრაფებში შედგენილი ნახაზების მიხედვით დავსკენით, რომ კილომეტრული ბადის ხაზები ადგენს გარკვეულ კუთხეებს ჩარჩოს გვერდებთან ანუ მერიდიანებთან და პარალელებთან. ამის მიზეზია ის, რომ ზონის კილომეტრული ბადის ვერტიკალური ხაზები პარალელურია ღერძა მერიდიანისა,

ხოლო თარაზული ხაზები — ეკვატორისა, მაშინ როდესაც, ფაქტობრივად მერიდიანები ურთიერთპარალელურები არ არის და მათი შეახლოება ხდება პოლუსებთან, ხოლო პარალელები კი რაც მეტად შორდება ღერძა მერიდიანს, მით მეტად იხრება ეკვატორიდან.

საყურადღებოა, რომ ზონის საზღვარზე მღებარე ტრაპეციის კოორდინატთა ბადის ვერტიკალური ხაზები ცრაპეციის ჩარჩოს გვერდებთან ადგენს შედარებით დიდ კუთხეებს, ხოლო აღმოსავლეთ მხრიდან ღერძა მერიდიანზე მიმხრობილი ტრაპეციის ჩარჩოს დასავლეთი გვერდი პარალელურია ბადის ვერტიკალური ხაზებისა და აღმოსავლეთი გვერდი კი შედარებით მცირე კუთხეს ადგენს ბადის ვერტიკალურ ხაზთან.

მაშასადამე, თუ ვისურვებთ ორი მომიჯნავე ზონის კოორდინატთა ბადის შეერთებას, მათი ღერძა მერიდიანების არაპარალელურობის გამო ვნახავთ, რომ ამ ზონების კოორდინატთა ბადის ხაზები იქნება გარკვეული კუთხეებით ურთიერთ განლაგებული (ნახ. 1). აღნიშნული მდგომარეობის გამო შეიძლება წარმოიშვას დაბრკოლება სხვადასხვა ზონის მომიჯნე რუკების გამოყენების დროს. მაგალითად, როცა ცნობილია სხვადასხვა (დასავლეთი და აღმოსავლეთი) ზონის ურთიერთმომიჯნავე რუკებზე E და F წერტილების კოორდინატები, მათ შორის მანძილს ვერ გამოვითვლით, რადგანაც ორივე ზონას თავისი კოორდინატთა სათავე აქვს. მაშასადამე, ამოსახსნელია ამოცანა, თუ როგორ დავაკავშიროთ ორივე წერტილი ერთ-ერთი ზონის კოორდინატთა სათავესთან. ამ ამოცანის ამოხსნა შეიძლება გრაფიკულად მომიჯნავე რუკების კოორდინატთა ბადის ურთიერთ გადაფარვით ან გადასაყვანით ფორმულებისა და სათანადო ცხრილების გამოყენებით.



ნახ. 2.5.8.1.

4. ზონების საზღვრის მახლოვანი მომიჯნავე რუკების კოორდინატთა გადაშლის გადაფარვის, ანუ ორმაგი ბადის ხეჩი

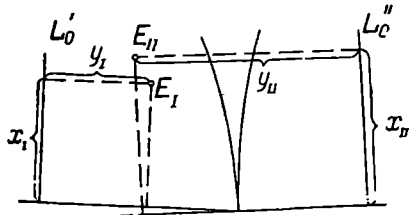
1 : 25 000 — 1 : 200 000 რუკების ფურცლებზე, რომლებიც მღებარეობენ ზონის განაპირა (სასაზღვრო) მერიდიანიდან აღმოსავლეთით და დასავლეთით 2° -ის ფარგლებში, აიგება დამატებითი კილომეტრული ბადე, რომელიც წარმოადგენს ცნობილი წესით აგებული ყოველი რუკის მომიჯნავე დასავლეთი ან აღმოსავლეთი ფურცლების კილომეტრული ბადეების გაგრძელებას. მაგალითად, (1) ნახაზზე აღმოსავლეთით (11) ფურცელი ფარავს დასავლეთ (1) ფურცელს, რაც იმას ნიშნავს, რომ E წერტილის კოორდინატების სათავეც იქნება აღმოსავლეთი ზონის, ანუ F წერტილის კოორდინატთა სათავე. მაშასადამე, წვეტილი კილომეტრული ხაზების საშუალებით განსაზღვრული E

წერტილისა და აღმოსავლეთი ზონის, ანუ მთლიანი იგივე კილომეტრული ხაზების მიმართ განსაზღვრული F წერტილის კოორდინატებით შეგვეძლება პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის შესაბამისად (იხ. 2.6.1 პარაგრაფი) EF მანძილის განსაზღვრა. (2.5.6.5) ნახაზი წარმოადგენს მერვე ზონის იმ ფურცელს, რომელიც მდებარეობს გადაფარვის ფარგლებში. ამ ფურცელზე მერვე ზონის მიმართიანი ჩარჩოს და მის გარე ჩარჩოს შორის კვესრუებით აღნიშნულია მომიჯნე მეცხრე ზონის ფურცლის კილომეტრული ბადის ხაზების გაგრძელებები და სათანადო რიცხვები წარწერილია გარე ჩარჩოს გარშემო. E წერტილის კოორდინატების განსაზღვრისათვის საჭირო წყვეტილი ხაზები მიიღება მერვე ჩარჩოს ურთიერთმობირდაპირი გვერდებზე თანამოსახლე კვესურების შეერთებით. მაგალითად, 2.5.6.5 ნახაზზე მერვე ზონის მიმართ, როგორც წინა პარაგრაფიდან ვიცით, E წერტილის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატებია $x_E^0 = 4806\ 031,8$ მ, $y_E^0 = 8728\ 908,1$ მ, ხოლო იმავე წერტილის კოორდინატები მეცხრე ზონის სისტემაში განისაზღვრება იმავე რუკის გარე ჩარჩოზე წარწერილი 4806 — 4806 და 9242 — 9242 წყვეტილი ხაზების მიმართ: $x_E^0 = 4806\ 998,0$ მ და $y_E^0 = 9242\ 454,8$ მ.

რაც შეეხება 1:10 000 რუკას, მასზე დამატებითი ბაღე იქმნება მხოლოდ იმ ფურცლებზე, რომელთა ჩარჩოს ერთ-ერთი გვერდი ემთხვევა ზონის სასაზღვრო მერიდიანს. მაგალითად, (2.5.6.6) ნახაზი წარმოადგენს 1:10 000 რუკას, რომლის ჩარჩოს აღმოსავლეთი გვერდი მერვე ზონის აღმოსავლეთ სასაზღვროა, ანუ მეცხრე ზონის დასავლეთ სასაზღვრო მერიდიანს ემთხვევა. მაშასადამე, მასზე უნდა იყოს მეორე ბაღე მისი მოსაზღვრე დასავლეთი ფურცლის ან აღმოსავლეთი ფურცლის კილომეტრული ბადის ხაზების გაგრძელების შედეგად.

B. გადასახვანი ფორმულებისა და სათანადო ცხრილების გამოყენების ხერხი

ვთქვათ, E წერტილი I (დასავლეთ) ზონის რუკაზე აღნიშნულია E_I სიმბოლოთი და მისი ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატები გაუსის პროექციებში არის x_I, y_I , ხოლო იგივე E წერტილი მომიჯნავე რუკაზე, რომელიც ეკუთვნის



ნახ. 2.5.8.2.

II (აღმოსავლეთ) ზონას, აღნიშნულია E_{II} სიმბოლოთი, რომლის კოორდინატები მეორე ზონის კოორდინატთა სათავეს მიმართ არის x_{II}, y_{II} (ნახ. 2).

როცა ცნობილია E_I წერტილი, ანუ E წერტილის x_I, y_I კოორდინატები დასავლეთი ზონის სისტემის მიმართ და ამ მონაცემებით საჭიროა E_{II} წერტილის, ანუ იმავე E წერტილის $x_{II},$

y_{II} კოორდინატების განსაზღვრა აღმოსავლეთ ზონის კოორდინატთა სისტემის მიმართ, ამბობენ — კოორდინატების გაანგარიშება ხდება დასავლეთ ზონიდან აღმოსავლეთ ზონაში, ხოლო წინააღმდეგ შემ-

თხვევაში: ანუ როცა E წერტილის ცნობილი x_{II}, y_{II} კოორდინატებით გ - მოითვლება იმავე წერტილის x_I, y_I კოორდინატები, ამბობენ კოორდინატების გადაანგარიშების შესახებ აღმოსავლეთ ზონიდან დასავლეთ ზონაში.

მოცემული ამოცანის ამოხსნა პირველ შემთხვევაში შეიძლება x_I, y_I საშუალებით E_I წერტილის B_I, l_I გეოდეზიური კოორდინატების გამოთვლით, შემდეგ გამოითვლით იმავე წერტილის მეორე ზონაში გეოდეზიურ კოორდინატებს ფორმულებით: $B_{II} = B_I$ და $l_{II} = l_I + \delta^\circ$, ხოლო ცნობილი B_{II}, l_{II} გეოდეზიური კოორდინატებით გამოითვლება x_{II}, y_{II} . ანალოგიური გამოთვლები ხდება მეორე შემთხვევაშიც. ამოცანის ამოხსნის ეს გზა შრომატევადია. აღნიშნული ამოცანის ამოხსნა შედარებით მოხერხებული და უნივერსალურია ვ. მოროზოვის ფორმულების შესაბამისი ცხრილების [27] გამოყენებით, რომელიც ამოღებულია კრასოვსკის ელიფსოიდის ზედაპირზე გეოდეზიური ხაზების აზიმუტებისა და სიგრძეების სახელმძღვანელოდან (იხ. პირველი ცხრილი). ეს ცხრილები კოორდინატების გადაანგარიშების საშუალებას იძლევა გაუსის ერთი ექვსკრადუსიანი ზონიდან მეორე ექვსკრადუსიან ზონაში მთელი ზონის სიგანის ფარგლებში.

ასეთი გარდაქმნებისათვის არსებობს ფორმულები:

$$\left. \begin{aligned} x_{II} &= x_I + c_0 + (c)_x c + (k)_x k + (c^2)_x c^2 + (ck)_x ck + (k^2)_x k^2 + \\ &\quad + (c^3)_x c^3 + (c^2k)_x c^2k + (ck^2)_x ck^2 + (k^3)_x k^3 \\ y_{II} &= y_I + k_0 + (c)_y c + (k)_y k + (c^2)_y c^2 + (ck)_y ck + (k^2)_y k^2 + \\ &\quad + (c^3)_y c^3 + (c^2k)_y c^2k + (ck^2)_y ck^2 + (k^3)_y k^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.5.8.1)$$

სადაც x_I, y_I არის მოცემულ ზონაში პუნქტის ცნობილი კოორდინატები რომლებიც უნდა გარდაიქმნან (ჩვენს შემთხვევაში დასავლეთი ზონა);

x_{II}, y_{II} — უცნობი კოორდინატები იმავე პუნქტისა მომიჯნავე ზონაში (ჩვენს შემთხვევაში აღმოსავლეთი ზონა).

$c_0, (c)_x, (k)_x, k_0, (c)_y, (k)_y$ } — ცხრილური მნიშვნელობები, რომლებიც ამოიწერებიან

(1) ცხრილიდან ინტერპოლაციის გარეშე x_0 და y_0 არგუმენტების შესაბამისად.

c და k წარმოადგენს საინტერპოლაციო ნამრავლებს, რომლებიც გამოითვლება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} c &= (x_I - x_0) \cdot 10^{-5} \\ k &= (y_I - y_0) \cdot 10^{-5} \end{aligned} \right\} \quad (2.5.8.2)$$

სადაც x_0 არის x_I ოდენობაზე ნაკლები ან მეტი ასი კილომეტრის ჯერადი მნიშვნელობა (x_0 არის x_I დამრგვალებული ოდენობა ნაკლებობით ან მეტობით);

y_0 — ცხრილური ორდინატი, რომელიც მოცემულია x_0 ქვემოთ. (1) ფორმულაში (1) ცხრილიდან კოეფიციენტები ზედა ნიშნებით ამოიწერება, როცა კოორდინატების გადაანგარიშება ხდება აღმოსავლეთი ზონიდან მომიჯნავე და-

საკლეთ ზონაში, ხოლო ქვედა ნიშნებით ამოიწერება, როცა გადაანგარიშება ხდება დასაკლეთი ზონიდან მომიჯნავე აღმოსავლეთ ზონაში.

გადაანგარიშებას ახდენენ ორჯერ კოორდინატების ერთი ზონიდან მეორე ზონაში გარდაქმნისათვის და კონტროლის მიზნით მეორე ზონის გარდაქმნილი კოორდინატებით პირველი ზონის ცნობილი კოორდინატების მიღებისათვის. გარდა ამ კონტროლისა, კარგია კოეფიციენტების ორი სისტემის გამოყენებით კონტროლი. აქ (1) ცხრილიდან ერთის არგუმენტი იქნება კოეფიციენტები, როცა $x_0 < x_I$, დამრგვალებული ნაკლებობით და მეორე, როცა $x_0 > x_I$. ე. ო. x_0 დამრგვალებულია x_I -ზე მეტობით. თუ რამდენი ათწილადი ნიშნით უნდა იქნეს მიღებული გამონათვლები ნაჩვენებია (1) სქემაში. ეს სქემა შედგება ორ ნაწილისაგან. პირველ ნაწილში შესრულებულია E წერტილის დასაკლეთი ზონის x_I , y_I კოორდინატების საშუალებით იმავე წერტილის აღმოსავლეთი ზონის x_{II} , y_{II} კოორდინატების გამოთვლა და მეორე ნაწილში კი კონტროლის მიზნით შესრულებულია საწინააღმდეგო მოქმედებები — იგივე წერტილის აღმოსავლეთი ზონის x_{II} , y_{II} კოორდინატების საშუალებით მისი x_I , y_I კოორდინატების გამოთვლა დასაკლეთი ზონის კოორდინატთა ზონის სისტემის მიმართ. (1) სქემის ორივე ნაწილში მესამე სვეტი წარმოადგენს ძირითადს, სადაც გამოთვლილია წერტილის კოორდინატები $x_0 < x_I$ და $x_0 < x_{II}$ მნიშვნელობებისათვის, ხოლო მეოთხე სვეტი არის საკონტროლო და შედგენილია $x_0 > x_I$ და $x_0 > x_{II}$ -სათვის. მაშასადამე, მოქმედებათა თანამიმდევრობა (1) სქემის ორივე ნაწილისა, მათი მესამე-მეოთხე სვეტებისათვის ერთნაირია. ამიტომ სანიმუშოდ განვიხილოთ I ნაწილის მესამე სვეტი პირველი სვეტის თანამიმდევრობის მიხედვით. 1 და 2 მოქმედება ცნობილია; 3. შევარჩიეთ $x_0 = 4800$ კმ; 4. (1) ცხრილიდან $y_0 = +250$ კმ; 5. (2) ფორმულით $(x_I - x_0) \cdot 10^{-5} = (4806031,8 - 4800000,0) \cdot 10^{-5} = +0,06032$; 6. (2) ფორმულაში $(y_I - y_0) \cdot 10^{-5} = (228908,1 - 250000) \cdot 10^{-5} = -0,21092$; 7--13 მოქმედებები ნათელია; 14. (1) ცხრილიდან $x_0 = 4800$ შესაბამისად $c_0 = -469,56$; 15. (1) ცხრილიდან (c)_x აიღება არითმომეტრზე და მრავლდება c-ზე ანუ $-265,77 \cdot (+0,06032) = -16,03$; 16. (1) ცხრილიდან $-7177,76 \times (-0,21092) = +1513,93$; 17--23 მოქმედებები ნათელია, მხოლოდ არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ დასაკლეთიდან (I ნაწ.) აღმოსავლეთში გადაანგარიშების დროს (1) ცხრილიდან კოეფიციენტები ყოველთვის ქვედა ნიშნებით ამოიწერება, ხოლო აღმოსავლეთიდან (II ნაწ.) დასაკლეთ ზონაში გადაანგარიშების დროს კი ზედა ნიშნებით; 24. (1) ფორმულის შესაბამისად შეიკრიბება პირველი და თოთხმეტიდან ოცდასამამდე (ჩათვლით) მოქმედებების შედეგები; მივიღებთ $x_{II} = 4807061,9$ მ. ანალოგიურად ამოიღება (I) ცხრილიდან $y_0 = +250$ კმ კოეფიციენტები ქვედა ნიშნებით და სათანადო ნამრავლები ჩაიწერება მესამე სვეტში და ბოლოს განისაზღვრება ჯამი $y_{II} = -257539,2$ მ.

როგორც ვთქვით, მეოთხე სვეტი სრულდება საკონტროლოდ ($x_{II} = 4900$) ზემოთ შესრულებული თანამიმდევრობის ანალოგიურად.

x ₀	c ₀		(c) _x		(k) _x		(c ²) _x		(ck) _x		(k ²) _x		(c ²) _y		(ck) _y		(k ²) _y	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
4 400	+	491,23	-	214,59	± 6 652,00	-	6,40	-	6,40	± 123,40	+	6,40	0,00	± 0,84	+	0,01	± 2,82	
± 250		± 514 674,97	± 6 639,00	-	214,59	± 62,95	± 62,95	-	12,50	-	± 62,95	-	0,01	± 0,84	± 0,03			
4 500	+	270,21	-	227,40	± 6 313,05	-	6,41	-	6,41	± 124,11	+	6,41	0,00	± 0,86	0,00	± 2,85		
± 250		± 507 924,20	± 6 613,05	-	227,40	± 61,10	± 61,10	-	12,81	-	± 61,10	-	0,00	± 0,86	0,00	± 2,85		
4 600	+	36,44	-	240,21	± 6 936,98	-	6,40	-	6,40	± 122,46	+	6,40	0,00	± 0,87	-	0,01	± 2,91	
± 250		± 501 049,34	± 6 936,98	-	240,21	± 61,22	± 61,22	-	12,81	-	± 61,22	-	0,00	± 0,87	-	0,01	± 2,91	
4 700	-	210,17	-	253,01	± 7 057,96	-	6,39	-	6,39	± 120,70	+	6,39	0,00	± 0,89	-	0,02	± 2,96	
250		± 491 052,03	± 7 057,96	-	253,01	± 60,35	± 60,35	-	12,78	-	± 60,35	-	0,00	± 0,89	-	0,02	± 2,96	
4 800	-	469,56	-	265,77	± 7 177,76	-	6,37	-	6,37	± 119,91	+	6,37	± 0,01	± 0,90	-	0,02	± 3,00	
250		± 486 921,02	± 7 177,76	-	265,77	± 59,46	± 59,46	-	12,74	-	± 59,46	-	± 0,01	± 0,90	-	0,02	± 3,00	
4 900	-	741,70	-	278,49	± 7 291,76	-	6,35	-	6,35	± 117,10	+	6,35	± 0,01	± 0,91	-	0,03	± 3,06	
± 250		± 479 697,10	± 7 295,76	-	278,49	± 58,55	± 58,55	-	12,69	-	± 58,55	-	± 0,01	± 0,91	-	0,03	± 3,06	
5 000	-	1 026,53	-	291,15	± 7 411,94	-	6,31	-	6,31	± 115,25	+	6,31	± 0,01	± 0,93	-	0,04	± 3,09	
250		± 423 343,09	± 7 411,94	-	291,15	± 57,63	± 57,63	-	12,42	-	± 57,63	-	± 0,01	± 0,93	-	0,04	± 3,09	

კორდინატების გადაანგარიშება დასაველეთიდან აღმოსავლეთ ზონაში I

პოკმედების №№	ფორმულების ელემენტები	x_0 მნიშვნელობისათვის x_1 -ზე ნაკლებობით	x_0 მნიშვნელობისათვის x_1 -ზე მეტობით კონტრალო
1	x_1	4 806 031,8	4 806 031,8
2	y_1	+ 228 908,1	+ 228 908,1
3	x_0	4 900	4 900
4	y_0	+ 250	+ 250
5	c	+ 0,06032	- 0,93968
6	k	- 0,21092	- 0,21092
7	c^2	+ 0,0036	+ 0,8830
8	ck	- 0,0127	+ 0,1982
9	k^2	+ 0,0445	+ 0,0445
10	c^3	0,00	- 0,83
11	c^2k	0,00	- 0,19
12	ck^2	0,00	- 0,04
13	$0,1k^3$	0,00	0,00
14	c_0	- 469,56	- 741,70
15	$(c)_x \cdot c$	- 16,03	+ 261,69
16	$(k)_x \cdot k$	+ 1 513,93	+ 1 598,82
17	$(c^2)_x \cdot c^2$	- 0,02	- 5,61
18	$(ck)_x \cdot ck$	+ 1,51	- 23,21
19	$(k^2)_x \cdot k^2$	+ 0,28	+ 0,28
20	$(c^3)_x \cdot c^3$	0,00	- 0,01
21	$(c^2k)_x \cdot c^2k$	0,00	- 0,17
22	$(ck^2)_x \cdot ck^2$	0,00	0,00
23	$(k^3)_x \cdot 0,1k^3$	0,00	0,00
24	x_{II}	4 807 061,9	4 807 061,9
25	k_0	- 486 934,02	- 479 697,10
26	$(c)_y \cdot c$	+ 432,96	- 6 835,68
27	$(k)_y \cdot k$	+ 56,06	+ 58,74
28	$(c^2)_y \cdot c^2$	+ 0,21	+ 51,70
29	$(ck)_y \cdot ck$	+ 0,16	- 2,52
30	$(k^2)_y \cdot k^2$	- 2,65	- 2,61
31	$(c^3)_y \cdot c^3$	0,00	+ 0,25
32	$(c^2k)_y \cdot c^2k$	0,00	- 0,01
33	$(ck^2)_y \cdot ck^2$	0,00	- 0,04
34	$(k^3)_y \cdot 0,1k^3$	0,00	0
35	y_{II}	- 257 539,2	- 257 539,2
36	y გარდაქმნილი	9 242 460,4	

ქორდინატების გადაანგარიშება აღმოსავლეთიდან დასავლეთ ზონაში II კონტროლი

მოკმელების №№	ფორმულების ელემენტები	პო მნიშვნელობისათვის x_{II} -ზე ნაკლებობით	პო მნიშვნელობისათვის x_{II} -ზე მეტობით კონტროლი
1	x_{II}	4 807 061,8	4 807 061,8
2	y_{II}	- 257 539,2	- 257 539,2
3	x_0	4 800	4 900
4	y_0	-- 250	-- 250
5	c	+ 0,07062	-- 0 92038
6	k	-- 0,07539	-- 0,07539
7	c^2	+ 0,0050	+ 0,8637
8	ck	-- 0,0053	+ 0,0701
9	k^2	÷ 0,0057	+ 0,0057
10	c^3	0,00	-- 0,80
11	c^2k	0,00	-- 0,07
12	ck^2	0,00	-- 0,01
13	$0,1k^3$	0,00	0,00
14	c_0	-- 469,56	-- 741,70
15	$(c)_x \cdot c$	-- 18,77	+ 258,82
16	$(k)_x \cdot k$	-- 541,13	-- 550,03
17	$(c^2)_x \cdot c^2$	-- 0,03	-- 5,48
18	$(ck)_x \cdot ck$	-- 0,63	+ 8,21
19	$(k^2)_x \cdot k^2$	+ 0,04	+ 0,04
20	$(c^3)_x \cdot c^3$	0,00	-- 0,01
21	$(c^2k)_x \cdot c^2k$	0,00	+ 0,06
22	$(ck^2)_x \cdot ck^2$	0,00	0,00
23	$(k^3)_x \cdot 0,1k^3$	0,00	0,00
24	x_I	4 806 031,8	4 806 031,8
25	k_0	+ 486 931,02	+ 479 697,10
26	$(c)_y \cdot c$	-- 506,89	+ 6 780,53
27	$(k)_y \cdot k$	+ 20,04	+ 21,00
28	$(c^2)_y \cdot c^2$	-- 0,30	-- 50,57
29	$(ck)_y \cdot ck$	+ 0,07	-- 0,89
30	$(k^2)_y \cdot k^2$	+ 0,34	+ 0,33
31	$(c^3)_y \cdot c^3$	0,00	-- 0,24
32	$(c^2k)_y \cdot c^2k$	0,00	0,00
33	$(ck^2)_y \cdot ck^2$	0,00	+ 0,01
34	$(k^3)_y \cdot 0,1k^3$	0,00	0,00
35	y_I	+ 228 908,1	+ 228 908,1
36	გარდაქმნილი	8 728 908,1	

მთავარი გეოდეზიური ამოცანები

მთავარ გეოდეზიურ ამოცანებში იგულისხმება პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანები.

პირდაპირ გეოდეზიურს უწოდებენ ამოცანას, როცა რაიმე წერტილის კოორდინატებით, ამ წერტილიდან მეორე წერტილზე მიმართულებით და მათ შორის მანძილით ისაზღვრება მეორე წერტილის კოორდინატები. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნით კი ისაზღვრება ორ წერტილს შორის მიმართულება და მანძილი ამ წერტილების კოორდინატების საშუალებით.

ზემოხსენებული ამოცანების ამოხსნა სრულდება როგორც სიბრტყეზე, ისე ელიფსოიდის ზედაპირზე. ამისათვის, როგორც ქვემოთ ვნახავთ, საჭიროა კავშირის დამყარება მართკუთხა და გეოდეზიური კოორდინატებისა პოლარ კოორდინატებთან. განხილადი ამოცანების ამოხსნა საჭიროა შემდეგი მიზეზებით:

როგორც ცნობილია (2.5.4 პარაგრა.), მოხერხებულობისა და სიზუსტის დაცევის მაქსიმალური შესაძლებლობის გამო გეგმებზე ან რუკებზე წერტილთა მდებარეობების გადატანა ხდება ბრტყელი მართკუთხა ან გეოდეზიური კოორდინატებით, რისთვისაც შესაბამისად იყენებენ კილომეტრულ ბადეს და რუკის ჩარჩოს. ადგილზე კი იზომება ამ წერტილების პოლარული კოორდინატები მანძილებისა და მიმართულებების სახით. მაშასადამე, უნდა ამოიხსნას პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანა, ხოლო რუკების რაიმე წერტილის ადგილზე გაგნებისათვის, გადატანისა და შესრულებული სამუშაოების კონტროლისათვის წერტილთა გაუსის ბრტყელი მართკუთხა ზონალური ან გეოდეზიური კოორდინატებით ისაზღვრება მანძილები და მათი მიმართულებები ანუ პოლარული კოორდინატები. მაშასადამე, უნდა ამოიხსნას შებოუნებული გეოდეზიური ამოცანა.

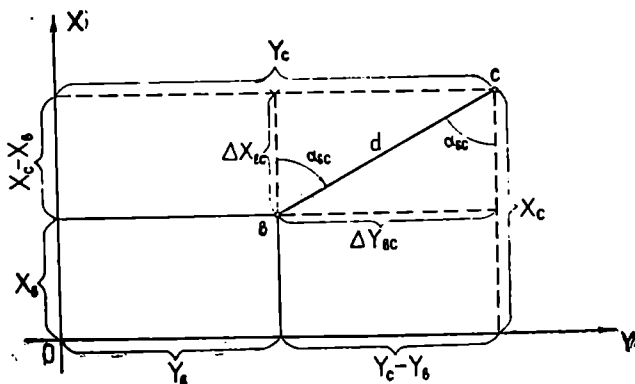
ცხადია, მცირე სივრცეებზე წერტილთა შორის ადგილზე მანძილები იქნება ქვედაბულები, ხოლო წერტილთა ბრტყელი კოორდინატების გამოსათვლელად (2.4.2.6) ფორმულით უნდა იქნეს გამოთვლილი დირექციული კუთხეები. დიდ სივრცეებზე (რუკებზე) ანალოგიური გამოთვლებისათვის საჭიროა ადგილზე განსაზღვრული ქვედაბულების დაგეკვილება ელიფსოიდის ზედაპირზე ანუ ადგილზე გაზომილ ქვედაბულებში შესწორების შეტანა, რის შედეგად ელიფსოიდის ზედაპირზე მივიღებთ წერტილთა შორის გეოდეზიურ ხაზებს; გამოსავალ წერტილებში გაზომილი ასტრონომიული აზიმუტებით გამოითვლება გეოდეზიური აზიმუტები (ელიფსოიდის ზედაპირზე გეოდეზიური ხაზების მიმართულებები), რაც საშუალებას მოგვცემს გეოდეზიური კოორდინატებით ამოხსნათ ელიფსოიდზე პირდაპირი და შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანები. რუკებზე ამ ამოცანების ამოხსნენლად დაგვირდება გაუსის პროექ-

ციებში წერტილთა ბრტყელი მართკუთხა ზონალური კოორდინატების განსაზღვრები ცნობილი წესით. როგორც ვთქვით პირდაპირი და შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა მოგვიხდება სიბრტყეზე ბრტყელი პოლარული და მართკუთხა კოორდინატებით, ხოლო სფეროს (ან სფეროიდის) ზედაპირზე სფერული (ან სფეროიდული), პოლარული (ან ზოლდნერის მართკუთხა) და გეოდეზიური კოორდინატებით.

2.6.1. პირდაპირი და შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე დეკარტის მართკუთხა კოორდინატებით

ა. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე

ვთქვათ, სიბრტყეზე b წერტილი არის გამოსავალი გეოდეზიური პუნქტი და ცნობილია მისი ბრტყელი მართკუთხა x_b, y_b კოორდინატები, ამ წერტილიდან c წერტილზე მიმართების მიმართულება α_{bc} დირექციული (ან მიმართების) კუთხე და მათ შორის თარაზული d მანძილი. საჭიროა განისაზღვროს c წერტილის ბრტყელი მართკუთხა x_c, y_c კოორდინატები (ნახ. 1), რითაც



ნახ. 2.6.1.1.

ზუსტად და ადვილად გადავიტანთ c წერტილს რუკაზე ან გეგმაზე კილომეტრული ბადის გამოყენებით. (1) ნახაზის მიხედვით დავწერთ:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= x_b + (x_c - x_b) = x_b + \Delta x_{bc} \\ y_c &= y_b + (y_c - y_b) = y_b + \Delta y_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.1.1)$$

იმავე ნახაზიდან ნაზრდები გამოითვლება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{bc} &= d \cdot \cos \alpha_{bc} \\ \Delta y_{bc} &= d \cdot \sin \alpha_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.1.2)$$

ან გალოგარიტმებით:

$$\left. \begin{aligned} \lg \Delta x_{bc} &= \lg d + \lg \cos \alpha_{bc} \\ \lg \Delta y_{bc} &= \lg d + \lg \sin \alpha_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.1.3)$$

მაშასადამე, (1) ტოლობები (2) ტოლობების შესაბამისად გადაიწერება შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= x_b + d \cos \alpha_{bc} \\ y_c &= y_b + d \sin \alpha_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.1.4)$$

(2.4.2.2) ცხრილის გამოყენებით (4) ტოლობები შეიძლება გამოვსახოთ დირექციული რუმების ანუ ცხრილური კუთხეების საშუალებით:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= x_b + d \cos r_{bc} \\ y_c &= y_b + d \sin r_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (2.6.1.5)$$

Δx_{bc} , Δy_{bc} ნაზრდების ნიშნები დამოკიდებულია α_{bc} დირექციულ კუთხეებზე ანუ r დირექციული რუმების (ცხრილური კუთხის) ნიშნაკზე, რომელიც კვადრანტის მიჩვენებელია. მაშასადამე, (2.4.2.1) და (2.4.2.2) ცხრილების საფუძველზე შეიძლება ნაზრდებისათვის შედგეს (1) ცხრილი.

ც ხ რ ი ლ ი 2.6.1.1

მიმართება	დირექციული კუთხეები α	კვადრანტი	დირექციული რუმები	$\cos \alpha$ ანუ Δx	$\sin \alpha$ ანუ Δy	დირექციული კუთხეები
bc_1	$0^\circ - 90^\circ$	I	$r_1 = \alpha_1$	+	+	$\alpha_1 = r_1$
bc_2	$90^\circ - 180^\circ$	II	$r_2 = 180^\circ - \alpha_2$	-	+	$\alpha_2 = 180^\circ - r_2$
bc_3	$180^\circ - 270^\circ$	III	$r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$	-	-	$\alpha_3 = 180^\circ + r_3$
bc_4	$270^\circ - 360^\circ$	IV	$r_4 = 360^\circ - \alpha_4$	+	-	$\alpha_4 = 360^\circ - r_4$

აქედან გამომდინარე, ნაზრდების ნიშნების დასადგენად ყოველთვის გამოსავალ (საწყის) წერტილში უნდა წარმოვიდგინოთ კოორდინატთა სათავე. Δx მივიჩნევთ დადებითად, თუ განსასაზღვრელი წერტილი გამოსავალი პუნქტის ანუ კოორდინატთა ღერძის ჩრდილოეთით არის, და მინუსად, თუ ეს წერტილი სამხრეთით იქნა ასევე, Δy დადებითად მიიღება, თუ განსასაზღვრელი წერტილი გამოსავალი წერტილის ანუ აბსცისათა ღერძის აღმოსავლეთითაა, და უარყოფითად, თუ იგი დასავლეთით მოექცა. გეომეტრიული თვალსაზრისით ასეთი მიდგომა სრულიად შეესაბამება მიმართული მონაკვეთების ოდენობის დადგენის საკითხს, რომელიც განხილულია (2.4.1) პარაგრაფში.

(2) ფორმულით საძებნი ოდენობები ისაზღვრება ტრიგონომეტრიული ფუნქციების ექვსნიშნა ნატურალური ცხრილებისა და არითმომეტრის გამოყენებით, ხოლო (3) ფორმულისათვის დაგვიკვირდება ლოგარითმების ექვსნიშნა ცხრილების გამოყენება.

მაგალითი 2.6.1.1. b წერტილის კოორდინატებია $x_b = 6\ 320\ 203,0$ მ; $y_b = 8\ 570\ 150,2$ მ; c წერტილამდე მანძილი $d = 5\ 180,36$ მ; bc მიმართების დირექციული კუთხე $\alpha_{bc} = 188^\circ 18' 20''$ ანუ დირექციული რუმები (ცხრილური კუთხე) $r_2 = 8^\circ 18' 20''$. საჭიროა განისაზღვროს c წერტილის x_c და y_c ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატები. გამოთვლები შესრულებულია (4) ტოლობების შესაბამისად როგორც არითმომეტრითა და ტრიგონომეტრიული ფუნქციების

ცირილია (პირველი სვემის ძარცხება მხარე), ისე (3) და (1) ტოლობების შესაბამისად ლოგარითმების ცხრილების გამოყენებით (პირველი სვემის მარჯვენა მხარეზე).

სქემა 2.ბ.1.1

არითმომეტრი

ლოგარითმები

მოქმედების №№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
I	α_{bc}	188° 18' 20"
9	$x_c = x_b + \Delta x_{bc}$	6 316 077,0
3	x_b	6 320 203,0
7	$\Delta x_{bc} = d \cdot \cos \alpha_{bc}$	-5 126,0
6	$\cos \alpha_{bc}$	-0,999512
2	d	5 180,36
5	$\sin \alpha_{bc}$	-0,144452
8	$\Delta y_{bc} = d \sin \alpha_{bc}$	-718,3
4	y_b	8 570 150,2
10	$y_c = y_b + \Delta y_{bc}$	8 569 401,9

მოქმედების №№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
I	α_{bc}	188° 18' 20"
II	x_c	6 316 077,0
3	x_b	6 320 203,0
9	Δx_{bc}	-5 126,0
7	$\lg \Delta x_{bc} = \lg d + \lg \cos \alpha_{bc}$	3.709 781 "
6	$\lg \cos \alpha_{bc}$	9.995 421 "
2	$\lg d$	3.714 360 "
5	$\lg \sin \alpha_{bc}$	9.159 724 "
8	$\lg \Delta y_{bc} = \lg d + \lg \sin \alpha_{bc}$	2.871 024 "
10	Δy_{bc}	-718,3
4	y_b	8 570 150,2
12	y_c	8 569 401,9

188° 18' 22" კუთხის კოსინუსი და სინუსი არის უარყოფითი [სქემა (1)]. მიუხედავად იმისა, რომ უარყოფით რიცხვებს ლოგარითმები არ აქვთ, გამოთვლებს მაინც ვაწარმოებთ ლოგარითმებით, რადგანაც ვითვალისწინებთ, იმას, რომ უარყოფითი $-a$ რიცხვის დადებით b რიცხვზე გადამრავლებით $-ab$ ნამრავლს მივიღებთ უარყოფითს, ხოლო ნამრავლის აბსოლუტური მნიშვნელობა იგივე იქნება, რაც დადებითი რიცხვის გადამრავლებით. მაშასადამე, განსხვავება იქნება მხოლოდ ნამრავლის ნიშანში. ამის გამო უარყოფითი რიცხვების მიმართაც შეიძლება გამოვიყენოთ ლოგარითმები ისევე, როგორც დადებითი რიცხვებისათვის ისე, რომ ნიშნებს ყურადღება არ მივაქციოთ, მხოლოდ უარყოფითი რიცხვის ლოგარითმებს უნდა მიუწეროთ n ნეგატივი, რაც ნიშნავს უარყოფითს (იხილეთ (1) სქემის 5 და 6 მოქმედებები). უნდა გვახსოვდეს, რომ რიცხვის ლოგარითმში n ნეგატივით არ არის უარყოფითი ლოგარითმი, არამედ ის არის უარყოფითი რიცხვის ლოგარითმი. როგორც ვიცით, ჩვენს შემთხვევაში $d \cos \alpha_{bc}$ და $d \sin \alpha_{bc}$ უარყოფითია. მაშასადამე, როცა ვკრებთ ორ ლოგარითმულ გამოსახულებას, რომელთაგანაც ერთ-ერთს აქვს n ნეგატივი, მათ უამსაც ვუწეროთ n ნეგატივს (იხილეთ (1) სქემის 7, 8 მოქმედებები), რაც იმას ნიშნავს, რომ ანტილოგარითმებს უნდა მიუწეროთ მინუსი ((1) სქემის 9, 10 მოქმედებები). მაშასადამე, განხილად შემთხვევაში, ვინაიდან $\lg \Delta x_{bc}$ და $\lg \Delta y_{bc}$ n ნეგატივები უწერია, Δx_{bc} და Δy_{bc} იქნება უარყოფითი. სქემაში ნაზრდებს აუცილებლად

ეწერება ნიშანი + ან —. თუ შესაკრებ ან ვამოსაკლებ ლოგარითმებს აქვთ ნეგატივები, მაშინ ისაზღვრება მათი ჯამი ან სხვარბა და იგულისხმება პლიუსად, ასევე, ანტილოგარითმებიც დადებითი იქნება (იხ. მე-2 სქემა).

B. ზებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიგრძეზე

ვთქვათ, b და c წერტილების ბრტყელი მართკუთხა x_b, y_b და x_c, y_c კოორდინატებით საჭიროა განისაზღვროს α_{bc} დირექციული კუთხე და მათ შორის d თარაზული მანძილი (ნახ. 1). მაშასადამე, ორი წერტილის მართკუთხა ბრტყელი კოორდინატებით ისაზღვრება პოლარული კოორდინატები სიბრტყეზე. ნახაზის მიხედვით

$$\operatorname{tg} \alpha_{bc} = \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b} = \frac{\Delta y_{bc}}{\Delta x_{bc}}, \quad (2.6.1.6)$$

$$d = \frac{\Delta y_{bc}}{\sin \alpha_{bc}} = \frac{\Delta x_{bc}}{\cos \alpha_{bc}} = \sqrt{\Delta x_{bc}^2 + \Delta y_{bc}^2}, \quad (2.6.1.7)$$

ანუ

$$d = \Delta x_{bc} \cos \alpha_{bc} + \Delta y_{bc} \sin \alpha_{bc}. \quad (2.6.1.8)$$

პირველ რიგში გამოითვლება α_{bc} დირექციული კუთხე (6) ფორმულით. აქ მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ კუთხის ტანგენსის ერთი და იმავე მნიშვნელობას ერთი წრებაზის ფარგლებში შეესაბამება ორი კუთხე, რომლებიც ურთიერთ განსხვავდებიან 180° . ამ ორი კუთხიდან საძებარი დირექციული კუთხე წრებაზის თუ რომელ კვადრანტშია — დგინდება Δx_{bc} და Δy_{bc} ნაზრდების ნიშნების საშუალებით, რაც ნათელია (1) ცხრილიდან.

(7) ფორმულაში ყოველი წილადის მრიცხველისა და მნიშვნელის ან (8) ფორმულაში თანამამრავლთა ნიშანი ერთნაირია (ცხრილი (1)), ე. ი. d მანძილი გამოდის ყოველთვის დადებითი. აქ მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის, რომ მანძილი, გამოთვლილი $d = \frac{\Delta y_{bc}}{\sin \alpha_{bc}}$ ფორმულით, როცა α_{bc} ახლოა 0° ,

90° ან 180° , 270° , შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს $d = \frac{\Delta x_{bc}}{\cos \alpha_{bc}}$

ფორმულით გამოთვლილი ოდენობებისაგან. ამის მიზეზია ის, რომ α კუთხის დამრგვალება მცირე ოდენობითაც კი იწვევს კუთხის სინუსის დიდი ოდენობით შეცვლას, როცა α კუთხე ახლოა 0° ან 180° , და ასევე, — კუთხის კოსინუსის დიდ შეცვლას, როცა α კუთხე ახლოა 90° ან 270° , ე. ი. d მანძილის განსაზღვრაში სავადასხვა ოდენობის შეცდომა გვექნება. მაშასადამე, როცა α დირექციული კუთხე არის კვადრანტების შუა სივრცეებში, ზეპოპსენებელი ფორმულები ურთიერთსაკონტროლოა და d მანძილის საბოლოო მნიშვნელობად მიიღება ორივე ფორმულით გამოთვლილი საშუალო არითმეტიკული, ხოლო წინააღმდეგ შეპოპსევაში d -ს მნიშვნელობად მიიღება არა საშუალო არითმეტიკული, არამედ მისი ის სიგრძე, რომელიც მიღებული იქნება Δx და Δy უფრო დიდი აბსოლუტური მნიშვნელობისათვის.

შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სრულდება არითმომეტრითა და ტრიგონომეტრიული ფორმულების ექსპანიშნა ცხრილებით ან ლოგარითმების ექსპანიშნა ცხრილების გამოყენებით.

ჩატვალითი 2.6.1.2. კოქვათ, $x_b = 632023,0$, $y_b = 8570150,2$ მ; $x_c = 6315077,0$, $y_c = 8569401,8$ მ. საჭიროა განისაზღვროს α_c და d მანძილი. იხილეთ (2) სქემაში.

სქემა 2.6.1.2

არათომეტრით			ლოკარითმებით		
მ.წ. №	ფორმულების ელემენტები	ოღნობები	მ.წ. №	ფორმულების ელემენტები	ოღნობები
4	y_c	8569 401,9	4	y_c	8569 401,9
2	y_b	8 570 150,2	2	y_b	8 570 150,2
6	$y_c - y_b - \Delta y_{bc}$	-748,3	6	$y_c - y_b = \Delta y_{bc}$	-748,3
3	x_c	6 315 077,0	3	x_c	6 315 077,0
1	x_b	6 320 203,0	1	x_b	6 320 203,0
5	$x_c - x_b = \Delta x_{bc}$	-5 126,0	5	$x_c - x_b = \Delta x_{bc}$	-5 126,0
7	$\operatorname{tg} \alpha_{bc} = \frac{\Delta y_{bc}}{\Delta x_{bc}}$	0,145931	14	$\lg d = \lg \Delta y_{bc} - \lg \sin \alpha_{bc}$	3,714 352
8	r_3	8° 12' 20"	12	$\lg \sin \alpha_{bc}$	9,159 724 n
9	α_{bc}	183° 18' 20"	7	$\lg \Delta y_{bc}$	2,874 076 n
10	$\sin \alpha_{bc}$	-0,144452	8	$\lg \Delta x_{bc}$	1,709 779 n
11	$\cos \alpha_{bc}$	-0,989512	13	$\lg \cos \alpha_{bc}$	9,995 421 n
12	$d = \frac{\Delta x_{bc}}{\cos \alpha_{bc}}$	5 180,33	15	$\lg d = \lg \Delta x_{bc} - \lg \cos \alpha_{bc}$	3,714 359
13	$d = \frac{\Delta y_{bc}}{\sin \alpha_{bc}}$	5 180,26	9	$\lg \operatorname{tg} \alpha_{bc} = \lg \Delta y_{bc} - \lg \Delta x_{bc}$	9,164 297
14	$d = \sqrt{\Delta x_{bc}^2 + \Delta y_{bc}^2}$	5 180,33	10	r_3	8° 18' 20"
15	$d = (5)(11) + (6)(10)$	5 180,33	11	α_{bc}	188° 18' 20"
			16	$\lg d = \frac{(14) + (15)}{2}$	3,714 355
			17	d	5 180,33

2.6.2. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა ელიფსოიდის ზედაპირზე გაუსის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატებით

კოქვათ, მოცემულია გამოსავალი წერტილი გაუსის ბრტყელი მართკუთხა ზონალური კოორდინატებით $x_1 = 4806031,8$; $y_1 = 8728903,1$; გეოდეზიური ხაზის სიგრძე $S = 482522,6$ და გამოსავალ წერტილში ამ ხაზის აზიმუტი $A_{1,2} = 134° 30' 14",5$. საჭიროა განისაზღვროს სიბრტყეზე შესაბამისი d ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის ბრტყელი მართკუთხა ზონალური x_2 , y_2 კოორდინატები.

ამოცანა ამოიხსნება შემდეგი თანამიმდევრობით:

A. გამოსავალ წერტილში გაუსით მერიდიანთა შეახლოების გამოთვლა;

- B. ხაზის ბოლო წერტილის მიახლოებითი კოორდინატების გამოთვლა;
 C. მანძილისა და მიმართულების რელექციების გამოთვლა;
 D. სიბრტყეზე ხაზის სიგრძისა და მისი დირექციული კუთხის გამოთვლა;
 E. ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის კოორდინატების საბოლოო გამოთვლა;
 F. ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის კოორდინატების სათანადო ექვსკრადუსიან ზონაში გადაანგარიშება.

A. გამოსავალ შიდათილში გაუსით მერიდიანთა შეახლოების გამოთვლა

ამ შემთხვევაში გამოიყენება (2.5.4.38) ან (2.5.4.39) ფორმულა, მაგრამ უფრო მოხერხებულია შემდეგი ფორმულის გამოყენება, რომელსაც აქვს ცხრილური სახე:

$$\gamma'' = (b) b + (ab) ab + (a^2b) a^2b + (b^2) b^2 + (ab^2) ab^2 + (a^2b) a^2b + (a^2b^2) a^2b^2 + (b^2) b^2, \quad (2.6.2.1)$$

სადაც (b) , (ab) , (a^2b) , (b^2) , ..., (b^2) — (1) ცხრილიდან ამოღებული სიდიდეებია

$$a = (x - x_0) \cdot 10^{-5}, \quad (2.6.2.2)$$

$$b = y \cdot 10^{-5}, \quad (2.6.2.3)$$

x_0 — გამოსავალი წერტილის აბსცისის მნიშვნელობაა, დამრგვალებული 100 კმ-მდე ნაკლებობით ან მეტობით.

(1) სქემაში (1) ტოლობის შესაბამისი გამოთვლები კონტროლის მიზნით შესრულებულია როგორც $x_0 = 4\ 800$ კმ (ნაკლებობით), ისე $x_0 = 4\ 900$ კმ (მეტობით) მნიშვნელობისათვის. ამავე დროს ნაჩვენებია ყოველი ცალკეული გამოთვლის საჭირო სიზუსტე (ათწილად ნიშნითა რაოდენობა); სქემაში 1 და 2 მოქმედებები ნათელია; 3 მოქმედება შეესაბამება (2) ფორმულას x_0 -ის ორივე მნიშვნელობისათვის (სქემის მესამე და მეოთხე სვეტი)

$$a = (x_1 - x_0) \cdot 10^{-5} = (4\ 806\ 031,8 - 4\ 800\ 000) \cdot 10^{-5} = +0,06032,$$

$$a = (x_1 - x_0) \cdot 10^{-5} = (4\ 806\ 031,8 - 4\ 900\ 000) \cdot 10^{-5} = -0,93968;$$

4. (3) ფორმულით (მესამე და მეოთხე სვეტი)

$$b = y \cdot 10^{-5} = (728\ 908,1 - 500\ 000) \cdot 10^{-5} = +2,28908;$$

5—13 მოქმედებები ახსნას არ საჭიროებს. 14—21 მოქმედებები წარმოადგენს x_0 ორივე მნიშვნელობისათვის (1) ცხრილიდან ამოღებულ (b) , (ab) , (a^2b) , (b^2) , (ab^2) , (a^2b) , (a^2b^2) , (b^2) ოდენობებისა და (1) სქემიდან შესაბამის 4—13 ოდენობების ნამრავლებს. 22 მოქმედებით ისაზღვრება γ მესამე და მეოთხე სვეტის 14—21 სტრიქონის ალგებრული ჯამით, სეკუნდებში. 23 მოქმედებით გამოითვლება ამ ჯამების საშუალო, გრადუსებში, მინუტებში და სეკუნდებში. როგორც ცნობილია, ნებისმიერ წერტილში მერიდიანთა შეახლოების კუთხის ნიშანი ყოველთვის იგივეა, რაც აქვს ამ წერტილის ორდინატს.

შოკები	ფორმულის ვლემები	შოკები წილებით	შოკები წილებით	შოკები წილებით	შოკები წილებით	შოკები წილებით
1	x_1	4806031,8	4806031,8			
2	x_0	4800	4800			
3	$a = (x_1 - x_0) \cdot 10^{-3}$	+ 0,0032	- 0,99963			
4	$b = y_1 \cdot 10^{-3}$	+ 2,28508	+ 2,28906			
5	a^2	+ 0,0036	+ 0,8830			
6	b^2	+ 5,2399	+ 5,2390			
7	ab	+ 0,198	- 2,151			
8	a^2b	+ 0,01	+ 2,02			
9	b^3	+ 12,00	+ 12,00			
10	ab^2	+ 1	- 11			
11	a^2b^2	0	- 2			
12	a^3b^2	0	+ 11			
13	b^4	+ 63	+ 63			
14	(ბ) b			14		+ 6973,45
15	(ბ) · აბ			15		+ 19,22
16	(ა ² ბ) · აბ ²			16		+ 0,01
17	(ბ ³) ბ ³			17		- 5,63
18	(აბ ²) აბ ²			18		- 0,02
19	(ა ² ბ) ა ² ბ			19		+ 0,00
20	(ა ³ ბ) ა ³ ბ			20		+ 0,00
21	(ბ ⁴) ბ ⁴			21		+ 0,01
22	γ''			22		6980,9
23	γ ₁			23		+ 1° 56' 20",8

შოკები	(ბ)	(აბ)	(ბ ²)	(აბ ²)	(ა ² ბ)	(ბ ³)	(აბ ³)	(ა ² ბ ²)	(ბ ⁴)	(აბ ⁴)	(ა ² ბ ³)	(ბ ⁵)
4 400	+ 2 684,322	+ 85,686	+ 1,110	- 0,3700	- 0,0215	- 0,5700	- 0,0215	- 0,0215	- 0,0215	- 0,0215	- 0,0215	- 0,0215
4 500	2 771,152	87,984	1,177	0,9123	0,0230	0,9123	0,0230	0,0230	0,0230	0,0230	0,0230	0,0230
4 600	2 860,937	90,400	1,246	0,4161	0,0247	0,4161	0,0247	0,0247	0,0247	0,0247	0,0247	0,0247
4 700	2 952,019	92,981	1,326	0,4418	0,0266	0,4418	0,0266	0,0266	0,0266	0,0266	0,0266	0,0266
4 800	3 043,963	95,714	1,408	0,4694	0,0287	0,4694	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287
4 900	3 138,504	98,719	1,493	0,4992	0,0309	0,4992	0,0309	0,0309	0,0309	0,0309	0,0309	0,0309
5 000	3 238,652	101,709	1,594	0,5314	0,0334	0,5314	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334

**В ხაზის გოლოვ წარტილის მიახლოებითი კოორდინატების
გამოთვლა**

ეს კოორდინატები გამოითვლება (2.6.1.4) ტოლობის შესაბამისად.

$$x_2 = x_1 + d \cos \alpha_{1,2}, \quad (2.6.2.4)$$

$$y_2 = y_1 + d \sin \alpha_{1,2}$$

სადაც ვუშვებთ, რომ სიბრტყეზე ხაზის d სიგრძე ტოლია სფეროიდზე წერტილებს შორის S გეოდეზიური ხაზისა ($d=S=482\ 523$ მ); აგრეთვე ვუშვებთ, რომ d ხაზის დირექციული $\alpha_{1,2}$ კუთხე ტოლია S გეოდეზიური ხაზის $A_{1,2}$ აზიმუტს გამოკლებული γ_1 , ე. ი. ვიყენებთ (2.4.2.6) ტოლობას $\alpha_{1,2} = A_{1,2} - \gamma_1 = 134^\circ 30' 14''$, $\delta = 1^\circ 56' 20''$, $\epsilon = 132^\circ 33' 53''$, $\zeta = 7$. გამოთვლებს ეაწარმოებთ 2.6.1.1 სქემის მიხედვით (2) სქემა.

ს ქ ე მ ა 2.6.2.2

არითმეტიკით		
მოკმ. თანხ. №№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
1	$\alpha_{1,2}$	$132^\circ 33' 53''$,7
9	$x_2 = x_1 + \Delta x_{1,2}$	4 479 644
3	x_1	4 806 032
7	$\Delta x_{1,2} = d \cos \alpha_{1,2}$	- 326 388
6	$\cos \alpha_{1,2}$	- 0,67642
2	d	482 523
5	$\sin \alpha_{1,2}$	0,73651
8	$\Delta y_{1,2} = d \sin \alpha_{1,2}$	+ 355 353
4	y_1	+ 228 908
10	$y_2 = y_1 + \Delta y_{1,2}$	+ 584 291

ლოგარითმებით		
მოკმ. თანხ. №№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
1	$\alpha_{1,2}$	$132^\circ 33' 53''$,7
11	x_2	4 479 644
3	x_1	4 806 032
9	$\Delta x_{1,2}$	- 326 388
7	$\lg \Delta x_{1,2} = \lg d + \lg \cos \alpha_{1,2}$	5,51374 <i>и</i>
6	$\lg \cos \alpha_{1,2}$	9,83022 <i>и</i>
2	$\lg d$	5,68352
5	$\lg \sin \alpha_{1,2}$	9,66718
8	$\lg \Delta y_{1,2} = \lg d + \lg \sin \alpha_{1,2}$	5,55070
10	$\Delta y_{1,2}$	+ 355 353
4	y_1	+ 228 908
12	y_2	+ 584 291

С მანძილისა და მიმართულების რედუქციების განსაზღვრა

იმ შემთხვევაში, როცა გეოდეზიური ხაზის S სიგრძე არ აღემატება 25 კმ, მანძილის ΔS რედუქციის (შესწორების) გამოსათვლელად ვსარგებლობთ (2.5.4.15) ფორმულით. ჩვენს შემთხვევაში S მანძილი 500 კმ აღწევს. ამ შემთხვევაში გამოიყენება უფრო ზუსტი ფორმულა, რომელსაც ასეთი ცხრილური სახე აქვს:

$$\Delta S_0 = S I_s(y^2), \quad \Delta S = \Delta S_0 + \Delta S_0 I_s(y^2), \quad (2.6.2.5)$$

სადაც ΔS_0 არის ΔS სიდიდის მიახლოებითი ოდენობა;

I_s — ცხრილური მნიშვნელობა;

$$(y^2) = y_A^2 + y_B^2 + y_C^2, \quad (2.6.2.6)$$

$$y_A = y_1 \cdot 10^{-6}; \quad y_B = y_2 \cdot 10^{-6}. \quad (2.6.2.7)$$

(5) დამოკიდებულებების პირველ ტოლობაში S გამოისახება კილომეტრებში, დამრგვალებული $0,1$ კმ და ΔS_0 კი მიიღება მეტრებში. მეორე ტოლობის პირველ შესაქარებში ΔS_0 შეიტანება მეტრებში, ხოლო მეორე შესაქარებში სამრავლი ΔS_0 შეიტანება კილომეტრებში და $\Delta S_0 \cdot I_s(y^2)$ სამრავლი მიიღება მეტრებში. მოკლედ, (5) დამოკიდებულებების როგორც პირველი, ისე მეორე ტოლობის $I_s(y^2)$ სიდიდეების მამრავლები გამოისახება კილომეტრებში, პასუხი კი მიიღება მეტრებში.

S ხაზის მიმართულების σ რედუქციის (შესწორების) გამოსათვლელად. როცა ხაზი 25 კმ ნაკლებია, შეიძლება ვისარგებლოთ (2.5.4.23) ფორმულით, ხოლო განხილად შემთხვევაში ვიყენებთ უფრო ზუსტ ფორმულას [18]

$$\sigma_{1.2}'' = I_{\sigma} \Delta x_0 \left(y_{\text{სა}} + \frac{\Delta y_0}{6} \right), \quad (2.6.2.8)$$

სადაც I_{σ} — ცხრილური მნიშვნელობაა,

$$y_{\text{სა}} = \frac{y_A + y_B}{2}. \quad (2.6.2.9)$$

y_A და y_B ისაზღვრება (7) ტოლობებით.

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_0 &= (x_1 - x_2) \cdot 10^{-6} \\ \Delta y_0 &= (y_1 - y_2) \cdot 10^{-6} \end{aligned} \right\}. \quad (2.6.2.10)$$

აქ გამოიყენება S ხაზის საწყისი წერტილის მოცემული x_1, y_1 და ბოლო წერტილის მიახლოებითი x_2, y_2 კოორდინატები.

ყველა ზემოთ მოყვანილ როგორც მანძილის, ისე მიმართულების რედუქციის ფორმულებში d და S მანძილები გამოსახულია კილომეტრებში ($0,1$ კმ შეცდომით) და ამ შემთხვევაში ΔS მიიღება მეტრებში.

როდესაც S მანძილი 500 კმ მეტია, მაშინ იყენებენ კიდევ უფრო ზუსტ ფორმულებს, რომლის სათანადო ცხრილური გამოსახულება მოცემულია [18]. ახლა შევედგეთ გამოთვლებს და შედეგები შევიტანოთ (3) სქემაში.

1. (7) ფორმულით $y_A = y_1 \cdot 10^{-6} = 228\,908 \cdot 10^{-6} = +0,228908$, $y_B = y_2 \cdot 10^{-6} = 584\,291 \cdot 10^{-6} = +0,584291$;

2. (9) ფორმულით $y_{\text{სა}} = \frac{1}{2} (y_A + y_B) = \frac{1}{2} (0,228908 + 0,584291) = +0,40660$;

3. (10) ფორმულით $\Delta x_0 = (x_1 - x_2) \cdot 10^{-6} = (4\,806\,032 - 4\,479\,644) \cdot 10^{-6} = +326\,388 \cdot 10^{-6} = +0,3264$;

4. (10) ფორმულით $\Delta y_0 = (y_1 - y_2) \cdot 10^{-6} = (228\,908 - 584\,291) \cdot 10^{-6} = -0,355383$; $\Delta y_0 : 6 = 0,05923$;

5. (8) ფორმულისათვის $y_{\text{სა}} + \frac{\Delta y_0}{6} = +0,40660 - 0,05923 = +0,34737$;

6. $y_A^2 = (0,228908)^2 = +0,05240$;

7. $y_B^2 = (0,584291)^2 = +0,34140$;

8. $y_A \cdot y_B = 0,228908 \cdot 0,584291 = +0,13375$;

9. (6) ტოლობით $(y^2) = y_A^2 + y_B^2 + y_A y_B = 0,05240 + 0,34140 + 0,13375 = +0,52755$;

$$10. (2) \text{ ცხრილისათვის } x_{საა} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{4806 + 4806}{2} = 4643;$$

(2) ცხრილიდან ამ ოდენობის შესაბამისად ინტერპოლობით ამოვიწერთ $I_s = 4,0998$;

$$11. I_s \cdot (y^2) = 4,0998 \cdot 0,52755 = 2,1628;$$

12. გეოდეზიური ხაზის სიგრძე გამოისახება კილომეტრებში $S = 482\,522,6 \approx 482,5$ კმ;

ცხრილი 2.6.2.2

$x_{საა},$ კმ	I_s	I_{σ}
4 600	4,1002	2 537,2
4 700	4,0994	2 536,6
4 800	4,0985	2 536,1
4 900	4,0976	2 535,6
5 000	4,0967	2 535,0

13. (5) დამოკიდებულებების პირველი ტოლობით $\Delta S_0 = S \text{ კმ} \cdot I_s \cdot (y^2) = 482,5 \text{ კმ} \cdot 2,1628 = +1043,6$ მ;

14. (5) დამოკიდებულებების მეორე ტოლობისათვის

$$\Delta S_0 \text{ კმ} \cdot I_s (y^2) = +1,0 \text{ კმ} \cdot 2,1628 = +2,2 \text{ მ};$$

15. (5) ტოლობა სრულად

$$\Delta S = \Delta S_0 + \Delta S_0 I_s (y^2) = 1043,6 \text{ მ} + 2,2 \text{ მ} = 1045,8 \text{ მ};$$

სქემა 2.6.2.3

მოკმე- ლებე- ბი	ფორმულის ელემენტები	ოდენობები
1	y_A	+0,22891
1	y_B	+0,53429
2	$y_{საა}$	+0,40680
4	$\Delta y_0 : 6$	-0,05923
5	$y_{საა} + \frac{\Delta y_0}{6}$	+0,34737
3	Δx_0	+0,3264
14	I_{σ}	+2 536,9
17	$I_{\sigma} \cdot \Delta x_0$	+ 828,0
18	$\sigma''_{1,2} = I_{\sigma} \cdot \Delta x_0 \times$ $\times \left(y_{საა} + \frac{\Delta y_0}{6} \right)$	+ 287'',6
19	$\sigma_{1,2}$	+4' 47'',6

მოკმე- ლებე- ბი	ფორმულის ელემენტები	ოდენობები
6	y_A^2	+ 0,05240
7	y_B^2	+ 0,34140
8	$y_A \cdot y_B$	+ 0,19375
9	(y^2)	+ 0,52755
10	I_s	+ 4,0998
11	$I_s \cdot (y^2)$	+ 2,1628
12	$S \text{ კმ}$	482,5 კმ
13	$\Delta S_0 = S \cdot I_s (y^2)$	+ 1043,6 მ
14	$\Delta S_0 I_s (y^2)$	+ 2,2 მ
15	$\Delta S = \Delta S_0 +$ $+ \Delta S_0 I_s (y^2)$	+ 1045,8 მ

16. (2) ცხრილიდან $x_{საა} = 4643$, შესაბამისად, ინტერპოლობით

$$I_{\sigma} = 2536,9;$$

17. (8) ფორმულისათვის $I_{\sigma} \cdot \Delta x_0 = 2536,9 \cdot (+0,3264) = +828,0$;

18. (8) ფორმულით $\sigma_{1,2}'' = I_{\sigma} \cdot \Delta x_0 \left(y_{საა} + \frac{\Delta y}{6} \right) = +828,0 \cdot (+0,34737) = +287'',6$;

19. $\sigma_{1,2} = +287'',6 : 60 = 4' 47'',6$.

D. სიბრტყეზე ხაზის სიგრძისა და მისი ღირებულების გამოთვლა

სიბრტყეზე ხაზის სიგრძე გამოითვლება (2.5.4.13) ფორმულით, მაშასადამე,

$$d = S + \Delta S = 482\,522,6 + 1\,045,8 = 483\,568,4 \text{ მ,}$$

სადაც ΔS -ის ოდენობა ამოღებულია (3) სქემიდან.

ღირეკტიული კუთხე განისაზღვრება (2.5.4.40) ფორმულით:

$$\alpha_{1,2} = A_{1,2} - \gamma + \sigma = 134^{\circ} 30' 14'',5 - 1^{\circ} 56' 20'',8 + 4' 47'',6 = 132^{\circ} 38' 41'',3.$$

E. ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის კოორდინატების საბოლოო ოდენობების გამოთვლა

ამ მიზნით ვიყენებთ (4) ფორმულებს, მხოლოდ მასში ჩავსვამთ D მუხლში დადგენილ $d = 483\,568,4$ მ და $\alpha_{1,2} = 132^{\circ} 38' 41'',3$ საბოლოო ოდენობებს [იხ. მე-4 სქემა].

სქემა 2.6.2.4

არითმომეტრი			ლოგარიტმები		
მოკმ.	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები	მოკმ.	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
1	$\alpha_{1,2}$	132° 38' 41'',3	1	$\alpha_{1,2}$	132° 38' 41'',3
9	$x_2 = x_1 + \Delta x_{1,2}$	4 478 437,4	11	x_2	4 478 437,7
3	x_1	4 806 031,8	3	x_1	4 806 031,8
7	$\Delta x_{1,2} = d \cos \alpha_{1,2}$	-327 549,4	9	$\Delta x_{1,2}$	-327 549,1
6	$\cos \alpha_{1,2}$	- 0,677452	7	$\lg \Delta x_{1,2} = \lg d + \lg \cos \alpha_{1,2}$	5. 515 396,2
2	d	483 568,4	6	$\lg \cos \alpha_{1,2}$	9. 8 40 8782 n
5	$\sin \alpha_{1,2}$	+ 0,735568	2	$\lg d$	5. 684 4580
8	$\Delta y_{1,2} = d \sin \alpha_{1,2}$	+355 697,4	5	$\lg \sin \alpha_{1,2}$	9. 866 6226
4	y_1	+228 908,1	8	$\lg \Delta y_{1,2} = \lg d + \lg \sin \alpha_{1,2}$	5. 551 0806
10	$y_2 = y_1 + \Delta y_{1,2}$	+584 605,5	10	$\Delta y_{1,2}$	955 697,3
			4	y_1	+228 908,1
			12	y_2	+584 605,4

F. ხაზის ბოლო წერტილის გაუსის კოორდინატების სათანადო მდებარეობისა და ზონაში გადაანგარიშება

წინა მუხლიდან ჩანს, რომ ხაზის მეორე წერტილი გადის მომიჯნავე მეცხრე ზონაში, რადგანაც $y_2 = +584\,605,4$ მ $> \approx 300\,000$ მ, ხოლო $x_2 = 4\,478\,437,7$. მაშასადამე, საჭიროა მერვე ზონის კოორდინატთა სისტემის მიმართ განსაზღვრული ხაზის მეორე წერტილის x_2 , y_2 გაუსის კოორდინატებით გამოვითვალოთ იმავე წერტილის გაუსის კოორდინატები მეცხრე ზონის კოორდინატთა სისტემის მიმართ, რომლებიც აღვნიშნოთ x_{II} , y_{II} სიმბოლოებით. ამ გადაანგარიშებისათვის გამოვიყენოთ 2.5.8.1 ტოლობების შესაბამისი 2.5.8.1 სქემის დასავლეთი ზონიდან აღმოსავლეთ ზონაში გადაანგარიშების ნიმუში.

პირველი და მეორე მოქმედება (5 სქემა) ნათელია, მე-3 მოქმედება მივიღეთ x_0 -თან შედარებით ნაკლებობით $x_0 = 4\,400$ კმ და მეტობით $x_0 = 4\,500$ კმ; 16. ნ. თეზიძე

მოქმედებები	ფორმულების ელემენტები	ნაკლებობით	შეტობით
1	x_3	+ 4 478 437,7	4 478 437,7
2	y_3	+ 584 605,5	584 605,5
3	x_0	4 400	4 500
4	y_0	+ 250	+ 250
5	c	+ 0,76433	- 0,21562
6	k	+ 3,34605	+ 3,94605
7	c^2	+ 0,6153	+ 0,0485
8	$c \cdot k$	+ 2,6246	- 0,7215
9	k^2	+ 11,1961	+ 11,1921
10	c^3	+ 0,48	- 0,01
11	$c^2 \cdot k$	+ 2,06	+ 0,16
12	$c k^2$	+ 8,78	- 2,41
13	$0,1k^3$	+ 3,75	+ 3,75
14	c_0	+ 491,23	+ 270,24
15	$(c)_x \cdot c$	- 168,32	+ 49,03
16	$(k)_x \cdot k$	- 22 378,38	- 22 796,81
17	$(c^2)_x \cdot c^2$	- 3,94	- 0,30
18	$(ck)_x \cdot ck$	- 330,44	+ 89,10
19	$(k^2)_x \cdot k^2$	+ 71,66	+ 71,67
20	$(c^3)_x \cdot c^3$	0,00	0,00
21	$(c^2k)_x \cdot c^2k$	+ 1,73	+ 0,06
22	$(ck^2)_x \cdot ck^2$	+ 0,09	0,00
23	$(k^3)_x \cdot 0,1k^3$	- 10,58	- 10,73
24	x_{II}	4 456 110,7	4 456 110,5
25	k_0	- 514 674,87	- 507 924,20
26	$(c)_y \cdot c$	+ 5 245,93	- 1 469,03
27	$(k)_y \cdot k$	- 718,03	- 760,89
28	$(c^2)_y \cdot c^2$	+ 38,73	+ 2,89
29	$(ck)_y \cdot ck$	- 33,60	+ 9,24
30	$(k^2)_y \cdot k^2$	- 704,80	- 693,28
31	$(c^3)_y \cdot c^3$	- 0,19	0,00
32	$(c^2k)_y \cdot c^2k$	- 0,02	0,00
33	$(ck^2)_y \cdot ck^2$	+ 7,38	- 2,07
34	$(k^3)_y \cdot 0,1k^3$	+ 0,11	0,00
35	y_{II}	73 766,1	73 766,1
36	y_{II} გარდაქმნილი	9 573 766,1	9 573 766,1

4. 2.5.8.1 ცხრილიდან შესაბამისი $y_0 = +250$ კმ ორივე შემთხვევისათვის;
 5. 2.5.8.2 ფორმულით მესამე სვეტისათვის $c = (x_2 - x_0) \cdot 10^{-5} = (4\ 478\ 437,7 - 4\ 400\ 000) \cdot 10^{-5} = +0,78438$ და მეოთხე სვეტისათვის $c = (x_2 - x_0) = (4\ 478\ 437,7 - 4\ 500\ 000) \cdot 10^{-5} = -0,21552$; 6. მესამე სვეტისათვის $k = (y_2 - y_0) \cdot 10^{-5} = (584\ 605,5 - 250\ 000) \cdot 10^{-5} = +3,34605$, მეოთხე სვეტისათვის იგივე იქნება. შემდეგ მე-13 მოქმედებამდე (ამიანად) ყოველგვარ ნათელია. 14—23 მოქმედებებისათვის მონაცემები ამოღებულია 2.5.8.1 ცხრილიდან და (5) სქემიდან: $c_0 = +491,23$ (მესამე სვეტი) და $+270,24$ (მეოთხე სვეტი); $(c)_x \cdot c = -214,59 \cdot 0,78438 = -168,32$ (მესამე სვეტი) და $(c)_x \cdot c = -227,40 \times (-0,21552) = +49,03$; $(k)_x \cdot k = -6\ 688,00 \cdot 3,34605 = -22\ 378,38$ და $-6\ 813,05 \cdot 3,34605 = -22\ 796,81$; $(c^2)_x \cdot c^2 = -6,40 \cdot 0,6153 = -3,94$ და $-6,41 \cdot 0,0465 = -0,30$; $(ck)_x \cdot ck = -125,90 \cdot 2,6246 = -330,44$ და $-124,19 \times (-0,7215) = +89,60$; $(k^2)_x \cdot k^2 = +6,40 \cdot 11,1961 = +71,66$ და $+6,41 \times 11,1961 = +71,67$; $(c^3)_x \cdot c^3 = 0,00$ და $0,00$; $(c^2k)_x \cdot c^2k = +0,84 \cdot 2,06 = +1,73$ და $+0,86 \cdot 0,16 = +0,06$; $(ck^2)_x \cdot ck^2 = +0,01 \cdot 8,78 = +0,09$ და $0,00$; $(k^3)_x \cdot 0,1k^3 = -2,82 \cdot 3,75 = -10,58$ და $-2,86 \cdot 3,75 = -10,73$; 24-ე მოქმედებით: შეკრებილია 1 და 14—23 ოდენობები. ანალოგიურად შესრულდება 25—34 მოქმედებები $k_0 = -514\ 674,87$ და $k_0 = -507\ 924,20$; $(c)_y \cdot c = +6\ 688,00 \cdot 0,78438 = +5\ 245,93$ და $+6\ 813,05 \cdot (0,21552) = -1\ 469,03$; $(k)_y \cdot k = -214,59 \times 3,34605 = -718,03$ და $-227,40 \cdot 3,34605 = -760,89$; $(c^2)_y \cdot c^2 = +62,95 \times 0,6153 = +38,73$ და $+62,10 \cdot 0,0465 = +2,89$; $(ck)_y \cdot ck = -12,80 \cdot 2,6246 = -33,60$ და $-12,81 \cdot (-0,7215) = +9,24$; $(k^2)_y \cdot k^2 = -62,95 \cdot 11,1961 = -704,80$ და $-62,10 \cdot 11,1961 = -695,28$; $(c^3)_y \cdot c^3 = -0,28 \cdot 0,48 = -0,13$ და $-0,29 \cdot (-0,01) = 0,00$; $(c^2k)_y \cdot c^2k = -0,01 \cdot 2,06 = -0,02$ და $0,00$; $(ck^2)_y \cdot ck^2 = +0,84 \cdot 8,78 = +7,38$ და $+0,86 \cdot (-2,41) = -2,07$; $(k^3)_y \cdot 0,1k^3 = +0,03 \times 3,75 = +0,11$ და $0,00$. 35-ე მოქმედება წარმოადგენს 2 და 25—34 ოდენობების ალგებრულ ჯამს, რითაც მივიღებთ y_{II} ნამდვილ მნიშვნელობას. 36. ნამდვილ მნიშვნელობას ორდინატისას დაეუბატებთ 500 კმ და მივეწერთ ზონის ნომერს, ე. ი. დაიწერება მეორე წერტილის პირობითი ანუ გარდაქმნილი ორდინატის ოდენობა. მაშასადამე, ხაზის მეორე წერტილის კოორდინატებია: $x_2 = 4\ 456\ 110,6$, $y_2 = 9\ 573\ 766,1$.

2.6.3. შუბრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა ელიფსოიდის ზედაპირზე გაუსის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატებით

ხაზის სათავისა და ბოლო წერტილის კოორდინატებია:

$$x_1 = 4\ 806\ 031,8, \quad y_1 = +228\ 908,1$$

და

$$x_2 = 4\ 478\ 437,7, \quad y_2 = +584\ 605,4.$$

საჭიროა განისაზღვროს ხაზის გეოდეზიური $A_{1,2}$ და $A_{2,1}$ აზიმუტი და გეოდეზიური Δ ხაზის სიგრძე. ამ ამოცანის ამოხსნენლად საჭიროა წერტილები ერთ ზონაში იმყოფებოდეს, რაც დაცული არ არის. ამიტომ საჭიროა ხაზის პირველი წერტილის კოორდინატები გადაანგარიშებულ იქნეს მე-9-ე (დასავლეთ) ზონიდან მეცხრე (აღმოსავლეთ) ზონაში ან პირიქით, ხაზის მეორე წერტილს.

ტილი გადაანგარიშდეს მეცხრე ზონიდან მერვეში, რაც, საერთოდ, გარკვეული წესის მიხედვით სრულდება. მაგალითად, თუ ხაზის საწყისი და ბოლო წერტილების ორდინატების ალგებრული ჯამი დადებითი იქნა, როგორც განხილად შემთხვევაში, საჭირო იქნება კოორდინატების გადაანგარიშება დასავლეთ ზონიდან აღმოსავლეთ ზონაში; ხოლო როცა ეს ჯამი უარყოფითია, მაშინ კოორდინატები გადაანგარიშება აღმოსავლეთიდან დასავლეთ ზონაში. აქვე დავსაქენთ, რომ, თუ ხაზის სათავესა და ბოლო წერტილების კოორდინატები ურთიერთდამორკებულია ერთი ან რამდენიმე ზონით, მაშინ კოორდინატების გადაანგარიშება უნდა მოხდეს საშუალო ზონაში. ასე რომ, განხილად შემთხვევაში საჭიროა შესრულდეს შემდეგი გამოთვლები: *A.* ხაზის პირველი წერტილის კოორდინატების გადაანგარიშება დასავლეთ ზონიდან აღმოსავლეთ ზონაში; *B.* მერიდიანთა შეახლოების კუთხის გამოთვლა ხაზის თავსა და ბოლოში; *C.* შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე; *D* მანძილებისა და მიმართულებების რედუქციის გამოთვლა; *E.* გეოდეზიური ხაზის აზიმუტისა და სიგრძის გამოთვლა.

A. ხაზის პირველი წერტილის კოორდინატების გადაანგარიშება დასავლეთ ზონიდან აღმოსავლეთ ზონაში

ეს გადაანგარიშება უკვე შესრულებულია (2.5.8.1) სქემაში, რის შედეგად განსაზღვრულია ხაზის პირველი წერტილის კოორდინატები აღმოსავლეთ ზონაში $x_{II} = x_1 = 4\ 807\ 061,9$ და $y_{II} = y_1 = 9\ 242\ 460,8$ ანუ $y_1 = -257\ 539,2$. ხაზის ბოლო წერტილის კოორდინატები კი არის გადაანგარიშებული (5) სქემაში, საიდანაც მიღებულია $x_2 = 4\ 456\ 110,6$, $y_2 = 9\ 573\ 766,1$ ანუ $y_2 = +73\ 766,1$. ასე რომ, ხაზის ორივე წერტილი იმყოფება მეცხრე ზონაში, რომლის სათავესა და ბოლო წერტილების კოორდინატები შესაბამისად იქნება:

$$x_1 = 4\ 807\ 061,9; \quad y_1 = 9\ 242\ 460,8 \quad \text{ანუ} \quad y_1 = -257\ 539,2 \text{ მ};$$

$$x_2 = 4\ 456\ 110,6; \quad y_2 = 9\ 573\ 766,1 \quad \text{ანუ} \quad y_2 = +73\ 766,1 \text{ მ}.$$

B. მერიდიანთა შეახლოების გამოთვლა — (1) სქემა

მერიდიანთა შეახლოება გამოითვლება მეცხრე ზონაში ხაზის სათავესა და ბოლო წერტილში $\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 4\ 807\ 061,9, \\ y_1 = -257\ 539,2 \end{array} \right.$ და $\left\{ \begin{array}{l} x_2 = 4\ 456\ 110,6, \\ y_2 = +73\ 766,1, \end{array} \right.$ რისთვისაც ვიყენებთ (2.6.2.1), (2.6.2.2), (2.6.2.3) ფორმულებს, (2.6.2.1) ცხრილსა და (2.6.2.1) სქემას.

C. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სიბრტყეზე — (1) სქემა

ეს ამოცანა ამოხსნება (2.6.1.6), (2.6.1.7) ფორმულებისა და (2.6.1.2) სქემის შესაბამისად.

არითმომეტრით გამოთვლების დროს ვიყენებთ ტრიგონომეტრიული ფუნქციების ექვსნიშნა ცხრილებს, ხოლო შვიდნიშნას — ლოგარიტმების გამოყენების დროს.

ბირველ წერტილში

მოკმე- ღებები	ფორმულის ელემენტები	პო ნაკლე- ბობით	პო მეტობით
1	x_1	4 807 062	4 807 062
2	x_0	4 800	4 910
3	a	+0,07062	-0,92938
4	b	-2,57133	-2,57539
5	a^2	+0,0050	+0,5898
6	b^2	+6,6328	+6,6328
7	ab	-0,182	+2,394
8	a^2b	-0,01	-2,22
9	ab^2	-17,1	-17,1
10	a^3	-1	+16
11	a^2b	0	+2
12	a^2b^2	0	-15
13	ba	-113	-113
14	$(b) b$	-7 845,55	-8 095,76
15	$(ab) ab$	- 17,41	+ 236,28
16	$(a^2b) a^2b$	- 0,02	- 3,33
17	$(b^2) b^2$	+ 8,02	+ 8,53
18	$(a^2b) ab^2$	+ 0,01	- 0,49
19	$(a^2b) a^2b$	0	+ 0,06
20	$(a^2b) a^2b^2$	0	+ 0,02
21	$(b^2) b^2$	- 0,01	- 0,01
22	γ''	7 855',0	7 855',0
23	$\gamma_{1,2}$	- 2°	10' 55",0

მეორე წერტილში

მოკმე- ღებები	ფორმულის ელემენტები	პო ნაკლე- ბობით	პო მეტობით
1	x_2	4 456 111	4 456 111
2	x_0	4 400	4 500
3	a	+0,56111	-0,49889
4	b	+0,79768	+0,79768
5	a^2	+0,3148	+0,1928
6	b^2	+0,5441	+0,5441
7	ab	+0,414	-0,324
8	a^2b	+0,23	+0,14
9	ab^2	+0,4	+0,4
10	a^3	0	0
11	a^2b	0	0
12	a^2b^2	0	0
13	ba	0	0
14	$(b) b$	+1 980,12	+2 044,17
15	$(ab) ab$	+ 35,48	- 28,51
16	$(a^2b) a^2b$	+ 0,26	+ 0,16
17	$(b^2) b^2$	- 0,15	- 0,18
18	$(a^2b) ab^2$	0,00	0,00
19	$(a^2b) a^2b$	0,00	0,00
20	$(a^2b) a^2b^2$	0,00	0,00
21	$(b^2) b^2$	0,00	0,00
22	γ''	+2 016',0	2 016,0
23	$\gamma_{2,1}$	+ 0°	33' 36"

არითმეტიკობით

მოკმე- მელ.	ფორმულის ელემენტები	ოღონობები
4	y_2	9 573 766,1
2	y_1	9 242 400,8
6	$y_2 - y_1 = \Delta y$	+ 331 305,3
3	x_2	4 456 110,6
1	x_1	4 807 061,9
5	$x_2 - x_1 = \Delta x$	- 350 951,3
7	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$	- 0,944021
8	r_2	43° 21' 02",2
9	α	136° 38' 57",8
10	$\sin \alpha$	0,626461
11	$\cos \alpha$	- 0,727167
12	$d = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}$	452 628,1
13	$d = \frac{\Delta y}{\sin \alpha}$	482 628,1
14	$d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$	482 628,1

ლოგარითმობით

მოკმე- მელ.	ფორმულის ელემენტები	ოღონობები
4	y_2	9 573 766,1
2	y_1	9 242 400,8
6	$y_2 - y_1 = \Delta y$	331 305,3
3	x_2	4 456 110,6
1	x_1	4 807 061,9
5	$x_2 - x_1 = \Delta x$	- 350 951,3
14	$\lg d = \lg \Delta y - \lg \sin \alpha$	5,683 6125
7	$\lg \Delta y$	9,836 6158
8	$\lg \Delta x$	5,520 2233
13	$\lg \cos \alpha$	9,861 63397
15	$\lg d = \lg \Delta x - \lg \cos \alpha$	5,683 6129
9	$\lg \operatorname{tg} \alpha = \lg \Delta y - \lg \Delta x$	8,974 98157
10	r	43° 21' 02",2
11	α	136° 38' 57",8
16	$\lg d = \frac{14\text{მოკ} + 15\text{მოკ}}{2}$	5 683 6127
17	d	482 628,1

D. მანძილებრსა და მიმართულვაზების კალუძციის ჯავოთვლბ

იმ შემთხვევაში, როცა მანძილები 5 000 კმ-ზე ნაკლებია, ვიყენებთ შემდეგ ფორმულებს

$$\Delta S = d \cdot I_{\sigma} (y^2), \quad (2.6.3.1)$$

$$\sigma_{1.2}'' = I_{\sigma} \cdot \Delta x_0 \left(y_{საა} + \frac{\Delta y_0}{6} \right), \quad (2.6.3.2)$$

$$\sigma_{2.1} = -I_{\sigma} \cdot \Delta x_0 \left(y_{საა} - \frac{\Delta y_0}{6} \right), \quad (2.6.3.3)$$

სადაც $d = 482\,628,1 \approx 482,6$ კმ (1) სქემიდან არის სიბრტყეზე ხაზის სიგრძე; I_{σ} და I_{σ} ცხრილური მნიშვნელობებია (2.6.2.2 ცხრილში).

$$(y^2) = y_A^2 + y_A \cdot y_B + y_B^2, \quad (2.6.3.4)$$

$$\left. \begin{aligned} y_A &= y_1 \cdot 10^{-6} \\ y_B &= y_2 \cdot 10^{-6} \end{aligned} \right\}, \quad (2.6.3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_0 &= (x_1 - x_2) \cdot 10^{-6} \\ \Delta y_0 &= (y_1 - y_2) \cdot 10^{-6} \end{aligned} \right\}, \quad (2.6.3.6)$$

$$y_{საა} = \frac{y_A + y_B}{2}. \quad (2.6.3.7)$$

1. $x_{საა} = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{4\,807,1}{2} \text{ კმ} + \frac{4\,456,1}{2} \text{ კმ} = 4\,631,6 \approx 4\,632 \text{ კმ};$

2. (6) ტოლობით $\Delta x_0 = (x_1 - x_2) \cdot 10^{-6} = (4\,807\,061,9 - 4\,456\,110,6) \cdot 10^{-6} = +0,350951;$

$\Delta y_0 = (y_1 - y_2) \cdot 10^{-6} = (-257\,539,2 - 73\,766,1) \cdot 10^{-6} = -0,331305;$

3. (5) ტოლობით $y_A = y_1 \cdot 10^{-6} = -0,25754;$ $y_B = y_2 \cdot 10^{-6} = +0,07377;$

4 $x_{საა} = 4\,632$ შესაბამისად (2.6.2.2) ცხრილიდან $I_{\sigma} = 4,0999,$ $I_{\sigma} = = 2\,537,0.$

სქემა 2.6.3.2

მოკმე- ლებში	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები	მოკმე- ლებში	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
1	y_A	- 0,25754	11	y_A^2	+ 0,06633
1	y_B	+ 0,07377	12	y_B^2	+ 0,00544
2	$y_{საა}$	- 0,09188	13	$y_A \cdot y_B$	- 0,01900
3	$\frac{\Delta y_0}{6}$	- 0,05522	14	(y^2)	+ 0,05277
4	$y_{საა} + \frac{\Delta y_0}{6}$	- 0,14710	15	I_{σ}	+ 4,0999
5	$y_{საა} - \frac{\Delta y_0}{6}$	- 0,03666	16	$I_{\sigma} \cdot (y^2)$	+ 0,2164
6	Δx_0	+ 0,35095	17	d	482,6 კმ
7	I_{σ}	2537,0	18	ΔS (1) ფორმ.	+104,4 მ
8	$I_{\sigma} \cdot \Delta x_0$	+890,36			
9	$\sigma_{1.2}''$ (2) ფორმ.	-130',97			
10	$\sigma_{2.1}$ (3) ფორმ.	+33',5			

E. გეოდეზიური ხაზის აზიმუთისა და სიგრძის გამოთვლა

რეფერენც-ელიფსოიდზე გეოდეზიური ხაზის აზიმუტი გამოითვლება (2.5.4.40) ფორმულით:

$$A_{1,2} = \alpha_{1,2} + \gamma_{1,2} - \sigma_{1,2} = 136^\circ 38' 57'',8 - 2^\circ 10' 55'',0 + 2^\circ 11'' = 134^\circ 30' 13'',8;$$

$$A_{2,1} = \alpha_{2,1} + \gamma_{2,1} - \sigma_{2,1} = 316^\circ 38' 57'',8 + 0^\circ 33' 36'',0 - 33'',5 = 317^\circ 12' 00'',3,$$

გეოდეზიური ხაზის სიგრძე კი გამოითვლება (2.5.4.13) ფორმულით:

$$S = d - \Delta S = 482\,628,1 - 104,4 = 482\,523,7 \text{ მ.}$$

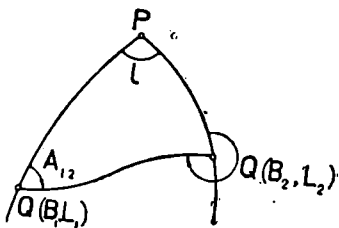
2.6.4. სფეროიდზე მთავარი გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნა გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით

სფეროიდის ზედაპირზე მთავარ გეოდეზიურ ამოცანებში იგულისხმება სფეროიდის ზედაპირზე პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანების ამოხსნა გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით.

პირველ შემთხვევაში მოცემულია რაიმე Q_1 პუნქტის B_1, L_1 გეოდეზიური განედი და გრძედი (ნახ. 1) და Q_2 პუნქტის პოლარული კოორდინატები S გეოდეზიური ხაზისა და $A_{1,2}$ პირდაპირი გეოდეზიური აზიმუტის სახით.

ამ მონაცემების საშუალებით საჭიროა განისაზღვროს Q_2 პუნქტის B_2 გეოდეზიური განედი, $l = L_2 - L_1$ გეოდეზიურ გრძელთა შორის სხვაობა (ზონალური გრძედი) და $A_{2,1}$ შებრუნებული გეოდეზიური აზიმუტი.

მეორე შემთხვევისას, მოცემულია Q_1 და Q_2 პუნქტების B_1, L_1 და B_2, L_2 გეოდეზიური კოორდინატები. საჭიროა განისაზღვროს ამ წერტილებს შორის უმოკლესი მანძილი ანუ S გეოდეზიური ხაზის სიგრძე და $A_{1,2}$ პირდაპირი და $A_{2,1}$ შებრუნებული აზიმუტები.



ნახ. 2.6.4.1.

პირდაპირ გეოდეზიურ ამოცანას იყენებენ მაღალი (პირველი) კლასის ტრიანგულაციაში პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრისათვის. აქ საერთოდ ტრიანგულაციის ამოხსნით ცნობილია სამკუთხედის გვერდების სიგრძეები. პირველ რიგში საწყისი პუნქტის B_0, L_0 გეოდეზიურ კოორდინატებსა და შემდეგ პუნქტზე A_0 აზიმუტის საზღვრავენ ავტონომიურად განსაზღვრული (4.1 თავი) იმავე საწყისი პუნქტის ასტრონომიული φ_0, λ_0 კოორდინატებით და A_0 აზიმუტით (2.2.2 პარაგრაფი). ამ მონაცემებით და საჭირო გეოდეზიური განაზომებით ისაზღვრება ყოველი შემდეგი პუნქტის გეოდეზიური კოორდინატები და შებრუნებული აზიმუტები.

შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნას შიშართავენ პირველი კლასის ტრიანგულაციის პოლიგონების ზოგიერთი სახის გაწონასწორებითი სამუშაოების დროს.

ამჟამად რადიო ტექნიკური საშუალებებით დედამიწაზე სხვადასხვა

ობიექტების ადგილსამყოფელის დადგენის საქმეში უდიდეს როლს ასრულებს მთავარი გეოდეზიური ამოცანები.

ჩვეულებრივ: ტრიანგულაციის პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრისათვის მანძილები მიღებულია 20—30 კმ, იშვიათ შემთხვევაში 200—300 კმ აღწევს, ხოლო საგანგებო მიზნებისათვის პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანების ამოხსნა საჭირო ხდება 20 000 კილომეტრამდე.

დიდ მანძილებზე ზემოხსენებულ ამოცანებში გეოდეზიური კოორდინატებისა და აზიმუტების ამოხსნა სრულიად საკმარისია 0".001 სიზუსტით, სადაც გამოიყენება ტრიგონომეტრიული ფუნქციების რვანიშნა ცხრილები.

გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნა ხდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

1. ელიფსოიდის ზედაპირზე წერტილის კოორდინატებით ისაზღვრება იმავე წერტილის კოორდინატები სფეროს ზედაპირზე;

2. ამოიხსნება გეოდეზიური ამოცანები სფეროზე;

3. სფეროს ზედაპირზე გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნით განსაზღვრული წერტილების კოორდინატებით ისაზღვრება იმავე წერტილების კოორდინატები სფეროიდის ზედაპირზე.

გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნის მრავალი ხერხი არსებობს, რომლებიც შესაბამისად გამოიყენებიან მცირე (600 კილომეტრამდე), საშუალო (5 000 კმ) და დიდი (19 000 კილომეტრამდე) მანძილებისათვის.

აქ მოვიყვანთ გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნის სქემებს გეოდეზიური ხაზების ანუ ბესელის მეთოდის მიხედვით, რომელიც გამოიყენება ნებისმიერი მანძილისათვის.

გამოთვლებისათვის საჭირო სიზუსტეები ნაჩვენებია სქემებში.

A. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სფეროიდზე გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით

ამოცანა 2.6.4.1. კრასოვსკის ელიფსოიდზე მოცემულია: Q_1 წერტილის $B=42^{\circ} 50' 56''$, 480, $L_1=39^{\circ} 58' 54''$, 560 გეოდეზიური კოორდინატები, $A_{1,2}=328^{\circ} 35' 36''$, 900 გეოდეზიური აზიმუტი და $S=2 874 617,8$ მ გეოდეზიური ხაზი. საჭიროა განისაზღვროს Q_2 წერტილის B_2 , L_2 გეოდეზიური კოორდინატები და $A_{2,1}$ შებრუნებული აზიმუტი.

ამოცანის ამოხსნა ნაჩვენებია (1) სქემაში. სქემაში, გარდა ამოცანაში მოცემული და ამოსახსნელი სიდიდეებისა, ყველა სიმბოლოს უწოდოთ დამხმარე სიმბოლოები. სქემაში შესრულებული მოქმედებები ადვილად გასარკვევია, მხოლოდ საჭიროა 14, 15, 16, 17, 18 და 43 მოქმედებების ახსნა. 14, 15 მოქმედებებში α და β ისაზღვრება (1) და (2) ცხრილის საშუალებით პიპერბოლური ინტერპოლაციით ანუ მეორე სხვაობის გამოყენებით, ხოლო 16, 17, 18 მოქმედებებში γ , α_1 , β_1 ისაზღვრება (1) ცხრილიდან ხაზოვანი ინტერპოლაციით. აღნიშნული გამოთვლები სრულდება შემდეგნაირად: მე-13 მოქმედებით $\sin^2 A_0=0,14641$; მე-14 მოქმედებისათვის (1) ცხრილიდან $\sin^2 A_0=0,1$ -სათვის ამოვიწერთ

$$\sigma=0,0323985117 \quad \text{და} \quad \Delta\sigma=+54390 \cdot 10^{-9};$$

(2) ცხრილიდან მეორე სხვაობისათვის ანუ $\Delta \sin^2 A_0=0,14641-0,1=0,04641$ ოდენობისათვის (0,04062 და 0,04688 შორის) $d\Delta\sigma=-9 \cdot 10^{-9}$, ე. ი. მეორე 248

$\sin^2 A_0$	α	$\Delta\alpha$	β	$\Delta\beta$	γ	$\Delta\gamma$	α_1	$\Delta\alpha_1$	β_1	$\Delta\beta_1$
		10^{-9}		10^{-1}		10^{-2}		10^{-9}		10^{-1}
0,0	0,0323930760		346,314		0,073		0,003349518		0,580	
0,1	0,0323955117	+54 357	311,787	-34,527	0,059	-14	0,003349799	+281	0,522	-58
0,2	0,0324039507	54 390	277,237	34,550	0,047	12	0,003350079	280	0,464	58
0,3	0,0324093928	54 421	242,664	34,573	0,036	11	0,003350360	281	0,406	58
0,4	0,0324148382	54 454	208,068	34,596	0,026	10	0,003350641	281	0,348	58
0,5	0,0324202867	54 485	173,448	34,620	0,018	8	0,003350922	281	0,290	58
0,6	0,032-257385	54 518	138,805	34,643	0,012	6	0,003351203	281	0,232	58
0,7	0,0324311934	54 549	104,139	34,666	0,007	5	0,003351485	282	0,174	58
0,8	0,0324366516	54 582	69,449	34,690	0,003	4	0,003351766	281	0,116	58
0,9	0,0324421130	54 614	34,736	34,713	0,001	2	0,003352048	282	0,058	58
1,0	0,0324475776	54 646	0,000	34,736	0,000	1	0,003352330		0,000	58

$\Delta\sin^2 A_0$	$d\Delta\alpha$	$\Delta\sin^2 A_0$	$d\Delta\alpha$	$\Delta\sin A_0$	$d\Delta\beta$	$\Delta\sin^2 A_0$	$d\Delta\beta$
	10^{-9}		10^{-9}		10^{-1}		10^{-1}
0,00000		0,05312		0,00000		0,05259	
0,00312	-16	0,05948	-7	0,00086	-0,012	0,06121	-0,005
0,00938	15	0,06562	6	0,00948	0,011	0,06983	0,004
0,01562	14	0,07188	5	0,01810	0,010	0,07845	0,003
0,02188	13	0,07812	4	0,02672	0,009	0,08707	0,002
0,02812	12	0,08438	3	0,03534	0,008	0,09569	0,001
0,03438	11	0,09062	2	0,04397	0,007	0,10000	0,000
0,04062	10	0,09688	1	0,05259	0,006		
0,04688	9	0,10000	0				
0,05312	8						

სხვაობით შესწორებული $\Delta\alpha = 54390 \cdot 10^{-9} - 9 \cdot 10^{-9} = 54381 \cdot 10^{-9}$. მაშასადამე, საბოლოოდ $\alpha = 0,0323985117 + 0,04641 \cdot 54381 \cdot 10^{-9} = 0,0323985117 + 0,0000025238 = 0,0324010355$ (მე-14 მოქმედება). მე-15 მოქმედებით (1) ცხრილიდან $\sin^2 A_0 = 0,1$ -თვის $\beta = 311,787$ და $\Delta\beta = -34,550 \cdot 10^{-1}$; (2) ცხრი-

№ №	ფორმულების ელემენტები	ოღენობები
1	B_1	$42^{\circ} 50' 56'', 480$
2	$A_{1,2}$	$328^{\circ} 35' 36'', 900$
3	S	$2\ 874\ 617,8\ 2$
4	$\operatorname{tg} B_1$	$0,92760089$
5	$\operatorname{tg} U_1 = (4) \cdot \sqrt{1-e^2}$	$0,92449106$
6	U_1	$42^{\circ} 45' 11'', 186$
7	$\cos U_1$	$0,734\ 28570$
8	$\sin A_{1,2}$	$-0,52110522$
9	$\cos A_{1,2}$	$0,85349244$
10	$\sin A_0 = (7) \cdot (8)$	$-0,38264011$
11	A_0	$-22^{\circ} 29' 50'', 329$
12	$\operatorname{tg} A_0$	$-0,41415862$
13	$\sin^2 A_0 = (10)^2$	$0,14641$
14	α 1 და 2 ცხრილიდან	$0,0324010355$
15	β " " "	$295,750$
16	γ (1) ცხრილიდან	$0,053$
17	α_1 "	$0,003349929$
18	β_1 " "	$0,495$
19	$\beta : \rho'' = (15) : 206\ 264,81$	$0,001434$
20	$\operatorname{tg} \sigma_1 = (5) : (9)$	$1,09316599$
21	$\sigma_0'' = \sigma \cdot s = (14) \cdot (3)$	$93140'', 593$
22	σ_1	$47^{\circ} 17' 12'', 213$
23	$\sigma_0 \sigma_1''$	$25^{\circ} 52' 20'', 593$
24	$2\sigma_1 = 2(22)$	$94^{\circ} 34' 24'', 426$
25	$2\sigma_1 + \sigma_0 = (24) + (29)$	$120^{\circ} 26' 45'', 019$
26	$2\sigma_1 + 2\sigma_0 = (24) + 2(23)$	$146^{\circ} 19'$
27	$4\sigma_1 + 2\sigma_0 = 2(24) + 2(23)$	$240^{\circ} 53'$
28	$2\sigma_0 = 2(23)$	$51^{\circ} 45'$
29	$\sin \sigma_0 = \sin (23)$	$0,496368$
30	$\cos(2\sigma_1 + \sigma_0) = \cos (25)$	$-0,506724$

$$\sqrt{1-e^2} = 0,98664767$$

№№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
31	$\cos (2\sigma_1 + 2\sigma_0) = \cos (26)$	- 0,832
32	$\cos (4\sigma_1 + 2\sigma_0) = \cos (27)$	- 0,487
33	$\sin 2\sigma_0 = \sin (29)$	+ 0,785
34	$I_\sigma = (15) (29) (30)$	- 65'',396
35	$II_\sigma = (16) (32) (33)$	- 0,020
36	$III_\sigma = (19) (31) (34)$	+ 0,078
37	$\sigma'' = (21) + (34) + (35) + (36)$	93 075'',255
38	σ	25°51'15'',255
39	$\sigma_1 = \sigma' + \sigma = (22) + (38)$	73°08'27'',468
40	$\cos \sigma_2$	+ 0,29001805
41	$\operatorname{tg} \sigma_2 = \operatorname{tg} (39)$	+ 3,20985766
42	$\operatorname{tg} A_{2-1} = (12); (40)$	- 1,42804428
43	$A_{2-1} (-54^{\circ}59'52'',961)$	125°00'07'',039
44	$\cos A_{2-1}$	- 0,67360439
45	$\operatorname{tg} U_2 = - (41) (44)$	+ 1,89281858
46	$\operatorname{tg} B_2 = (45) \sqrt{1 + e'^2}$	+ 1,89918528
47	B_2	62°13'52'',788
48	$I_\lambda = (17) (37)$	311,796
49	$II_\lambda = (18) (29) (30)$	- 0,110
50	$(48) + (49)$	311'',686
51	$\Delta I'' = (10) (50)$	- 119'',264
52	$\operatorname{tg} \lambda_2 = (10) (41)$	- 1,26266172
53	$\operatorname{tg} \lambda_1 = (10) (20)$	- 0,41447041
54	λ_2	- 51°37'17'',613
55	λ_1	- 22°30'45'',216
56	$\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$	- 29°06'32'',397
57	$\Delta I = (51)^\circ$	- 1'59'',264
58	$I = \lambda - \Delta I = (56) - (57)$	- 29°04'38'',133
59	L_1	39°58'54'',560
60	$L_2 = (58) + (59)$	10°54'21'',427

$$\sqrt{1 + e'^2} = 1,00336361$$

№№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
1	B_1	55° 45' 00'', 000
2	$A_{1,2}$	96 96 08,800
3	S	14 112 402,4 3
4	$\operatorname{tg} B_1$	1,46869672
5	$\operatorname{tg} U_1 = 4\sqrt{1-e^2}$	1,46377318
6	U_1	55° 89' 37'', 585
7	$\cos U_1$	0,56409629
8	$\sin A_{1,2}$	0,99336766
9	$\cos A_{1,2}$	-0,11497953
10	$\sin A_0 = (7) (8)$	0,56983512
11	A_0	34° 04' 49'', 298
12	$\operatorname{tg} A_0$	0,67655112
13	$\sin^2 A_0 = (10)^2$	0,31400
14	α 1 და 2 ცხრილებიდან	0,0324101550
15	β „ „	237,819
16	γ 1 ცხრილიდან	0,035
17	α_1 „	0,003350399
18	β_1 „	0,398
19	$\beta : \rho'' = (15) : 206264,81$	0,001153
20	$\operatorname{tg} \sigma_1 = (5) : (6)$	-12,73072333
21	$\sigma_0'' = \alpha \cdot \beta = (14) (9)$	457 385'', 149
22	$\sigma_1^{\circ} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (20) (-85^{\circ} 30' 31'', 078)$	94° 21' 28'', 922
23	$\sigma_0^{\circ} = ''$	127° 03' 05'', 149
24	$2\sigma_1 = 2 (22)$	188° 58' 57'', 8
25	$2\sigma_1 + \sigma_0 = (24) + (23)$	316° 02' 03'', 0
26	$2\sigma_1 + 2\sigma_0 = (24) + 2 (23)$	63° 05'
27	$4\sigma_1 + 2\sigma_0 = 2 (24) + 2 (23)$	273° 04'
28	$2\sigma_0 = 2 (23)$	254° 06'
29	$\sin \sigma_0 = \sin (23)$	0,798095
30	$\cos (2\sigma_1 + \sigma_0) = \cos (25)$	0,719754

$$\sqrt{1-e^2} = 0,99664767$$

№ №	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
31	$\cos (2\sigma_1 + 2\sigma_0) = \cos (28)$	0,120
32	$\cos (4\sigma_1 + 2\sigma_0) = \cos (27)$	0,038
33	$\sin 2\sigma_0 = \sin (28)$	-0,962
34	$I_{\sigma} = (15) (29) (30)$	136,611
35	$II_{\sigma} = (16) (32) (23)$	-0,001
36	$III_{\sigma} = (19) (31) (34)$	0,019
37	$\sigma'' = (21) + (34) + (35) + (36)$	457521'',778
38	σ°''	127° 06' 21'',778
39	$\sigma_3 = \sigma_1 + \sigma = (22) + (35)$	221° 34' 50'',700
40	$\cos \sigma_3$	-0,74802111
41	$\operatorname{tg} \sigma_3$	0,88724092
42	$\operatorname{tg} A_{g,1} = (12) : (40)$	-0,90445458
43	$A_{1,1} (-42^{\circ} 07' 40'',379)$	317° 52' 18'',021
44	$\cos A_{2,1}$	0,74164916
45	$\operatorname{tg} U_2 = -(41) (44)$	-0,65802148
46	$\operatorname{tg} B_2 = (45) \sqrt{1 + e^2}$	-0,66023491
47	B_2	-33° 28' 03'',059
48	$I_{\lambda} = (17) (37)$	1532,8°0
49	$II_{\lambda} = (18) (29) (30)$	0,229
50	(48) + (48)	1533,109
51	$\Delta l'' = (10) (50)$	859'',085
52	$\operatorname{tg} \lambda_2 = (10) (41)$	0,49717000
53	$\operatorname{tg} \lambda_1 = (10) (20)$	-7,18372880
54	$\lambda_2 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (52)$	26° 26' 06'',672
55	$\lambda_1 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (53)$	-82 01 13,163
56	$\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = (54) - (55)$	108° 27' 19'',835
57	$\Delta l = (51)^{\circ}''$	14' 19'',086
58	$l = \lambda - \Delta l = (56) - (57)$	108° 13' 00'',749
59	L_1	32° 46' 12'',004
60	$L_2 = (58) + (59)$	140° 58' 12'',753

$$\sqrt{1+e^2} = 1,00336381$$

ლიდან მეორე სხვაობისათვის ანუ $\Delta \sin^2 A_0 = 0,14641 - 0,1 = 0,04641$ ოდენობისათვის ($0,04397$ და $0,05259$ შორის) $d\Delta\beta = -0,006 \cdot 10^{+1}$, ე. ი. შესწორებულ $\Delta\beta = -34,550 \cdot 10^{+1} - 0,006 \cdot 10^{+1} = -34,556 \cdot 10^{+1}$. მაშასადამე, $\beta = 311,787 - 0,04641 \cdot 34,555 \cdot 10^{+1} = 311,787 - 16,037 = 295,750$ (15 სტრიქონი). მე-16 სტრიქონისათვის (1) ცხრილიდან (ხაზოვანი ინტერპოლაციით) $\sin^2 A_0 = 0,1$ ოდენობისათვის $\gamma = 0,059$ და $\Delta\gamma = -12 \cdot 10^{-2}$, ხოლო $\sin^2 A_0 = 0,14641$ ოდენობისათვის $\gamma = 0,059 - 0,04641 \cdot 12 \cdot 10^{-2} = 0,059 - 0,056 = 0,053$ (16 სტრიქონი). მე-17 სტრიქონისათვის (1) ცხრილიდან $\sin^2 A_0 = 0,1$ ოდენობისათვის $\alpha_1 = 0,003349799$ და $\Delta\alpha_1 = +280 \cdot 10^{-8}$, ხოლო $\sin^2 A_0 = 0,14641$ ოდენობისათვის $\alpha_1 = 0,003349799 + 0,04641 \cdot 280 \cdot 10^{-8} = 0,003349799 + 0,000000130 = 0,003349929$. მე-18 სტრიქონისათვის (1) ცხრილიდან $\sin^2 A_0 = 0,1$ ოდენობის შესაბამისად $\beta_1 = 0,522$ და $\Delta\beta_1 = -58 \cdot 10^{-2}$, ხოლო $\sin^2 A_0 = 0,14641$ ოდენობისათვის $\beta_1 = 0,522 - 0,04641 \cdot 58 \cdot 10^{-2} = 0,522 - 0,027 = 0,495$.

რაც შეეხება 43-ე მოკმედებას (43 სტრიქონს), განსაზღვრულ შებრუნებულ $A_{2,1} = -54^\circ 59' 52'',961$ აზიმუტს უნდა დავუმატოთ 180° და მივიღებთ საქმის შებრუნებულ აზიმუტს $A_{2,1} = 125^\circ 00' 07'',039$ (შეადგინეთ ნახაზი). სქემის ბოლოშია $\sqrt{1-\epsilon^2}$ და $\sqrt{1+\epsilon^2}$ ოდენობები კრასოვსკის ელიფსოიდისათვის.

ამოცანა 2.6.4.2. კრასოვსკის ელიფსოიდზე მოცემულია წერტილის $B_1 = 55^\circ 45' 00'',000$ და $L_1 = 32^\circ 46' 12'',004$ გეოდეზიური კოორდინატები; მეორე წერტილზე $A_{1,2} = 96^\circ 36' 08'',800$ გეოდეზიური აზიმუტი და $S = 14112402,4$ მ გეოდეზიური ხაზი. საჭიროა ამ მონაცემებით განისაზღვროს მეორე წერტილის B_2 , L_2 გეოდეზიური კოორდინატები და $A_{2,1}$ შებრუნებულ გეოდეზიური აზიმუტი.

ამოცანის ამოხსნა (1) სქემის ანალოგიურად მოცემულია (2) სქემაში. $\sin^2 A_0 = 0,31400$ ოდენობის შესაბამისად გამოყენებულია (1) და (2) ცხრილი α , β სიდიდეებისათვის, მხოლოდ (1) ცხრილი გამოიყენება γ , α_1 , β_1 სიდიდეების ოდენობების დასადგენად (1) მაგალითის მიხედვით. მაგალითად $\sin^2 A_0 = 0,3$ ოდენობისათვის (1) ცხრილიდან $\alpha = 0,0324093928$ და $\Delta\alpha = +54,454 \cdot 10^{-9}$; $\beta = 242,664$ და $\Delta\beta = -34,596 \cdot 10^{+1}$. (2) ცხრილიდან $\Delta \sin^2 A_0 = 0,01400$ ოდენობისათვის $d\Delta\alpha = -14 \cdot 10^{-9}$ ($0,00938 - 0,01562$ შორის), $d\Delta\beta = -0,010 \cdot 10^{+1}$ ($0,00948 - 0,01810$ შორის), ე. ი. შესწორებული $\Delta\alpha = 54440 \cdot 10^{-9}$ და $\Delta\beta = -34,606 \cdot 10^{+1}$. საბოლოოდ $\alpha = 0,0324101550$ და $\beta = 237,819$. (1) ცხრილიდან $\gamma = 0,036 - 0,01400 \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,035$, $\alpha_1 = 0,0033 \cdot 0,0360 + 0,01400 \cdot 281 \cdot 10^{-8} = 0,003350399$, $\beta_1 = 0,406 - 0,01400 \cdot 58 \times 10^{-2} = 0,398$. იხილეთ (2) სქემის მე-14 და მე-18 სტრიქონი. 20 სტრიქონზე მიღებული $\text{ctg } \sigma_1 = -12,73072833$ ოდენობის შესაბამისი σ_1 არგუმენტის მოძებნისათვის განვსაზღვრავთ $\frac{1}{\text{ctg } \sigma_1} = \text{ctg } \sigma_1 = -\frac{1}{12,73072833} = -0,07855010$,

რომლის შესაბამისი $\sigma_1 = -85^\circ 30' 31'',078$ ანუ 180° დამატებით მივიღებთ $\sigma_1 = 94^\circ 29' 28'',922$ (22 სტრიქონი). 43-ე სტრიქონზე $A_{2,1} = -42^\circ 07' 40'',379$ ოდენობას უნდა დავუმატოთ 360° . მაშასადამე, $A_{2,1} = 317^\circ 52' 19'',521$ (შეადგინეთ ნახაზი).

**ბ. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნა სფეროიდულ
გეოდეზიური კოორდინატების საშუალებით**

ამოცანა 2.6.4.3. კრასივსკის ელიფსოიდზე მოცემული Q_1 და Q_2 წერტილების შესაბამისად $B_1 = 42^\circ 50' 56'', 480$ და $L_1 = 39^\circ 58' 54'', 560$; $B_2 = 62^\circ 13' 52'', 788$ და $L_2 = 10^\circ 54' 21'', 427$. საჭიროა განისაზღვროს ამ წერტილებს შორის უმოკლესი მანძილი ანუ S გეოდეზიური ხაზის სიგრძე და მისი $A_{1,2}$ პირდაპირი და $A_{2,1}$ შებრუნებული გეოდეზიური აზიმუტი. ამოხსნა მოცემულია (3) სქემაში. 56, 57, 58, 59, 60-ე სტრიქონების α , β , γ , α_1 , β_1 ოდენობების გამოთვლა ხდება (1), (2) ცხრილის გამოყენებით ისე, როგორც ეს მოცემულია (1) და (2) ამოცანის ამოხსნის დროს.

ამოცანა 2.6.4.4. მონაცემები და ამოხსნა მოცემულია (4) სქემაში, სადაც ყოველივე წინა ამოცანების ამოხსნის ანალოგიურია (მე-4 სქემა).

**2.6.5. მთავარი გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნა
სივრცეში**

წინა პარაგრაფში განხილულია საკითხები დედამიწის ელიფსოიდის ზედაპირზე მდებარე წერტილებს შორის გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნის შესახებ. როგორც ცნობილია, ამოცანების ამოსახსნელად საჭირო მონაცემები წარმოადგენს თვით დედამიწის ზედაპირზე უშუალოდ შესრულებული განაზომების ელიფსოიდის ზედაპირზე რედუქციების შედეგს. შემოხსენებული განაზომები ელიფსოიდის ზედაპირიდან უმრავლეს შემთხვევაში დაშორებულია რამდენიმე ათეული და ასეული მეტრით და არ აღემატება 10 კილომეტრს, ე. ი. წერტილთა გეოდეზიური სიმაღლეები არ გადასცილდება 10 კმ, ხოლო მათ შორის გეოდეზიური მანძილები შეიძლება ათეული და ასეული კილომეტრები იყოს. ამავდროულად გარემო პირობები, როგორც არის ატმოსფერული რეფრაქცია და სხვა, საშუალებას არ იძლევა თანადროულად და ტოლი სიზუსტით იქნეს გაზომილი შემოხსენებული მანძილები და თარაზული და ვერტიკალური კუთხეები. მაგალითად, ტრიანგულაციაში თარაზული კუთხეები გაცილებით უფრო ზუსტად იზომება, ვიდრე ზენიტური მანძილები (კუთხეები).

აღნიშნულის გამო ამჟამადაც სრულიად დასტურდება (1.6) თავში დედამიწის ნამდვილი სახის დადგენისათვის მიღებული მეთოდი იმის შესახებ, რომ გეოდეზიური ქსელების განაზომები გვემილდება რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე და მასზე გამოითვლება ყოველი პუნქტის B , L გეოდეზიური კოორდინატები. ხოლო მესამე კოორდინატები სრულიად დამოუკიდებლად ისაზღვრება და H გეოდეზიური სიმაღლეები წარმოადგენს ასტრონომიულ-გეოდეზიურ-გრავიმეტრიული მეთოდებით გაზომილი G' ანომალიისა და გეოდეზიურად (გეომეტრიული ნიველობით) გაზომილი H' ნორმალური სიმაღლის ჯამს.

სულ სხვა მდგომარეობა იქმნება იმ შემთხვევაში, როცა საჭირო ხდება განისაზღვროს წერტილის მდებარეობა დედამიწის ხილული ზედაპირი და ან დედამიწის ატმოსფეროში იმ სიმაღლეზე, რომლებიც თანაზომადნი იქნებიან შესაბამისი პორიზონტალური მანძილებისა. ასეთი შემთხვევები განშირდა კოსმოსური ერის დასაწყისიდან (1957 წელი), როცა გეოდეზიური დაკვირვებების ობიექტებად მიჩნეულ იქნა საპირო და კოსმო-

№ №	ფორმულების ელემენტები	ოღენობები
1	B_1	$42^{\circ} 50' 56'', 480$
2	$\operatorname{tg} B_1$	0,92760068
3	$\operatorname{tg} U_1 = (2) \cdot \sqrt{1 - e^2}$	0,92449108
4	U_1	$42^{\circ} 45' 11'', 186$
5	$\cos U_1$	0,73429570
6	B_2	$62^{\circ} 18' 52'', 788$
7	$\operatorname{tg} B_2$	1,69918528
8	$\operatorname{tg} U_2 = (7) \sqrt{1 - e^2}$	1,89281858
9	U_2	$62^{\circ} 09' 06'', 982$
10	$\cos U_2$	0,46712848
11	L_2	$10^{\circ} 54' 21'', 427$
12	L_1	$89^{\circ} 58' 54'', 560$
13	$l = (11) - (12)$	$-29^{\circ} 04' 33'', 133$
14	$\sin l$	-0,4860
15	$\cos l$	0,87398
16	(9) (8)	1,7499
17	(15) + (16)	2,6239
18	(5) (10)	0,3430
19	$\cos \sigma_0 = (17) (18)$	0,8000
20	σ_0	$25^{\circ} 50' 80''$
21	σ_0''	93 030''
22	$\sin \sigma_0$	0,4359
23	$\sin A_0 = (18) (14) : (22)$	-0,3824
24	$\Delta k_0'' = 0,003351 (21) (23)$	-119''
25	$\lambda_0 = (13) + (24)$	$-29^{\circ} 06' 32'', 133$
26	$\sin \lambda_0$	-0,48847150
27	$\cos \lambda_0$	0,87369645
28	(27) (3)	0,80772456
29	(8) - (29)	1,06509402
30	(29) (5)	0,79676902
31	$\operatorname{tg} \bar{A}_{1,2} = (26) : (30)$	-0,61055323
32	$\bar{A}_{1,2} (-31^{\circ} 24' 22'', 933)$	$328^{\circ} 35' 37'', 067$
33	$\sin \bar{A}_{1,2}$	-0,52110478
34	$\cos \bar{A}_{1,2}$	+0,85349286
35	(27) (8)	+1,65374887
36	(35) - (3)	+0,72925781
37	(36) (10)	+0,34085709

$$\sqrt{1 - e^2} = 0,99664767$$

№№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
38	$\text{ctg } \bar{A}_{2,1} = (26) : (37)$	-1,42803867
39	$\bar{A}_{2,1} = (-54^{\circ} 59' 52'', 580)$	125° 00' 07'', 420
40	$\sin \bar{A}_{2,1} = \sin (39)$	+0,81913141
41	$\cos \bar{A}_{2,1} = \cos (39)$	-0,57360590
42	$\sin \bar{A}_0 = (5) (33)$	-0,38263979
43	$\text{ctg } \bar{\sigma}_1 = (34) : (3)$	+0,92320294
44	$\text{ctg } \bar{\sigma}_2 = -(-1) : (8)$	+0,3030325
45	$\bar{\sigma}_2 = \text{arc ctg } (44)$	73° 08' 27'', 319
46	$\bar{\sigma}_1 = \text{arc ctg } (43)$	47° 17' 12'', 163
47	$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_2 - \bar{\sigma}_1 = (45) - (46)$	25° 51' 15'', 156
48	$\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 = (46) + (45)$	120° 25' 39'', 5
49	$2\bar{\sigma} = 2 (47)$	51° 43'
50	$2(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) = 2 (48)$	240° 51'
51	$\sin \sigma = \sin (47)$	+0,43'083
52	$\cos(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) = \cos (48)$	-0,506150
53	$\sin 2\sigma = \sin (49)$	0,785
54	$\cos 2(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) = \cos (50)$	-0,487
55	$\sin^2 \bar{A}_0 = (23)^2$	0,14641
56	α	0,0324010355
57	β	295,750
58	γ	0,053
59	α_1	0,003349929
60	β_1	0,495
61	$\bar{\sigma}'' = (47)''$	9;075'', 156
62	(61) (59) (42)	-119,305
63	(60) (44) (51) (52)	-0,042
64	$dL' = (62) + (63) - (24)$	-0,263
65	$d\sigma'' = (64) (42)$	+0,101
66	-(65) (51) (52)	+65,312
67	-(58) (53) (54)	+0,020
68	(61) + (65) + (66) + (67)	99 140'', 589
69	$S = (68) : (56)$	2 874 617,6
70	(64) : (51)	-0,603
71	$dA_{1,2} = -(70) (10) (41)$	-0'', 162
72	$dA_{2,1} = (70) (5) (34)$	-0,376
73	$A_{1,2} = (82) + (71)$	328° 35' 36'', 905
74	$A_{2,1} = (39) + (72)$	125° 00' 07'', 042

№№	ფორმულების ელემენტები	ოდენობები
1	B_1	55° 45' 00",000
2	$\operatorname{tg} B_1$	1,46860672
3	$\operatorname{tg} U_1 = (2) \sqrt{1 - e^2}$	1,46477316
4	U_1	55° 39' 37",585
5	$\cos U_1$	0,56409629
6	B_2	-33° 26' 03",054
7	$\operatorname{tg} B_2$	-0,66023481
8	$\operatorname{tg} U_2 = (7) \sqrt{1 - e^2}$	-0,65802148
9	U_2	-33° 29' 44",791
10	$\cos U_2$	0,83536345
11	L_2	140° 59' 12",753
12	L_1	32° 46' 12",004
13	$l = (11) - (12)$	108° 13' 00",749
14	$\sin l$	0,9499
15	$\cos l$	-0,4126
16	(8) (3)	-0,9632
17	(15) + (16)	-1,2758
18	(5) (10)	0,4712
19	$\cos \sigma_0 = (17) (18)$	-0,6016
20	$\sigma_0 = \arccos (19) (-53° 01' 00'')$	128° 59' 00''
21	σ_0''	457 140''
22	$\sin \sigma_0 = \sin (20)$	0,7988
23	$\sin \Delta_0 = (18) (14) : (2')$	0,5605
24	$\Delta_0'' = 0,00335 (21) (23)$	858''
25	$\lambda_0 = (13) + (24)$	108° 27' 18",749
26	$\sin \lambda_0$	0,94857142
27	$\cos \lambda_0$	-0,91656419
28	(27) (3)	-0,46437670
29	(5) - (28)	-0,19464478
30	(29) (5)	-0,10979840
31	$\operatorname{tg} \bar{A}_1 = (26) : (30)$	-8,63920986
32	$\bar{A}_1 = (-83° 23' 50",356)$	96° 36' 09",644
33	$\sin \bar{A}_1$	0,99336739
34	$\cos \bar{A}_1$	-0,1498360
35	(4) (27)	0,20830538
36	(35) - (3)	-1,25546776
37	(36) (10)	-1,04877917

$$\sqrt{1 - e^2} = 0,99664767$$

№№	ფორმულების ელემენტები	ოღონობები
38	$\operatorname{tg} \bar{A}_2 = (.6) : (37)$	-0,97445381
39	$\bar{A}_2 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (38); (-42^\circ 07' 40'', 391)$	317° 52' 19'', 609
40	$\sin \bar{A}_2$	-0,67078767
41	$\cos \bar{A}_2$	0,74164945
42	$\sin A_0$	0,5 035486
43	$\operatorname{ctg} \bar{\sigma}_1 = (.34) : (.1)$	-0,0785289
44	$\operatorname{ctg} \bar{\sigma}_2 = -(41) : (8)$	1,12709003
45	$\bar{\sigma}_2 = (41^\circ 34' 50'', 661)$	221° 34' 50'', 661
46	$\bar{\sigma}_1 = (-15^\circ 30' 30'', 508)$	94° 29' 29'', 492
47	$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_2 - \bar{\sigma}_1 = (45) - (46)$	127° 05' 21'', 169
48	$\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 = (46) + (45)$	316° 04' 20'', 158
49	$2\bar{\sigma} = (47)$	254° 10' 42'', 338
50	$2(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) = 2(48)$	272° 08' 40'', 306
51	$\sin \bar{\sigma} = \sin(47)$	0,79767747
52	$\cos(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) = \cos(48)$	0,72021738
53	$\sin 2\bar{\sigma} = \sin(49)$	-0,96211341
54	$\cos 2(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) = \cos(50)$	0,03742036
55	$\sin^2 A_0 = (.42)^2$	0,31407
56	α	0,0324161550
57	β	237,819
58	γ	0,035
59	α_1	0,0033503,99
60	β_1	0,398
61	$\bar{\sigma}'' = (47)''$	457521,169
62	$(61) (59) (42)$	358,956
63	$(60) (43) (5) (52)$	0,128
64	$d\bar{\sigma}'' = (.2) + (63) - (24)$	1,034
65	$d\sigma'' = (64) (42)$	0,607
66	$-(57) (51) (52)$	-136,630
67	$-(52) (53) (54)$	0,001
68	$(61) + (65) + (66) + (67)$	457 895,147
69	$S = (68) : (56)$	14 112 402,33
70	$(64) : (51)$	1,359
71	$dA_{1,2} = -(71) (10) (41)$	-0,842
72	$dA_{2,1} = (70) (5) (34)$	-0,088
73	$A_{1,2} = (32) + (71)$	96° 36' 08'', 602
74	$A_{2,1} = (39) + (72)$	317° 52' 19'', 521

სური სამიზნეები; თვითმფრინავები, რაკეტები, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი და სხვა. ამ ობიექტების სიმაღლეები ელიფსოიდის ზედაპირიდან აღწევნ ათეულ და ასეულ კილომეტრებს, ხოლო მათზე მიმართებათა დახრის კუთხეები შეადგენენ ათეულ გრადუსებს.

როგორც ცნობილია, ასეთი ობიექტები მოძრაობს, რის გამო საჭიროა თანადროულად იქნეს განსაზღვრული მათი სამივე სივრცობრივი კოორდინატები.

ზემოხსენებულის გამო გეოდეზიურ მეცნიერებათა ციკლში წარმოიშვა ახალი დარგები, როგორცაა: რადიოგეოდეზია, კოსმოსური გეოდეზია, სამზომადი გეოდეზია და სხვა. ყოველ მათგანს მიღებული აქვს თავისი მეთოდი ობიექტთა კოორდინატების განსაზღვრისა იმის შესაბამისად, თუ რა ელემენტებს ზომავენ. მაგრამ ყველა შემთხვევაში მიღებულია კოორდინატების სივრცითი სისტემები, რომლებიც დაკავშირებულია დედამიწასთან.

დედამიწის ყველა წერტილისათვის და მისი ატმოსფეროს სივრცეებისათვის კოორდინატთა ძირითად სისტემად მიღებულია გეოდეზიური B განედის, L გრძედის და H სიმაღლის სისტემა.

გარდა ზემოხსენებული სისტემისა, ფართოდ გამოიყენება დეკარტის სივრცითი მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა. ამ სისტემის ცენტრად მიჩნეულა დედამიწის ელიფსოიდის ცენტრი. x აბსცისათა ღერძი იმყოფება საწყისი (კრინვიჩის $L=0$) მერიდიანის სიბრტყეში, y ორდინატთა ღერძი კი იმყოფება $L=90^\circ$ მერიდიანის სიბრტყეში, ხოლო z აპლიკატთა ღერძი სწვრივია (ან ემთხვევა) ელიფსოიდის ბრუნვის ღერძისა და მიმართულია ჩრდილოეთისაკენ. ელიფსოიდის ზედაპირზე მდებარე წერტილების დეკარტისა და გეოდეზიურ კოორდინატებს შორის დამოკიდებულება გამოისახება ტოლობებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= N \cos B \cos L \\ y &= N \cos B \sin L \\ z &= N \sin B (1 - e^2) \end{aligned} \right\}, \quad (2.5.5.1)$$

ხოლო იმ წერტილებისათვის, რომლებიც ელიფსოიდის ზედაპირიდან N ნორმალის მიმართულებით დაშორებულია H სიმაღლით (დედამიწის ხილული ზედაპირის ზევით ატმოსფეროში), (1) დამოკიდებულებები მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\left. \begin{aligned} x &= (N + B) \cos B \cos L \\ y &= (N + H) \cos B \sin L \\ z &= (N + H) \sin B - e^2 N \sin B \end{aligned} \right\}. \quad (2.6.5.2)$$

არსებობს კიდევ სივრცითი პოლარული სისტემა კოორდინატებისა. ამ სისტემის პოლუსად იღებენ სივრცის Q_1 წერტილს, რომლის სივრცითი კოორდინატებია B_1, L_1, H_1 . ნებისმიერი Q_2 წერტილის მდებარეობა ამ სისტემაში ისაზღვრება Q_1 და Q_2 წერტილზე გამოვალის ნორმალის სიბრტყის $A_{1,2}$ აზიმუტით, $Q_1 Q_2$ მიმართების χ_1 ზენიტური მანძილით და Q_1, Q_2 წერტილებს შორის სწორხაზოვანი (ეუოკლესი) D მანძილით. მაშასადამე, Q_2 წერტილის პოლარული კოორდინატები იქნება $A_{1,2}, \chi_1$ და D .

A. პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანა სივრცეში

მოცემულია Q_1 წერტილის $B_1=69^{\circ}00'30",0$, $L_1=48^{\circ}30'00",0$, $H_1=850$ მ გეოდეზიური კოორდინატები და Q_2 წერტილის პოლარული კოორდინატები: $A_{1,2}=170^{\circ}00'20",0$, $\alpha_{1,2}=104^{\circ}50'50",0$ და $D=4110020$ მ. საჭიროა განისაზღვროს Q_2 წერტილის B_2 , L_2 და H_2 გეოდეზიური კოორდინატები.

ამოცანის ამოხსნა მოცემულია (1) სქემაში. მოქმედებები ნათელია, გარდა 13, 34, 41 სტრიქონებისა, რომლებიც გამოითვლება სქემაზე დართულ ტოლობაში, შესაბამისად, B_1 , \bar{B}_2 და B ოდენობების ჩასმით. მაგალითად, 13 სტრიქონისათვის

$$N_1 = 6378245 + (21346 + 107 \sin^2 B_1) \sin^2 B_1,$$

სადაც

$$\sin^2 B_1 = (0,933633)^2 = 0,871671$$

$$107 \cdot 0,871671 = 93$$

$$21346 + 93 = 21439$$

$$21439 \cdot 0,871671 = 18688$$

$$6378245 + 18688 = 6396933 \text{ (13 სტრიქონის მესამე სვეტი).}$$

ანალოგიურად 34-ე სტრიქონისათვის

$$\bar{N}_2 = 6378245 + (21346 + 107 \sin^2 \bar{B}_2) \sin^2 \bar{B}_2,$$

სადაც

$$\sin^2 \bar{B}_2 = (0,537117)^2 = 0,288495$$

$$107 \cdot 0,288495 = 31$$

$$21346 + 31 = 21377$$

$$21377 \cdot 0,288495 = 6167$$

$$6378245 + 6167 = 6384412 \text{ (34 სტრიქონის მესამე სვეტი).}$$

ასევე 41-ე სტრიქონისათვის

$$N_2 = 6378245 + (21346 + 107 \sin^2 B_2) \sin^2 B_2,$$

სადაც

$$\sin^2 B_2 = (0,537015)^2 = 0,288385$$

$$107 \cdot 0,288385 = 31$$

$$21346 + 31 = 21377$$

$$21377 \cdot 0,288385 = 6165$$

$$6378245 + 6165 = 6384410 \text{ (41 სტრიქონის მესამე სვეტი).}$$

e^2 და $1+e^2$ ცხრილზე დართული ოდენობები მოცემულია კრასოვსკის ელიფსოიდის პარამეტრების მიხედვით.

B. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანა სივრცეში

მოცემულია სივრცის Q_1 და Q_2 წერტილების $B_1=69^{\circ}00'30",0$, $L_1=48^{\circ}30'00",0$, $H_1=850$ მ და $B_2=32^{\circ}28'50",4$, $L_2=55^{\circ}33'35",1$, $H_2=265875$ მ გეოდეზიური კოორდინატები. საჭიროა ამ მონაცემებით განი-

№	ფორმულის ელემენტები	ოღონები	№	ფორმულის ელემენტები	ოღონები
1	B_1	$69^{\circ} 01' 40''$	24	$tg \angle = (19) : (18)$	$0,123848$
2	L_1	$48 30 00,0$	25	\angle	$07^{\circ} 03' 35'',1$
3	$A_{1,1}$	$170 00 21,0$	26	$\sin \angle$	$0,123004$
4	$Z_{1,1}$	$104 50 0,0$	27	$\cos \angle$	$0,992419$
5	H_1	$850 3$	28	$(18) (27)$	$5 525 257$
6	D	$4 110 0:0 3$	29	$(19) (:6)$	$84 41$
7	$\sin B_1$	$0,934931$	30	$(28) + (29)$	$5 609 998$
8	$\cos B_1$	$0,3558232$	31	$tg \bar{B}_2 = (1 + e^2) (23) : (30)$	$0,036767$
9	$\sin A_{1,1}$	$0,174553$	32	\bar{B}_2	$32^{\circ} 29' 15'',4$
10	$\cos A_{1,1}$	$-0,984825$	33	$\sin \bar{B}_2$	$0,537117$
11	$\sin Z_{1,1}$	$0,966619$	34	N_2 დარბული ტოლობით	$6 284 412$
12	$\cos Z_{1,1}$	$-0,256243$	35	$(34) (33) e^2$	$22 938$
13	N_1 დარბული ტოლობით	$6 996 933$	36	$(23) + (35)$	$3 571 903$
14	$(6) (12)$	$-1 053 164$	37	$tg B_2 = (36) : (30)$	$0,686596$
15	$(13) + (14) + (5)$	$5 344 619$	38	B_2	$32^{\circ} 28' 50'',4$
16	$(15) (6)$	$1 914 614$	39	$\sin B_2$	$0,537016$
17	$(6) (7) (10) (11)$	$-3 632 650$	40	$(36) : (39)$	$6 650 285$
18	$x_2 = (16) - (17)$	$5 567 474$	41	N_2 დარბული ტოლობით	$6 384 410$
19	$y_2 = (6) (9) (11)$	$689 491$	42	$H_2 = (40) - (41)$	$2 5 875$
20	$(15) (7)$	$4 950 913$	43	$L_2 = (2) + (25)$	$55^{\circ} 53' 35'',1$
21	$-(13) (7) e^2$	$-39 976$		$e^2 =$	$0,07669342$
22	$(6) (8) (10) (11)$	$-1 401 587$		$1 + e^2 =$	$1,00673658$
23	$x_1 = (20) + (21) + (22)$	$3 548 350$			

$$N = 6 378 246 + (21 346 + 107 \sin^2 B) \sin^2 B$$

№№	ფორმულების ელემენტები	ოღონობები	№№	ფორმულების ელემენტები	ოღონობები
1	B_1	69° 00' 30" 0	24	(12) (6) ρ^2	39 976
2	B_2	32 28 50,4	25	(13) (8) ρ^2	22 949
3	L_2	55 33 35,1	26	$G=(24)-(15)$	17 027
4	L_1	48 30 00,0	27	(17) (20)	-3 918 621
5	$l=(3)-(4)$	07 03 35,1	28	(26) (7)	6 100
6	$\sin B_1$	0,93033	29	$\xi=(27)+(28)$	-9 912 521
7	$\cos B_1$	0,358232	30	$\eta=(17)(9)(10)$	689 495
8	$\sin B_2$	0,537015	31	(17) (23)	5 328 734
9	$\cos B_2$	0,845573	32	(26) (6)	15 497
10	$\sin l$	0,12304	33	$\zeta=(31)+(32)-(14)$	-1 053 152
11	$\cos l$	0,992419	34	$\text{ctg } A_{1,2}=(29):(40)$	-5,674500
12	N_1 დართული ტოლობით	6 398 933	35	$A_{1,2}=-9' 59' 40'' 2$	170° 00' 18'',8
13	H_1	850 3	36	$\sin A_{1,2}$	0,173554
14	$N_1+H_1=(12)+(13)$	6 397 763	37	$\cos A_{1,2}$	-0,984825
15	N_2 დართული ტოლობით	6 384 410	38	(30) (36)	119 665
16	H_2	265 875 3	39	(23) (17)	3 863 148
17	$N_2+H_2=(15)+(16)$	6 650 285	40	(39)+(38)	8 972 813
18	(7) (8)	0,192376	41	$\text{ctg } Z_{1,2}=(33):(40)$	-0,265090
19	(6) (9) (11)	0,721617	42	$Z_{1,2}=(-79' 09' 10' 6)$	104° 50' 49'' 4
20	$E=(18)-(19)$	0,589241	43	$\sin Z_{1,2}$	0,966613
21	(6) (8)	0,501376	44	$\cos Z_{1,2}$	-0,256249
22	(7) (9) (11)	0,299904	45	(40) (43)	3 840 178
23	$F=(21)+(22)$	0,801279	46	(33) (44)	269 263
	$\rho^2=0,0068342$		47	$D=(45)+(46)$	4 110 036

$$N = 6\ 378\ 245 + (21\ 346 + 107 \sin^2 B) \sin^2 Z$$

სახლგროს წერტილებს შორის წოფივი D მანძილი, A_1 აზიშუტი წერტილებზე გამავეალი ნორმალი სიბრტყისა და Z_1 ზენიტური მანძილი პირველი წერტილიდან მეორე წერტილზე.

ამოხსნა მოცემულია (2) სქემაში. სქემაზე დართული ტოლობის ამოხსნა ხდება B_1 და B_2 შესაბამისად ისევე, როგორც ეს შესრულებულია პირდაპირ გეოდეზიური ამოცანის ამოხსნის დროს.

საერთოდ, ასეთი მიდგომით გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნისას სინათლის ან რადიო მანძილზომებით გაზომილი მანძილები დაიყვანება ელიფსოიდის ზედაპირზე ამ წერტილების პროექციების შემაერთებელ ქორდამდე.

პიკოზიტი აღნიშნავი

მ ს ხ ე ლ მ ა ს შ ტ ა ბ ი ა ნ ი ტ ო პ ო გ რ ა ფ ი უ ლ ი რ უ კ ე ბ ი (i : 100000—1 : 50000—1 : 25000) და გეგმები (1 : 10000—1 : 5000—1 : 2000—1 : 1000—1 : 500), როგორც ცნობილია, იქმნება ადგილის ასტრონომიული, გეოდეზიური და ტოპოგრაფიული განაზომების მათემატიკური დამუშავების შედეგად. ამ რუკების საფუძველზე კამერალურად (არა ადგილზე გაზომების შედეგად) დგება მ ი მ ო ხ ი ლ ე თ ი ტ ო პ ო გ რ ა ფ ი უ ლ ი საშუალომასშტაბიანი (1 : 1000000—1 : 500000—1 : 300000—1 : 200000) და მ ი მ ო ხ ი ლ ე თ ი წ ვ რ ი ლ მ ა ს შ ტ ა ბ ი ა ნ ი რ უ კ ე ბ ი, რომელთა შემცირების ზომა მილიონზე მეტია.

რუკებსა და გეგმებზე ადგილის ტოპოგრაფიული ელემენტების დატანა შეუძლებელია მათი ნატურალური ზომებით, რისთვისაც იყენებენ მასშტაბს. ხშირად წვლილადებს წარმოდგენენ ისეთი ტოპოგრაფიული ელემენტები, რომელთა ზომები ნაკლებია მიღებული მასშტაბის ზღვრულ სიზუსტეზე და, პირიქით. —წვლილადების ზომები მეტია მასშტაბის ზღვრულ სიზუსტეზე, მაგრამ მასშტაბში მათი გამოსახვა გეგმაზე საჭირო არ არის; გარდა აღნიშნულისა, მრავალი წვლილადის ორთოგონალური გეგმილის ფორმა ზუსტად ერთნაირია, რომელთა გარჩევა გეგმაზე შეუძლებელი იქნება, თუ არ გამოვიყენებთ რაიმე ურთიერთ განმასხვავებელი აღნიშვნები და სხვა. მაშასადამე, ადგილის რუკებისა და გეგმების შედგენის დროს საჭირო ხდება გამოყენებულ იქნეს პ ი რ ო ბ ი თ ი ა ღ ნ ი შ ვ ე ნ ე ბ ი, რომლებიც წვლილადებს ერთმანეთისაგან განასხვავებენ.

იმისათვის, რომ რუკები და გეგმები იყოს თვალსაჩინო, გაგნებისა და ადგილის სურათის სრულყოფილად წარმოდგენისათვის ვარგისი, პირობითი აღნიშვნები უნდა აკმაყოფილებდეს სამ ძირითად მოთხოვნილებას:

1. ადვილად დამახსოვრებისა და სწრაფად გამოცნობის მიზნით ისინი უნდა იყვნენ რაც შეიძლება მსგავსნი წვლილადებისა (მოყვანილობით ან ფერით); უნდა იყვნენ შ ი ნ ა ა რ ს ი ა ნ ი, რათა ხაკლებად იყოს საჭირო დამატებით განმარტებითი ასოებისა და ციფრების გამოყენება. რომლებიც აბუნდოვანებენ რუკებს;
2. ადვილად გამოსახვისა და ბეჭედის მიზნით გამოსახულებით იყოს რაც შეიძლება მ ა რ ტ ი ვ ი, ლ ა მ ა ზ ი, მ ო ხ დ ე ნ ი ლ ი, ე კ ო ნ ო მ ი უ რ ი (რუკებზე იჭერდეს რაც შეიძლება მცირე ადგილს) და ს ტ ა ნ დ ა რ ტ უ ლ ი (მსგავსებით და არა ოდენობით), ანუ ერთნაირად გამოიყენებოდეს ყველა რუკაზე და გეგმაზე;
3. მათი რაოდენობა არ უნდა იყოს დიდი და არც ისე მცირე, რომ შესაძლებელი გახდეს წვლილადების ერთმანეთში არევა. მაგალითად, ტყის ყველა ელემ. რომ თავისი პირობითი აღნიშვნა შევეუქმნათ, მათი მრავალსახეობის გამო

გვემის შედგენა შეუძლებელი გახდება, მაგრამ ტყის მასივების, როგორცაა წიწვიანი, ფოთლოვანი, შერეული, გადაშვარი, ბუჩქნარი და სხვა—ერთი პირობითი აღნიშვნით გამოსახვა არ შეიძლება, რადგანაც სახალხო მეურნეობის თვალთახედვით მათი განსაკუთრებული მხიშვნელობის გამო ყოველი მასივის ცილნა აუცილებელია.

წვლილადების გამომსახველი პირობითი აღნიშვნები მათი დანიშნულებისა და გეომეტრიული თვისებების შესაბამისად არის ხუთგვარი: მასშტაბური, ზოლური, უმასშტაბო, განმარტებითი და უსწორმასწორობის გამომსახველი.

2.7.1. მასშტაბური, ზოლური, უმასშტაბო და განმარტებითი პირობითი აღნიშვნები

1. მასშტაბური, ანუ ფართობითი (კონტურული) პირობითი აღნიშვნები წარმოდგენას გვაძლევს წვლილადის რაობაზე (რასაგანია), ადგილმდებარეობაზე, რუკის მასშტაბის შესაბამისად ზომებზე (სიგანეზე, სიგრძეზე, ფართობზე) და მოყვანილობაზე (კონტურის ფორმაზე, რომლითაც დგინდება წვლილადის საზღვარი მომიჯნავე წვლილადისაგან). წვლილადების კონტურები, თუ ადგილზე მკაფიოდ არის წარმოდგენილი, ასევე მკაფიოდ უნდა იყოს ისინი გამოსახული ქალაქზე წერტილოვანი პუნქტით (წყვეტილხაზებით) ან მთლიანი წვრილი ხაზებით; ხოლო თუ მათ ესაზღვრება გზა, ლობე, არხი ან სხვა სახის ბუნებრივი ან ხელოვნურად შექმნილი კონტურები, მაშინ ეს უკანასკნელი მიიღება ქალაქზე მათ კონტურებად (ნახ. 1).

კონტურული პირობითი აღნიშვნებით გამოისახება დამატების (1) ცხრილში მოყვანილი საზღვრებსშივა ფართობები: დასახლებული პუნქტების (10, 11, 12, 28, 29), მცენარეულობის (157—164, 168—177, 180—187), გრუნტების, ნიადაგების, ქაობების (188—197), ტბების, მდინარეების, წყალსაცავების (108—129) და ნებისმიერი ზოლური (ხაზოვანი) წვლილადი, რომლის სიგანე შეიძლება გამოისახოს რუკის მასშტაბში.

2. ზოლური, ანუ ხაზოვანი (კონტურული) პირობითი აღნიშვნები წარმოდგენას გვაძლევს წვლილადების რაობაზე, სიგრძესა და კონტურის ფორმაზე. ამ სახის პირობითი აღნიშვნებით გამოსახვენ: კავშირგაბმულობას, რკინიგზებს, გზატკეცილებს, მდინარეებს, ლობეებს და სხვა, ანუ იმ წვლილადებს, რომელთაც აქვთ დიდი სიგრძე და მცირე სიგანე (1) ცხრილი). ამ ჯგუფს უპირავეს პირველ ჯგუფთან ახლო ადგილი, რადგანაც მათი სიგრძე გამოისახება რუკის მასშტაბში და კონტურებით შეძლებისდაგვარად მსგავსია ადგილობრივი საგნებისა; ამავე დროს სიმცირის გამო მათი სიგანეები რუკების მასშტაბებით ვერ გამოისახება და პირობით გადიდებულს ვიღებთ.

3. უმასშტაბო, ანუ უკონტურო (უფარგო) პირობითი აღნიშვნები წარმოდგენას გვაძლევს წვლილადების მხოლოდ რაობასა და ადგილმდებარეობაზე. მაშასადამე, ამ პირობითი აღნიშვნებით რუკაზე გამოისახება ისეთი წვლილადები, რომელთა ზომების დახაზვა რუკის მასშტაბით არ შეიძლება. ასეთებია (1) ცხრილში მოყვანილი: საყრდენი პუნქტები (1—9). ცალკეული ნაგებობები (13, 14, 15, 18, 20, 21, 22); ძეგლები, მონუმენტები და

სხვა (25—27, 32—35, 40—44, 46—49, 58—59, 68, 69). კავშირგაბმულობის (74, 75, 76), რკინიგზის (89—91), გზატკეცილების, ჰიდროგრაფიისა და სხვა (100, 118, 120, 121—125, 128, 130, 150, 153—155) თბიექტები. ხშირად ასეთი სახის პირობითი აღნიშვნები რუკაზე იკერს მეტ ადგილს, ვიდრე წვლილადებს შეესაბამება რუკის მასშტაბის მიხედვით. წვლილადების ასეთი გადიდებულად გამოხაზვის ხარისხი დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორი მნიშვნელობა აქვს ამა თუ იმ წვლილადს საორიენტაციოდ. წვლილადის ყოველი პირობითი აღნიშვნის გარკვეული წერტილი ან ხაზი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ წვლილადის მდებარეობა ადგილზე. მაგალითად, იმ აღნიშვნებისათვის, რომელთაც აქვთ სწორი გეომეტრიული ფიგურის ფორმა (ტოლრატი, წრე, მართკუთხედი, ვარსკვლავი და სხვა) ასეთ წერტილად მიიღება აღნიშვნის გეომეტრიული ცენტრი; იმ აღნიშვნებისათვის, რომელთაც აქვთ ფართო ფუძის ფორმა (წისკვილი, ქვალი, ობელისკი, ქარხნის მილი და სხვა), ასეთ წერტილად მიიღება აღნიშვნის ფუძის შუაგული; როცა აღნიშვნებს აქვს ფუძისთან მართი კუთხე (ცილომეტრიული ბოძი, გზის მაჩვენებელი, ბენზინის წერტილი), ასეთ წერტილად მიიღება მართი კუთხის წვერო; ისეთი აღნიშვნებისათვის, რომლებიც წარმოადგენენ რამდენიმე ფიგურის შეერთებას (ქარხანა მილით, ქაოწინარით, კოშკური ტიპის ნაგებობა, რადიო ანძა და სხვა), ასეთ წერტილად მიიღება აღნიშვნის ქვედა ფიგურის გეომეტრიული ცენტრი, ხოლო ზოლური (ხაზოვანი) პირობითი აღნიშვნებისათვის (რკინიგზები, გზატკეცილები, გრუნტისა და საველე გზები და სხვა) ასეთ ხაზად მიიღება აღნიშვნის დერძი.

წვლილადების ამა თუ იმ ჯგუფის პირობითი აღნიშვნებით გამოსახვა დამოკიდებულია საჭიროებასა და მასშტაბზე. მაგალითად, ბევრია ისეთი წვლილადი, რომლის გამოსახვა შეიძლება მასშტაბით, მაგრამ ვინაიდან მათი ოდენობა და მოყვანილობის ცოდნა არ არის საჭირო, ამიტომ მას გამოსახავენ უმასშტაბო პირობითი აღნიშვნებით (1 : 1000, 1 : 500, 1 : 200 გეგმებზე ცილომეტრიული ბოძი, გზის მაჩვენებლის სვეტის სიძსო და სხვა), მასშტაბის სიძსოს მიხედვით კი ერთი და იგივე წვლილადი შეიძლება მოხედეს პირველ, მეორე ან მესამე ჯგუფში. მაგალითად, მსცილ მასშტაბში დასახლებული ადგილი გამოისახება მთელი მისი გარეგანი მოხაზულობით, ყველა ქუჩით და შესახვევით, მოედნით, ცალკე შენობებით და სხვა, მაგრამ იგივე დასახლებული ადგილი, მასშტაბის თანდათანობით გაწვრილებასთან ერთად თავისი გამოსახულებით მარტივდება; კონტური ჰკარგავს მსგავსებას, შესახვევები ქრება, შენობები ერთიანდება უბნის ზოგად მოხაზულობაში, ე. ი. ხდება განზოგადება, ანუ გენერალიზაცია. საბოლოოდ წერილმასშტაბიან რუკებზე დასახლებული ადგილების რიცხვი მცირდება; ხშირად რუკაზე რჩება მხოლოდ მსხვილი დასახლებული პუნქტები და ისინიც გამოისახებიან რგოლებსა სპიით, ანუ უმასშტაბო პირობითი აღნიშვნებით. ზოლური ნაგებობები გამოისახება პირველი ჯგუფის პირობითი აღნიშვნებით მანამ, სანამ შესაძლებლობა გვექნება მათი სიგანე გამოვსახოთ რუკის მასშტაბით, ხოლო მასშტაბის გაწვრილების შესაბამისად ისინი შეიძლება გამოისახონ მესამე ჯგუფის პირობითი აღნიშვნებით. მაგალითად, როცა ხიდის სიგანე-სიგანე მეტია მასშტაბის ზღვრულ სიზუსტეზე, იგი გამოისახება პირველი ჯგუფის პირობითი აღნიშვნებით და თუ სიგანე ნაკლებია მასშტა-

ბის ზღვრულ სიზუსტეზე, მაშინ მას გამოვსახავთ მეორე ჯგუფის პირობითი აღნიშვნით, ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა ხიდის სიგრძე-სიგანე ნაკლებია მასშტაბის ზღვრულ სიზუსტეზე, ვიყენებთ მესამე ჯგუფის პირობით აღნიშვნებს და სხვა.

4. განმარტებითი პირობითი აღნიშვნები გამოიყენება პირველი სამი ჯგუფის პირობით აღნიშვნებთან ერთად წვლილადების დამატებითი დახასიათების მიზნით. მაგალითად, განმარტებითი პირობითი აღნიშვნებია: წიწვიანი, ფოთლოვანი და შერეული ტყის აღნიშვნები და აგრეთვე მათ მარჯვნივ მარჯვნივ წილადი, რომლის მრიცხველია ხის საშუალო სიმაღლე, მნიშვნელა აღამიანის მკერდის დონეზე საშუალო დიამეტრი, მამრავლი—ხეებს შორის საშუალო მანძილი; ხიდების სიგრძე-სიგანე და ტყირთამწვობის გამომსახველარიცხვები; გზების სიგანისა და საფარის ხასიათი; დასახლებულ ადგილებში კომლთა რაოდენობის რიცხვით გამოსახვა; ფონის სიღრმე და გრუნტის ხასიათი; მდინარეების მიმართულების და დინების სიჩქარის აღნიშვნა და სხვა (1) ცხრილი).

როგორც უმასშტაბო, ისე განმარტებითი პირობითი აღნიშვნები სხვადასხვა მასშტაბიანი რუკებისათვის ძირითადად ფორმით უცვლელია, ხოლო ზომებით ისინი რუკის მასშტაბის გამსხვილების შესაბამისად გადიდებულები გამოისახებიან. ასე რომ, არსებობს უმასშტაბო და განმარტებითი პირობითი აღნიშვნები წვრილ, საშუალო და მსხვილმასშტაბიანი რუკებისათვის (1) ცხრილი).

-1-სწავარების რუკებზე

რუკებზე სხვადასხვაგვარი წარწერები განმარტებითი პირობითი აღნიშვნების როლს ასრულებს. ისინი აღნიშნებიან გარკვეული შრიფტის და ზომის ასოების სახით. მაგალითად, თავისი შინაარსის მიხედვით რუკებზე წარწერები სამი სახით გვხვდება: საკუთარი დასახელებები, ნომენკლატურული ტერმინები და განმარტებითი წარწერები.

საკუთარი დასახელებები გადმოგვცემენ ტერიტორიების ან ობიექტების გეოგრაფიულ დასახელებებს (მხარეები, ქალაქები, დაბები და სხვა). ისინი ერთსა და იმავე რუკაზე ურთიერთგანიჩრევიან შრიფტებით, ზომებით და ფერებით, რაც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ დამატებითი დახასიათებები ობიექტებისა. მაგალითად, დამატების (2) ცხრილში დასახლებული პუნქტების სახელების სხვადასხვა შრიფტებით გამოსახვა იძლევა დამატებით ცნობებს მათი ტიპისა და მცხოვრებთა რიცხვის ან კომლთა რაოდენობის შესახებ (რაც ცხრილში გამოჩენილია).

ნომენკლატურული ტერმინები ობიექტების მიხედვით იყოფა ჯგუფებად: ტოპოგრაფიულაზე დაპირი—რელიეფი (გორა, ტაფობი, ქედი, ღელე და სხვა); ჰიდროგრაფია (ოკეანეები, ზღვები, უბეები და სხვა); მცენარეულობა და გრუნტები (ტყე, ქაობი და სხვა); დასახლებული ადგილები (ქალაქები, სოფლები, დაბები და სხვა). ეს ტერმინები წარმოდგენას გვაძლევს გეოგრაფიული ლანდშაფტის (პეიზაჟის) ელემენტების ტიპების შესახებ და ძირითადად გამოიყენება გეოგრაფიული ელემენტების საკუთარი დასახელებების დროს. ზოგ შემთხვევაში კი ისინი შედიან როგორც შემადგენელი საკუთარ დასახელებებში. ასეთებია, მა-

გალითად, დასახლებული პუნქტების დასახელებები: ლენინგრადი, თბილისი. პა-
ქო, ერევანი და სხვა. ნომენკლატურული ტერმინების წარწერები შეიძლება
იყოს მთლიანი ან შემოკლებული, მაგალითად, ლისის ტბა, ბოტანიკური ბაღი—
ბოტ. ბაღი, კუნძულები—კ-ბი., კონცხი—კც, მთა—მ, მაღალმთიანი—მაღ/მთ.
ობსერვატორია—ობს, რკინიგზის სადგური—რკ. გზ. სადგ., საბჭოთა მეურნეო-
ბა—საბჭ. მ., პილროელექტროსადგური—პესი და სხვა.

გ ა ნ მ ა რ ტ ე ბ ი თ ი წ ა რ წ ე რ ე ბ ი გვაძლევს რუკაზე გადატანილ
წვლილადების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ დახასიათებას. ისინი აღნიშნე-
ბიან ასოებით, ციფრებით ან შერეული სახით და უფრო მეტად პირობითი აღ-
ნიშვნების თანხლებული არიან, ზოგჯერ კი მათ სცვლიან. მაგალითად, რუკაზე
ქარხნის გამომსახველ პირობითი აღნიშვნას თან ერთვის წარწერა საკ. (საკონსე-
რვო). მეტ. (მეტალურგიული), აგ. (აგურის) და სხვა; აგრეთვე, განმარტებითა
წარწერები გამოიყენება რუკაზე იმ წვლილადების გამოსაყოფად, რომელთაც
არა აქვთ საგანგებო პირობითი აღნიშვნები. მაგალითად სკოლის შენობას მიეწე-
რება გვერდით სკ., რკინიგზის ჯიხურს ჯიხ. და სხვა; ხშირად პირობითი აღნიშვნას
მიუწერენ ხოლმე მასალის სახეს, რომლითაც წვლილადია აშენებული. მაგალი-
თად, ნაგებობების გვერდით მიეწერება—ქვ., ხის, რკინაბეტონის—რკ. ბეტ. და
სხვა.

ციფრებით გამოსახული განმარტებითი წარწერები წარმოდგენას იძლევა
წვლილადების შესახებ გარდა ფიზიკური არსისა ოდენობაზეც. მაგალითად, გან-
მარტებითი პირობითი აღნიშვნების მუხლში იყო აქმული, რომ წიწვიანი ხის
ნიშნის მარჯვნივ არის წილადის მრიცხველში ხეების საშუალო სიმაღლე. მნიშ-
ვნელში—ადამიანის მკერდის დონეზე შესაბამისი საშუალო დიამეტრი და მაშ-
რავლი—ხეებს შორის საშუალო მანძილი. როცა მიწერილია წინ წიწვიანი ხის
ჩიმიც, მაგალითად, ფ ი ჰ ვ ი, აქ გაერთიანებული იქნება განმარტებითი პ ი რ
ბ ი თ ი აღ ნ ი შ ე ნ ე ბ ი და წ ა რ წ ე რ ე ბ ი. ან კიდევ, მდინარეზე ის-
რი და რიცხვი გვიჩვენებს მდინარის მიმართულებას და საშუალო სიჩქარეს;
შეიძლება ვუჩვენოთ მდინარის სიგანე-სიღრმე წილადის სახით, რომლის მნიშ-
ვნელში აგრეთვე იქნება მისი ფსკერის გრუნტის სახე, ხიდის სიგრძე, სიგანე და
ტვირთამტანობა (25 მ, 8 მ, 10 ტ.), გზის სიგანე საფარით, მთლიანი სიგანე და
საფარის სახე (8 მ, 10 მ, ასფ.). მდინარესა და ხიდს თუ მიეწერა აგრეთვე სა-
ხელწოდება, აქაც გაერთიანებული იქნება საკუთარი დასახელება და განმარტე-
ბითი წარწერები.

რუკებსა და გეგმებზე წარწერების დიდი ნაწილი აღინიშნება ზედა და ქვე-
და ჩარჩოს პარალელურად. გზებზე, მდინარეებზე. ქედებზე. ლეღებზე და სხვა—
წარწერები აღინიშნება მათი მიმართულების გასწვრივ.

ტოპოგრაფიული რუკები გამოისახება მრავალი ფერის პირობითი აღნიშ-
ვნებით. ცისფერი საღებავებით გამოისახება პილროგრაფიის ობიექტები, როგო-
რიცაა: მდინარეები, ტბები და სხვა, და ამავე ფერით იშტრიბება ქაობები, მლა-
შობები, ტყის, თევზის და სხვა სველი სავარჯულები; მცენარეულობა — მ წ ვ ა
ნ ე ფ ე რ ი თ, ხოლო რელიეფის ელემენტები და ქვიშნარი—ყ ა ვ ი ს ფ ე რ ი თ
და სხვა.

ს ა ყ რ დ ე ნ ი პ უ ნ ქ ტ ე ბ ი ს ა და დ ე დ ა მ ი წ ი ს ტ ო პ ო გ რ ა-
ფ ი უ ლ ი ე ლ ე მ ე ნ ტ ე ბ ი ს პ ი რ ო ბ ი თ ა ღ ნ ი შ ე ნ ა თ ა ტ ი ბ ი უ-

რო (1) ცხრილის მოკლე მიმოხილვა (დამატება) [Условные знаки для топографических планов 1964 г].

1. განხილად ცხრილში წვლილადების პირობითი აღნიშვნები მოცემულია ოთხი სვეტის სახით 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 და 1 : 500 მასშტაბების გეგმებისათვის. 1 : 200 გეგმისათვის გამოიყენება 1 : 500 გეგმის პირობითი აღნიშვნები:

2. ცხრილში მოცემულია უმასშტაბო პირობითი აღნიშვნების ზომები. იმ შემთხვევაში, როცა მოცემულ მასშტაბში წვლილადის მცირე ელემენტი გამოდის ცხრილში წარწერილ მის შესაბამის რიცხვზე ნაკლები, მაშინ ასეთ წვლილადს გამოსახვენ ცხრილში მოცემული მისთვის განკუთვნილი უ მ ა ს შ ტ ა ბ ო პირობითი აღნიშვნით. ყველა დანარჩენ შემთხვევაში წვლილადები გამოისახება გეგმის მასშტაბში მათი ფაქტიური ზომებისა და კონტურის შესაბამისად;

3. უმასშტაბო პირობითი აღნიშვნაზე ზ ო მ ე ბ ი წარწერილია მილიმეტრებში. აღნიშვნაზე ერთი რიცხვის წარწერა ნიშნავს, რომ მისი სიგანე ტოლია სიმადლის; წრიული ფორმის დროს ერთი რიცხვი დიამეტრს გამოსახავს, ვარსკვლავის ფორმის შემთხვევაში გვერდის სიგრძეს.

4. უმასშტაბო პირობითი აღნიშვნები გამოისახება გეგმაზე ვერტიკალურად; მათი ცენტრები და ღერძები სახეობების მიხედვით ზუსტად უნდა ემთხვეოდეს ყოველი წვლილადისათვის გეგმაზე დაჩვენებულ ან დაკვალულ ცენტრებსა და ღერძებს იმ წესის დაცვით, რაც მოცემულია მესამე, ანუ უმასშტაბო პირობითი აღნიშვნების მუხლში; ურთიერთაწლო განლაგებულ პირობითი აღნიშვნებს შორის ღრეჩო არ უნდა იყოს 0,3 მმ ნაკლები.

5. იმ შემთხვევაში, როცა პირობითი აღნიშვნების ცენტრი ან ფუძე მოთავსებულია გეგმის შიგა არეზე, ისინი გამოიხაზებიან სრულად და საპირობებისამებრ შეიძლება ჩაჩროს ხაზის გაწყვეტაც; როცა პირობითი აღნიშვნათა ცენტრი ან ხაზი ზუსტად ემთხვევა ჩაჩროს, მაშინ ისინი სრულად იხაზებიან ორივე მონაზღვრე გეგმაზე.

6. იმ შემთხვევაში, როცა მასშტაბიანი წვლილადების კონტურები მცირე ოდენობისაა, შეიძლება მათი განმარტებითი პირობითი აღნიშვნების ზომები (1) ცხრილში მიღებულ ზომებთან შედარებით შემცირდეს სამჯერ.

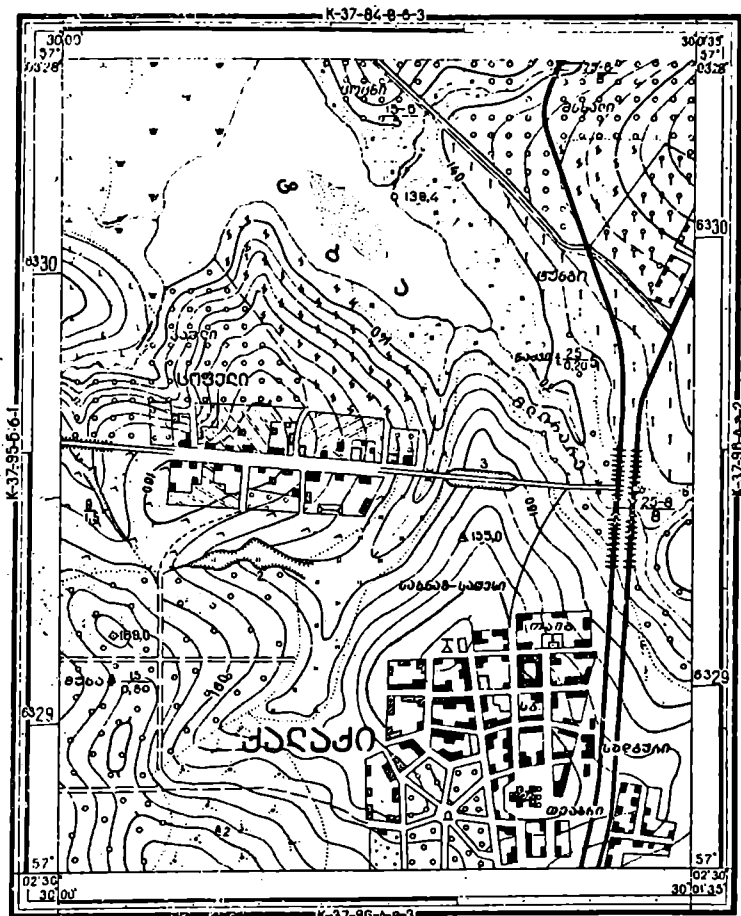
7. კონტურების შემავსებელი განმარტებითი პირობითი აღნიშვნები გეგმებზე ძირითადად ლაგდება ჰადრაკულად. საერთოდ, ცხრილებში მოცემულია მათ შორის მინიმალური მანძილები და მათ უცვლელად იყენებენ, როცა წვლილადების კონტურები ნაკლებია 25 კვ. სმ. ხოლო როცა წვლილადების კონტურები მეტია 25 კვ. სმ, განმარტებით პირობით აღნიშვნებს შორის მანძილები შესავსები ფართობების ოდენობების შესაბამისად შეიძლება გადიდდეს ერთნახევარ ან ორჯერ.

8. სასწავლებლების, საავადმყოფოების, დასასვენებელი სახლების, სანატორიუმების, ადმინისტრაციული, კულტურული და სავაჭრო დაწესებულებების ნაგებობები ითვლება საცხოვრებელ შენობებად და აქვთ განმარტებითი წარწერები, ხოლო საზაფხულო ტიპის არაკაპიტალური ნაგებობები ითვლება არასაცხოვრებელ შენობებად.

9. რკინიგზის პირობითი აღნიშვნები წყდება გვირაბებში, ყველა ხიდის აკვადუკების ქვეშ და მიიმხრობა მათდამი. მასშტაბით გამოსახული ყველა ნაგებობა

ბობას საპროექტო ნაგებობის ახლადგანმარტვითი წარწერები. მიწის წი-
ალში ნაგებობები გამოისახება პუქტირით.

K-37-96-A-a-1



1:10 000

h=2,5a

ნახ. 2.7 1.1.

10. ავტოსტრადების, გზატკეცილებისა და გრუნტული გზების სივანე გამო-
ისახება გეგმის მასშტაბში. გამოწყალის წარმოადგენს გზები, რომელთა სივანე
შვიდ მეტრზე ნაკლებია, და აგრეთვე საველე და სატყეო გრუნტული გზები.

რომლებიც 1 : 5000 მასშტაბიან გეგმებზე გამოისახებიან ზოლური პირობით აღნიშვნებით.

11. 1 : 5000 გეგმაზე არხები და არხებად გამოყენებული მდინარეების უბნები, რომელთაც 3 მეტრამდე აქვთ სიგანე, გამოისახება 0,1—0,5 მმ სისქის ხაზებით, ხოლო 3 მეტრზე მეტი სიგანის შემთხვევაში—ორი ურთიერთ არაუახლოეს 0,3 მმ დაშორებული ხაზით. დანარჩენ უფრო მახვილ მასშტაბებში ყველა ესენი გამოისახებიან მასშტაბური პირობითი აღნიშვნებით.

(1) ნახაზი წარმოადგენს 1 : 10000 მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკის პლანშეტს, რომლის გვერდებზე მიწერილია მოსაზღვრე პლანშეტების ნომენკლატურა. განხილად თავში მოყვანილი ცხრილებისა და განმარტებების გამოყენებით შეიძლება ამ პლანშეტზე გამოსახული ადგილის სრულყოფილად შესწავლა.

2.7.2. უსწორმასწორობის (რელიეფის) გამომსახველი პირობითი აღნიშვნები

როგორც ცნობილია, დედამიწის ხილული ზედაპირის სრულყოფილი ტოპოგრაფიული რუკა (გეგმა) საფუძველია მისი ტოპოგრაფიული ელემენტების შესწავლა-გამოყენების საქმეში.

დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის უაღრესად სირთულეს გამო მისი გამოსახვა მათემატიკური ფორმულებით შეუძლებელია. ვიყენებთ რა გენერალიზაციის პრინციპს, დედამიწის ფიზიკური ზედაპირიდან ვყოფთ ტოპოგრაფიულ ზედაპირს (რელიეფს), რომლის შესაბამისი ფუნქცია ზაჩიათდება ცალსახობით, სასრულოებით, უწყვეტობით და მდოვრულობით (1. 1. თავი).¹ ამასთან დაკავშირებით (1. 1) თავში განხილული იყო რელიეფის დამახასიათებელი ფორმები. ამ ფორმების გეომეტრიულად წარმოდგენა და გამოსახვა გეგმაზე მოითხოვს რელიეფის განსაზღვრების დაკავშირებას წერტილებთან, წრფეებთან, სიბრტყეებთან და, საერთოდ, გეომეტრიულად ჩვენთვის ცნობილ სხეულებთან. აქედან გამომდინარე, გეოდეზიაში რელიეფად, როგორც უსწორმასწორობათა ერთობლიობა, უნდა ვიგულისხმოთ ადგილის წერტილების წრფეებისა და სიბრტყეების სივრცეში ურთიერთგანლაგება მის რომელიმე წერტილში გატარებული თარაზული სიბრტყის მიმართ.

რელიეფის გამოსახვა წინა პარაგრაფში განხილული პირობითი აღნიშვნების ანალოგიურად შეუძლებელია. ისტორიულად, ამ მიზნით ცნობილია მრავალი ხერხი, როგორც არის პერსპექტიული, დამახასიათებელ წერტილთა პროექციების ნიშნულების, ანუ ნიშნულებიანი გეგმილების, დაშტრიხვის (ყვესურების), დაფრევის, წერტილოვანი პუნქტირების, იზოჰიფსების და სხვა ხერხი. რელიეფის ფორმების გამომსახველი პირობითი აღნიშვნებიდან მოითხოვება, რომ ტოპოგრაფიულ რუკაზე ადვილად ისაზღვრობოდეს:

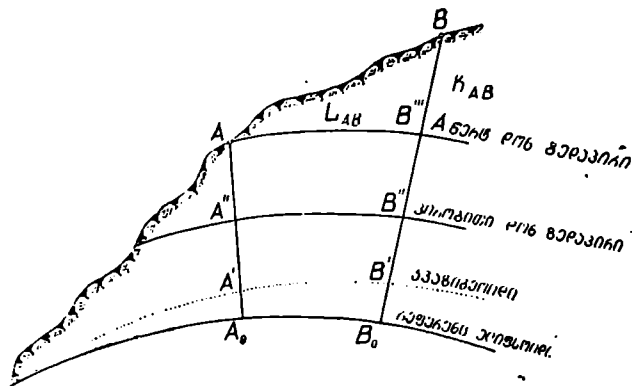
1. ნებისმიერი წერტილის ნიშნული;
2. ადგილის დახრის მიმართულება;

¹ იგულისხმება პირველი ტომის პირველი თავი.

3. დაქანების ოდენობა (ხარისხი);

4. რელიეფის პლასტიკურობა (მოყვანილობა) და ფორმების ურთიერთგანლაგება.

ზემოხსენებულ მოთხოვნებს, როგორც ქვემოთ ვნახავთ, უფრო აკმაყოფილებს იზოჰიფსები ნიშნულებიან გეგმილებთან ერთად. ამიტომ ამჟამად ტოპოგრაფიული რუკების შედგენისათვის ძირითადად იყენებენ ამ ხერხს. იზოჰიფსების გარეშე, ანუ მხოლოდ ნიშნულებიანი გეგმილებით, აფორმებენ საზღვაო ჰიდროგრაფიულ რუკებს სიღრმეების საჩვენებლად. აქვე დავსძენთ, რომ ნებისმიერი ხერხით უსწორმასწორობათა ფორმების პირობითი აღნიშვნები ეყრდნობა რელიეფის დამახასიათებელი წერტილებს ნიშ-



ნახ 2.7.2.1.

ნულებს, რომლებიც ადგილზე სხვადასხვა სახის ნიველობით ისაზღვრებიან. ამიტომ საჭიროა (1) ნახაზის ანალიზით გაეჩხენოთ ზოგიერთი რამ. როგორც ცნობილია, A_0A და B_0B არის A და B წერტილების გეოდეზიური სიმაღლეები; A_0A' და B_0B' კი კვაზიგეოიდის ანომალიები, ანუ მისი აღმატებები რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირის მიმართ; $A'A$ და $B'B$ — ნორმული სიმაღლეები; $A''A$ და $B''B$ — პირობითი სიმაღლეები; $B''B = h_{AB}$ — ფარდობითი სიმაღლე, ანუ B წერტილის აღმატება A წერტილთან შედარებით; L_{AB} კი — ქვედებული.

ამავე დროს ვიციტ, რომ ნიშნული წარმოადგენს სიმაღლის ოდენობის გამომსახველ რიცხვს. მაშასადამე, ნიშნულები არის: გეოდეზიური, ანომალიური, ნორმული, პირობითი და ფარდობითი. გეგმაზე რელიეფის გამოხაზვისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი ღონებრივი ზედაპირისადმი განსაზღვრული ნიშნულები. სიმარტივის გამო ვიყენებთ იმ ნიშნულებს, რომელთა ოდენობები ისაზღვრება ადგილის რომელიმე წერტილში გატარებული თარაზული (ღონებრივი) სიბრტყის მიმართ და რომელთა განსაზღვრის დროს მხედველობაში არ ვიღებთ დედამიწის შინაგანი აგებულების გავლენას. ასეთი სახით განსაზღ-

ღვრულ ნიშნულებს მოკლედ ვუწოდებთ ა ბ ს ო ლ უ ტ უ რ ს, ანუ ალტიტუდს (ფუტშტოკის ნულზე გატარებული თარაზული სიბრტყის მიმართ), ან პ ი რ ო ბ ი თ ნიშნულს (რამე პირობითი თარაზული სიბრტყის მიმართ), ასეთ მაღგომას სრულიად შეესაბამება რ ე ლ ი ე ფ ი ს ზ ე მ ო თ მოყვანილი განსაზღვრება.

А. ნიშნულაზიანი გეგმილუბი

ნიშნულუბიანი გეგმილუბის ხერხის არსი მდგომარეობს დამახასიათებელა წერტილუბის ორთოგონალური დაგეგმილუბით წვლილადუბის სივრციითი ფორმუბის დონებრივ (გეგმილთ) სიბრტყეზე გამოსახვასა და სხვადასხვა გეომეტრიული ამოცანუბის ამოხსნაში.

ნიშნულუბიანი გეგმილუბის ხერხის გამოყენება უღარესად ნაყოფიერია იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა დედამიწის ისეთი ელემენტუბის გადაღება ტოპოგრაფიულ რუკაზე (გეგმაზე), რომელთა გეგმური (თარაზული) ზომეუბი მნიშვნელოვნად აღემატება მათ ვერტიკალურ ზომეუბს. გეოდეზიაში დედამიწის ასეთ ელემენტუბად ცნობილია: საერთოდ რელიეფი, წიადისეულთა შესწავლა-ექსპლოატაციის, ჰიდროტექნიკურ, საგზაო, საფაბრიკო-საქარხნო და საერთოდ დასახლებული ადგილუბისათვის დასაპროექტებლად საჭირო სივრცეუბი. საინჟინრო გეოდეზიაში, როგორც ცნობილია, მოითხოვება: ადგილზე განაზომეუბისა და განაზომთა კამერალურად დამუშავეუბის შედეგად ტოპოგრაფიული რუკეუბის (გეგმეუბის) შედგენა; არსებული ტოპოგრაფიული რუკეუბის (გეგმეუბის) საფუძველზე სხვადასხვა საინჟინრო ამოცანეუბის ამოხსნა და ნაგებობათა პროექტის მონაცემთა ადგილზე გადატანა და შენეუბის პროცესში უშუალოდ ხელმძღვანელობა მათი კონსტრუქციული ელემენტეუბის გეომეტრიულად სწორად შენეუბის თვალთახედვით. როგორც ვხედავთ, აქ საჭირო ხდება აღნიშნული რეალობის ზუსტად გეგმაზე გადატანა და პირიქით—გეგმაზე დაპროექტებული გრაფიკული მასალის საფუძველზე შესაბამისი სინამდვილის სრულყოფილად წარმოდგენა და შესრულება ადგილზე, ანუ ტოპოგრაფიულ ზედაპირზე მხაზველობითი გეომეტრიიდან ცნობილი პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანის ამოხსნა.

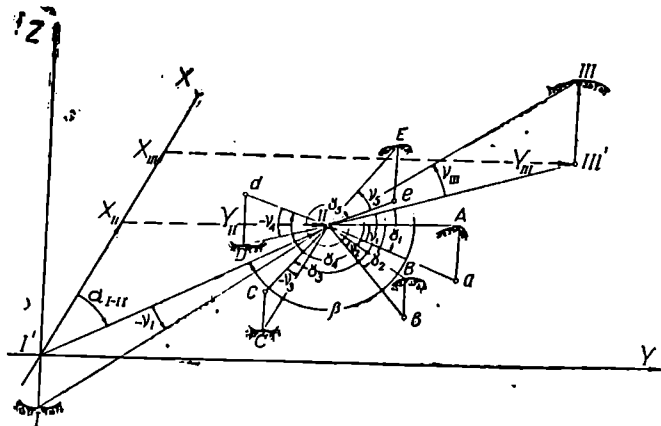
ნიშნულუბიანი გეგმილუბის ხერხის ერთ-ერთი დამახასიათებელი ის არის, რომ დედამიწის ზემოხსენებულ ელემენტთა თარაზული და ვერტიკალური ზომეუბის უღარესად დიდი განსხვავეუბის გამო, უმრავლეს შემთხვევაში, ვერტიკალური მასშტაბი უფრო მსხვილი გამოიყენება, ვიდრე თარაზული. აგრეთვე, მახასიათებელ წერტილთა ნიშნულუბიანი პროექციეუბი, წარმოადგენს რა ორთოგონალური დაგეგმილუბის უმარტივეს სახეს, საშუალებას იძლევა მოხდენილად და შედარებით ზუსტად ამოვხსნათ პოზიციური (წვლილადუბის გეომეტრიული ელემენტეუბის ურთიერთ კავშირის) და მეტრული (წვლილადუბის გეომეტრიული ელემენტეუბის ოდენობეუბის დადგენის) ამოცანეუბი.

რელიეფის სხვადასხვა ფორმის ნეუბისმიერი მახასიათებელი ელემენტის, როგორც დეკარტის, ისე გაუსის კოორდინატეუბით ტოპოგრაფიულ რუკაზე (გეგმაზე) გამოხაზეუბისათვის ადგილზე სრულდება სივრცობრივი პოლარული კოორდინატეუბის გაზომეუბი. ანუ თარაზული (პოლარული ან ბიპოლარული კოორდინატეუბის გაზომეუბი) და ვერტიკალური აგეგმეუბი. ვიგულისხმობთ, რომ ზემოხსენებული ხერხით ცნობილია რელიეფის პუნქტეუბისა და მახასიათებელა

წერტილების მართკუთხა და პოლარული კოორდინატები და ენახოთ, როგორ გამოისახებიან ისინი ნიშნულებიანი გეგმილებით სიბრტყეზე და, პირიქით— ანალოგიურ წერტილთა სიმრავლე გეგმაზე როგორ უნდა წარმოვიდგინოთ სიბრტყეში.

ა. წერტილი. ხაზი

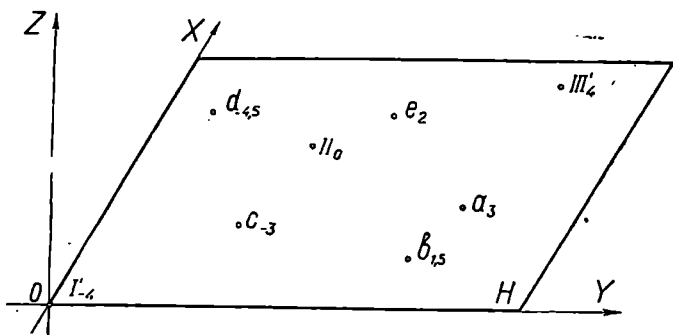
ადგილის რელიეფის ქალაღზე სივრცობრივად გამოსახვისათვის გამოვიყენოთ (2.5.) თავში განხილული დეკარტისა და პოლარული კოორდინატები. (2) ნახაზზე ნაჩვენებია I, II, III საყრდენი პუნქტები შესაბამისად, თითოეული XYZ საკოორდინატო ტეხილით. ყოველი მათგანი გამოთვლილია ადგილზე გაზომილი A მაგნიტური აზიმუტით განსაზღვრული α დირექციული კუთხით, ν დახრის კუთხით და R რადიუს-ვექტორით. ანუ პოლარული კოორდინატებით. რაც შეეხება რელიეფის მახასიათებელ A, B, C, D, E წერტილებს, ისინი გეგმაზე გადატანილია ველზე გაზომილი პოლარული კოორდინატებით, ანუ α, ν მიმართების კუთხით, ν დახრის კუთხით და შე-



ნახ. 2.7.2.2.

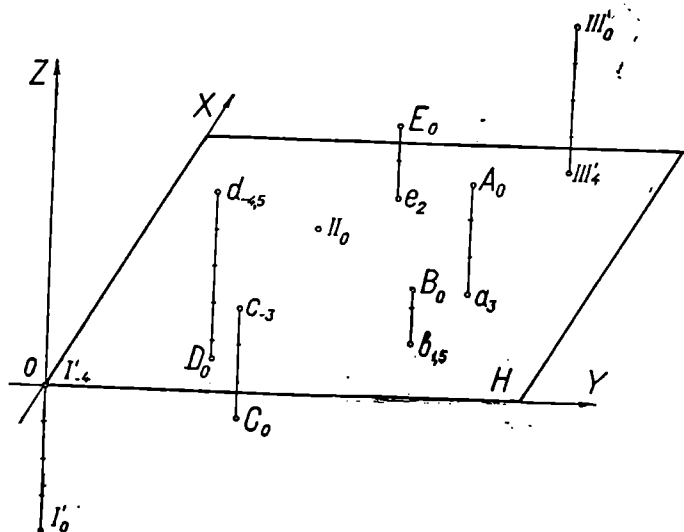
საბამისი R რადიუს-ვექტორით. II, III პუნქტები და ყველა მახასიათებელი წერტილი პირველ ოქტანტშია: ცბადია. შეიძლებოდა II სადგურიდან ყოველ მახასიათებელ წერტილზე მიმართება დაგვეკავშირებოდა მის მაგნიტურ მერიდიანთან, მაგრამ მეტი სიზუსტისა და მოხერხებულობის გამო მახასიათებელ წერტილებზე ან სხვა წვლილადებზე მიმართებების ქვედებულებს ვაკავშირებთ γ მიმართების კუთხით, რომელსაც ისინი ადგენენ საყრდენ პუნქტებს შორის II—III გვერდის II—III' თარაზულ პროექციასთან. როგორც აღვნიშნეთ, ადგილზე იზომება მაგნიტური A აზიმუტები, ხოლო გეგმის დახაზვისათვის (2.4.2.11) ფორმულით გამოითვლება α დირექციული კუთხეები. ასე რომ, გეგმაზე ყოველთვის ვიყენებთ α დირექციულ და საჭიროებისამებრ γ მიმართების კუთხეს.

რელიეფის სრულყოფილად წარმოდგენისა და გამოყენებისათვის საკი-
როა ვიციოდეთ საყრდენ პუნქტებს შორის უფრო მეტი რაოდენობის მახა-
სიათებელ წერტილთა ნიშნულები, ვიდრე ეს მოცემულია (2) ნახაზზე, და



ნახ. 2.7.2.3.

სხვა შრავალი საინტერესო გეომეტრიული კავშირისა და ოდენობების გან-
საზღვრა, რაც გამოიწვევდა (2) ნახაზის კიდევ უფრო გართულებას (წერტი-
ლები სივრცობრივად წარმოიდგინებოდა ყველა ოქტანტაში). ამიტომ აუცი-
ლებელი გახდა გამარტივების შემოტანა. ამ მიზნით ნაცვლად I—II;

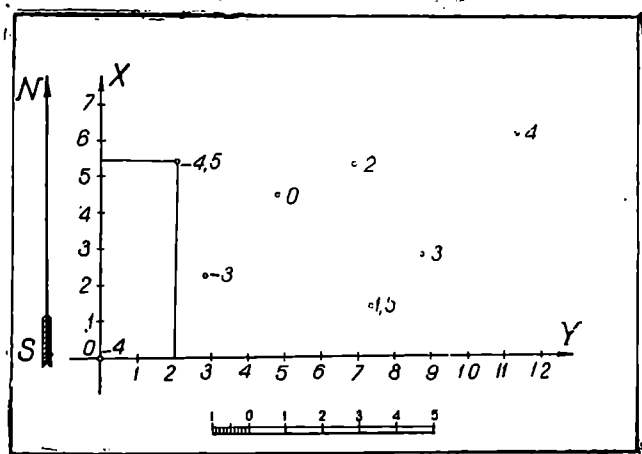


ნახ. 2.7.2.4.

II—III; II—A; II—B; II—C; II—D; II—E სივრცითი ხაზებისა ვიყენებთ
I'—II; II—III'; II—a; II—b; II—c; II—d; II—e გეგმილებს, რაც მართკუ-
თხა სამკუთხედში ჰიპოტენუზებსა და კათეტებს (დახრილ ხაზებსა და მათ ქვე-
276

დებულებს) შორის პროპორციულობის გამო სრულიად დასაშვებია. მაშასადამე, (2) ნახაზი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ აპლიკატების გადაზომვის გარეშე ისე, რომ გვემაზე, ანუ XY ლერძთა სიბრტყეზე, მიღებულ $I', II, III', a, b, c, d, e$ გვეგმილებს მივეწეროთ Z , ნიშნულები, ამავე დროს X ლერძი მივემართოთ მერიდიანისაკენ ისე, როგორც ეს მიღებულია გეოდეზიაში. მაშასადამე, (2) ნახაზი შეიძლება გამოიხაზოს (3) ნახაზის სახით, სადაც საყრდენი I', II, III' პუნქტები დატანილია გვეგმაზე მართკუთხა X, Y კოორდინატებით, ხოლო a, b, c, d, e წერტილები კი — პოლარული γ, R კოორდინატებით და ყოველ წერტილს მიწერილი აქვს შესაბამისი Z ნიშნული. ამდაგვარად გამოსახულ პროექციებს გვეგმაზე ეწოდება ნიშნულებიანი გვეგმილები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს წარმოვდგინოთ ვიქონიოთ წერტილთა სივრცობრივი განლაგებისა და რელიეფის ფორმის შესახებ.

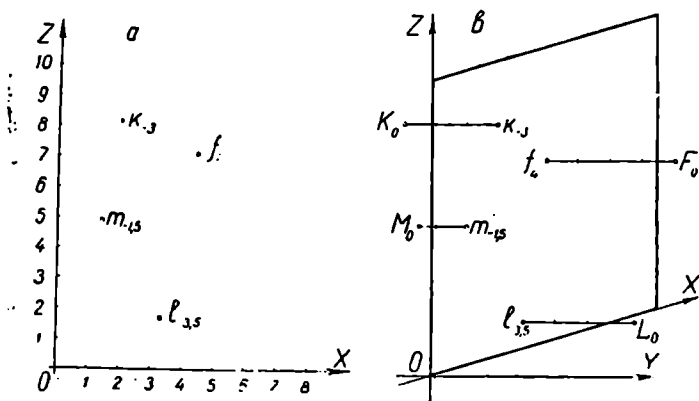
ვთქვათ, $Z_{I'} = -4$; $Z_{II} = 0$; $Z_{III'} = 4$; $Z_a = 3$; $Z_b = 1,5$; $Z_c = -3$; $Z_d = -4,5$; $Z_e = 2$ ზომის ერთეულს. მაშინ (2) ნახაზის შესაბამისად (3) ნახაზი სივრცეში უნდა წარმოვიდგინოთ (4) ნახაზის სახით, რისთვისაც ვერტიკალურ მასშტაბს თარაზულთან შედარებით ათჯერ მსხვილს იღებენ. როგორც ვხე-



ნახ. 2.7.2.5.

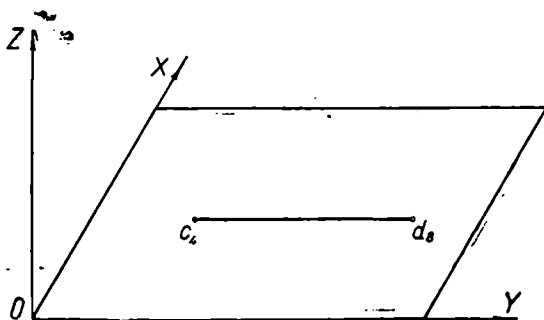
დავთ H სიბრტყე გატარებულია II პუნქტზე, რომლის ნიშნულია 0 . საერთოდ, გვემართ სიბრტყეს ატარებენ ისე, რომ მისი ნიშნული იყოს ყველა წერტილის ნიშნულზე მცირე. როგორც (4) ნახაზიდან ჩანს, სივრცეში წერტილების წარმოდგენისათვის გამოყენებულ იქნა ისევე H სიბრტყე, თითქოს ვერტიკალური, რომელზეც მივეგმილებულია H თარაზული სიბრტყისადმი გარკვეული ნიშნულების მქონე წერტილები. ამიტომ (4) ნახაზზე I, II, III პუნქტები და A, B, C, D, E წერტილები ნულნიშნაკებია. ფაქტობრივად რელიეფის სივრცობრივად გამოსახვა და სხვა ამოცანები, როგორც ქვემოთ ვნახავთ, წყდება (3) ნახაზის მიხედვით შედგენილი (5) ნახაზის საშუალებით, რისთვისაც H თარაზული გვეგმილთ სიბრტყე შეთავსებულია ნახაზის სიბრ-

ტყესთან და გეგმის სრული ორიენტაციისათვის მასზე ნაჩვენებია კოორდინატა X, Y ღერძები, ადგილის NS მერიდიანი, ნახაზის მასშტაბი და წერტილების გეგმილები ნიშნულებით. საჭიროებისამებრ გეგმილთ ზედაპირად აი-



ნახ. 2.7.2.5.

რეთვე იღებენ ვერტიკალურ სიბრტყეს (ნახ. 5'). როგორც (5) ნახაზიდან ჩანს, წერტილებს, რომლებიც გეგმილთ ზედაპირის ზემოთაა, პლუსი ნიშნულები აქვს, ხოლო მის ქვედა წერტილს — მინუსი. ასევე, ვერტიკალური გეგმილთ

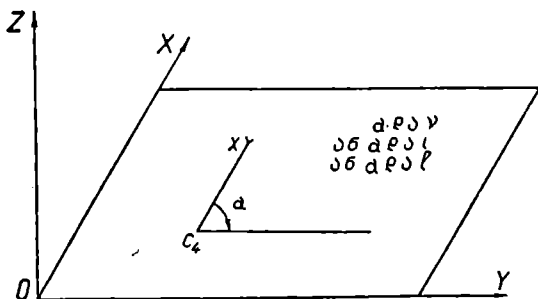


ნახ. 2.7.2.6.

სიბრტყის (ნახ. 5') მარჯვნივ წერტილებს პლუსი მიეწერება, ხოლო მარცხენა წერტილებს კი მინუსი. იმისათვის, რომ ეს მეთოდი გამოყენებულ იქნეს სრულყოფილად როგორც რელიეფის, ასევე მრავალი საინჟინრო, სამარკშიდერო და სამთო გეომეტრიული ამოცანების ამოსახსნელად, საჭიროა მოკლედ განვიხილოთ გეგმაზე არსებული ნიშნულიანი წერტილების, ხაზებისა და სიბრტყეების საშუალებით სხვადასხვა ამოცანების ამოხსნის საკითხები.

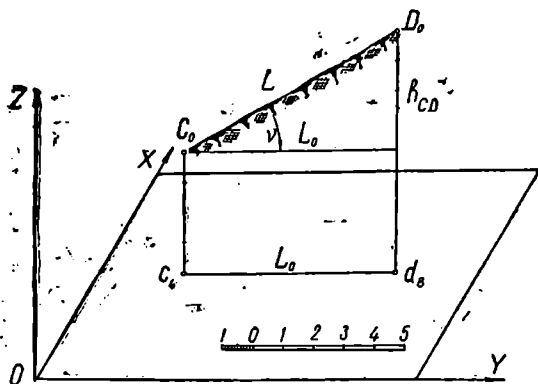
გეგმაზე შეიძლება გვქონდეს მოცემული გენერალიზაციამქმნილი ხაზის მონაკვეთის ქვედებული მისი ორი წერტილის ნიშნულით (ნახ. 6) ან (ნახ. 7)

სხივის ქვედებულო ერთი წერტილის ნიშნულით და ადგილზე მიმართულებით (ა დირექციული და v დახრის კუთხით, ან α და β ქანობით და ან α და β ინტერვალით). პირველ შემთხვევაში ივლისსხმება, რომ c_4 და d_8 წერტილები გეგმაზე გადატანილია რელიეფის მახასიათებელი C და D წერტილებზე.



ნახ. 2.7.2.7.

ბის ცნობილი x_1, y_1 და x_2, y_2 თარაზული კოორდინატებით, ხოლო მიწერილი რიცხვები 4 და 8 არის ნიშნული, გამოსახული ზომის ერთეულებში, ე. ი. c_4, d_8 მონაკვეთი სივრცეში წარმოდგინება (8) ნახაზის სახით. თვალსაჩინოებისა და მეტრული ამოცანების ამოხსნისათვის სჯობს α ღერძი წარმოვიდგინოთ გეგმაზე მონაკვეთის მართობულად. როგორც ვიცით, L_0 არის



ნახ. 2.7.2.8.

სივრცითი $CD=L$ ხაზის ქვედებულო, h_{CD} — ალმატება, ხოლო v — დახრის კუთხე, რომლებიც მიღებულია ადგილზე გაზომვების შედეგად. ხშირად, v დახრის კუთხეს მოკლედ უწოდებენ და ქანებას. როცა დახრის კუთხეს პლუსი უწერია, მას უწოდებენ აღმართის კუთხეს, ხოლო მი-

ნუსის შემთხვევაში იგი დაღმართის კუთხე იქნება. ამ ელემენტებს შორის ასეთია დამოკიდებულება:

$$L_0 = L \cos \nu \quad (2.7.2.1)$$

ან

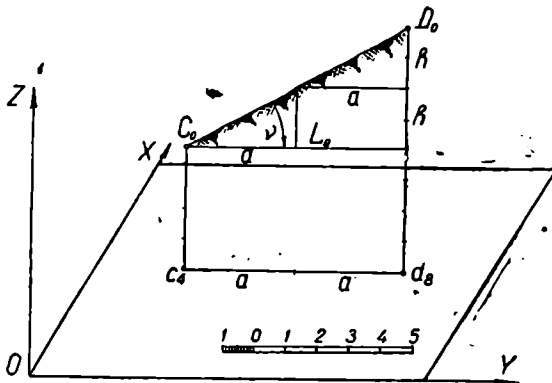
$$L_0 = (L^2 - h_{CD}^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.7.2.2)$$

ხოლო

$$\frac{h_{CD}}{L_0} = \operatorname{tg} \nu = i \quad (2.7.2.3)$$

და ეწოდება L ხაზის ქანობი. ქანობები გამოისახება განყენებული რიცხვებით, პროცენტებში ან პრომილებში; მაგალითად, $i = 0,032 = 3,2\% = 32\text{‰}$.

რელიეფის ქალაღზე გამოხაზვისა და სხვადასხვა ამოცანების ამოხსნის მიზნით საჭიროა ადგილის მახასიათებელ წერტილთა შემაერთებელი ხაზების ქვედებულები დაყოფილი იქნეს წინასწარ შერჩეული ვერტიკალური მანძილებით დაშორებული გამკვეთი სიბრტყეების შესაბამისად. ეს ვერტიკალური მანძილები აღნიშნოთ h ასოთი და ვუწოდოთ კვეთის სიმაღლე; მის შესაბამის დახრილ მონაკვეთს ადგილზე — ვარდნილობის ხაზი (მონაკვეთი), ხოლო ვარდნილობის ხაზის ქვედებული აღნიშნოთ a ასოთი და ვუწოდოთ ბიჯი. იმ შემთხვევაში როცა $h=1$, შესაბამისი ქვედებული აღნიშნოთ 1 ასოთი და ვუწოდოთ ინტერვალი. აქვე შევნიშნავთ, რომ შეიძლე-



ნახ. 2.7.2.9.

ბა h_{CD} აღმატება იქნეს ერთი მეტრი, მაგრამ მისი შესაბამისი ხაზის თარაზული გეგმილი არ იქნება ინტერვალი და აღნიშნება ისევე L_0 სიმბოლოთი, რადგანაც h_{CD} ყოველთვის გაზომილია და h კვეთის სიმაღლე კი შერჩეული სიდიდეა (2.7.4 პარაგრაფი). მაგალითად, (8) ნახაზის მიხედვით CD ხაზის L_0 ქვედებულში მოთავსებულია შერჩეული $h=2$ კვეთის სიმაღლის შესაბამისი ორი a ბიჯი (9 ნახაზი), ხოლო როცა $h=1$ (ნახ. 10), მაშინ $L_0=4l$

(ოთხ ინტერვალს), ე. ი. $a=2l$. h, a, v ელემენტების მიხედვით (1), (2), (3) ტოლობები გადაიწერება შემდეგნაირად: როცა $h \neq 1$, მაშინ ბიჯი

$$a = h \operatorname{ctg} v \quad (2.7.2.4)$$

ან

$$a = \frac{h}{i}, \quad (2.7.2.5)$$

სადაც ვარდნილობის ხაზის ქანობი

$$i = \frac{h}{a} = \operatorname{tg} v, \quad (2.7.2.6)$$

ხოლო, როცა $h=1$, მაშინ ინტერვალის

$$l = \operatorname{ctg} v, \quad (2.7.2.7)$$

ანუ

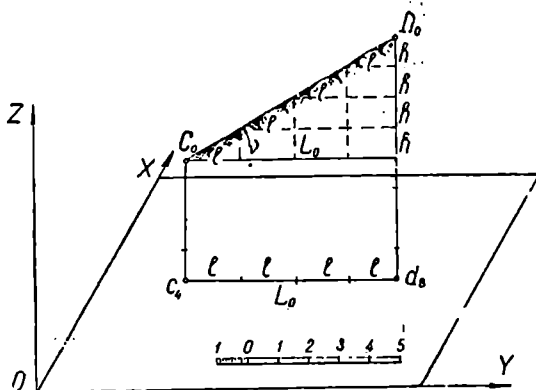
$$l = \frac{1}{i}, \quad (2.7.2.8)$$

საიდანაც

$$i = \frac{1}{l} = \operatorname{tg} v. \quad (2.7.2.9)$$

მაშასადამე, როგორც დაბრის კუთხეები, ისე ქანობები უკუპროპორციულია ქვედებულის, ბიჯისა და ინტერვალისა.

+ v აღმართის კუთხეს შეესაბამება + i ქანობი და + l ინტერვალი, ხოლო - v დაღმართის კუთხეს შეესაბამება - i ქანობი და - l ინტერვალი.



ნახ. 2.7.2.10.

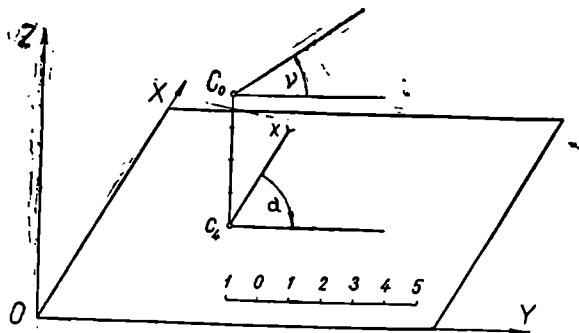
იმისათვის, რომ გეგმაზე მივიღოთ C_0D_0 ხაზის კვალი, საჭიროა c_4 წერტილიდან მარცხნივ, d_4-c_4 მონაკვეთის გაგრძელებაზე, გადავზომოთ ორჯერ a ბიჯი, ანუ ოთხჯერ l ინტერვალი. მართლაც, D_4C_4 ხაზი, რომ განვაგრძოთ, მივიღებთ იმავე წერტილს (ნახ. 10).

ახლა განვიხილოთ საკითხი, თუ როგორ წარმოვიდგინოთ სხივი სივრცეში (მეორე შემთხვევა), როცა მოცემული გვაქვს გეგმაზე (ნახ. 7) მისი ერთი

C წერტილის გეგმილი ნიშნულით და მდებარეობა (ე. ი. ცნობილია α დირექციული კუთხე და ν დახრის კუთხე, ან i ქანობი და ან l ინტერვალი).

როცა მოცემულია ν დახრის კუთხე, მაშინ c_4 წერტილში შვეულ ხაზზე მასშტაბით გადავზომავთ ოთხ დანაყოფს, რითაც მივიღებთ C_0 წერტილს, სივრცეში მიგვემიღებულს ვერტიკალურ სიბრტყეზე, შემდეგ C_0 წერტილიდან ვატარებთ თარაზული მკვეთი სიბრტყის კვალს, რომელზეც ტრანსპორტირით C_0 წერტილში ν კუთხით ავაგებთ სივრცის ხაზს (ნახ. 11).

როცა ვერტიკალური მიმართულება მოცემულია i ქანობის სახით, მაშინ ν დახრის კუთხის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ (3), (6) ან (9) ფორმულას. თუ მოგვცეს L_0 ქვედებული ან a ბიჯი, მაშინ ν -ს განსაზღვრისათვის უნდა გამო-



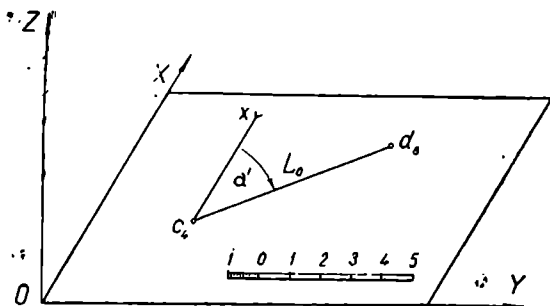
ნახ. 2.7.2.11.

ვიყენოთ (3) და (6) ფორმულა, სადაც საჭირო იქნება აგრეთვე h_{CD} და h -ის ცოდნა, ხოლო თუ მოგვცეს l ინტერვალი, მაშინ ვიყენებთ მხოლოდ (9) ფორმულას და ამით ვსაზღვრავთ ν დახრის კუთხეს. მაშასადამე, ν დახრის კუთხის განსაზღვრისათვის მოცემული i ან l ინტერვალის მიხედვით გამოიყენება (9) ტოლობა. ამაშია l ინტერვალის ცნების შემოტანისა და გამოყენების უპირატესობა. გარდა აღნიშნულისა, როცა ცნობილია l ინტერვალი, C_0 წერტილში გატარებულ თარაზულ სხივზე გადაიზომება მისი ოდენობა და ვერტიკალურ მასშტაბში მისი ბოლოდან აღიმართება ერთის ტოლი მართობი მონაკვეთი, რომლის ბოლო შეუერთდება C_0 წერტილს, რითაც C_0 წერტილში შედარებით ზუსტად აიგება სივრცის ხაზი ν დახრის კუთხით.

შევადაროთ (6) ნახაზს (7) ნახაზი. ვნახავთ, რომ D წერტილის X_D და Y_D კოორდინატებს ცვლის α დირექციული კუთხე, ხოლო Z_4 ნიშნულს კი ν დახრის კუთხე ან i ქანობი და ან l ინტერვალი. ახლა შევადაროთ (6) ან (7) ნახაზებს (12) ნახაზი. ვნახავთ, რომ ორივე ნახაზის C წერტილის კოორდინატები ტოლია, ხოლო D წერტილის თარაზული კოორდინატები, ანუ დირექციული კუთხე სხვადასხვაა, ე. ი. ხაზებს სივრცეში აქვს ერთნაირი დაქანება; ხოლო სხვადასხვანაირად არიან განლაგებული (მიმართული, ორიენტირებული).

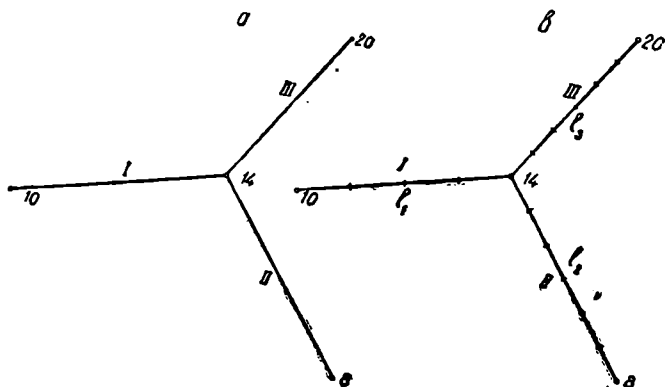
ვთქვათ, მოცემულია ადგილის ერთი წერტილიდან გამოსული სამი ხაზის ქვედებული მახასიათებელ წერტილთა ნიშნულებით (ნახ. 13).

საჭიროა დადგინდეს, რომელი მონაკვეთთა უფრო დაქანებული. ცხადია, რომ (B) ნახაზის მსგავსად შეიძლება აიგოს მოცემული ნიშნულების შესაბამის



ნახ. 2.7.2.12.

სი ნახაზები და გაიზომოს ტრანსპორტირით დახრის კუთხეები ან განისაზღვროს მონაკვეთების სიგრძეები, მათ ნიშნულთა სხვაობები და (3) ფორმულაში ჩასმით გავიგოთ როგორც ქანობები, ისე დახრის კუთხეები. უფრო იოლი გზაა ყოველგვარი აგების გარეშე მოცემულ ქვედებულებზე დაენიშნოთ



ნახ. 2.7.2.13.

ბიჯები ან ინტერვალები, ამისათვის კი პირველი ქვედებული დაიყოფა $14 - 10 = 4$ ინტერვალად, მეორე და მესამე კი ექვს-ექვს ინტერვალად (ნახ. 13^b). ამ ნახაზის მიხედვით $l_3 < l_2 < l_1$. დახრის კუთხე და ქანობები კი ინტერვალების უკუპროპორციულია, ამიტომ $v_1 < v_2 < v_3$ და $i_1 < i_2 < i_3$, ე. ი. მესამე მონაკვეთი დაქანებულია მეორესთან, ხოლო მეორე — პირველთან შედარებით.

ახლა ვთქვათ, საჭიროა გავიგოთ, თუ რას უდრის სახელდობრ ამ მო-

ნაკვეთების დახრის კუთხეები და ქანობები. აქაც მიზანი მიიღწევა ცნობილი l_1, l_2, l_3 ინტერვალების (9) ფორმულაში ჩასმით ან იმავე ინტერვალებისათვის შედგენილი 2.7.2.1 და 2.7.2.2. ცხრილებითა და 2.7.2.23 და 2.7.2.24 დიაგრამებით. როგორც ვთქვით მონაკვეთების შედარება შეიძლება მოგვეხდინა $h=2$ და სხვა ოდენობის კვეთის სიმაღლის შესაბამისი a_1, a_2, a_3 ბიჯებითაც. როგორც ვხედავთ, საჭიროა სხვადასხვა ქვედებულებზე ინტერვალების ან ბიჯების განსაზღვრა, რაც, თავისი მხრივ, მოითხოვს მოცემული ქვედებულების გრადუირებას, ანუ მათზე ისეთი წერტილების მოძებნას, რომელთა ნიშნულები ჯერადი იქნება შერჩეული კვეთის სიმაღლისა. როგორც ვნახავთ, ამით საშუალება მოგვეცემა ინვარიანტული ხაზების გარდა ზემოთ მოყვანილი დახრის კუთხეებისა და ქანობების განსაზღვრისა, რელიეფის ფორმების სათანადოდ გამოსახვისაც.

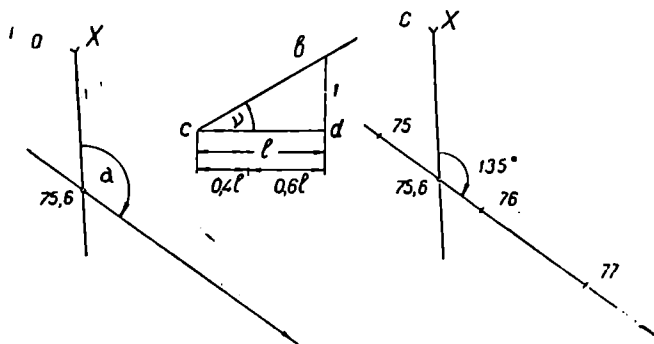
ბ. გრადუირება

გრადუირების ორ შემთხვევას ვარჩევთ: I. მოცემულია კვეთის სიმაღლე, ხაზის ერთი წერტილის ნიშნული, სივრცეში მიმართულება, ანუ დირექციული და ν დახრის კუთხე; II. მოცემულია ქვედებულის ორი წერტილის ნიშნული და კვეთის სიმაღლე.

შენიშვნა. გამოთქმების შემოკლების მიზნით წერტილების, ხაზებისა და სიბრტყეების სახელწოდებად ზოგჯერ ვიყენებთ მათ ნიშნულებს. მაგალითად, ვიტყვი 4—8 ხაზი; უნდა ვიგულისხმოთ ხაზის მონაკვეთის ქვედებულები 4 და 8 ზომის ერთეული (მეტრი) ნიშნულით.

I შემთხვევა

ვთქვათ, მოცემულია წვლილადზე მიმართული ხაზის გეგმილი, რომლის გამოსავალი წერტილის ნიშნულია 75,6 მ, ანუ, შეთანხმების თანახმად, ხაზი



ნახ. 2.7.2.14.

75,6 წერტილით; დირექციული კუთხე $\alpha=135^\circ$; ვერტიკალური მიმართულება, ანუ დახრის კუთხე $\nu=25^\circ$; კვეთის სიმაღლე $h=1$ მ (ნახ. 14).

ე წერტილიდან (ნახ. 14^ა) გვატარებთ თარაზულ ხაზს და მის მიმართ ტრანსპორტირით იმავე წერტილში ავაგებთ 25° კუთხეს. მასშტაბის მიხედვით ერთი მეტრის შესაბამისი სიგრძის ფარგლის ლაჯით გადაკვეთთ კუთხის თარაზულ გვერდს, რითაც მიიღება $L=1$ ინტერვალი. ახლა ვმსჯელობთ, თუ რამდენი უნდა დაემატოს 75,6 მ, რომ მივიღოთ მასზე ხელო დიდი, მხოლოდ კვეთის სიმაღლის ჯერადი რიცხვი (76). ეს იქნება 0,4 მ. მაშასადამე, ფარგლით უნდა ავიღოთ L ინტერვალის 0,4 და 75,6 წერტილიდან (ნახ. 14^ა) გადავზომოთ ხაზის მიმართებისაკენ (აღმართისაკენ). მიღებული წერტილის ნიშნული იქნება 76 მ, საიდანაც მთელი ინტერვალების გადაზომვის შესაბამისად წაეწერება 77, 78, ..., ხოლო ქვევით 75, 74... (ნახ. 14^ა). თუ ხელთა გვაქვს ტრიგონომეტრიული ფუნქციების ნატურალური მნიშვნელობათა ცხრილი, იგივე ამოცანა უფრო ზუსტად და სწრაფად ამოიხსნება (7) ან (9) ტოლობებიდან L ინტერვალის განსაზღვრით.

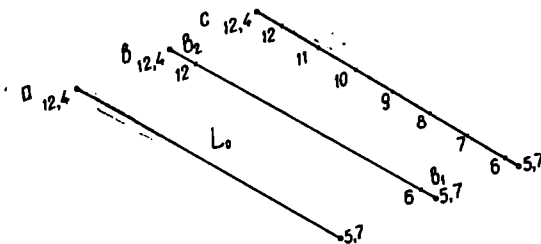
II შემთხვევა

როცა მოცემულია ქვედებული ორი წერტილის ნიშნულით და კვეთის სიმაღლე, ამ შემთხვევაში გრადუირება შეიძლება შესრულდეს: 1. რიცხობრივი ან უშუალო ინტერპოლაციით, 2. ტრაფარეტის ანუ სერსეროთის, ან 3. პროფილის ანუ უჯრედიანი ქალაღის ხერხით.

1. რიცხობრივი და უშუალო ინტერპოლაციის ხერხი

$h=1$ მ, ქვედებული $L_0=100$ მ, გვემის მასშტაბია 1:2000.

რიცხობრივი ინტერპოლაციისათვის პირველ რიგში მოცემულ ქვედებულზე უნდა დაინიშნოს 5,7 მ ნიშნულიანი გვემილის უახლოესი დიდი და 12,4 მ ნიშნულიანი გვემილის უახლოესი მცირე ნიშნულიანი წერტილები,



ნახ. 2.7.2.15.

რომლებიც იქნებიან ჯერადნი კვეთის სიმაღლისა, ე. ი, განხილად შემთხვევაში საძებარი წერტილების ნიშნულები იქნება 6 მ და 12 მ. მოცემული წერტილებიდან საძებარ წერტილებამდე b_1 და b_2 მანძილები უდრის L_0 ქვედებულის ნამრავლს წილადზე, რომლის მრიცხველია საძებარ და მოცემულ წერტილთა ნიშნულების

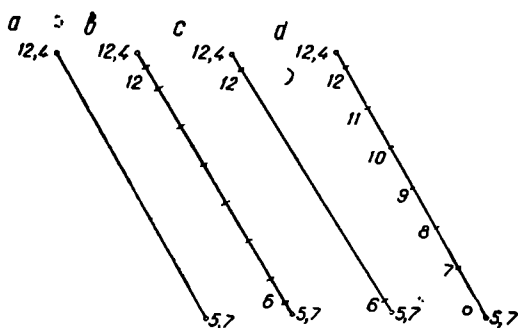
ს ს ვ ა ო ბ ა , ხ ო ლ ო მ ნ ი შ ე ნ ე ლ ი — მ ო ც ე მ უ ლ წ ე რ ტ ი ლ თ ა შ ო რ ი ს ა ლ მ ა ტ ე ბ ა . მ ა შ ა ს ა დ ა მ ე . (15^ბ) ნ ა ხ ა ზ ი ს ა თ ვ ი ს

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{6-5,7}{12,4-5,7} \cdot L_0 = \frac{0,3}{6,7} \cdot 100 \text{ მ} \approx 4,5 \text{ მ} \\ b_2 &= \frac{12-12,4}{5,7-12,4} \cdot L_0 = \frac{-0,4}{-6,7} \cdot 100 \text{ მ} \approx 6 \text{ მ} \end{aligned} \right\} (2.7.2.10)$$

მიღებული მანძილები: გადაიზომება მოცემული წერტილებიდან 1:2|000 მასშტაბში (ნახ. 15^ბ) და წაეწერება 6 და 12. ბოლოს 6 და 12 წერტილებს შორის მანძილს დავეყოფთ ექვს ტოლ ნაწილად და შესაბამისად წავაწერთ 7, 8, 9, 10 და 11 ნიშნულს (ნახ. 15^ა).

რ ი ც ხ ო ბ რ ი ვ ი ინტერპოლობით შედარებით ზუსტად ხდება გრადუირება, მაგრამ შრომატევადია, რის გამო მიმართავენ თ ვ ა ლ ი თ უ შ უ ა ლ ო ი ნ ტ ე რ პ ო ლ ო ბ ი ს ხ ე რ ხ ს , რომელიც იძლევა წერილმასშტაბიანი რუკების შედგენის დროს საკმარის სიზუსტეს (ნახ. 16^ა).

12,4—5,7=6,7 სხვაობას დავამრგვალებთ 7-მდე და მოცემულ ქვედებულს თვალზომით დავეყოფთ შვიდ ტოლ ნაწილად. დანაყოფის 0,3 გადავზომავთ

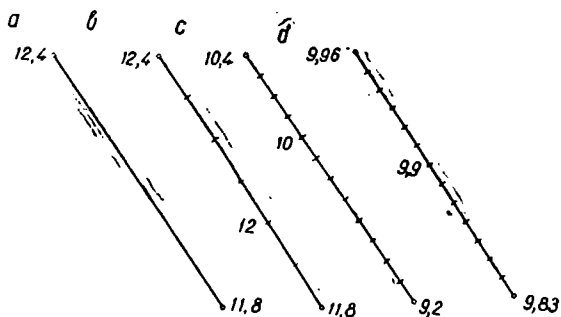


ნახ. 2.7.2.16.

ზემოთ 5,7 წერტილიდან 12,4 წერტილისაკენ და დანიშნულ წერტილს მიუწეროთ 6. ასევე 0,4 გადმოვზომავთ ქვემოთ 12,4 წერტილიდან 5,7 წერტილისაკენ და დანიშნულ წერტილს მიუწეროთ 12 (ნახ. 16^ბ). შემდეგ ამოვშლით 6 და 12 შორის დანაყოფების აღმნიშვნელ კვესურებს (ნახ. 16^ა). ბოლოს ამ წერტილებს შორის მანძილს თვალით დავეყოფთ (12—6)=6 ტოლ ნაწილად, რომელთაც წავაწერთ სათანადო ნიშნულებს (ნახ. 16^ა).

იმ შემთხვევაში, როცა განხილავთ ქვედებულის წერტილებს შორის არის კვეთის სიმაღლის ჯერადი ნიშნულის მქონე ერთი წერტილი (ნახ. 17^ა), მოცემული ნიშნულების სხვაობას, ანუ 12,4—11,8=0,6 არ დავამრგვალებთ და ქვედებულს დავეყოფთ ექვს ნაწილად. 11,8 წერტილიდან ზევით გადავითვლით ორ დანაყოფს ან 12,4 წერტილიდან ქვევით — ოთხ დანაყოფს და მიღებულ კვესურს წავაწერება 12 (ნახ. 17^ბ). აქ ინტერვალები არ გვექნება. ანალოგიურად მიიღება (ნახ. 17^ა), რისთვისაც 10,4—9,2=1,2 სხვაობის შესაბამისი ქვედებული დაიყოფა 12 ნაწილად, და მოიძებნება 10 ნიშნულის მქონე წერტილი.

ავილოთ მესამე მაგალითი (ნახ. 17^ა). ქვედებულის სიგრძეა 100 მ, მასშტაბი 1:2000, კვეთის სიმაღლე $h=0,1$, მახასიათებელ წერტილთა ნიშნულებია 9,96 და 9,83. ამ ნიშნულებს შორის იქნება კვეთის სიმაღლის ჯერადი



ნახ. 2.7.2.17.

მხოლოდ ერთი წერტილი 9,9 ნიშნულით. მაშასადამე, წერტილებს შორის მანძილი (ქვედებულო) უნდა დავყოთ $9,96-9,83=0,13$ ცამეტ ნაწილად და გადავთვლით ქვემოდან ზემოთ 7 ან ზემოდან ქვევით 6 დანაყოფს, რომელსაც წაეწერება ნიშნული 9,9. როცა წერტილებს შორის არ არის კვეთის სიმაღლის ჯერადი ნიშნულის მქონე წერტილი, მაშინ გრადუირება არ შეიძლება, მაგალითად, როცა $h=1$ მ, 9,2 და 9,8 ნიშნულებიანი ქვედებულის გრადუირება არ შეიძლება.

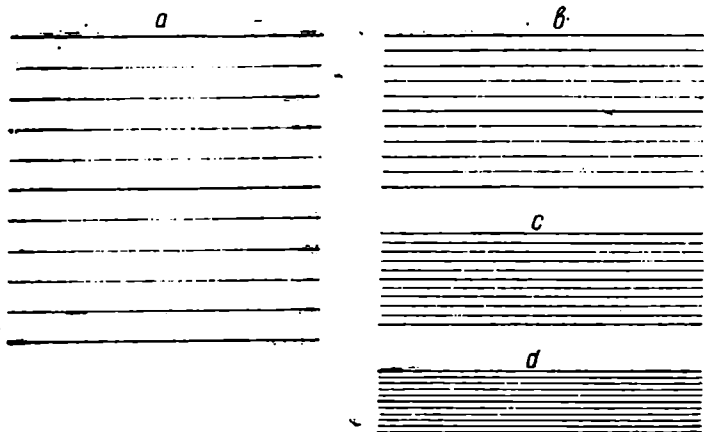
2. ტრაფარეტის ანუ სერსეროთის ხერხი

განხილავი ხერხი ემყარება შემდეგ გეომეტრიულ მოსაზრებას: თანახმად დაშორებულში პარალელური წრფეების ნებისმიერი მიმართულებით გადამკვეთი წრფე დაიყოფა ტოლ მონაკვეთებად.

სერსეროთს ვამზადებთ წინასწარ, რისთვისაც გამოვირვალებ (გაცვილულ) ქაღალდის მცირე ნაჭურზე ტუშით ვატარებთ ტოლი მანძილებით დაშორებულ ბეწვისებურ პარალელურ წრფეებს; თვლის გასაადვილებლად ყოველი მეხუთე წრფე შედარებით მსხვილი უნდა იყოს. ვინაიდან რუკებზე გვხვდება სხვადასხვა სიგრძისა და აღმატებების მქონე ქვედებულები (შით უმეტეს რთული რელიეფის შემთხვევებში), საჭიროა დამზადდეს რამდენიმე სერსეროთი 10, 5, 3, 2 მილიმეტრიანი მანძილებით, რომელთაგანაც გამოვიყენებთ იმას, რომელიც ყოველი კონკრეტული შემთხვევის დროს უფრო გამოსადეგი იქნება (ნახ. 18). გვემის იმ ნაწილზე, რომელზეც დამრეცი რელიეფია და ქვედებულები გრძელია, გამოვიყენებ დიდი მანძილებით დაშორებული სერსეროთი, ხოლო, რაც უფრო მთაგორიანი (რთული) რელიეფია და მოკლე ქვედებულები — ვიყენებთ მოკლემანძილებიან სერსეროთს.

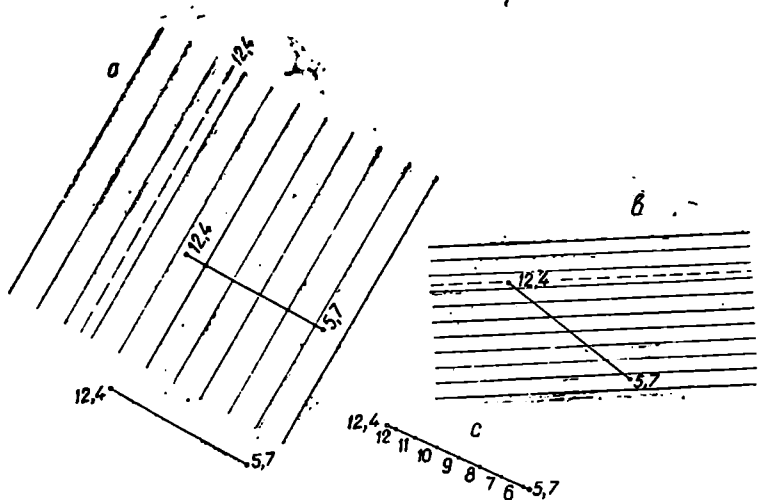
ვთქვათ, საჭიროა გრადუირება 5,7—12,4 ქვედებულის (ნახ. 19^ა) ($h=1$ მ, $L_0=200$ მ, მასშტაბი 1:2000). გამოვაყენოთ (18^ა) სერსეროთი.

სერსეროთის წრფეებზე ნიშნულების წარწერა არ არის საჭირო. მის პირველ ქვედა წრფის ნიშნულად იგულისხმება დასაგრაღდურიბელი ქვედებუ-



ნახ. 2.7.2.18.

ლის მცირე ნიშნულების უახლოესი მცირე, კვეთის სიმაღლის უკერადი რიცხვი და მის ზემოთ ასევე იგულისხმება, თანამიმდევრობით, კვეთის სიმაღლის უკერ-

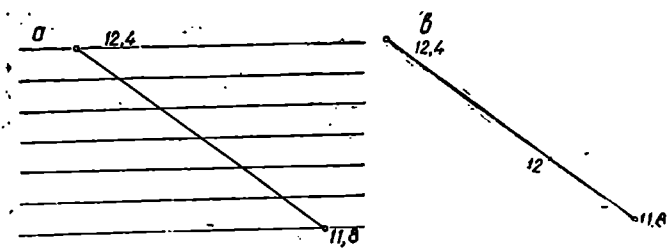


ნახ. 2.7.2.19.

რადი ზრდადნიშნულებიანი წრფეები. მაშასადამე, ვიგულისხმობთ, რომ პირველი ხაზის ნიშნულია 5. მეორესი 6 და ასე შემდგომ. დაენიშნოთ (18°) სერ-288

სეროთის შესაბამის 19^ა ნახაზზე 5 და 6 შორის თვალით ინტერპოლაციით 5,7 წერტილი და 12 და 13 შორის კი ფანქრით გავატაროთ წვეტილი ხაზი 12,4 ნიშნულის შესაბამისი (ნახ. 19^ა). სერსეროთის 5,7 წერტილი შეუთავსოთ დასაგრაღიერებელი ქვედებულის 5,7 წერტილს, რომელზეც დავაპირით წაწვეტილებული ფანქარი ან ნემსი და ვაბრუნოთ სერსეროთი მანამ, სანამ მისი 12,4 წვეტილი ხაზის რომელიმე წერტილი არ დაემთხვევა ქვედებულის 12,4 წერტილს. როგორც (19^ა) ნახაზიდან ჩანს, ქვედებულის სიგრძე ნაკლებია სერსეროთზე აღნიშნულ 5,7 წერტილსა და 12,4 ხაზს შორის მანძილზე. მაშასადამე, (18^ა) სერსეროთს ვანხილადი ქვედებულის გრაღიერებისათვის ვერ გამოვიყენებთ. მისი გრაღიერებისათვის გამოდგება (16^ბ), (18^ბ), (18^გ) სერსეროთები, მაგრამ სჯობს (18^ბ), რადგანაც პარალელურ წრფეებს შორის მანძილები შედარებით დიდია და ქვედებულს ისინი გადაკვეთენ დაახლოებით მართობულად, რაც მათი გადაკვეთის წერტილების შედარებით ზუსტად დანიშვნის საშუალებას მოგვცემს (ნახ. 19^ბ). მართლაც, სერსეროთის წრფეებისა და ქვედებულის გადაკვეთის წერტილებზე წაწვეთებული ფანქრით თუ დავაპირთ და შემდეგ სერსეროთს ავიღებთ, ქვედებულზე ვნახავთ დანაკერ კვლებს, რომელთაც წაწერება 5,7-დან თანაპიმღევრობით 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. ე. ი. მივიღეთ ექვსი ინტერვალი უფრო ზუსტად, ვიდრე უშუალო ინტერპოლაციის დროს (ნახ. 19^ა). ამის შემდეგ სერსეროთზე 12,4 ნიშნულიანი წვეტილი წრფე ამოიშლება.

გამოვიყენოთ (18^ა) სერსეროთი (17^ა) ქვედებულის გრაღიერებისათვის ($k=1$ მ). ვვულისხმობთ, რომ (18^ა) სერსეროთის პირველი წრფეა 11,8 მეტრი ნიშნულის მქონე, შემდეგია 11,9 და ასე შემდეგ. მაშასადამე, სერსეროთის



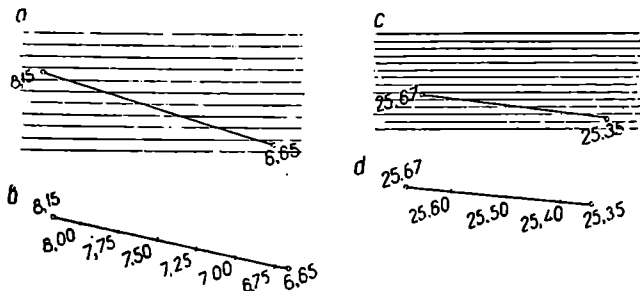
ნახ 2 7.2.20.

11,8 წრფეს შეუთავსებთ ქვედებულის 11,8 წერტილს. მათზე წაწვეტილებული ფანქრის დაპირით და სერსეროთის ბრუნვით დავამთხვევთ ქვედებულის 12,4 წერტილს სერსეროთის 12,4 წრფეს (ნახ. 20^ა), რაც საშუალებას მოგვცემს მოვძებნოთ ქვედებულზე 12 ნიშნული (ნახ. 20^ბ).

ეთქვათ, გვსურს შეაკარულოთ (19^ა) ნახაზზე მოცემული ქვედებულის გრაღიერება $k=2$ მ კვეთის სიმაღლისათვის, ე. ი. ქვედებულს საპიროა დავუყოთ ორ-ორი ინტერვალის ტოლ ბიჯებად. აქ შეიძლება გამოვიყენოთ (18^ა) სერსეროთი, რომელზეც წარწერები იგულისხმება 4, 6, 8, 10, 12, 14 და ზემომოხსენებული წესით შესრულდეს გრაღიერება. შეიძლება გრაღიერება შესრულდეს (18^ბ) სერსეროთითაც, სადაც იგულისხმება წარწერები 5, 6, 7, 19. ნ. თეზაძე

8, 9, 10, 11, 12, 13, მხოლოდ სერსეროთის ქვედებულზე დაფარებისა და სათანადო შეთავსების შემდეგ ფანჯრის დაჭერით ავიღებთ კვალებს $h=2$ კვეთის სიმაღლის ჯერად წარწერებზე, ეს იქნება 6, 8, 10, 12. ხოლო როცა $h=3$ მ, მაშინ იმავე ნახაზზე საძებარი წერტილები იქნება 6, 9, 12 (იხილეთ (19) ნახაზი).

ვთქვათ, მოცემულია ქვედებული 6,65 და 8,15 ნიშნულებით და საჭიროა გრადუირება $h=0,25$ მ შესაბამის ბიჯებით. გამოვიყენოთ (18^ა) სერსეროთი და მასზე ვიგულისხმოთ წარწერები 6,50; 6,75; 7,00; 7,25; 7,50; 7,75; 8,00 და 8,25. ქვედებულზე მივიღეთ ყველა წერტილი (ნახ. 21^{ა, ბ}). 21^ა



ნახ. 2.7.2.21.

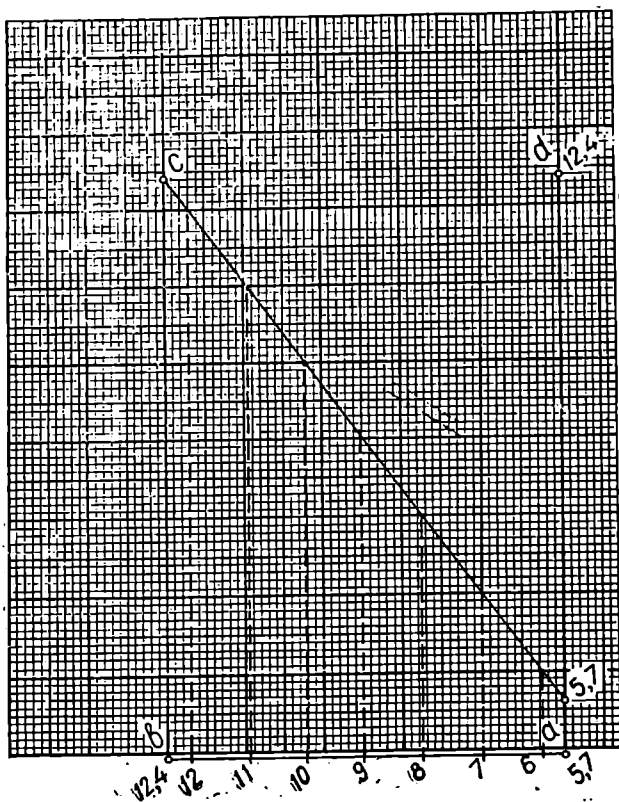
ნახაზზე ნაჩვენებია (18^ა) სერსეროთით 25,35—25,67 ქვედებულის 0,1 მეტრი კვეთის სიმაღლის შესაბამისი ბიჯით გრადუირება.

განხილული მასალის საფუძველზე ამ მუხლის შესავალში მიღებული განსაზღვრება შეიძლება ასე დაზუსტდეს: თანასწორად დაშორებული პარალელური წრფეების ნებისმიერი მიმართულებით გადამკვეთი წრფის მონაკვეთი დაიყოფა ტოლ და პროპორციულ ნაწილებად.

3. პროფილის ან უჯრედიანი (მილიმეტრებიანი) ქაღალდის ხეობი

ამ შემთხვევაში ვიყენებთ მილიმეტრებიანი ქაღალდის ნაჭერს. ვთქვათ, საჭიროა 5,7—12,4 ქვედებულის გრადუირება. ამისათვის ვიგულისხმებთ, რომ მილიმეტრებიან ქაღალდზე (ნახ. 22) პირველი ქვედა ab წრფიდან პარალელურად ზემოთ ყოველ ათ-ათ ან ხუთ-ხუთ მილიმეტრის მონაკვეთს შეესაბამება 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 მეტრი ნიშნული. განხილად შემთხვევაში აღნიშნული წარწერები ნაგულისხმებია ყოველ ათ მილიმეტრზე. დაენიშნავთ ad ხაზზე 5,7 წერტილს, რისთვისაც ad ვერტიკალურ ხაზზე გადავითვლით 7 მმ. ხოლო 12 და 13 გამკვეთი სიბრტყეების კვალებს შორის 12-დან გადავითვლით 4 მმ, რომლის შესაბამისი მილიმეტრის ხაზის ნიშნული იქნება 12,4; შემდეგ დასაგრადუირებელ 5,7—12,4 ქვედებულს მივაღებთ მიჯრით (პირისპირ) აღნიშნულ მილიმეტრებიან ფურცელს ისე, რომ $a-b$ გაჰყუდეს 5,7—12,4 ქვედებულს და ad იყოს მისი მართობი 5,7 წერტილში. ქვედებულის 12,4 წერტილის ავადგამილებზე მილიმეტრულაზე აღნიშნულ 12,4 მეტრის სიმაღლის გამ-

კვეთი სიბრტყის კვალის გადაკვეთამდე ϵ წერტილში. მილიმეტრულაზე შევარებთ 5,7 და ϵ წერტილებს, რითაც მივიღებთ ვერტიკალურ სიბრტყეზე ადგილის მახასიათებელ წერტილთა შემაერთებელ ხაზს (პროფილს), რომელიც 5,7 და 12,4 წერტილების ჩათვლით განკვეთილი იქნება 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 მკვეთი სიბრტყეებით. გადაკვეთის წერტილებს მილიმეტრების ხაზების



ნახ. 2.7.2.22.

დახმარებით ჩამოვაგეგმილებთ ქვედებულის გადაკვეთამდე, რომელზეც დაენიშნავთ ზემოხსენებულ წერტილებს და წავაწერთ ზემოთ მოყვანილ ნიშნულებს. მაშასადამე, ქვედებული დაიყოლა ექვს ინტერვალად. ამავე ნახაზზე შეიძლება ქვედებულის გრადუირება ორი, ნახევარი, სამი და სხვა ინტერვალების ტოლ ბიჯებად. ეს ხერხი წინა ხერხთან შედარებით უფრო ზუსტია. ამიტომ გეოდეზიაში მიღებული პრინციპის შესაბამისად (აუცილებელი და საკმარისი სიზუსტით მუშაობა) საშუალომასშტაბიანი აგეგმვების დროს გამოიყენება პირველი, ხოლო მსხვილმასშტაბიანი გეგმების შედგენის დროს მეორე და მესამე ხერხი.

ე. ინტერვალების ცხრილი და დიაგრამა დაქანებათა და ქანობების მიხედვით

როგორც ვნახეთ, ადგილის მახასიათებელ წერტილთა შორის გრადუირებით ადვილად გავარკვევთ მათ ფარდობით დაქანებებს. რაც უფრო მეტი იქნება ინტერვალები (ბიჯები), მით უფრო დამრეცია ადგილი და პირიქით, ხოლო ქვედებულები (ბიჯები, ინტერვალები), თანახმად ზემოთ მიღებული (1)–(9) ფორმულებისა, შებრუნებულ ფარდობაშია მათ შესაბამის დაქანებებთან (დახრის კუთხებთან) და ქანობებთან. საინჟინრო საქმეში ხშირად საჭირო ხდება გეგმის ან რუკის მიხედვით განისაზღვროს ცნობილი დაქანებისა და კვეთის სიმაღლის მიხედვით ბიჯის (ინტერვალის) აბსოლუტური ოდენობა ან ცნობილი ბიჯისა (ინტერვალის) და კვეთის სიმაღლის საშუალებით დაქანების აბსოლუტური ოდენობა; ასევე, ცნობილი აღმატებით და ქვედებულით ან კვეთის სიმაღლითა და ბიჯით (ინტერვალით) ადგილის ქანობის აბსოლუტური ოდენობა და, პირიქით, ცნობილი ქანობითა და აღმატებით (კვეთის სიმაღლით) ქვედებულის, ბიჯის ან ინტერვალის აბსოლუტური ოდენობა და სხვა. მაშასადამე, ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში საჭიროებისამებრ უნდა მივმართოთ (1)–(9) ფორმულებს.

იმისათვის, რომ არ დაგვჭირდეს ყოველ კერძო შემთხვევაში ამ ფორმულების ამოხსნა, წინასწარ (7) დამოკიდებულებების შესაბამისად ადგენენ ინტერვალების ცხრილებს კვეთის სიმაღლისა და დაქანების მიხედვით. (7) ტოლობის შესაბამისი (1) ცხრილიდან ჩანს, რომ დაქანებასა და ინტერვალს შორის უკუპროპორციულობა დაკუთვნილია ცხრილში მოცემულ გრადუსულ ოდენობათა ფარგლებში. ამიტომ ინტერვალის ოდენობა იმ დახრის კუთხისათვის, რომელიც ცხრილში არ მოიპოვება, უნდა განისაზღვროს ინტერპოლაციით, ანუ შუალედი პროპორციული ნაწილების მოძებნით. ვთქვათ, საჭი-

ცხრილი 2.7.2.1

h \ v	1°	2°	3°	4°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
1 მ	57,5	26,6	19,1	14,3	11,4	5,7	3,7	2,7	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0

როა განისაზღვროს ინტერვალის აბსოლუტური მნიშვნელობა, როცა დახრის კუთხე $v=7^\circ$. ვინაიდან 7° იმყოფება 5° და 10° შორის, საჭიროა ინტერვალის ოდენობა ვეჭიოთ მათ შესაბამის 11,4 და 5,7 მეტრის ფარგლებში შემდეგნაირად:

$$5^\circ - 11,4 \text{ მ,}$$

$$10^\circ - 5,7 \text{ მ}$$

$$1^\circ \text{ შეესაბამება } \frac{11,4 - 5,7}{5} = 1,14 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, $5^\circ - 10^\circ$ -მდე დაქანების ყოველი გრადუსით გაზრდას შეესაბამება ინტერვალის შემცირება 1,14 მ. ჩვენ კი გვინდა $7^\circ - 5^\circ = 2^\circ$ -სათვის, ე. ი. შესწორება იქნება $1,14 \times 2 = 2,28$ მ. $v=7^\circ$ დაქანების შესაბამისი ინტერვალის ოდენობა $l = 11,4 - 2,28 = 9,12$ მ.

ახლა, ვაქცავთ, $k=9,12$ და საჭიროა გავიგოთ შესაბამისი დახრის კუთხე, მივმართოთ იგივე ცხრილს და ვეძებთ 11,4 და 5,7 მეტრს შორის 9,12 მეტრის შესაბამისი დახრის კუთხეს:

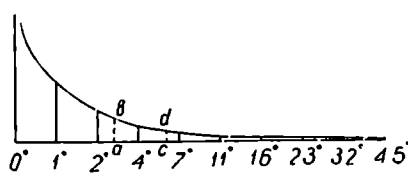
$$\begin{array}{r} 11,4 - 5^{\circ} \\ 5,7 - 10^{\circ} \\ \hline 11,4 - 5,7 \\ \hline 5 \end{array} = 1,14 \text{ მ.}$$

ე. ი. $5^{\circ}-10^{\circ}$ ფარგლებში ინტერვალის ყოველ 1,14 მ შემცირებას შესაბამე-
ბა დახრის კუთხის გაზრდა 1° ; ჩვენ კი გვსურს კუთხის ნახრდის ოდენობა
ინტერვალის 11,4—9,12=2,28 მეტრით შემცირებისათვის, მაშასადამე, 5° -ზე
დასამატებელი კუთხე იქნება $2,28 : 1,14 = 2^{\circ}$, ხოლო მოცემული 9,12 მ ინ-
ტერვალისათვის დახრის კუთხე იქნება $5^{\circ} + 2^{\circ} = 7^{\circ}$.

როცა გვსურს გავიგოთ ერთი მეტრისაგან განსხვავებული აღმატების ან
კვეთის სიმაღლის შესაბამისი ქვედებულები ან ბიჯები, მაშინ ცხრილის მო-
ნაცემებს ვამრავლებთ მოცემულ აღმატებებზე ან კვეთის სიმაღლეებზე.

განხილავთ ცხრილით გეგმაზე მუშაობის დროს იქნება უნებურება
იმ მხრივ, რომ ყოველ კერძო შემთხვევაში საჭირო ხდება გეგმის მასშტაბის
გამოყენება. ამიტომ (1) ცხრილის მონაცემების კვეთის სიმაღლეზე გაღმრავ-
ლებით და გეგმის მასშტაბით ხაზავენ ქვედებულებების (ბიჯების, ინტერვალე-
ბის) დიაგრამას (ნახ. 23), რომელიც ლიტერატურაში მოიხსენება, როგორც
ქვედებულების ან დაქანებათა მასშტაბი.

მასშტაბის ასაგებად თარაზულ ხაზზე გადავზომავთ 1—1,5 სანტიმეტ-
რიან 9 მონაკვეთს და წაეაწვროთ $1^{\circ}, 2^{\circ}, 4^{\circ}, 7^{\circ}, 11^{\circ}, 16^{\circ}, 23^{\circ}, 32^{\circ}, 45^{\circ}$,
რომელთა შესაბამისი დია-
გრამა გამოდის უწყვეტი.
შეიძლება შეგვეჩინოთ სხვა
რიცხვებიც. ვთქვათ, გვინდა
ავაგოთ დიაგრამა $1 : 2000$
მასშტაბის და $k=2$ მეტ-
რი კვეთის სიმაღლისათვის,
ცხრილის ყოველ უშუალო
და ინტერპოლაციით მიღე-
ბულ მონაკემს ვამრავლებთ ორზე და ვამცირებთ 2000-ჯერ, რომელთაც ყო-
ველი დაქანების შესაბამისად ვერტიკალურად გადავზომავთ და მათ ბოლოებს
შევავერთებთ თანაბარი სიგრძის ხაზით.



დიაგრამის გამოყენება ცხრილის გამოყენების ანალოგიურია. ვთქვათ,
გვსურს გავიგოთ ბიჯის ოდენობა $v=6^{\circ},3$ დაქანებისათვის. საძიებელი ბიჯი
უნდა მოიძებნოს 4° და 7° შესაბამის ბიჯებს შორის, რისთვისაც $6^{\circ},3 - 4^{\circ} =$
 $= 2^{\circ},3$ -ს გავყოფთ $7^{\circ} - 4^{\circ} = 3^{\circ}$ -ზე, რაც უდრის თარაზული მონაკვეთის 0,8;
მას მოვზომავთ თვალით 4° -დან 7° -საკენ და მიღებულ წერტილში ავმართავთ
 cd მართობს დიაგრამის მრუდის გადაკვეთამდე, რომელიც იქნება საძიებელი
ბიჯის ტოლი. ახლა, პირიქით, როცა მოცემულია გეგმაზე ab ბიჯი და საჭი-
როა გავიგოთ შესაბამისი დაქანება; ბიჯს ავიღებთ ფარგლით, რომლის ერთ
ფეხს გავაყოფთ დიაგრამის თარაზულ ხაზს ისე, რომ მეორე ფეხი დიაგრა-

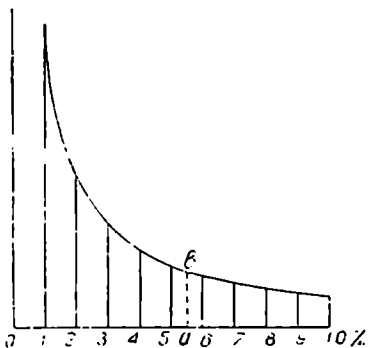
მის ქვედებულებს, ანუ მართობების, გასწვრივობაში იყოს. როცა ფარგლის მეორე ფეხი გადაკვეთს დიაგრამის მრუდს, თვალთ შევადგინებთ დიაგრამის მცირე გრადუსული წარწერიდან ამ წერტილამდე მანძილს და ეს იქნება შესაბამისი დახრის კუთხე გრადუსებში. მაგალითად, *ახ* შესაბამისი სიგრძე იქნება თარაზული მონაკვეთის 0,4, რომელიც უნდა გადავაჩაველოთ $4^{\circ}-2^{\circ}=2^{\circ}$ სხვაობაზე და მიღებულ რიცხვს მივუმატოთ 2° , ე. ი. საძიებელი დაქანება ედრება $0,4 \times 2 + 2^{\circ} = 2^{\circ},8$.

ახლა შევადგინოთ (2) ცხრილი და დიაგრამა (8) ფორმულის შესაბამისად.

ცხრილი 2.7.2.2

h	i	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
1 მ		1000,0	500,0	333,3	250,0	200,0	166,7	142,9	125,0	111,1	100,0

როგორც ცნობილია, i ქანობი წარმოადგენს აღმატებას ზომის ყოველ ერთეულზე. მაგალითად, $i=0,008$, ანუ $i=8\text{‰}$, ნიშნავს, რომ კილომეტრიანი ხაზის ბოლო წერტილის აღმატება საწყისი წერტილის მიმართ ტოლია 8 მეტრის, ანუ ყოველ ჰექტომეტრზე სიმაღლეთა სხვაობა არის 0,8 მეტრი. (2) ცხრილის შესაბამისი სვეტიც იმასვე გვიჩვენებს, რომ ყოველ 125 მეტრზე სიმაღლეთა სხვაობა არის 1 მეტრი. (2) ცხრილის გამოყენებით ნებისმიერი ქანობისათვის მიიღება ან ინტერპოლაციით გამოითვლება სათანადო ინტერვალი და პირიქით. აგრეთვე, ცხრილის მონაცემთა აღმატებაზე ან ერთი მეტრისაგან განსხვავებულ კვეთის სიმაღლეზე გამომავლებით მიიღება ცხრილში მოყვანილი ქანობების შესაბამისი ქვედებულები და ბიჯები. სათანადო დიაგრამა შედგება და გამოიყენება ანალოგიურად (23) დიაგრამისა. იხილეთ 24-ე ნახაზი, რომელზეც *ახ* ინტერვალი შესაბამემა 0,0055 ქანობს.

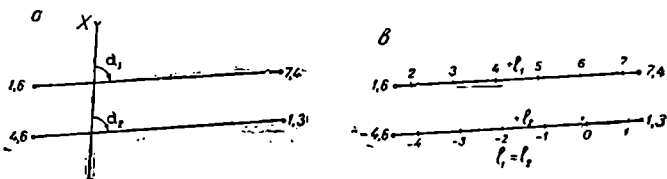


ნახ. 2.7.2.24.

d. ხაზები

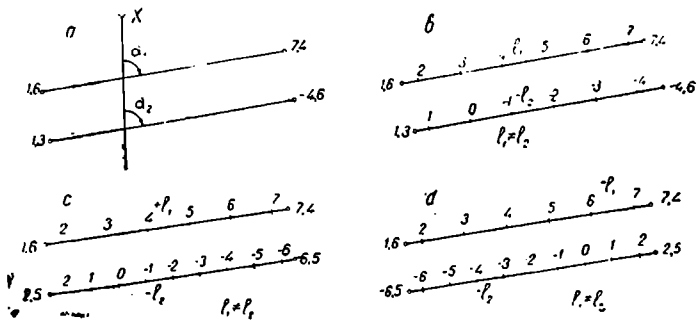
ნიშნულებიანი გეგმილებით გამოსახული პარალელური ქვედებულები სივრცეში შეიძლება იყოს პარალელური ან აცდენილები; შეთავსებული ქვედებულების შესაბამისი მონაკვეთები შეიძლება იყოს შეთავსებულნი, პარალელური ან იკვეთებოდნენ ნებისმიერი კუთხით, ხოლო გადაკვეთილი ქვედებულების შესაბამისი მონაკვეთები შეიძლება იკვეთებოდნენ ან იყოს აცდენილები.

გვეგმაზე ერთნაირი მიმართულების ხაზები, რომელთა კვადრები ურთიერთ არ უთავსდება სივრცეში, პარალელურები; თუ ამ ხაზების კვადრები ურთიერთ უთავსდება, მაშინ ისინი შერწყმულები იქნებიან, ხოლო თუ მიმართულებები არ არის ერთნაირი ხაზები სივრცეში ურთიერთ იქნებიან აცდენილები ან გადაკვეთილები. მართლაც, გვეგმაზე პარალელური ქვედებულების შესაბამისი მონაკვეთები სივრცეში იქნება პარალელური, თუ გრადუირების შემდეგ მათი ინტერვალების (ბიჯების, დახრის კუთხის, ქანობების) ოდენობები ტოლებია. წინააღმდეგ შემთხვევაში სივრცეში განხილად



ნახ. 2.7.2.25.

მონაკვეთები აცდენილები იქნება. მაგალითად, (25^ა) ნახაზზე მოცემული პარალელური ქვედებულების შესახებ სივრცეში მათ აგებამდე ან გრადუირებამდე ვერ ვიტყვი, თუ როგორ იქნება ეს ქვედებულები სივრცეში განლაგებული. (25^ბ) ნახაზის მიხედვით კი დავასკვნით, რომ ვინაიდან პირველი ქვედებულის l_1 ინტერვალი ტოლია მეორე ქვედებულის l_2 ინტერვალისა, ანუ $v_1 = v_2$ და $i_1 = i_2$, მათი შესაბამისი მონაკვეთები სივრცეში პარალელური იქნება; (26^ა) ნახაზის ქვედებულების გრადუირების მიხედვით (ნახ. 26^ბ) $l_1 \neq l_2$,

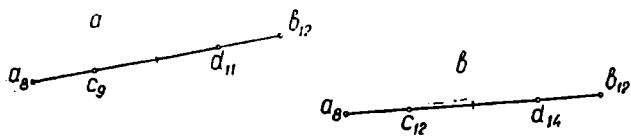


ნახ. 2.7.2.26.

($v_1 \neq v_2$, $i_1 \neq i_2$) და $|l_1| = |l_2|$, ე. ი. მათი ინტერვალების მიხედვით ეს მონაკვეთები სივრცეში ერთნაირი დაქანების აცდენილები იქნება, ხოლო (26^ა) და (26^ბ) ნახაზზე გრადუირებული ქვედებულების მიხედვით შესაბამისი მონაკვეთები სივრცეში აცდენილებია; ამავე დროს ორივე წყვილი არის არათანაბარი

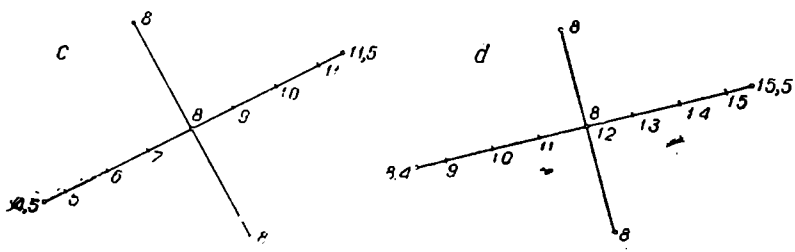
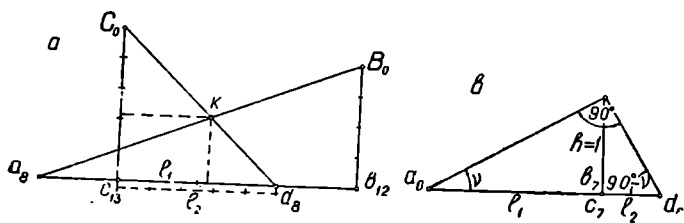
დაქანების. პირველი წყვილი აღმართ-დაღმართია და მეორე წყვილი აღმართი.

(27^ა) ნახაზის მიხედვით გეგმაზე შეთავსებული a_8-b_{12} და c_9-d_{11} მონაკვეთები სივრცეში შეთავსებულია, რადგანაც გრადუირების შედეგად მათი შეთავსებული წერტილების ნიშნულები ტოლებია ანუ კვანძები შეთავსებული ექნებათ, ხოლო (27^ბ) ნახაზის მიხედვით მონაკვეთები სივრცეში პარალელუ-



ნახ. 2.7.2.27.

რები იქნება, რადგანაც მათი შეთავსებული ყოველი წყვილი წერტილის ნიშნულები ურთიერთ განსხვავდება ერთი და იმავე (3 მეტრი) ოდენობით, ე. ი. კვანძები ურთიერთ არ შეუთავსდებიან (ცხადია, ორივე შემთხვევაში ინტერვალები ტოლებია).



ნახ. 2.7.2.28.

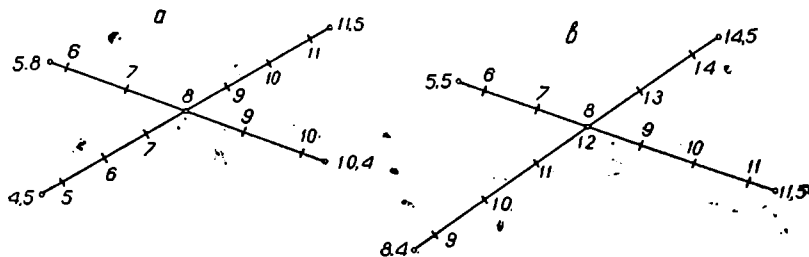
(28^ა) ნახაზის მიხედვით გეგმაზე შეთავსებული a_8-b_{12} და $c_{13}-d_8$ მონაკვეთი სივრცეში გადაიკვეთება, რადგანაც მათი ინტერვალები (სიგრძით და ნიშნით) ტოლები არ არიან. გადაკვეთის K წერტილის ნიშნული აგების შესაბამისად არის 10,2 მეტრი. 28^ბ ნახაზი გვიჩვენებს, რომ გეგმაზე a_8-b_7 და c_1-d_8 შეთავსებული მონაკვეთები სივრცეში ურთიერთმართობი იქნება, რადგანაც მათი ინტერვალები (ბიჯები) ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნისა და შე-

პრუნენული ოდენობების არიან. ე. ო. ბიკებს შორის დამოკიდებულებები იქნება:

$$\left. \begin{aligned} |a_2| &= \frac{h^2}{|a_1|} \\ |l_2| &= \frac{1}{|l_1|} \end{aligned} \right\} \quad (2.7.2.11)$$

გვემაზე მართობულად გადაკვეთილი მონაკვეთების სივრცეში მართობულობა დაცული იქნება, თუ სივრცეში ერთ-ერთი გადაკვეთი ხაზი თარაზულია. ეს პირობა ეხება სივრცის როგორც გადაკვეთილ (ნახ. 26^ა), ისე აცდენილ მონაკვეთებს (ნახ. 28^ა), ხოლო როცა არც ერთი არ არის თარაზული, მართობულობის დასადგენად სჯობს მათი აგება სივრცეში და კუთხის უწყლოდ გაზომვა ან შეთავსების მეთოდით ხსენებული კუთხის დადგენა (იხ. ქვემოთ h მუხლი).

29^ა ნახაზზე მოცემული მონაკვეთები სივრცეში გადაკვეთილი უმონაკვეთებია, რადგანაც გრადუირების შედეგად გვემაზე გადაკვეთის წერ-



ნახ. 2.7.2.29.

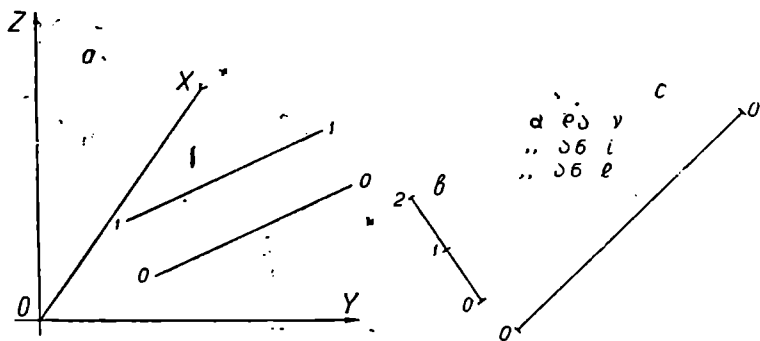
ტილს აქვს ტოლი ნიშნულები (8). 29^ა ნახაზზე გადაკვეთილი მონაკვეთები კი სივრცეში აცდენილებია, რადგანაც გრადუირების შედეგად გვემაზე გადაკვეთის წერტილს აქვს სხვადასხვა ნიშნული (8 და 12).

ს სიბრტყე

დახრილი სიბრტყე გვემაზე შეიძლება გვექნეს მოცემული: ტოლნიშნულებიანი (0—0 და 1—1) პარალელური ხაზებით (ნახ. 30^ა), რომელთაც სიბრტყის მიმართების ხაზებს უწოდებენ (ცხადია, განხილად შემთხვევაში 0—0 ხაზი იქნება სიბრტყის კვალი ნულოვანი ნიშნულის მქონე დონებრივ სიბრტყეზე); მიმართების ხაზებისადმი მართობი გრადუირებული ხაზით, რომელსაც სიბრტყის დაქანების ხაზს ვუწოდებთ (ნახ. 30^ბ), და ერთი მიმართების ხაზით და მიმართულებით, ანუ სიბრტყის α თარაზული მიმართებით (დირექციული კუთხით) და ν დახრის კუთხით ან i ქანებით და ან l ინტერვალთ (ნახ. 30^გ).

30^ა ნახაზის შესაბამისად სიბრტყე სივრცეში (31-ე) ნახაზის სახით უნდა წარმოვიდგინოთ. 1'—1' ხაზსაც, ისევე როგორც 1—1 გვეგვილს, სიბრტყის მი-

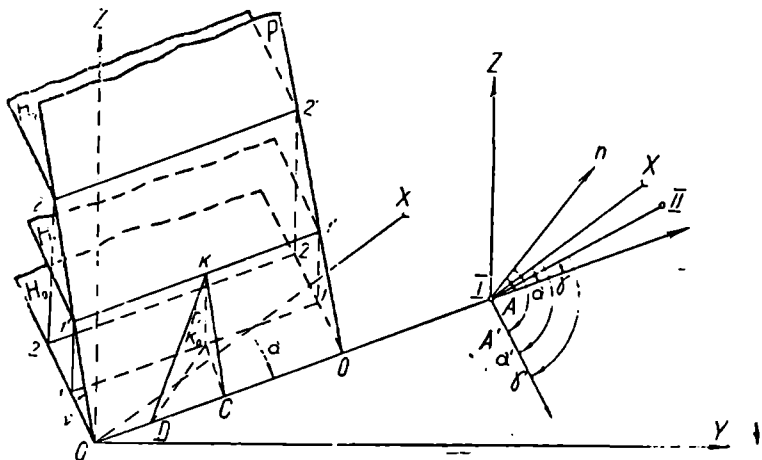
მართების ხაზი ეწოდება და პათი ნიშნული ყოველთვის შერჩეული კვეთის სიმაღლის ფერადი რიცხვია. განხილად შემთხვევაში შერჩეული h კვეთის სიმაღლე ერთი მეტრია. როგორც ქვემოთ ვნახავთ, უმოკლესი $0-1$ მანძილი იქნება სიბრტყის l ინტერვალი. მის გაგრძელებას სიბრტყის მთელ სიგრძეზე ზემოთ ვუწოდეთ სიბრტყის დაქანების ხაზის ქვედა-ბული, ანუ სიბრტყის დაქანების ხაზი, რომელსაც შეესაბამება სიბრტყის ν დახრის კუთხე. განვმარტოთ, თუ რით უნდა ხასიათდებოდეს სიბრტყის დაქანების ხაზი, მაშასადამე, მისი დახრის ν კუთხე. P სიბრტყეზე შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ უამრავი ხაზები, მაგრამ მათ შორის მხოლოდ ერთი ხაზი იქნება დაქანების ხაზი. მაგალითად, სიბრტყის K წერტილზე შეიძლება გავატაროთ უსასრულო რაოდენობა ვერტიკალური მკვეთი სიბრტყეებისა. განხილად შემთხვევისათვის ავიღოთ ორი მკვეთი KK_0C და KK_0D სიბრტყე. ეს სიბრტყეები P სიბრტყის K წერტილში განკვეთის შედეგად მის ზედაპირზე, მეზობელ ($1'-1'$ და $0-0$) მიმართე-



ნახ. 2.7.2.30.

ბის ხაზებს შორის, K კვეთის წერტილიდან სხვადასხვა მიმართებით დასტოვებს KC და KD კვალს, რომელთაც ვუწოდოთ ვარდნილობის ხაზები (მონაკვეთები). ამ ხაზებს გეგმაზე შეესაბამება K_0C და K_0D ინტერვალი. ზოგადად, როცა $h \neq 1$, ეწოდება ბიჯი. უდიდესი ვარდნილობის ხაზი ვუწოდოთ ისეთს, რომელიც თავის ინტერვალთან (ბიჯთან) ადგენს უდიდეს დახრის კუთხეს. ვთქვათ, $\angle C$ არის უდიდესი ყველა შესაძლო დახრის კუთხეებიდან, ე. ი. $\angle C > \angle D$. მაშასადამე, პირობის თანახმად, KC იქნება უდიდესი ვარდნილობის ხაზი, ხოლო K_0C მისი ინტერვალი, რომელსაც ურთიერთპროპორციულობის გამო სიმარტივისათვის სიბრტყის ინტერვალი ვუწოდეთ. ამ ინტერვალს ვიყენებთ სხვადასხვა სიბრტყეების დაქანების ხარისხის დასადგენად. KK_0C და KK_0D სამკუთხედების შედარებით დავრწმუნდებით, რომ ვინაიდან $\angle C > \angle D$, ანუ $\sin C > \sin D$ და $\operatorname{tg} C > \operatorname{tg} D$, $KC < KD$ და $K_0C < K_0D$. მაშასადამე, K წერტილში გატარებული უდიდესი ვარდნილობის ხაზი და მისი გეგმილი, ანუ სიბრტყის ინტერვალი, უმოკლესია იმავე K წერტილში გატარებულ დანარჩენ ვარდნილობის ხაზებთან და მათ ინტერვალებთან შედარებით. გეგმაზე მიმართების ხაზებს შორის

უძოკლესი მანძილი კი მათი მართობია. მაშასადამე, სიბრტყის ზედაპირს თუ განვაზოგადებთ და წარმოვიდგენთ დახრილი ფერდობის სახით, ვიტყვი, რომ K წერტილში შეიძლება გავატაროთ უაზრავი ვარდნილობის ხაზები, ამათგან ის არის უდიდესი ვარდნილობის ხაზი, რომელსაც გაყვება დაცემული წყლის წვეთი, ანუ რომელ ხაზსაც აქვს ყოველ წერტილში უდიდესი დაქანება. აი ამ ხაზსა და მის ვაგარძელებას სიბრტყეზე ზემოთ ეუწოდებენ სიბრტყის დაქანების ხაზი, რადგანაც იდეალურ სიბრტყეზე უდიდესი ვარდნილობის ხაზების გასწვრივი ერთობლიობა მას დაემთხვევა. ამიტომ (ნახ. 31) $\nu = \angle C$ უდიდეს კუთხეს ეუწოდებენ სიბრტყის დახ-



ნახ. 2.7.2.31.

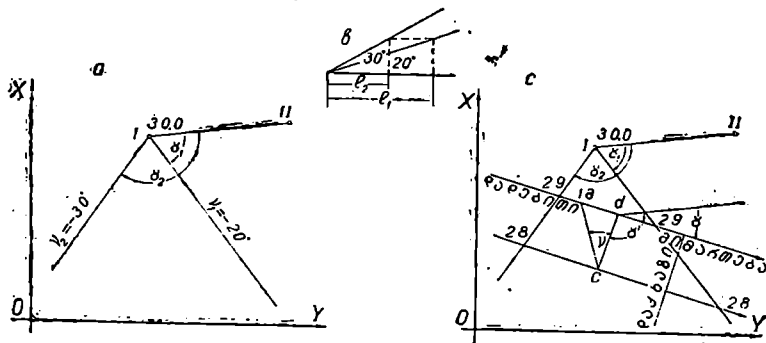
რის კუთხე. მაშასადამე, სიბრტყის ν დახრის კუთხე შეესაბამება მის I - n -ტერვალს, ანუ უდიდესი ვარდნილობის ხაზის გეგმილს.

ზემოთ ნახსენები იყო სიბრტყის α თარაზული მიმართულება (დირექციული კუთხე). აქ დავსაქნებთ, რომ ოელივეის გამოხაზვის და სავა გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნისათვის გავზომილი A აზიმუტებისა და გამოთვლილი α დირექციული კუთხეების პირდაპირი და შებრუნებული ცნებების მაგიერ სამთო გეომეტრიაში და ზოგჯერ საინჟინრო კონსტრუქციების გეომეტრიულად წარმოდგენის მიზნით იყენებენ ისევ აზიმუტებსა და დირექციულ კუთხეებს, მხოლოდ მათი ერთი მნიშვნელობის (პირდაპირი) შესაბამისად, რაც პირობით წარმოადგენს A აზიმუტს, შედგენილს მაგნიტურ მერედიანთან (πs), α დირექციულ კუთხეს ღერძა მერიდიანის სწუვივ x ღერძთან ან γ კუთხეს ნებისმიერ თარაზულ I — II ხაზთან, სიბრტყის მიმართების ხაზების დადებითი მიმართების მით (ნახ. 31). პირობით დახრილი სიბრტყის მიმართების ხაზების დადებით მიმართებად მიღებულთა მიმართება მარცხნივ, თუ ამ სიბრტყეზე წარმოვიდგენთ თავს სახით დაღმართისაკენ. ამავე ნაწილიდან ნათელია, რომ სიბრტყის დაქანების ხაზის (უდიდესი ვარდნილობის ხაზის) აზიმუტია $A' = A + 90^\circ$, დირექციული კუთხე $\alpha' = \alpha + 90^\circ$, ხოლო მიმართების კუთხე $\gamma' = \gamma + 90^\circ$.

ზემოხსენებულის შემდეგ 30° და $30'$ ნახაზების შესაბამისი სიბრტყის სივრცეში წარმოდგენა აღვილია.

ჩვეულებრივ, სამთო საქმეში ქანების სივრცობრივი წარმოდგენისათვის A აზიმუტს და γ დახრის კუთხეს ზომავენ სამთო კომპასით და სხვა ანალოგიური ინსტრუმენტებით (იხ. VI ტომი).

როგორც ცნობილია, სიბრტყის აგებისათვის საჭიროა: მისი სამი წერტილი; ერთი წერტილი და ხაზი; გადაკვეთილი ხაზები ან ორი პარალელური ხაზი. მაშასადამე, P სიბრტყე, რომ სივრცეში წარმოვიდგინოთ, საჭიროა ვიცოდეთ მისი სამი წერტილის გეგმილი ნიშნულებით; ან ერთი წერტილის გეგმილი ნიშნულით და მიმართების ხაზი; ან ხაზების გადაკვეთის წერტილის ნიშნული და ამ ხაზების მიმართულებები (α და l); ან სიბრტყის ორი მიმართების ხაზი, რაც უკვე განვიხილეთ ზემოთ (30° ნახაზი). მაშასადამე, ყველა შემთხვევა შეგვიძლია დავიყვანოთ უკანასკნელ, ანუ (30) ნახაზის სახემდე, რის შემდეგ, უკვე ცნობილი წესით, სიბრტყეს წარმოვიდგენთ სივრცეში. მაგალითისათვის ავი-



ნახ. 2.7.2.32.

ღოთ მესამე შემთხვევა (ნახ. 32^ა). ხაზების გადაკვეთის წერტილის ნიშნულია $30,0$ მ, $\gamma_1 = 60^\circ$, $\gamma_2 = 130^\circ$ და $\nu_1 = -20^\circ$, $\nu_2 = -30^\circ$.

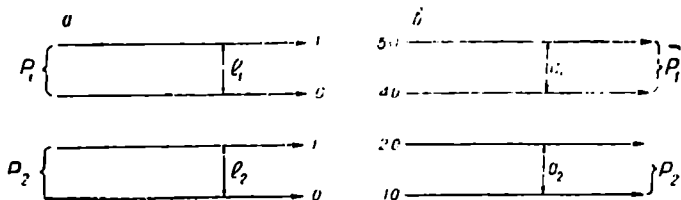
32^b ნახაზზე ნაჩვენებია ხაზების ინტერვალების ოდენობების განსაზღვრა (ორივე ინტერვალი მიწის მიშნისაა). შემდეგ, ამ ხაზების ტოლნიშნულებიან წერტილებზე გაეატარებთ სიბრტყის მიმართების ხაზებს (ნახ. 32^ა), იქვე ნაჩვენებია სიბრტყის dc ინტერვალი და ν დახრის კუთხე.

32^c -ე ნახაზზე ორივე ხაზი დაკავშირებულია I და II საყრდენი წერტილების შემაერთებელ გვერდთან. ამიტომ როგორც ხაზების, ისე სიბრტყის მიმართების კუთხეები აღვნიშნეთ γ სიმბოლოთი (γ სიბრტყის მიმართების კუთხეა, ხოლო γ' —მისი დაქანების ხაზის მიმართების კუთხე).

f. სიბრტყეები

სივრცეში ბრტყელი ზედაპირების მონაკვეთები, რასაც მოკლედ სიბრტყეების სახელწოდებით მოვიხსენიებთ მათი ნიშნულებიანი გეგმილების შესაბამისად, შეიძლება იყოს ურთიერთპარალელური, შერწყმული და გადაკვეთილი ნებისმიერი კუთხით.

სივრცეში სიბრტყეები ურთიერთპარალელურებია, თუ გვემაზე მათი შესაბამისი კვლები პარალელურებია და ამავე დროს მათი დახრის კუთხეები (ქანობები, ინტერვალები) ტოლებია; თუ მათი კვლები ურთიერთს უთავსდება, მა-

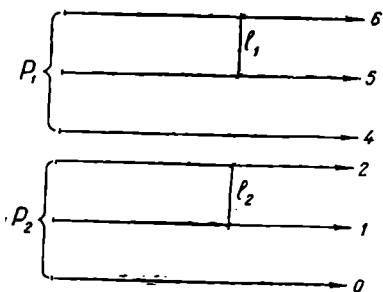
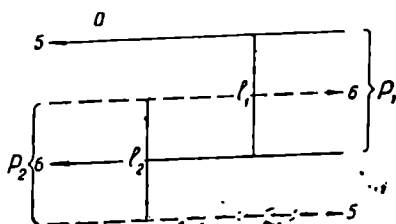


ნახ. 2.7.2.33.

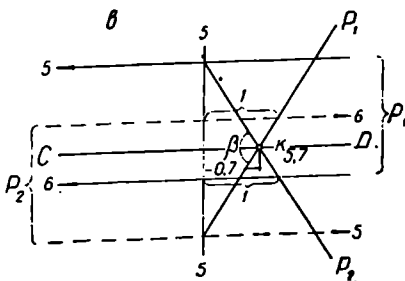
შინ სიბრტყეებიც შეთავსებულა; ხოლო, როცა მიმართულებები არ არის ერთნაირი, მაშინ სიბრტყეები ურთიერთ იკვეთებიან.

როგორც ცნობილია, ნიშნულებიან პროექციებში წერტილების ან ხაზების ნიშნულის საფუძველზე გრადუირებით სიბრტყეები წარმოიდგინება (30) ნახაზის სახით. ასე რომ, ჩვენ დავეყრდნობით მულამ ამდაგვარ ნახაზს.

33-ე ნახაზის შესაბამისად P_1 და P_2 სიბრტყეები სივრცეში ურთიერთპარალელურია, რადგანაც მათი კვლები პარალელურებია. და, აგრეთვე $l_1 = l_2$ (ნახ. 33^ა); ასევე $a = a_2$ (ნახ. 33^ბ).



ნახ. 2.7.2.34.

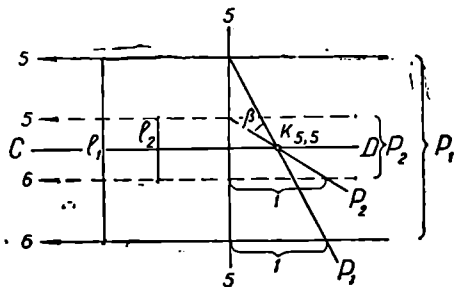


ნახ. 2.7.2.35.

(34) ნახაზის მიხედვით კი P_1 და P_2 სიბრტყეები სივრცეში შერწყმულა, რადგანაც ორივეს ერთი და იგივე კვალი აქვთ, აგრეთვე $l_1 = l_2$ (აქ ნაგულისხმებია, რომ მანძილი 4 და 2 მიმართების ზანებს შორის არის ორი ინტერვალის ტოლი).

(35^ა) ნახაზის შესაბამისად P_1 და P_2 სიბრტყეები სივრცეში იკვეთება, რადგანაც მათი მიმართებები ტოლები არ არის $a_1 \neq a_2$ (მათ შორის

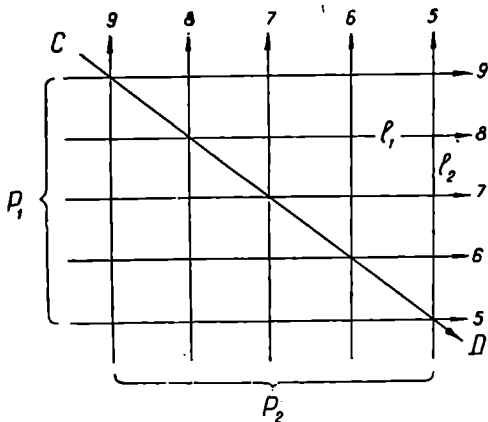
განსხვავება არის 180°) და $|l_1| = |l_2|$. ცხადია, ამ სიბრტყეების გადაკვეთის ხაზი გაივლის მათი მიმართების ხაზების პარალელურად. იმის დასადგენად, ეს სიბრტყეები რა ნიშნულზე და როგორი კუთხით გადაიკვეთება, საჭიროა ისინი გავკვეთოთ მართობი ვერტიკალური სიბრტყით (ნახ. 35^ა),



ნახ. 2.7.2.36.

კვეთი სიბრტყიდან, ისე ორივე სიბრტყის მიმართების ხაზების მიმართ. სიბრტყეებს შორის β კუთხეც გაიზომება ტრანსპორტირით. (36) ნახაზი გვიჩვენებს, რომ P_1 და P_2 სიბრტყეები სივრცეში იკვეთება, რადგანაც $\alpha_1 = \alpha_2$, მაგრამ $l_1 \neq l_2$. გადაკვეთის ხაზი გადის $K = 5,5$ წერტილში იგივე მამართების კუთხით. სიბრტყეებს შორის კუთხე არის β .

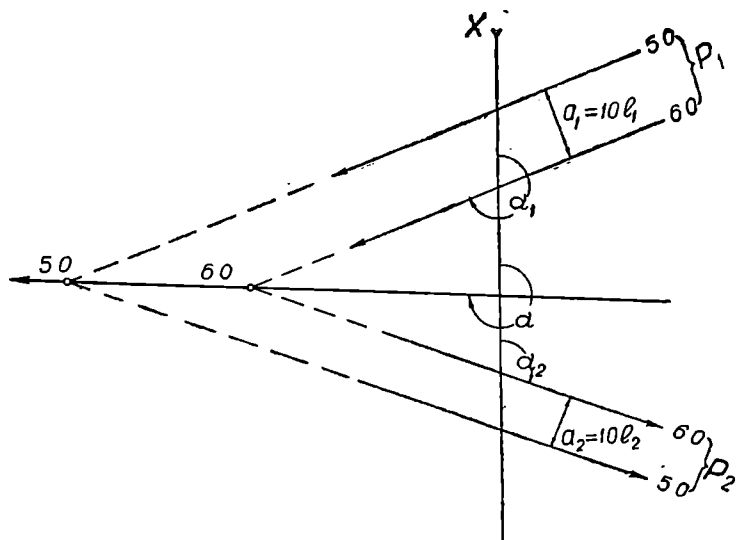
(37) ნახაზის მიხედვით P_1 და P_2 სიბრტყეები იკვეთება, რადგან $\alpha_1 \neq \alpha_2$, ხოლო $|l_1|$ შეიძლება ტოლი იქნეს ან არ იქნეს ტოლი $|l_2|$ -სა. განხილად შემთხვევაში გადაკვეთის CD ხაზი გაივლის ორივე სიბრტყის ტოლნიშნულებიანი მიმართების ხაზების გადაკვეთის წერტილებში. გადაკვეთის ხაზს პირობით მივცეთ მიმართება დაღმართისაკენ, ცხადია, რომ ამ ხაზის დირექციული კუთხე განსხვავებული იქნება სიბრტყეების α_1 და α_2 დირექციული კუთხეებისაგან. ამ სიბრტყეებს შორის კუთხე განსაზღვრულია ქვემოთ, შეთავსების მეთოდით (ნახ. 48).



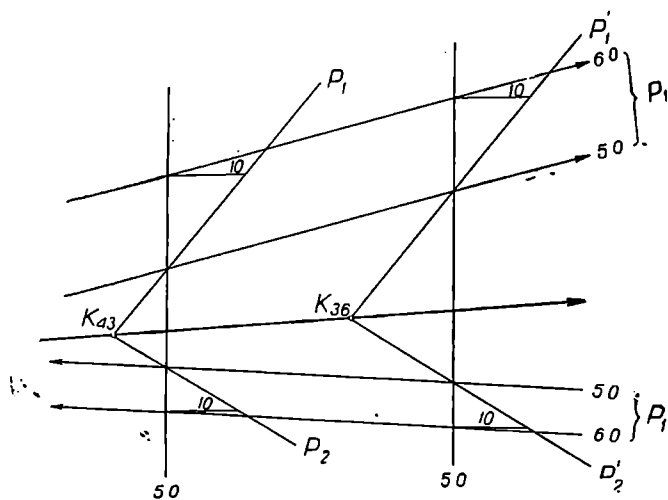
ნახ. 2.7.2.37.

(38) ნახაზი გვიჩვენებს, რომ სიბრტყეები იკვეთება, რადგანაც $\alpha_1 \neq \alpha_2$ და ბიჯი $l_1 \neq l_2$. აქაც მათი გადაკვეთის ხაზი გადის ტოლნიშნულებიანი მი-

მართების ხაზების გადაკვეთის წერტილებში. ამ სიბრტყეებს შორის კუთხის განსაზღვრა მოცემულია 49 ნახაზზე.



ნახ. 2.7.2.38.



ნახ. 2.7.2.39.

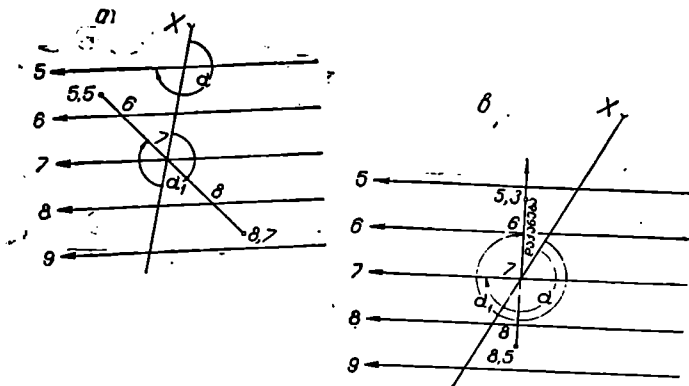
(39) ნახაზზე ნაჩვენებია შემთხვევა, როცა ტოლნიშნულებიანი მიმართების ხაზების გადაკვეთის წერტილები გეგმის ფარგლებს გარეთ არის. ამიტომ

ქ საჭიროა განხილავი სიბრტყეების ორი ვერტიკალური სიბრტყით გადაკვეთა და ორივე პროექციის სიბრტყეზე მათი დაქანების ხაზების გადაკვეთის წერტილებისა და მათი ნიშნულების განსაზღვრა, რომელთა შეერთებით მივიღებთ P_1 და P_2 სიბრტყეების გადაკვეთის ხაზს. ეს ხაზი გადის K_1 და K_2 წერტილებზე.

ვ. სიბრტყე და ხაზი

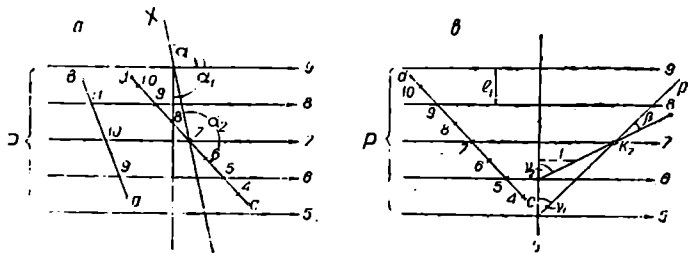
ნიშნულებიანი გეგმილებით მოცემული სიბრტყე და ხაზი სივრცეში შეიძლება იყოს: შეთავსებული, პარალელური და კვეთდენ ერთმანეთს ნებისმიერი კუთხით.

(40^ა) ნახაზის მიხედვით ხაზი ძვეს სიბრტყეზე სივრცეში, რადგანაც გეგმაზე სიბრტყისა და ხაზის ყოველი შეაწყველი წერტილის ნიშნული ურთი-



ნახ. 2.7.2.40.

ერთობლია. სიბრტყეზე მდებარე ხაზის დირექციული (მიმართების) კუთხე შეიძლება იცვლებოდეს $0^\circ-360^\circ$ -მდე და მის შესაბამისად ხაზის ინტერვალ-

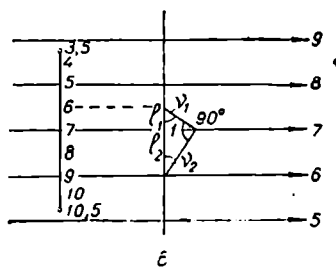


ნახ. 2.7.2.41.

ბის (ბიჯების) ოდენობები შეიძლება იცვლებოდეს 0° -დან სიბრტყის ინტერვალამდე, რაც სიბრტყის დახრილობას გამოსახავს. ამ შემთხვევაში ხაზის მი-

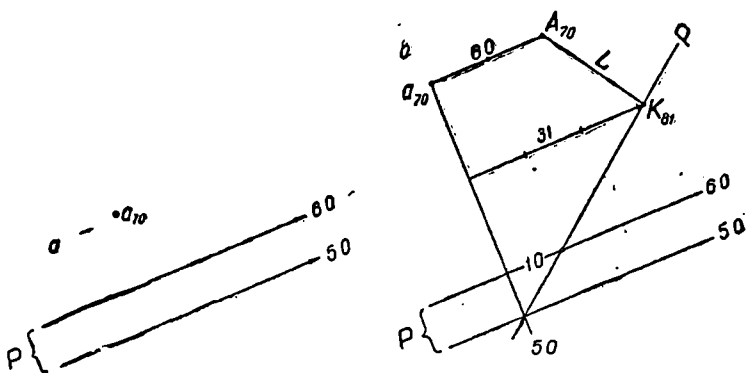
მართებას. თუ დღემართისაკენ მივიღებთ, მისი მიმართების კუთხე დაემოხვევა სიბრტყის დახრილობის ხაზის მიმართების კუთხეს $\alpha_1 = \alpha + 90^\circ$ (ნახ. 40^ბ). მაშასადამე, როგორც ზემოთ ვთქვით, სიბრტყეზე მდებარე ხაზის მაქსიმალური დახრის კუთხე იქნება თვით სიბრტყის დახრის კუთხის ტოლი.

(41^ა) ნახაზი გვიჩვენებს, რომ ab ხაზი სივრცეში სიბრტყის პარალელურია, ვინაიდან გეგმაზე მათი შერწყმული წერტილის ნიშნულები ურთიერთ-ტოლი ოდენობებით განსხვავდებიან, ხოლო cd ხაზი კვეთს P სიბრტყეს რადგანაც გეგმაზე მათ აქვთ ერთი საერთო წერტილი. მაგალითად, (41^ბ) ნახაზის მიხედვით cd ხაზი სიბრტყეს K წერტილში, რომლის ნიშნულია 7, ხოლო იმავე წერტილში მათ შორის β კუთხე გაიზომება ტრანსპორტირით. უფრო ზუსტად იგი გამოითვლება $\beta = \nu_2 - \nu_1$ სხვაობით. დახრის კუთხეები კი განისაზღვრება (9) ფორმულაში ინტერვალების ჩასმით.



ნახ. 2.7.2.42.

42-ე ნახაზზე გამოსახულია, რომ სივრცეში ხაზი მართობია სიბრტყის, რადგანაც გეგმაზე მათ აქვთ საერთო წერტილი, ხაზი გეგმილი შეთავსებულია სიბრტყის დაქანების ხაზზე, მათი ინტერვალები (ბიჯები) ურთიერთშებრუნებული და საწინააღმდეგო ნიშნისაა. (43^ა) ნახაზის მიხედვით გეგმაზე



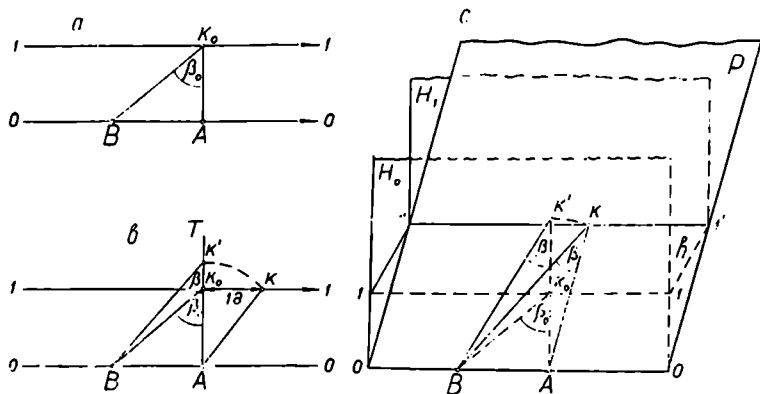
ნახ. 2.7.2.43.

მოცემულია სიბრტყე და წერტილის გეგმილი ნიშნულით 70. სივრცეში A_{70} წერტილიდან P სიბრტყემდე მანძილი იქნება L , ხოლო გადაკვეთის K წერტილის ნიშნული კი 81 (ნახ. 43^ბ).

h. შეთავსების მეთოდის გამოყენება ზოგიერთი მეტრული ამოცანის ამოხაზნენლად

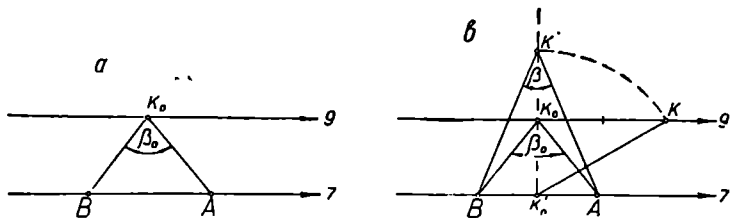
ვთქვათ, სიბრტყის K_0 წერტილში ვადის მისი K_0A ინტერვალი და ნებისმიერი ვარდნილობის ხაზის K_0B ინტერვალი, რომელთა შორის კუთხეა β_0

(ნახ. 44^ა). საჭიროა სიბრტყეზე გავიგოთ β_0 კუთხის შესაბამისი β კუთხის ოდენობა სივრცეში. ამისათვის (ნახ. 44^ბ) AB , ანუ სიბრტყის მცირეწიშნულიან მიმართების ხაზს მივიჩნევთ ბრუნვის ღერძად და AK_0 ინტერვალს გავაგრძელებთ, რითაც მივიღებთ AT დაქანების ხაზს. ვერტიკალურ მასშტაბში K_0 წერტილიდან სიბრტყის ზედა (1—1) მიმართების ხაზზე მარცხნივ ან მარჯვნივ



ნახ. 2.7.2.44.

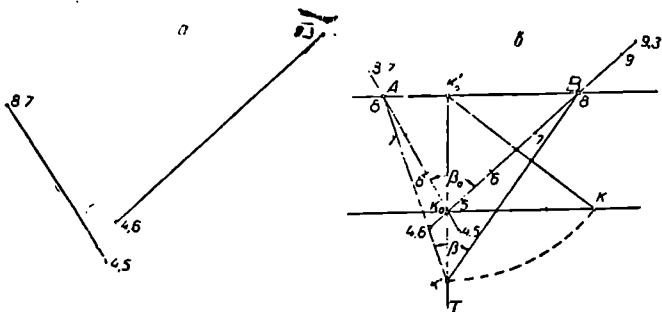
(ისე როგორც ეს მოსახერხებელი იქნება) გადავზომავთ ერთი მეტრის შესაბამის K_0K ოდენობას, რადგანაც K_0 წერტილი A წერტილთან შედარებით ერთი მეტრი უმალაა. ფარგლის AK ლაჯით აღვნიშნავთ სიბრტყის დაქანების ხაზზე K' წერტილს ბოლოს K' წერტილს შევეუერთებთ R წერტილს. კუთხე β იქნება საძებარი. მართლაც, თუ ავაგებთ (44^ა) ნახაზის შესაბამის სიბრტყეს სივრცეში, ენახავთ, რომ AB მიმართების ხაზის ირგვლივ P სიბრტყის ბრუნვით H_0 სიბრტყესთან შეთავსებამდე, ანუ K წერტილის K' წერტილთან შერწყმით, H_0 სიბრტყეზე მივიღებთ β_0 კუთხის შესაბამის სივრცის $\beta = AK'B$ კუთხეს (ნახ. 44^ა). ეს არის შეთავსების მეთოდის არსი. მაშასადამე, გვემაზე სათანადო



ნახ. 2.7.2.45.

აგებით ვსაზღვრავთ გვემაზე მოცემული კუთხეების, მანძილების და სხვა სიდიდეების ნამდვილ სივრცითი ოდენობებს. 45° ნახაზის მიხედვით საჭიროა განისაზღვროს β_0 ჰორიზონტული კუთხის შესაბამისი β კუთხე სივრცეში. ამისათვის

K_0 წერტილში (ნახ. 45^ბ) გავატარებთ სიბრტყის დაქანების ხაზს. იმავე წერტილიდან მარჯვნივ 9 ნიშნულის მქონე მიმართების ხაზზე გადავზომავთ მასშტაბით 2 მ და ფარგლით $K_0'K$ ბიჯით მივიღებთ K' წერტილს სიბრტყის დაქანების ხაზზე, რომლის შეერთებით A და B წერტილებთან მივიღებთ β კუთხეს. β კუთხე გაიზომება უშუალოდ ტრანსპორტირით. 46^ბ ნახაზი გამოსახავს გვეგმაზე ურთიერთ გადაუკვეთავ ხაზებს. საჭიროა განვსაზღვროთ მათ შორის კუ-



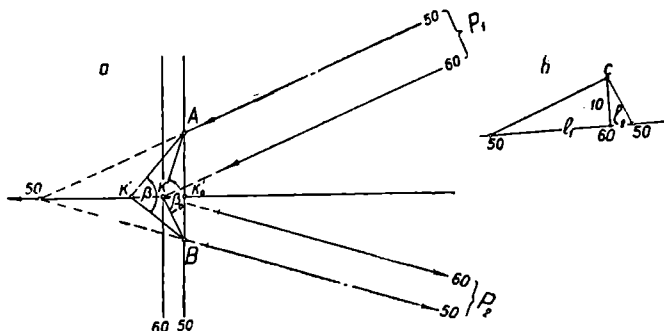
ნახ. 2.7.2.46.

თხე სივრცეში. ამისათვის (ნახ. 46^ბ) ვახდენთ ხაზების გრადუირებას და ერთ-ერთის ისე გადაადგილებას, რომ საერთო, ვთქვათ, 5 ნიშნულიანი წერტილები ერთმანეთს შეუთავსდეს (K_0), რითაც გვეგმაზე მივიღებთ β_0 კუთხეს, შესაბამისი სიბრტყის ბრუნვის ხაზად ავირჩიევთ ერთ-ერთს, ვთქვათ, 8 ნიშნულიანი მიმართების AB ხაზს, რომლის მიმართ მე-5 წერტილიდან (K_0) გავატარებთ სიბრტყის დაქანების ხაზს ($K_0'T$), მე-5 წერტილში გავატარებთ მბრუნავი სიბრტყის მიმართების ხაზს და მასზე მასშტაბით გადავზომავთ 8—5=3 მეტრს (K). შემდეგ $K_0'K$ ბიჯით ფარგლით გადავკვეთთ სიბრტყის დაქანების ხაზს K' წერტილში და ბოლოს K' წერტილს შევეურთებთ A და B წერტილებს, რის შედეგად მივიღებთ β კუთხეს.

47 ნახაზი გვიჩვენებს, რომ გვეგმაზე გვაქვს წერტილი 10,5 ნიშნულით და ხაზი. საჭიროა გავიგოთ სივრცეში მათ შორის მანძილი. ამისათვის (ნახ. 47^ბ) ხაზის გრადუირების შემდეგ შევეერთებთ მის 10,5 ნიშნულთან ხსენებულ წერტილს და შესაბამისად წავაწერთ A და B ასოებს და AB მივიღებთ სიბრტყის ბრუნვის ხაზად. მბრუნავ K_0 წერტილად შევირჩიევთ ხაზის ერთ-ერთ, ვთქვათ, 13 ნიშნულიან წერტილს, საიდანაც AB ხაზისადმი დავუშვებთ სიბრტყის დაქანების $K_0'T$ ხაზს; აგრეთვე K_0 წერტილში ვატარებთ AB -ს პარალელურს, რომელზეც მასშტაბით გადავზომავთ 13—10,5=2,5 მეტრს (K წერტილი). შემდეგ, $K_0'K$ რადიუსით ფარგლით გადავკვეთავთ სიბრტყის დაქანების $K_0'T$ ხაზს K' წერტილში; K' წერტილს შევღვრებთ B წერტილს, რითაც მივიღებთ სივრცეში $K'B$ ხაზს. ბოლოს, მოცემული 10,5 წერტილიდან (A წერტილი) დავუშვებთ მართობს სივრცის $K'B$ ხაზზე. $AC=L$ იქნება სივრცეში მანძილი წერტილიდან ხაზამდე.

ვთქვათ, საჭიროა განისაზღვროს გვეგმაზე P_1 და P_2 სიბრტყეებს შორის (ნახ. 37) β კუთხე სივრცეში. პირველ რიგში საჭიროა გაირკვეს მათი გადა-

მოადგენს β_0 ხაზოვან კუთხეს გეგმაზე. AB მივიღოთ ბრუნვის ხაზად. K_0' წერტილიდან CD ხაზის D წერტილისაკენ გადავზომოთ (48°) ნახაზიდან ამოღებული გამკვეთი სიბრტყის l_2 ინტერვალის შესაბამისი $6C$ ვარდნილობის ხაზი, რითაც მივიღებთ K' წერტილს. K' წერტილის A და B წერტილებთან

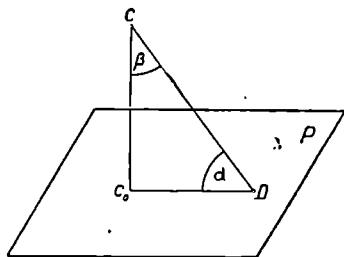


ნახ. 2.7.2.49.

შეერთებით მივიღებთ P_1 და P_2 სიბრტყეებს შორის β ხაზოვან კუთხეს სივრცეში.

სრულიად ანალოგიურად განისაზღვრება (ნახ. 38) შესაბამის P_1 და P_2 სიბრტყეებს შორის β კუთხე (ნახ. 49).

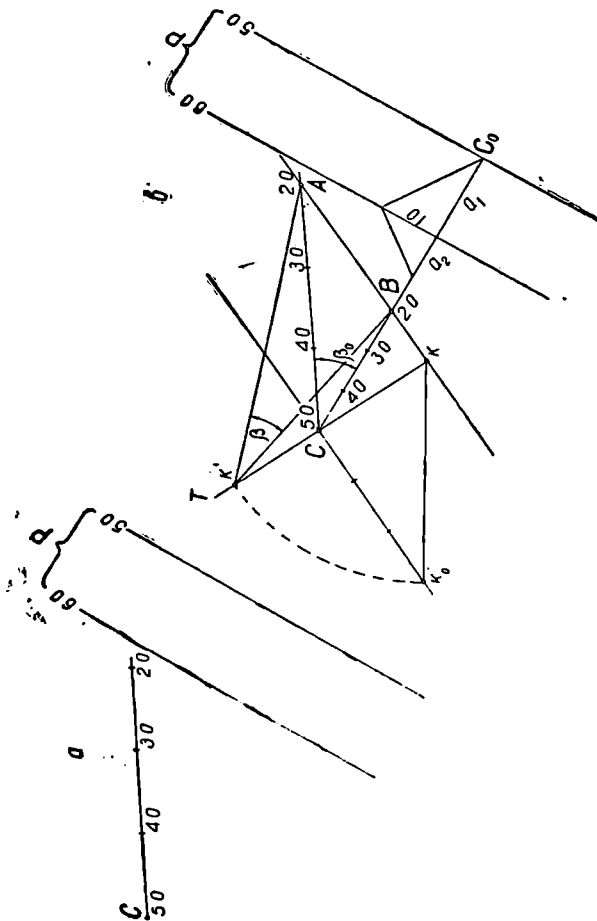
დასასრულ განვიხილოთ საკითხი, თუ როგორ გავიგოთ ხაზსა და სიბრტყეს შორის α კუთხე, როცა გეგმაზე მოცემულია სიბრტყე და ხაზი, რომელიც ჰკვეთს სიბრტყეს. ცნობილია, რომ CD ხაზსა და P სიბრტყეს შორის α კუთხე ტოლია ამ სიბრტყეზე ხაზის C_0D ქვედებულსა და CD ხაზს შორის კუთხისა (ნახ. 50). α კუთხის განსაზღვრა სრულდება გრაფო-ანალიზურად. პირველ რიგში გავიგებთ გრაფიკულად სიბრტყისადმი ხაზის C წერტილიდან დაშვებულ CC_0 მართობსა და CD ხაზს შორის β კუთხეს, შემდეგ გამოვითვლოთ ძიებული კუთხეს ტოლობით $\alpha = 90^\circ - \beta$. ვთქვათ, გეგმაზე გვაქვს სიბრტყე (მიმართების ხაზებით) და მისი გადაკვეთი გრადუირებული ხაზი (ნახ. 51^ა).



ნახ. 2.7.2.50.

C წერტილიდან დავეშვებთ მართობს P სიბრტყის მიმართების ხაზებისადმი, რითაც გეგმაზე მივიღებთ β_0 კუთხეს (ნახ. 51^ბ). გავიგებთ ხაზის $a_2 = 10l_2$ ბიჯს სიბრტყის ცნობილი $a_1 = 10l_1$ ბიჯით. C წერტილიდან C_0 წერტილისაკენ გადავზომავთ a_2 ბიჯს რამდენიმეჯერ, რითაც CC_0 ხაზზე გვექმნება 40, 30, 20 ნიშნულიანი წერტილები. მივიღოთ 20 ნიშნულის მქონე A და B წერტილები ბრუნვის ხაზად, რომლის გაგრძელებაზე C წერტილიდან და-

ვეშვათ მართობი, ანუ გავატაროთ P სიბრტყის მკვეთი სიბრტყის დაქანების KT ხაზი. C წერტილში გავატაროთ ამ სიბრტყის მიმართების ხაზი, რომლის ნიშნული იქნება 50. გადავზომოთ ამ ხაზზე მარცხნივ მასშტაბით $50-20=30$ მ და ფარგლით K წერტილიდან KK_0' ლაჯით შემოვხაზოთ რკალი სიბრტყის

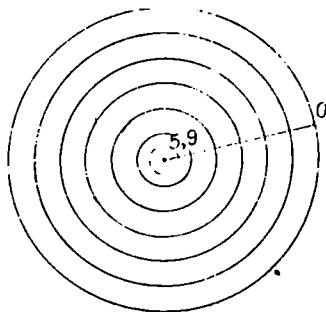


ნახ 27.2.51.

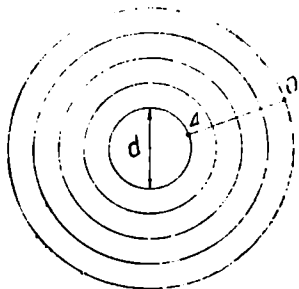
KT დაქანების ხაზის გაგრძელების გადაკვეთამდე. K' წერტილი შევეუერთოთ A და B წერტილებს, რითაც აგებულ იქნება β კუთხე. საძიებელი კუთხე $\alpha = 90^\circ - \beta$.

ვ. ზოგიერთი გეომეტრიული სხეულების ზედაპირები

გეომეტრიული სხეულების ზედაპირების სივრცეში სრულყოფილად წარმოდგენისათვის საჭიროა მათი ძირითადი ელემენტების (მსახველი, დაქანების ხაზი, მიმართველი მრუდი) ქვედებულების შედეგად მიღებული ტოლინული ელემენტებიანი წერტილების შეერთება, რითაც მიიღება პირეულთა სრულიად (მახასიათებელი მრუდები. მაგალითად, წრიულ ფუძიან მართკონუსს ნახ. 52) გეგმილთ სიბრტყეზე შეესაბამება ურთიერთტოლმანძილზე დაშორე-

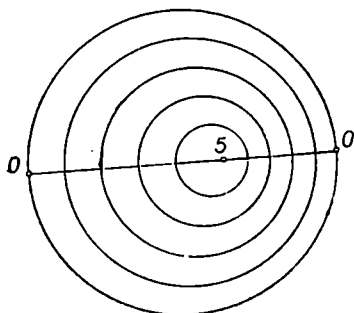


ნახ. 2.7.2.52.



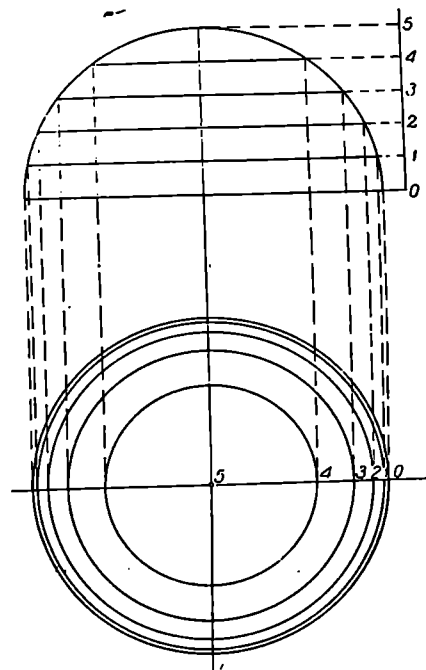
ნახ. 2.7.2.53.

ბოლა კონცენტრული წრეხაზები, რომლებიც მიიღებიან მისი "მსახველის" (დაქანების ხაზის) გრადუირებული ქვედებულის ნიშნულების საფუძველზე; წრიულ ფუძიან მართკონუსსა და წაკვეთილ (წესიერ) კონუსსაც (ნახ. 53) ანალოგიური წრეხაზები შეესაბამება, რომლებიც მიიღებიან კონუსის მსახველის (დაქანების ხაზის) გრადუირებული ქვედებულის ნიშნულებისა და წაკვეთილი თავის d დიამეტრის საფუძველზე; წრიულ ფუძიან დახრილ კონუსს (ნახ. 54) გეგმილთ სიბრტყეზე შეესაბამება არაკონცენტრული და ცალხაზე შემკიდროებული წრეხაზები, რომლებიც მიიღებიან ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში (გასწვრივობაში) მდებარე უდიდესი და უმცირესი დაქანების ხაზების გრადუირებული ქვედებულების საფუძველზე. ნახევარსფეროს ზედაპირს (ნახ. 55) გეგმაზე შეესაბამება ცენტრიდან თანდათან



ნახ. 2.7.2.54.

შემკვიდრებელი კონცენტრული წრეხაზები, რომელთა მიღება შეიძლება, თუ მისი სიმაღლის (რადიუსის) რამდენიმე წერტილის შესაბამის ნიშნულებს დავაგვიღებთ გვერდით სიბრტყეზე და საჭიროებისამებრ შევიასრულებთ გრაფიკურებას.



ნახ. 2.7.2.55.

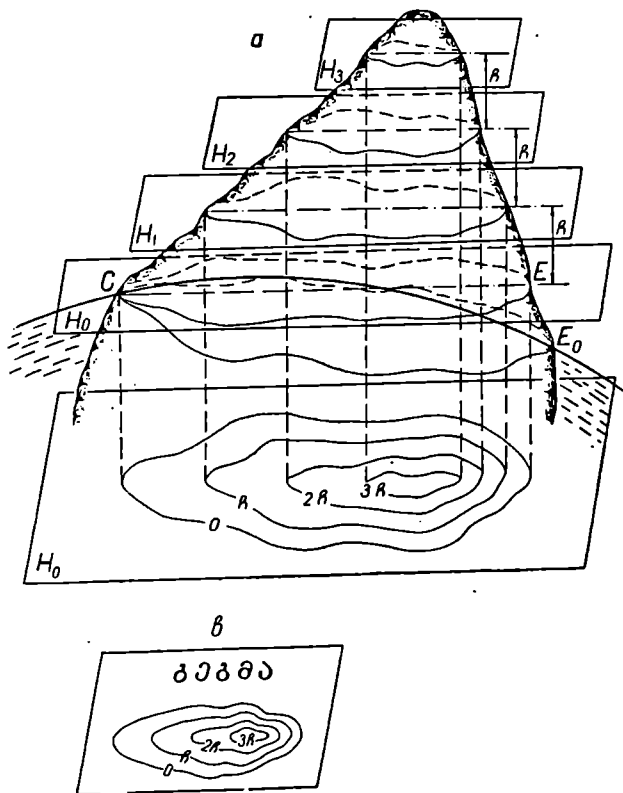
2.7.3. იზოჰიფსების მეთოდი

წარმოდგენითი მცირე ზომის კუნძული დაკმაზოთ ქალაღზე და გავკვეთოთ იგი H_0 თარაზული ძირითადი დონებრივი და მისი პარალელური H_1, H_2, H_3 სიბრტყეებით, რომლებიც ურთიერთდაშორებულნი არიან შერჩეული h კვეთის სიმაღლით (ნახ. 1). კუნძულის ზედაპირზე დისახულ შეკრულ მრუდებს, მათ გვემიღებს გვემიღოთ H_0 სიბრტყესა და გვემაზე, ამ უკანასკნელთა შემკირებულ გამოსახულებას იზოჰიფსები ეწოდება. საერთოდ, სიტყვა იზოჰიფსი ბერძნულია და ნიშნავს ტოლნიშნულიან შეკრულ მრუდს. ამ გან-

საზღვრებას საინჟინრო თვალთახედვით უნდა დაემატოს, რომ რელიეფის სახეობის მიხედვით მრუდების ნაცვლად შეიძლება მივიღოთ წრფეები, რომ ეს მრუდები შეიძლება იყოს როგორც შეკრული (ჩაკეტილი), ისე ღია, აგრეთვე მათი ნიშნულები უნდა იყოს კვეთის სიმაღლის ჯერადი. მაშასადამე, გეოდეზიური თვალთახედვით იზოჰიფსის ვეწოდებთ კვეთის სიმაღლის ჯერად ნიშნულიან ხაზს. ჩვეულებრივ, იზოჰიფსებით გამოსახავენ ტოპოგრაფიულ ზედაპირს, რომლის დახრა არ გასცილდება 45° აქედან გამომდინარე დავასკვნით, რომ იზოჰიფსები არ შეიძლება ერთმანეთს ჰკვეთდეს.

(1) ნახაზზე წარმოდგენილი კუნძული ნავლისხმებია მცირე ზომის, რაც ნიშნავს იმას, რომ შესასწავლი რელიეფი უნდა იყოს მცირე. ასეთი ვარაუდი შეესაბამება (2.2.7) პარაგრაფში მოყვანილ ფაქტს იმის შესახებ, რომ შეხების წერტილიდან მანძილის გაზადის შესაბამისად სწავლად ზრდადია დონებრივი სფერული ზედაპირიდან მისი მხები თარაზული სიბრტყის დაშორება ვერტიკალური მიმართულებით და რომ ეს ვერტიკალური დამახინჯება უნდა იქნეს მიღებული მხედველობაში შეხების წერტილიდან ასი მეტრის დაშორების

ზევით. მცირე სივრცეზე იზოჰიფსები იგულისხმება ბრტყელ ხაზებად, მაგრამ ბრტყელ ხაზებად მათი მიღების გამო ნიშნულების შეცდომები ამ ნიშნულების ნიველობით განსაზღვრის შეცდომებს არ უნდა გადასცილდეს. ქვემოთ ვნახავთ, რომ იზოჰიფსები მიიღება რელიეფის დამახასიათებელი წერტილების ნიველობით განსაზღვრული ნიშნულების საფუძველზე, სადაც აღნიშნულ წერტილთა მანძილების შესაბამისად მხედველობაში იღებენ დედამიწის სიმრუდისა და რეფრაქციის გავლენას. როგორც ვხედავთ, არსებითად, იზოჰიფსები წარმოადგენს ო რ მ ა გ ი ზ ნ ე ქ ი ლ ო ბ ი ს მ რ უ ლ ე ბ ს (ნახ. 1^ა CE₀

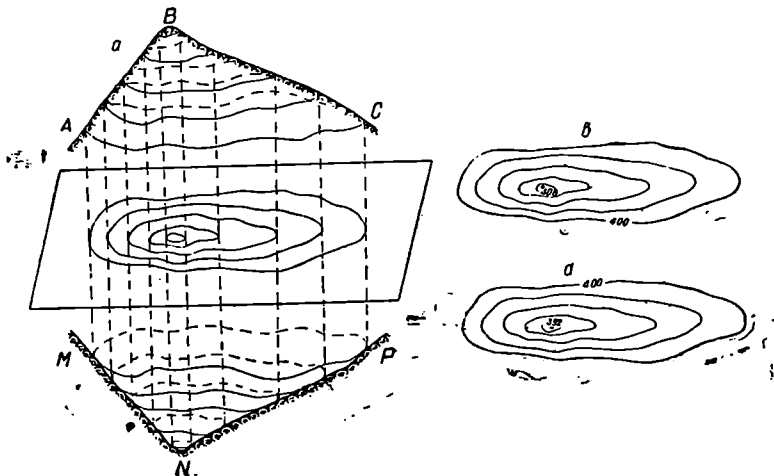


ნახ. 2.7.3.1.

შეკრული მრუდი), რომლებიც მიიღება რელიეფის კონცენტრული სფერული ზედაპირებით განკვეთის შედეგად (როგორც ცნობილია, დონებრივი ზედაპირები ურთიერთპარალელური არ არის, ე. ი. მათდამი შერწყმული კვეთილობებით იზოჰიფსებს ვერ მივიღებთ), ხოლო მათი გვეგმილები, მიღებული რელიეფის მახასიათებელ წერტილთა ნიშნულებს შორის

გრადუირებით, გამოისახება ქალაქზე ჩვეულებრივი კონტურების მსგავსად (ნახ. 1^ა). პრაქტიკული თვალთახედვით, გენერალიზაციის პრინციპის შესაბამისად დახრილი სიბრტყის მიმართების ხაზებსა და რელიეფის დახრილი, ბრტყელი ზედაპირის იზოჰიფსებს აიგივებენ. ფაქტობრივად საჭიროა ვიგულისხმობთ, რომ დახრილი სიბრტყის მიმართების ხაზი კვეთის სიმაღლის ჯერადნიშნულიანი მიმართული წრფეა, ხოლო რელიეფის დახრილი ბრტყელი ზედაპირის იზოჰიფსი კვეთის სიმაღლის ჯერადნიშნულიანი ორმაგი ზნე-ქილობის ხაზია.

რელიეფის როგორც მაღლობი (ნახ. 2^ა), ისე მისი შებრუნებული (ნახ. 2^ბ) სახე, ანუ ტაფობი (ქვაბური), გამოისახება მსგავსი სახის იზოჰიფსებით; ასე რომ, ხსენებული ფორმების სწრაფად დადგენა ძნელდება. იმ შემთხვევაში,



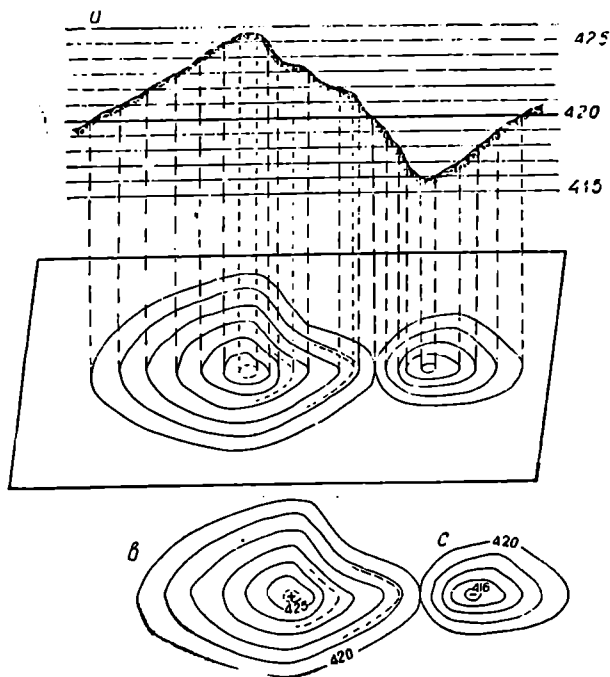
ნახ. 2.7.3.2.

როცა მალობი და ტაფობი მიჯრითაა (ნახ. 3^ა), მაშინ უფრო ძნელი ხდება გარჩევა იმისა, თუ რომელია მაღლობი და რომელია ტაფობი. იზოჰიფსების გამოყენების ეს უარყოფითი მხარე აღვიღალდ გამოსწორდება იმით, რომ: 1) იზოჰიფსებს მიეწერება ნიშნულები; ცხადია, მაღლობის შემთხვევაში ნიშნულები იზრდება გარედან შიგნით (ნახ. 2^ბ და 3^ბ), ხოლო ტაფობის შემთხვევაში კი პირიქით (ნახ. 2^დ და 3^დ); საერთოდ, მიღებულია ნიშნულის წარწერა ყოველ მეზუთე ან მეათე იზოჰიფსზე. ამავე დროს, ნიშნულები ისე იწერება, რომ წალმა დაწერილი მათი ნიშნულების გამომსახველი რიცხვები აღმართს შეესაბამებოდეს; 2) გეგმას მიეწერება კვეთის სიმაღლე და იზოჰიფსებზე კი დაინიშნება ფერლობის დაქანების მიმართულების მაჩვენებელი კვესურები; 3) შეკრული იზოჰიფსების შემთხვევაში შიგა იზოჰიფსის ფარგლებში მაღლობის შემთხვევაში წააწერენ პლუსს და ტაფობის გამოსახაზავად კი მინუსს ნიშანს.

საერთოდ, რუკაზე (ან გეგმაზე) მიღებულია ყველა შემთხვევაში ჩამოთვლილი ღონისძიების თანადროულად გამოყენება. 2^{აბცდ} ნახაზის გეგმილთ ზედაპირად

ძილებულია დონებრივი სიბრტყე ნიშნულით 400 მ, კვეთის სიმაღლე კი 2 მ. ვაზის ნახაზის გეგმილთ ზედაპირად მიღებულია დონებრივი სიბრტყე ნიშნულით 420 მ, კვეთის სიმაღლე $h=1$ მ. საერთოდ, უნდა გვახსოვდეს, რომ ტოპოგრაფიული რუკის კვეთის სიმაღლე არ იცვლება.

მოყვანილი ნახაზებიდან ნათლად ჩანს, რომ იზოპიფსების მეთოდი ძირითადად აკმაყოფილებს იმ მოთხოვნებს, რომელსაც უყენებენ უსწორმასწორობის გამომსახველ პირობით აღნიშვნებს. მაგალითად. 1) იზოპიფსებზე წარწე-

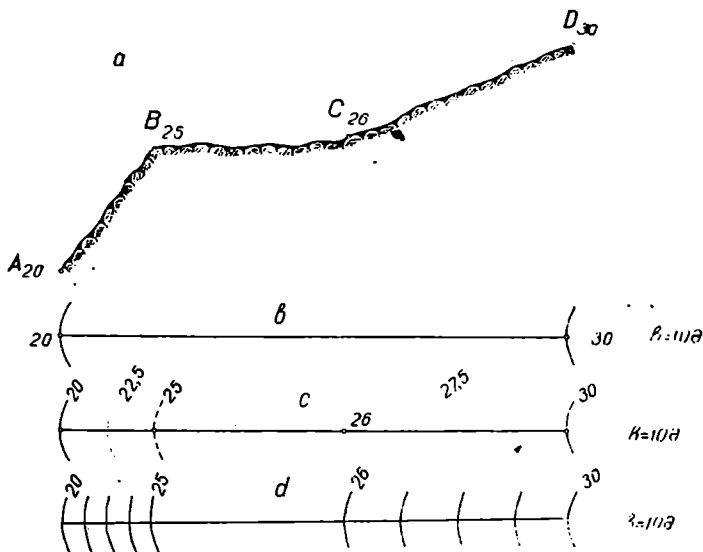


ნახ. 2.7.3.3.

რილი ან ნაკულისხმევი რიცხვები იძლევა მათ აბსოლუტურ ან პირობით ნიშნულებს. ძირითადი დონებრივი ზედაპირის შესაბამისი იზოპიფსი არის ნული და მას ეწოდება ნულოვანი იზოპიფსი, მის ზემოთ მდებარე იზოპიფსის ნიშნული იქნება ერთი კვეთის სიმაღლის ტოლი, კიდევ ზემოთ ორი კვეთის სიმაღლისა და ასე შემდეგ; ნულოვანი იზოპიფსის ქვემოთ მდებარე იზოპიფსებში კი იქნება ასევე კვეთის სიმაღლის ჯერადი ნიშნულიანები, მხოლოდ უარყოფითი ნიშნით. ხსენებული იზოპიფსები, როგორც ამას ქვემოთ ვნახავთ, საშუალებას გვაძლევს გავიგოთ რუკის (ან გეგმის) ნებისმიერი წერტილის როგორც აბსოლუტური, ისე პირობითი ნიშნულები; 2) იზოპიფსები საშუალებას

გვაქლევს დავადგინოთ, თუ-საით არის დაქანებული იდგილი; 3) ისინი გვიჩვენებენ, თუ სად უფრო დაქანებულია ადგილი ან სად უფრო დამრეცი; რაც უფრო ახლოა იზოჰიფსები ურთიერთ, მით უფრო დაქანებულია ადგილი და პირიქით; 4) იზოჰიფსები ნათელ წარმოდგენას იძლევა რელიეფის პლასტიკურობის, ანუ უსწორმასწორობის გარეგანი მოყვანილობის შესახებ; გამოზრეული ზედაპირები გამოისახება გამოზნეილი იზოჰიფსებით, შეწეული — შეზნეილებით, არათანაბრად დაქანებული ფერდობები კი — არატოლი მანძილებით დაშორებული იზოჰიფსებით და სხვა.

იზოჰიფსების ხერხით რელიეფის გამოსახვის ზემოთ მოყვანილ დადებით თვისებებს თან ახლავს ერთი მეტად საყურადღებო უარყოფითი თვისება. მაგალითად, იზოჰიფსები ვერ გადმოგვცემს რელიეფის ყოველ წვლილადს. რუკების (ან გეგმის) გამოყენების დროს იგულისხმება, რომ იზოჰიფსებს შორის

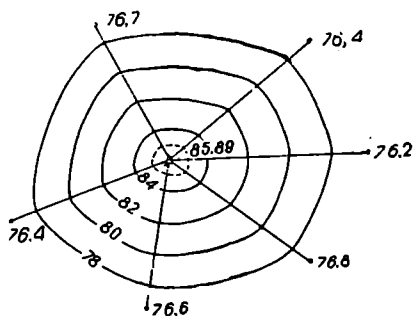


ნახ. 2.7.3.4.

დაქანება არის თანაბარი, რაც ხშირად სინამდვილეს არ შეესაბამება. ამ უარყოფითი თვისების მინიმუმამდე დაყვანის მიზნით ამბობენ, რომ საჭიროა კვეთის სიმაღლის შემცირება, რაც არასაკმარის ღონისძიებად მიგვაჩნია.

წარმოვიდგინოთ არათანაბარი დაქანების მქონე ფერდობის ზოლი A_{20} , B_{25} , C_{26} , D_{30} (ნახ. 4^ა). რელიეფის მახასიათებელ წერტილებად ნაცვლად A , B , C , D წერტილებისა შეცდომით მივიღეთ მხოლოდ A_{20} და D_{30} წერტილები. მაშასადამე, ქალაღზე გვექნება a_{20} და d_{30} ქვედებული, რომელიც გრადუირების დროს ჩაითვლება თანაბარი დაქანების მქონედ და როგორც არ უნდა შევამციროთ კვეთის სიმაღლე, მაინც მიზანს ვერ მივალწევთ, ყველა იზოჰიფსი გამოვა ურთიერთ ტოლი მანძილებით დაშორებული ხაზები. ასე რომ, (ნახ. 4^ბ)

სინამდვილის ანუ (ნახ. 4^ა) შესაბამისი არ იქნება. ახლა ვთქვათ, რომ ველზე მუშაობის დროს არ გამოგვჩინია არცერთი მახასიათებელი წერტილი (ნახ. 4^ბ); ამ შემთხვევაში უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს კვეთის სიმაღლის შერჩევას. ამ დროს შეიძლება ორ შემთხვევასთან გვექნეს საქმე: 1) რუკისათვის (ან გეგმისათვის) კვეთის სიმაღლე იქნეს დიდი, რომლის გამო B და C წერტილები გრადუირებაში არ შევა, 2) კვეთის სიმაღლე იმდენად მცირეა, რომ ყველა მახასიათებელ წერტილს შორის გრადუირება შეიძლებოდეს. პირველ შემთხვევაში, ვთქვათ, $h=10$ მ; იმისათვის, რომ მივიღოთ სინამდვილის რაც შეიძლება მსგავსი რელიეფი, გამოვიყენებთ წყვეტილ და წერტილოვან იზოჰიფსებს, რადგანაც კვეთის სიმაღლის ცვალებადობის უფლება არა გვაქვს, ე. ო. (ნახ. 4^ბ) გვექნება 20 და 30 ნიშნულის მქონე მთლიანი იზოჰიფსი, 25 ნიშნულიანი პუნქტირით იზოჰიფსი, ხოლო 22,5 და 27,5 ნიშნულით წერტილოვანი იზოჰიფსები, რომლებიც შედარებით კარგ წარმოდგენას გვაძლევენ განხილად რელიეფზე. ახლა ვთქვათ, კვეთის სიმაღლე შერჩეულია 1 მეტრი, მაშინ გრადუირებით მიიღება სინამდვილის კიდევ უფრო ზუსტი სურათი. 4^ა ნახაზი ნათლად გვიჩვენებს, რომ ადგილზე AB მონაკვეთი უფრო დაქანებულია, ვიდრე CD , ხოლო BC მონაკვეთი კი დამრეცია. როგორც ვხედავთ, მთავარია ველზე მახასიათებელი წერტილების კარგად შერჩევა და მათი ნიშნულების განსაზღვრა, რის შემდეგ, თუ რუკის მასშტაბი სათანადოთ იქნა შერჩეული, იზოჰიფსებით რელიეფის გამოსახვა და წარმოდგენა თითქმის უნაკლო იქნება.

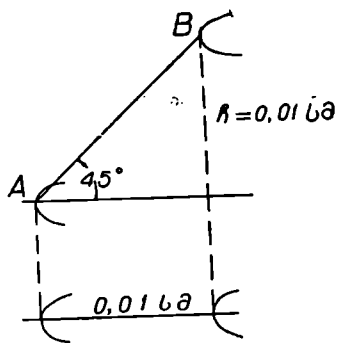


ნახ. 2.7.3.5.

როგორც ვნახეთ, რუკის იმ ნაწილებში, სადაც ადგილი დამრეცია და იზოჰიფსები შერჩეული კვეთის სიმაღლის შესაბამისად შორიშორსაა, უსწორმასწორობის უფრო დეტალურად გამოსახავად იყენებენ ნახევარი და მეოთხედი კვეთის სიმაღლის შესაბამის და მხმარე იზოჰიფსებს, რომლებიც ტარდება წყვეტილი და წერტილოვანი ხაზებით. ამ ხერხს განსაკუთრებით იყენებენ, როცა საჭიროა რაიმე მდლობის მწვერვალის იზოჰიფსებით დეტალურად გამოსახვა. ვთქვათ, რუკის მასშტაბი არის 1:50 000 და კვეთის სიმაღლე $h=2$ მ (ნახ. 5). ადგილზე გაზომილი ნიშნულების მიხედვით შესრულებულია გრადუირება და ნახევარი და მეოთხედი კვეთის სიმაღლის მიხედვით წყვეტილი და წერტილოვანი იზოჰიფსები ვატარებულა ისე, როგორც ეს (2.7.2.10) დამოკიდებულებისა და (2.7.2.15) ნახაზისათვის იყო შესრულებული.

2.7.4. კვეთის სიმაღლის შერჩევა

ზემოთ ვნახეთ, რომ რელიეფის სხვადასხვა ფორმების იზოჰიფსების საშუალებით სრულყოფილად წარმოდგენისათვის, გენერალიზაციის შესაბამისად, საჭიროა უკლებლივ მისი მახასიათებელი წერტილების ნიშნულების განსაზღვრა, გადატანა ქალაღზე და შემდეგ სათანადო კვეთის სიმაღლის შერჩევა. აქ საჭიროა ყურადღება მიექცეს იმ გარემოებას, რომ კვეთის სიმაღლე შეიძლება იქნეს შერჩეული იმდენად მცირე, რომ იზოჰიფსები ერთმანეთს შეუთავსდეს, რის გამოც ისინი დაკარგავენ თავის დანიშნულებას. როგორც



ნახ. 2.7.4.1.

ვიციტ, რელიეფის მახასიათებელ წერტილებს შორის დაქანება არის სხვადასხვა. ისმის საკითხი — ასაგეგმავი ტერიტორიისათვის კვეთის სიმაღლე მაქსიმალური დაქანების შესაბამისად უნდა შეირჩეს, თუ პირიქით. ამისათვის განვიხილოთ პირველი ნახაზი. ცნობილია, რომ იზოჰიფსებით გამოსახავენ რელიეფს, რომლის დაქანება არ აღემატება 45° და რომელსაც უწოდებენ ზღვრულ დაქანებას. ამაზე მეტი დაქანების რელიეფი ბუნებაში შედარებით ნაკლებად გვხვდება და საკვირებისამებრ მათ გამოსახავენ საგანგებო პირობითი აღნიშვნებით, რაც მოცემულია (2.7.1.1) ცხრილში. (1) ნა-

ხაზზე წარმოდგენილია ზღვრული დაქანების ფერდობი. ცხადია, ასეთი ფერდობის შემთხვევაში h კვეთის სიმაღლე უნდა იყოს რუკაზე მის შესაბამის იზოჰიფსებს შორის იმ უმოკლესი მანძილის ტოლი, რომელიც შეიძლება გაარჩიოს ადამიანის თვალმა. მაშასადამე, იგი უნდა უდრიდეს მასშტაბის შესაბამის გრაფიკულ ზღვრულ სიზუსტეს, ანუ 0,01 სმ. სხვადასხვა მასშტაბისათვის მას სხვადასხვა ზღვრული სიზუსტეები შეესაბამება; გამოდის, რომ კვეთის სიმაღლის შერჩევა დამოკიდებულია ფერდობის ზღვრულ დაქანებასა და რუკის მასშტაბზე. ამგვარად შერჩეულ კვეთის სიმაღლეს უწოდება ნორმული. ნორმული კვეთის სიმაღლე სხვადასხვა მასშტაბისათვის იქნება:

1 : 500	$h = 0,05$ მ,
1 : 1000	$h = 0,10$ „
1 : 2000	$h = 0,20$ „
1 : 5000	$h = 0,50$ „
1 : 10000	$h = 1,00$ „

(1) ნახაზიდან ცხადად ჩანს, რომ მოცემული მასშტაბისათვის კვეთის სიმაღლე არ უნდა იყოს ნაკლები ნორმულ კვეთის სიმაღლეზე, რადგანაც ის გამოდგება მხოლოდ 45° დამრეცი ადგილებისათვის და ზღვრულზე მეტი დაქანებების მქონე რელიეფს ასეთი კვეთის სიმაღლის იზოჰიფსებით ვერ გამოვსახავთ მათი შერწყმის გამო. იმ შემთხვევაში, როცა რელიეფი წარმოდგენს შედარებით მშვიდ ზედაპირს და არ არსებობს ზღვრული დაქანე-

ბა, მსხვილმასშტაბიანი რუკებისათვის კვეთის სიმაღლე შეიძლება შეიორჩეს ზემოთ მოყვანილი ნორმული კვეთის სიმაღლეებზე მცირე, მხოლოდ მაქსიმალური დახრის კუთხის შესაბამისად (აქ იგულისხმება, რომ რუკები გადაკრულია ფანერაზე ან ალუმინზე). ზოგ შემთხვევაში შეიძლება კვეთის სიმაღლე შეიორჩეს ნორმულზე დიდი; მაგალითად, საშუალომასშტაბიანი ტოპოგრაფიული რუკების (ან გეგმების) შემთხვევაში, რომლებიც იბეჭდება ლითოგრაფიულად, სადაც დაბეჭდილი იზოჰიფსების სისქე აღწევს 0,01 სმ, კვეთის სიმაღლეებს იღებენ ნორმულზე ორჯერ და მეტჯერაც მეტს. მაგალითად,

1 : 25 000	$h = 5 \text{ მ.}$
1 : 50 000	$h = 10 \text{ ,,}$
1 : 100 000	$h = 20 \text{ ,,}$

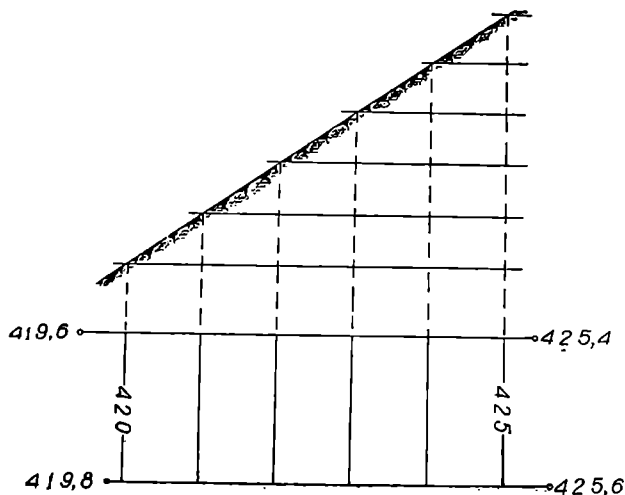
ამ შემთხვევაშიც მოყვანილი ნორმები არ წარმოადგენს რაიმე სავალდებულოს, რადგანაც ადგილის რელიეფის გამოსახვის საჭირო სიზუსტის მიხედვით კვეთის სიმაღლეები შეიძლება მივიღოთ გადიდებული ან შემცირებული. მაგალითად, მთაგორიან ადგილებში, როგორც არის ამიერკავკასია, კვეთის სიმაღლეს ირჩევენ ნორმულზე ორჯერ მეტს, ხოლო რუსეთისა და უკრაინის ტერიტორიებისათვის იგი იმავე ზომით მცირდება.

ზემოთ ხაზგასმით იყო თქმული, რომ პირველ რიგში მთავარია რელიეფის მახასიათებელი წერტილების ნიშნულების უკლებლივ განსაზღვრა და შემდეგ კი სათანადო კვეთის სიმაღლის შერჩევა. აქ საჭიროა შევნიშნოთ, რომ გენერალიზაციის პრინციპის შესაბამისად ველზე მახასიათებელი წერტილების შერჩევა დამოკიდებულია რუკისათვის შერჩეულ კვეთის სიმაღლეზე. მაგალითად, როცა 1 : 50 000 რუკის შედგენისათვის შერჩეულია $h = 10 \text{ მ.}$, საჭირო იქნებოდა თუ არა (ნახ. 2.7.3.4) B და C წერტილების ნიშნულების განსაზღვრა. ამ შემთხვევაში გენერალიზაციის პრინციპის შესაბამისად რელიეფის B და C წერტილებს უკულებულეყოფდით და განხილად ზოლს წარმოვიდგენდით თანაბარი დაქანების მქონედ (ნახ. 2.7.3.4^ბ).

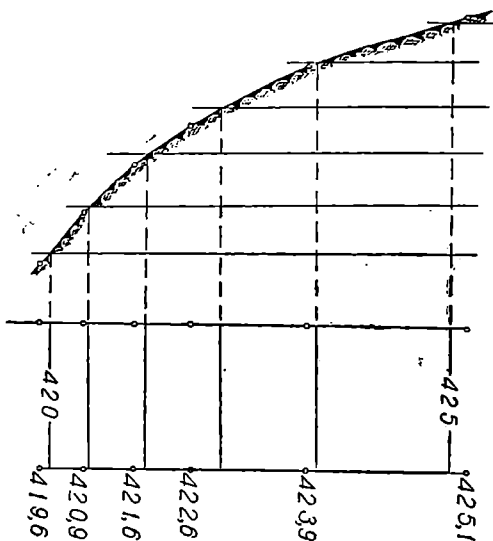
2.7.5. ჩელიეფის სხვადასხვა ფორმების იზოჰიფსებით გამოსახვა

განხილად საკითხთან დაკავშირებით (1.1.2) პარაგრაფში იყო თქმული, რომ გენერალიზაციის პრინციპის გამოყენებით მრავალფეროვანი ტოპოგრაფიული ზედაპირი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ურთიერთგადაბმული ფორმების შეზღუდული რიცხვით, რომელთაც გეომორფოლოგიაში უწოდეს გარკვეული სახელები. როგორც ცნობილია, ეს ფორმები არ ქმნის წმინდა გეომეტრიულ პირეულებს, რომელთა გამოსახვა ნიშნულებიან გეგმილებზე დაყრდნობით წინა პარაგრაფებში იყო განხილული, მაგრამ მათი მცირე ნაწილები შეიძლება მიმსგავსებულ იქნეს აღნიშნულ წესიერ პირეულებთან. მაგალითად, დახრილი სიბრტყის მსგავსად, რომელიც ნიშნულებს შორის გრადუირებით გამოისახება მიმართების ხაზებით, დაბრილი ფერდობიც გენერალიზაციის პრინციპის გამოყენებით შეიძლება გამოვსახოთ ურთიერთპარალელური ტოლი ინტერვალებით ან ბიჯებით დაშორებული წრფივი იზოჰიფსებით (ნახ. 1).

გამოზნეკილი ცილინდრული ზედაპირი (ნახ. 2), რომლის მსახველი ჰორიზონტულია, წარმოგვიდგება ქვევიდან ზევით თანდათან დაშორებული პარალელური იზოპიფსებით; ასეთივე იზოპიფსებით გამოისახება შეზნეკილი ცილინდრული ზედაპირი (ნახ. 3), მხოლოდ, ქვევიდან ზევით იზოპიფსები თან-

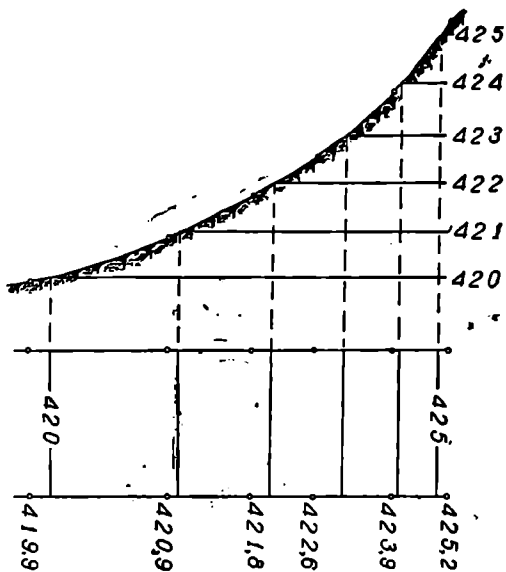


ნახ. 2.7.5.1.

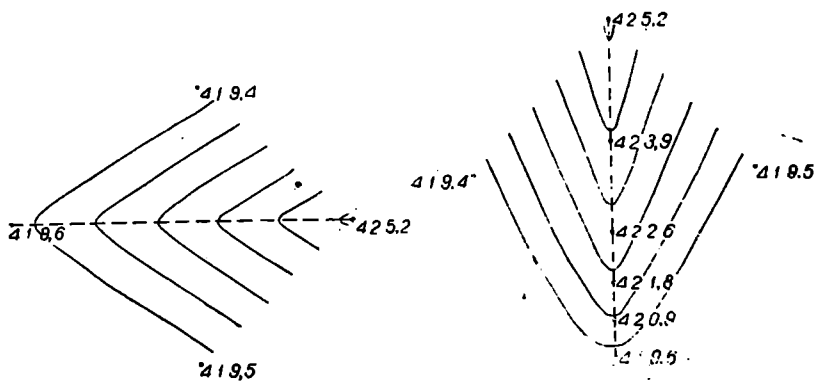


ნახ. 2.7.5.2.

დათან ურთიერთს უახლოვდებიან; მე-4 ნახაზზე გამოსახულია თანაბარი და-
ქანების წყალგამყოფი (დაღებიითი ინვარიანტული) ხაზის მქონე ქედის გამო-
სახელო იზოპიფსები. თუ თავს ამ ხაზზე წარმოვიდგენთ, ზენგან იზოპიფსე-
ბი თითქოს გარბიან და ურთიერთ ტოლ მანძილებზე იქნებიან დაშორებულ-



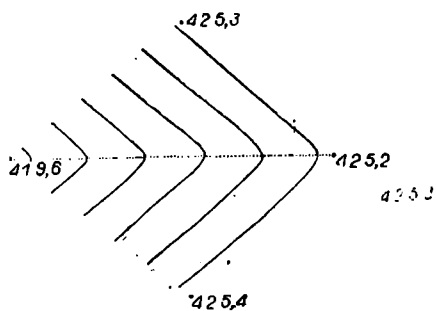
ნახ. 2.7.5.3.



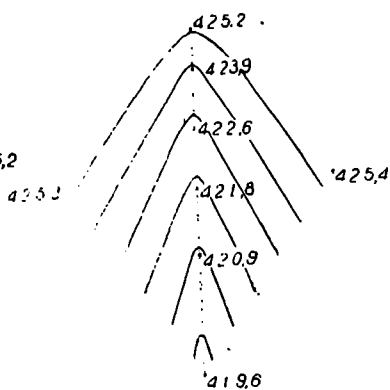
ნახ. 2.7.5.4.

ნახ. 2.7.5.5.

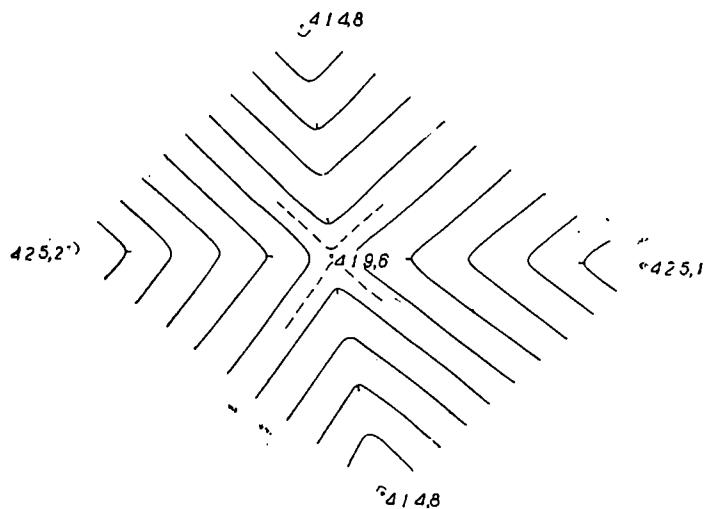
ნი; მე-5 ნახაზზე გამოსახულია არათანაბარი დაქანების მქონე წყალგამყოფი ხაზი, სადაც იზოჰიფსები ქვევიდან ზევით თანდათან ურთიერთს შორდება.



ნახ. 2.7.5.6.



ნახ. 2.7.5.7.



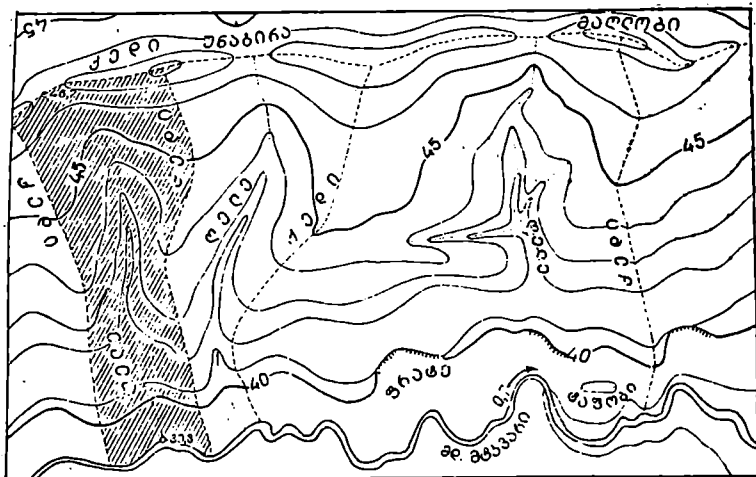
ნახ. 2.7.5.8.

მე-6 ნახაზზე გამოსახულია თანაბარი დაქანების წყალსაერთი (უარყოფითი ინვარიანტული) ხაზის მქონე დარტყვის (დელეს) იზოჰიფსები. თუ თავს ამ ხაზზე წარმოვადგენთ, იზოჰიფსები თითქოს გარს გვერტყმინან და ურთიერთ-
მე-7

ტოლ მანძილებზე იქნებიან დაშორებული. არათანაბარი დაქანების შემთხვევაში იზოჰიფსები ქვემოდან ზევით თანდათან ურთიერთს უახლოვდებიან (ნახ. 7); საფეხურას შესაბამისი იზოჰიფსები მოცემულია (2.7.3.4) ნახაზზე: უნაგირა, რომელიც წარმოადგენს ინვარიანტულ მოედანს, სადაც ერთმანეთს ზედება ორი ქედი და იწყება ორი ლარტაფი (ღელე), გამოისახება ორი, ერთი მეორის გვერდით მყოფი, მაღლობით, რომლებიც შემოფარგლული იქნება ლარტაფებისა და თავისი დაბალი ნიშნულების შესაბამისი იზოჰიფსებით (ნახ. 8).

როგორც ნახაზებიდან ჩანს, ნებისმიერი ფორმა მიღებულია მათი მახასიათებელი წერტილების ნიშნულებს შორის გრადუირების შედეგად.

(9) ნახაზზე მოცემულია იზოჰიფსებით გამოსახული ადგილის ნიმუში, რომელსაც თან ახლავს განმარტებითი წარწერები. ერთ-ერთი ღელეს შესაბა-



ნახ. 2.7.5.9.

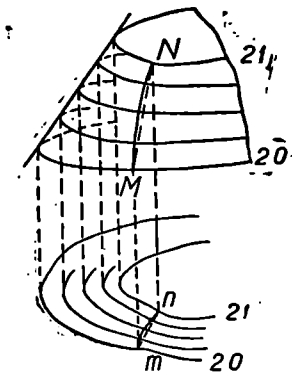
მისი სივრცე (ვიწრო ვაკებით აუზი) დასერილია. ადგილის ის მონაკვეთი, სადაც იზოჰიფსები შეიარწყმიან, ფრატეს წარმოადგენს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ ადგილზე დაქანება 45° -ზე მეტია. ფრატე გამოისახება იზოჰიფსებისადმი მართობული კვესურებით.

✓/

2.7.6. ჩელიეფის სხვადასხვა ფორმების ვარდნილობის ხაზები და უდიდესი ვარდნილობის ხაზი

(2.7.2) პარაგრაფის C მუხლში იყო განმარტებული, რომ დახრილი სიბრტყის ყოველი მიმართების ხაზის ნებისმიერ წერტილში შეიძლება გავატაროთ უსასრულო რაოდენობა ვარდნილობის ხაზებისა და მათ შორის ის იქნება უდიდესი ვარდნილობის ხაზი, რომელსაც გაჰყვება დაცემული წყლის წვეთი, ანუ ყოველ წერტილში ექნება უდიდესი დაქანების კუთხე. ეს იმას ნიშნავს, რომ მისი სივრცე მეზობელ მიმართების ხაზებს შორის არის უმოკლეს-

სი, ანუ მართობი ამ მიმართების ხაზებისა. წინა პარაგრაფებში აღნიშნული გენერალიზაციის პრინციპის მიხედვით (2.7.5.1) და სხვა ნახაზების შესაბამისად, იზოჰიფსებს შორის როგორც ადგილზე, ისე გეგმაზე უმოკლეს ხაზებს ეწოდება უდიდესი ვარდნილობის ხაზები. ცხადია, ეს ხაზები იქნება მართობი მეზობელი იზოჰიფსებისა და იდეალურ შემთხვევაში ადგილის სიბრტყის დაქანების ხაზი იქნება ამ ხაზების გამაერთიანებელი წრფე. ანალოგიურად, კონუსის, ცილინდრული ზედაპირისა და სფეროს მსახველები იქნება ზემოხსენებული უდიდესი ვარდნილობის ხაზები. ასევე შეიძლება წარმოვიდგინოთ უდიდესი ვარდნილობის ხაზებად რელიეფის ინვარიანტული ხაზები (წყალგამყოფი და წყალსაერთი); აქ საჭიროა შევნიშნოთ ერთი გარემოება — ჩვეულებრივ იგულისხმება, რომ ადგილის მახასიათებელ წერტილებსა და, მაშასადამე, იზოჰიფსებს შორის დაქანება არის თანაბარი, რის შესაბამისად, ადგილის ვარდნილობის ხაზები და მათი ინტერვალებიც (ბიჯები) იქნება წრფეები. ეს გარემოება რომ შევამოწმოთ ადგილზე და გეგმაზეც, ვნახავთ საყურადღებო გადახრას. მართლაც, (1) ნახაზზე, ორ მეზობელ არაპარალელურ 20 და 21 ნიშნულიან იზოჰიფსს შორის უმოკლესი მანძილი როგორც ადგილზე (NM ქორდა), ისე გეგმაზე (nm ქორდა) საერთოდ არ იქნება ვარდნილობის ხაზი, რადგანაც ეს ხაზები არ ძვეს ადგილის ზედაპირზე და არც მეზობელი იზოჰიფსებისადმი არ არიან მართობი. ასე, რომ საჭირო იქნება ძირითადი 20 და 21 ურთიერთარაპარალელურ იზოჰიფსებს შორის გეგმაზე გავატაროთ დამხმარე ხაზები მანამ, სანამ მათ შორის მანძილები ძალზე მცირე არ მიიღება. შემდეგ ძირითადი 21 იზოჰიფსის n წერტილიდან მეორე 20 იზოჰიფსის m წერტილამდე გავატაროთ ამ დამხმარე ხაზებისადმი მართობების გამომსახველი ტეხილი ხაზი, რომელიც ზღვარზე გადასვლით იქნება მრუდი (ნახ. 1). როგორც ვხედავთ, ფაქტიურად ადგილზე და მათი ინტერვალები გეგმაზე, ვარდნილობის ხაზები ეწოდებათ, წარმოად-



ნახ. 2.7.6.1.

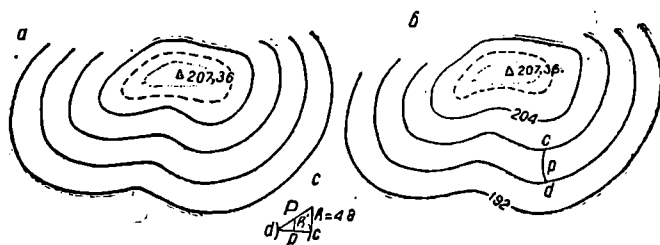
უდიდესი ვარდნილობის ხაზები ორმელთაც საერთოდ უდიდესი მეზობელ არაპარალელურ იზოჰიფსებს შორის უმოკლეს NM და nm მრუდებს. პრაქტიკულად ამ მრუდებს გამოცდილი მუშაკები ერთბაშად ატაობენ ორ მეზობელ იზოჰიფსს შორის ან კიდევ კმაყოფილებიან 2—3 დამხმარე ხაზის ჩასმით.

2.7.7. ტოპოგრაფიულ რუკაზე წერტილების ნიშნულების განსაზღვრა

ტოპოგრაფიულ რუკებზე ხშირად გამოსახულია საყრდენი გეოდეზიური პუნქტები, რომლებსაც მიწერილი აქვთ ნიშნულები და ამავე დროს მათ ახლობლობაში იზოჰიფსებს არა აქვთ წარწერილი ნიშნულები. ასეთ შემთხვევაში პუნქტების ნიშნულებისა და რუკის კვეთის სიმაღლის მიხედვით ადვილად დგინდება მთლიანი, წყვეტილი და წერტილოვანი იზოჰიფ-

სების ნიშნულები. ვთქვათ, რუკაზე (ნახ. 1^ა), რომლის კვეთის სიმაღლე 4 მეტრია, ტრიგონომეტრიული პუნქტის ნიშნულია 207,36 მეტრი. საჭიროა ყველა სახის იზოჰიფსის ნიშნულის წარწერა. იზოჰიფსის განსაზღვრების შესაბამისად პუნქტიდან პირველი მთლიანი იზოჰიფსის ნიშნული იქნება 207,36 ნიშნულის უახლოესი ნაკლები, კვეთის სიმაღლის ჯერადი რიცხვი, ე. ი. 204 შემდეგ ქვევით სულ ოთხ-ოთხი მეტრით იკლებს მთლიანი იზოჰიფსების ნიშნულები (ნახ. 1^ბ). ასევე, წყვეტილი იზოჰიფსის ნიშნული იქნება 204 მეტრი + ორი მეტრი (ნახევარი კვეთის სიმაღლე), ანუ 206, ხოლო წერტილოვანის კი 207. საკითხის ამდაგვარად ამოხსნის მიზეზია ის, რომ უპრავლეს შემთხვევაში რუკებზე ნაჩვენებია ნიშნულის წარწერის გარეშე მხოლოდ მთლიანი იზოჰიფსები; წყვეტილი და წერტილოვანი იზოჰიფსები არ არის გატარებული. მაშასადამე, საჭიროა დავადგინოთ მათი ადგილი რუკაზე, რისთვისაც დაგვიკრიდება გამოვიყენოთ (2.7.2.10) დამოკიდებულებები. ამისათვის კი საჭიროა პუნქტის და მის ახლო მთლიანი იზოჰიფსის ნიშნული და მათ შორის თარაზული მანძილი.

ახლა დავადგინოთ იზოჰიფსებს შორის მდებარე ნებისმიერი წერტილის ნიშნულის განსაზღვრის ხერხი. ვთქვათ, საჭიროა (1^ბ) ნახაზზე P წერტილის ნიშნულის განსაზღვრა. ამისათვის P წერტილში გაეატარებთ უდიდესი ვარ-



ფ.ხ. 2.7.7.1.

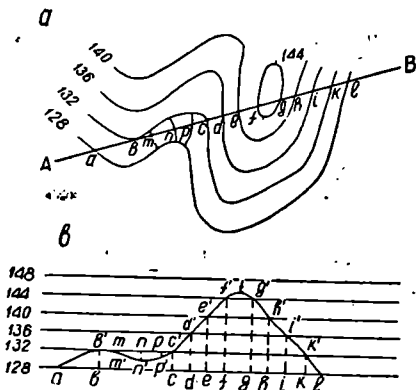
დნილობის ხაზს, ანუ უდიდესი ვარდნილობის ხაზის ქვედებულს (ბიჯს ან ინტერვალს) და რუკის კვეთის სიმაღლის გამოყენებით მასზე ავაგებთ მართკუთხა სამკუთხედს (ნახ. 1^ბ), საიდანაც განესაზღვრავთ, რომ P წერტილის ქვედა იზოჰიფსიდან აღმატება

$$h' = h \frac{dp}{dc} \quad (2.7.7.1)$$

ე. ი. ქვედა იზოჰიფსის მიმართ რაიმე შუალედი წერტილის აღმატება უდრის რუკის კვეთის სიმაღლის ნამრავლს წილადზე, რომლის მრიცხველია ქვედა იზოჰიფსიდან წერტილამდე უდიდესი ვარდნილობის ხაზის მონაკვეთი, ხოლო მნიშვნელი — თვით უდიდესი ვარდნილობის ხაზის სიგრძე. ხშირად, აღნიშნულ ფარდობას თვალთ საზღვრავენ, მაგალითად, $dp:dc$ ნაცვლად აიღებენ 0,6 და ამრავლებენ h -ზე, ე. ი. (1) ფორმულის მიხედვით $h = 4 \cdot 0,6 = 2,4$ მეტრს. თუ საჭიროა მეტი სიზუსტე, მაშინ მასშტაბით უსუსტად აჩვენებენ dp და dc სიგრძეს. როგორც ვხედავთ, p წერტილის ნიშნული იქნება $196 + 2,4 = 198,4$ მეტრი. p წერტილის ზემო იზოჰიფსის გამოყენებით $200,0 - 4 \times 0,4 = 200 - 1,6 = 198,4$ მ, მივიღეთ იგივე პასუხი.

რელიეფის პროფილი (პროფილის ხაზი) მოცემული მიმართულებით არის მისი ზედაპირის უსწორმასწორობის გამომსახველი წარმოდგენითი ხაზის გეგმილი პროფილის სიბრტყეზე, რომელიც მიიღება რელიეფს ვერტიკალური სიბრტყით აზრობრივ განკვეთით. პროფილის სიბრტყე კი წარმოადგენს იმ ვერტიკალურ სიბრტყეს, რომელზეც დატანილია იზოჰიფსების მომცემი თარაზული მკვეთი სიბრტყეების შესაბამისი პარალელური, თანასწორად დაშორებული წრფეები. პროფილი მიიღება ადგილზე უშუალოდ შესრულებული ნიველობით ან იზოჰიფსებით გამოსახული რელიეფის მიხედვით. აქ განიხილება მეორე შემთხვევა. სანამ საკითხის განილკას შევედგებოდეთ, შევნიშნავთ, რომ დედამიწის ჭრილსა და რელიეფის პროფილს შორის არის ასეებითი განსხვავება. განსხვავება ის არის, რომ დედამიწის ჭრილი წარმოადგენს შერჩეული მიმართულებით მისი ტანის ყველა წელილადის კვეთის გეგმილს ვერტიკალურ სიბრტყეზე. ახლა შევედგეთ პროფილის აგებას.

ვთქვათ, საჭიროა იზოჰიფსებით გამოსახულ გეგმაზე (ნახ. 1^ა) აგებულ იქნეს პროფილი AB მიმართულებით. ცხადია, AB ხაზი წარმოადგენს შვეული გამკვეთი სიბრტყის პროექციას გეგმაზე, ხოლო ამ ხაზზე $a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l$ წერტილები წარმოადგენს პროფილის ხაზისა და პროფილის სიბრტყეში მდებარე იზოჰიფსების მომცემი თარაზული მკვეთი სიბრტყეების შესა-



ნახ. 2.7.8.1.

ბამისი პარალელური, თანასწორად დაშორებული ხაზების გადაკვეთის $a', b', c', d', e', f', g', h', i', k', l'$ წერტილების გეგმილს (ნახ. 1^ბ). მაშასადამე, პროფილი იქნება ის ხაზი, რომელსაც მივიღებთ AB ხაზის მიერ იზოჰიფსების გადაკვეთის წერტილების შესაბამისი სიმაღლეების პროფილის სიბრტყეზე თანამიმდევრობითი შეერთებით. პრაქტიკულად პროფილის აგებისათვის თვით AB ხაზზე ან ცალკე გატარებულ მის ტოლ ხაზზე ავაგებთ პროფილის სიბრტყეს, რისთვისაც თარაზულ მასშტაბს იღებენ ისეთს, რაც აქვს თვით გეგმას, ხოლო ვერტიკალურ მასშტაბს, მეტი თვალსაჩინოების მიზნით, იღებენ მასზე 10—20-ჯერ მსხვილს. გამოვითვლით სხვაობას გეგმაზე უდიდესი და უმცირესი ნიშნულის მქონე წერტილებისას. განხილად შემთხვევაში ეს იქნება $144 - 128 = 16$ მეტრი. გეგმის კვეთის სიმაღლეა 4 მეტრი, ე. ი. პროფილის სიბრტყის ასაგებად საჭიროა $16 : 4 = 4$ პარალელური ხაზის გატარება. ფაქტობრივად ყოველთვის ტარდება ერთი ან ორით მეტი ხაზი. განხილად შემთხვევაში გატარებულია 128, 132, 136, 140, 144, 148 ნიშნულების შესაბამისი ხაზები, სადაც 128 ნიშნუ-

ლის მქონე ხაზი თვით AB ხაზია. მიღებულ პროფილის სიბრტყეზე $ab, bc, cd, de, ef, fg, gh, hi, ik, kl$ მონაკვეთების $a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l$ წერტილებიდან გავატარებთ მართობებს პროფილის სიბრტყის შესაბამისი ნიშნულების მქონე ხაზების გადაკვეთამდე. გადაკვეთის $a, b', c', d', e', f', g', h', i', k', l$ წერტილებს დაენიშნავთ პროფილის სიბრტყეზე. შემდეგ, ვინაიდან პროფილის სიბრტყე ჰკვეთს დელეს, bc მანძილს ვყოფთ შუაზე (n წერტილი), შემდეგ ნახევრებს კიდევ შუაზე (m და p წერტილი) და მიღებულ m, n, p წერტილებში ვატარებთ უდიდესი ვარდნილობის ხაზებს (ნახ. 1^ა) და წინა პარაგრაფში მიღებული წესის მიხედვით, (2.7.7.1) ფორმულით ესაზღვრავთ მათ ნიშნულებს, რომელთაც შესაბამისად დაენიშნავთ პროფილის სიბრტყეზე m', n', p' (ნახ. 1^ბ) წერტილების სახით (ასევე მოვიქცეოდით ქედის შემთხვევაში). პროფილის სიბრტყე fg ფარგლებში აგრეთვე ჰკვეთს მწვერვალს.

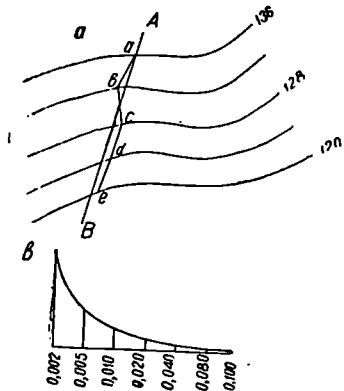
fg მონაკვეთზე ყოველი წერტილის აღმატება ქვედა იზოჰიფსის, ანუ 144 ნიშნულის მქონე წერტილიდან ნაკლები იქნება კვეთის სიმაღლის ერთ მეოთხედზე, ე. ი. ერთ მეტრზე, რადგანაც გვემაზე არ არის წყვეტილი და წერტილოვანი შეკრული იზოჰიფსები. ამ შეკრულებაში $e'f'$ და $h'g'$ მონაკვეთების გაგრძელების გადაკვეთით მივიღებთ პროფილის უმაღლეს t წერტილს (ნახ. 1^ბ). აქ მიღებული შეცდომა ნაკლები გამოვა კვეთის სიმაღლის ერთ მეოთხედზე. გვემაზე რომ იყოს წყვეტილი და წერტილოვანი შეკრული იზოჰიფსები, მაშინ პროფილის სიბრტყეზე დაგვირღებოდა გატარება 144 და 148 ნიშნულებს შორის 146 წყვეტილი და 147 წერტილოვანი პარალელური ხაზებისა და ზემოხსენებულის ანალოგიურად მწვერვალის შესაბამისი წერტილის დანიშვნა. ბოლოს შევაერთებთ ტეხილი ხაზებით $ab'm'n'p'c'd'e'f'tg'h'i'k'l$ წერტილებს, რითაც მიიღება რელიეფის ძიებული პროფილი AB მიმართულებით. საერთოდ, როდესაც რუკა (ან გეგმა) მსხვილმასშტაბიანია, პროფილის ხაზი არის ტეხილი, ხოლო წერილმასშტაბიანი გეგმების პროფილები მრუდლი ხაზებია.

2.7.9. რუკაზე მოცემული მიმართულებით საჭირო დაქანების ან ძანობის მქონე ხაზის დანიშვნა და წყალსამართი ხაზის დაქანების ან ძანობის განსაზღვრა

ვთქვათ, გვემაზე AB მიმართების (ნახ. 1) ახლოს საჭიროა დაინიშნოს $i=0,02$ ქანობის ხაზი. გეგმის მასშტაბია 1:5000, კვეთის სიმაღლე $h=4$ მ, ამოცანის ამოსახსნელად გამოვიყენებთ გეგმის მასშტაბისა და კვეთის სიმაღლისათვის ქანობების მიხედვით შედგენილ ინტერვალების დიაგრამას, თუ ასეთი არსებობს (ნახ. 1^ბ). ამ დიაგრამიდან ამოღებული 4 ინტერვალის შესაბამისი გაშლილი ფარგლის ლაჯით a წერტილიდან თანამიმდევრობით გადაკვეთთ ყველა იზოჰიფსს b, c, d, e წერტილებში და შევაერთებთ ტეხილი $abcde$ ხაზით, რომელსაც ეწოდება ნულოვანი სამუშაოების ხაზი, ე. ი. ამ ხაზის მიმართულებით არ იქნება შესასრულებელი მიწის სამუშაოები. აგრეთვე, ამ ხაზს ყველგან ექნება 0,02 ქანობი, ანუ $1^{\circ}8'40''$ დაქანება. იმ შემთხვევაში, როცა გეგმა არ არის მომარაგებული ინტერვალების დიაგრამით. (2.7.2.5) ფორმულით განესაზღვრავთ a ბიჯს და ვიმოქმედებთ ზე-

შოხსენებული წესით. მაგალითად, $l = \frac{4}{0,02} = 200$ მ, ხოლო გეგმაზე გადასა-

ზომი ფარგლის ლაჯი იქნება $200:50=4$ სმ. ასევე, (2.7.2.6) ფორმულით $\tau_{\Sigma} \nu = i = 0,02$, საიდანაც $\nu = 1^{\circ} 8' 40''$. ზემოხსენებული ნულოვანი სამუშაოების $abcde$ ხაზის ადგილზე გადატანა ხდება სათანადო ინსტრუმენტებით. გზის დაგეგმარების დროს ამკვარაჲ ამოცანის ამოხსნა მეტად ნაყოფიერია, რადგანაც გაყვანის დროს მიწის სამუშაოები თეორიულად უდრის ნულს. ცხადია, გზის გაყვანასთან დაკავშირებული მრავალი მოვლენის გამო გზის ნამდვილი მიმართულება არ დაემთხვევა ნულოვანი სამუშაოების ხაზს, მაგრამ, რაც უფრო ახლო იქნება იგი მასთან, მით ნაკლები მიწის სამუშაოები გვექნება შესასრულებელი.



ნახ. 2.7.9.1.

ახლა განვიხილოთ შებრუნებული ამოცანა, ანუ გეგმაზე წყალსაერთი ხაზის დაქანების ან ქანობის დადგენის შესახებ, რაც საკირო ხდება ხიდების ხერტების დაგეგმარების დროს. საძიებო ქანობის განსაზღვრისათვის უნდა განვსაზღვროთ სხვაობა წყალსაერთი ხაზის სათავესა და შესართავის ნიშნულებს შორის და გავყოთ მის სიგრძეზე.

ვინაიდან წყალსაერთ ხაზს აქვს ტეხილი სახე, მის სიგრძეს საზღვრავენ განსაკუთრებული ხელსაწყოთი, ე. წ. კურვიმეტრის საშუალებით, ან ფარგლით, რომელსაც გასწევენ მტი იე 0,5—1 სმ ლაჯზე. რომელიმე დღეს წყალსაერთი ხაზის სათავეს ნიშნულია 446,2 მ, შესართავის კი 439,33, ხოლო სიგრძე 478 მ, მაშინ ამ ხაზის ქანობა

$$i = \frac{446,2 - 439,4}{478} = 0,014,$$

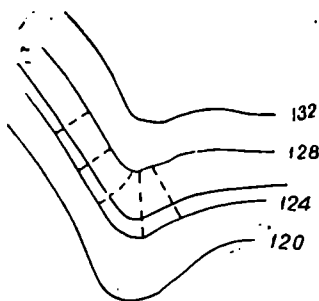
ანუ დაქანება $\nu = 0^{\circ} 48' 10''$.

2.7.10. ადგილის მოზანდაქება თარაზულად (ნიველირება)

ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ იზოპიფსებიან გეგმაზე დაინიშნოს ნულოვანი სამუშაოების ხაზი, რომლის ზემოთ მიწა მოსაკრეული იქნება და ქვემოთ კი დასაყრელი. მამასადამე, მიწის სამუშაოების შესრულების შედეგად ნულოვანი სამუშაოების ხაზის შესაბამის სიმაღლეზე ადგილი იქნება მოსწორებული (მოზანდაკებული, ნიველირებული).

ვთქვათ, გეგმაზე (ნახ. 1) უნდა გავავლოთ ნულოვანი სამუშაოების ხაზი 125 მეტრის ნიშნულით. ამისათვის 124 და 128 მეტრის ნიშნულიან იზოპიფსებს შორის, (2.7.6) პარაგრაფში მოცემული წესის მიხედვით, გავატარებთ

მთელ რიგ უდიდესი ვარდნილობის ხაზებს, რომელთაც თვალით დაგყოფი ოთხ-ოთხ ნაწილად. 125 მ ნიშნულის მქონე წერტილებს შევადარებთ დაახლოებით 124 მ ნიშნულის მქონე მრუდის მსგავსად, რომელიც იქნება ნულოვანი სამუშაოების ხაზი. ამ ხაზის ადგილზე დანიშნავ ხდება ინსტრუმენტებით და მერე სრულდება მიწის სამუშაოები. ამოცანა ითვლება კარგად ამოხსნილად, როცა სხვა პირობების დაცვით, მიწაქრილისა და ყრილის მოცულობა ტოლია, ე. ი. საჭიროა ნულოვანი სამუშაოების ხაზის ზემო ფართობის ნამრავლი კრილის საშუალო სიმაღლეზე უდრიდეს მის ქვემო ფართობისა და ყრილის საშუალო სიმაღლის ნამრავლს.



ნახ. 2.7.10.1.

3.7.11. ადგილის მოზანდაკება დახრილ სიბრტყეში

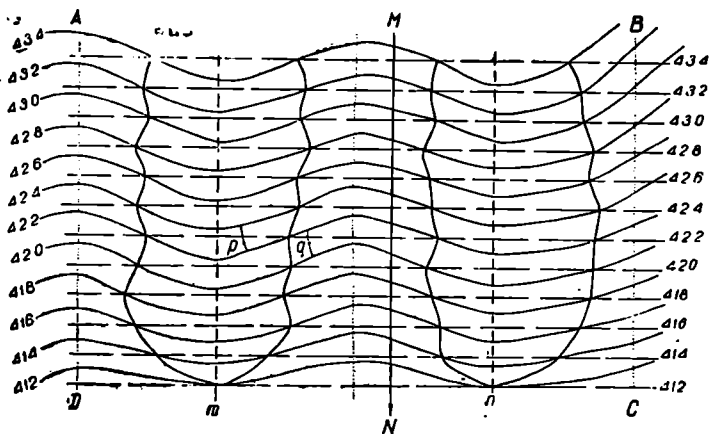
(ფენის გამოსავლის ხაზის დანიშნვა რუკაზე)

რელიეფის დახრილი სიბრტყით განკვეთით მიიღება ნულოვანი სამუშაოების ხაზი, რომელიც წარმოადგენს საზღვარს მიწაქრილისა და ყრილის შორის. ტოპოგრაფიულ რუკაზე ამ მრუდის მისაღებად საჭიროა ვიცოდეთ საპროექტო დახრილი სიბრტყის მიმართება და დახრის კუთხე ან ქანობი. დაქანების ან ქანობის მიხედვით რუკის კვეთის სიმაღლისა და მასშტაბის საშუალებით შედგენილი დიაგრამიდან ამოვიღებთ დახრილი სიბრტყის ინტერვალს (ბიჯს) ან გამოვთვლით (2.7.2.4) ფორმულით. ამ ინტერვალის (ბიჯის) შესაბამის იზოჰიზებს რუკაზე გავატარებთ რომელიმე საწყისი წერტილიდან სიბრტყის დაქანების მათემატიკულად იმპლემენტურ, რამდენი მრუდი იზოჰიზისიკ არის გატარებული. ცხადია, ერთნაირი ნიშნულის მქონე ადგილისა და დახრილი სიბრტყის იზოჰიზების გადაკვეთის წერტილების შეერთებით მივიღებთ ნულოვანი სამუშაოების ხაზს.

ვთქვათ, საჭიროა (1) ნახაზზე გამოსახული რელიეფის მოზანდაკება დახრილ სიბრტყეში. რუკის მასშტაბია $1:5000$, კვეთის სიმაღლე $h=2$ მ, დახრილი სიბრტყის დაქანება $\nu=3^\circ$, მიმართება MN , საერთო საწყისი წერტილებია m ან n .

(2.7.2.4) ფორმულით და მასშტაბით გამოვივლით ბიჯს, რომელიც ედრება $a=0,76$ სმ. m ან n წერტილებიდან გავატარებთ დახრილი სიბრტყის შესაბამის 412 ნიშნულის მქონე წვეტილ იზოჰიზს MN ხაზის მართობულად და შეძღვ მის პარალელურად; $0,76$ სმ ბიჯით გატარდება დახრილი სიბრტყის თანწყვილი წვეტილი იზოჰიზები. თანამიმდევრობით აღინიშნება რელიეფისა და საპროექტო დახრილი სიბრტყის ტოლნიშნულიანი იზოჰიზების გადაკვეთის წერტილები. ამ წერტილების მდებარეობით შეერთებით მივიღებთ ძიებულ მრუდს. ამ მრუდის შიგნით მოქცეული ადგილი მოსაპრელოა,

ხოლო მის გარეთ დასაყრელი. შედარებისათვის, საერთოდ, ყოველი წერტილის ნიშნული ჯერ უნდა განისაზღვროს რელიეფის გამომსახველი იზოჰიფსების და შემდეგ საპროექტო იზოჰიფსების მიმართ. ნიშნულთა სხვაობა კი მოგვეცემს ამ წერტილში მიწის სამუშაოების ოდენობას. მაგალითად, P წერტილის ნიშნულის გაგებისათვის მასზე გავატარებთ მრუდი იზოჰიფსების მიმართ უდიდესი ვარდნილობის ხაზს და განვსაზღვრავთ 422 ნიშნულის მქონე იზოჰიფსების მიმართ მის ნიშნულს. ეს იქნება $422 + 0,3 \times 2 = 422,6$ მ. შემდეგ ამავე წერტილის ნიშნულს გავიგებთ საპროექტო 420 და 422 იზოჰიფსს შორის, რისთვისაც მათ მიმართ P წერტილებზე გავატარებთ მართობს (უდიდესი ვარდნილობის ხაზს) და განვსაზღვრავთ 420 ნიშნულიანი იზოჰიფსის მიმართ ამ წერტილში საპროექტო ნიშნულს; ეს იქნება $420 + 0,8 \times 2 = 421,6$ მეტრი. მაშასადამე, P წერტილში მოსაპოვებელი მიწის სიღრმე ტოლია $422,6 - 421,6 = 1$ მეტრის. ამავე გზით განვსაზღვრავთ q წერტილში მიწის სამუშაოს. რელიეფის 420 ნიშნულის მქონე იზოჰიფსის მიმართ $420 + 0,5 \times 2 = 421$ მ არის q წერტილის ნიშნული, ხოლო საპროექტო 420 მ იზოჰიფსის მიმართ $420 + 0,3 \times 2 = 421,6$ მ, მაშასადამე, q წერტილში დასაყრელი მიწის სიღრმე იქნება $421,6 - 421 = 0,6$ მ, მოსაპოვებელი მიწის რაოდენობა ედრება მრუდის ზედა ფართობის ნამრავლს მის შიგნით მოსაპოვებელი მიწის საშუალო

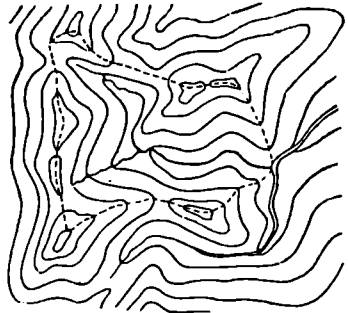


ნახ. 2.7.11.1.

სიღრმეზე, ხოლო ყრილისყ, მოცულობა იქნება მრუდის გარე ფართობისა და მის ფარგლებში დასაყრელი მიწის საშუალო სიმაღლის ნამრავლი. ამოცანა კარგად იქნება ამოხსნილი, როცა პირველი უდრის მეორეს. ფენის გამოსვლის ხაზის გეგმაზე დანიშნვის ამოცანის ამოხსნა სრულიად ანალოგიურად სრულდება, როცა საჭიროა წიაღში რაიმე ნამარხის ღეღამიწის ზედაპირზე გამოსვლის ხაზის დადგენა. აქ საჭიროა განხილავი ქანის ნიშნულების მიხედვით მისი სიბრტყედ წარმოდგენა, რომლის შესაბამისი მიმართების ხაზებისა და რელიეფის გამომსახველი იმავე ნიშნულის მქონე იზოჰიფსების გადაკვეთის წერტილების შეერთებით მიიღება ღეღამიწის ზედაპირზე ამ ქანის გამოსვლის ხაზი. ეს ხაზი, სხვა საკითხთა გადაწყვეტის გარდა, აადვილებს საბადოს საექსპლოატაციოდ გახსნის ამოცანის ამოხსნას.

2.7.12. რუკაზე წაღსაკრები აუზის დანიშვნა

როგორც ცნობილია (1.1.2 პარაგრაფი), რომელიმე მდინარის აუზი ეწოდება რელიეფის იმ სივრცეს, რომელიც ნალექებით ჰკვებავს მდინარეს. ცხადია, რომ განხილადი აუზის სივრცე მოქცეული იქნება მისი შემომთარგლავი წყალგამყოფი ხაზებით. პირველ ნახაზზე ასეთ ხაზს წარმოადგენს ჩაკეტილი წყვეტილი ხაზი. როგორც ვხედავთ, ეს წყალგამყოფი ხაზები აერთებს ხერხემალის, ქედების უმაღლეს წერტილებს, რომლებიც წარმოადგენენ იზოპიფსების მობრუნების წერტილებს.



ნახ. 2.7.12.1.

განხილადი ამოცანა ისმება ხიდების ხერხემალის გაანგარიშების დროს; ცხადია, რაც მეტი იქნება აუზის ფართობი, მით მეტი წყალი წამოვა ფერდობების ღელეებიდან წყალსაერთი ხაზებისაკენ.

ლიტერატურა

1. Багратуни Г. В., Большаков В. Д. и другие. Справочник геодезиста. Недра. М. 1963.
2. Багратуни Г. В. Курс сферондической геодезии. Геодезиздат. М. 1962.
3. ბ ა ლ ა ვ ა ძ ე ბ. გრაფიკური კურსი. თბ. სახ. უნ. გამომცემლობა. 1972 წ.
4. ბ ე ნ ა შ ვ ი ლ ი ა ნ. სფერული ასტრონომია. ტექნიკა და შრომა. თბილისი. 1938 წ.
5. ბ ე ნ ა შ ვ ი ლ ა ნ. ტოპოგრაფია, ნაწ. I. ტექნიკა და შრომა. თბილისი. 1933 წ.
6. Вировец А. М. Высшая геодезия, I ч. Недра. М. 1970.
7. Вировец А. М. и Рабинович Б. Н., Таблицы для преобразования прямоугольных координат. Геодезиздат. М. 1954.
8. Витковский В. В. Топография. ВТС. М. 1940.
9. Волков В. А. и другие. Топография, I ч. ВТС. М. 1961.
10. Ганьшин В. Н. Геометрия земного эллипсоида. Недра. М. 1967.
11. Ганьшин В. Н., Купчиков И. И., Хронов Л. С. и другие. Инженерная геодезия. Недра. М. 1967.
12. Гирншберт М. А. Геодезия, ч. I. Недра. М. 1967.
13. Грушинский Н. П. Теория фигуры земли. физ-мат. издат-во. М. 1963.
14. გ უ ლ ი ს ა შ ვ ი ლ ი ა. მზაზელობითი გეომეტრია.
15. Дурнев А. И. Высшая геодезия. Недра. М. 1967.
16. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. Недра. М. 1964.
17. Закатов П. С. и другие. Инженерная геодезия. Недра. М. 1969.
18. Сборник таблиц для геодезических вычислений. ВТС. М. 1953.
19. Зданович В. Г. и другие. Высшая геодезия. Недра. М. 1970.
20. Иордан В., Эгерт О., Кнеиссль М. Руководство по геодезии, том 6. Недра. Москва. 1971.
21. Изотов А. А. Форма и размеры земли по современным данным. Геодезиздат. 1953.
22. Келль Н. Координаты Гаусса Крюгера и их применение. Планхозгиз. М. 1930.
23. Красовский Ф. Н., Избранные сочинения, том 1, 2, 3, 4. Геодезиздат. М. 1953—1956 წ.
24. Макаров Н. П. Геодезическая гравиметрия. Недра. М. 1968.
25. Маслов А. В. и другие. Геодезия, ч. I, III. Недра. М. 1964.
26. Модринский Н. М. Геодезия. Гидрометиздат. М. 1960.
27. Морозов В. П. Курс сферондической геодезии. Недра, 1969.
28. ნ ი კ о ლ ა ძ ე გ. დიფერენციალური გეომეტრიის ელემენტები, სასწავლო პედაგოგიური გამომცემლობა, თბილისი, 1934 წ.
29. Павлов Ф. Ф. и Мепуришвили Г. Е., Геодезия. Недра. М., 1968.
30. Рижва П. А. Проекция применяемые в геолого-Маркшейдерском деле, Углетехиздат. М. 1951.
31. Сироткин М. П., Справочник по геодезии для строителей. Недра. М. 1966.
32. Соловьев А. Ф. и другие. Геодезия. Военное из-во. М. 1966.
33. ტ ა ნ ა ტ ა ძ ე კ. ტ., სფერული ტრიგონომეტრია, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1954 წ.
34. ტ ა ბ ა ტ ა ძ ე კ. ტ., უმაღლესი გეოდეზია, I, II ნაწილი, ცოდნა, თბილისი, 1959—1963 წ.
35. თ ე ვ ზ ა ძ ე ბ. ა., განაზომთა შეცდომების თეორია, ტექნიკა და შრომა, თბილისი, 1957 წ.

36. თევზაძე ნ. ა. განაზომთა აღმათობის თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა, ცოდნა, თბილისი, 1960 წ.
 37. თევზაძე ნ. ა. უმცირეს კვადრატთა მეთოდი, ცოდნა, თბილისი 1964 წ.
 - 37'. თევზაძე ნ. ა. საინჟინრო გეოდეზია, I ტომი, განათლება, თბილისი, 1974 წ.
 38. Трофимов А. А. Основы Маркшендерского дела и геометризации недр. Недра. М. 1970.
 39. Ушаков И. Н. Горная геометрия. Углетехиздат. М. 1951.
 40. Урмаев Н. А. Сфероидическая геодезия. ВТС. М. 1955.
 41. Условные знаки для типографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000. и 1:500, Недра. М. 1969.
 42. Хренов Л. С. Геодезия. Гослесбуиздат. М. 1962.
 43. შავჭულიძე ა. ტექნიკური ხაზის სპეციალური კურსი, განათლება, თბილისი, 1969 წ.
 44. Чеботарев А. С. Геодезия, ч. I, геодезиздат. М. 1955.
 45. Чеботарев А. С. и другие. Геодезия, ч. II, геодезиздат. М. 1962.
 46. Шилов П. И. Геодезия, госгелтехиздат, М. 1963.
 47. Шилов П. И. и Федоров В. И. Инженерная геодезия и аэрогеодезия. Недра. М. 1971.
 48. Еремеев В. Ф., Юркина М. И. Теория высот в гравитационном поле земли. Недра, М. 1972.
-

რ ე ც ე ნ ზ ი ნ ტ ა ბ ი:

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, მეცნიერების დამსახურებული მოღვაწე, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ბ. ბალაჭაძე**

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ხ. შათაშვილი**

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, დოცენტი **დ. ლონღაძე**

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, დოცენტი **ე. ტარახაშვილი**

ნაშრომი რეკომენდებულია ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სამთო ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოსა და მეთოდური კომისიის მიერ

რედაქტორი პ. ლ ა ბ ა რ ტ ყ ა გ ა
მხატვრული რედაქტორი ე. ლ. ს უ ლ თ ა ნ ი შ ვ ი ლ ი
ტექნიკური რ. შ ა კ ა ვ ა რ ი ა ნ ი
კორექტორი ე. მ უ ზ ა შ ვ ი ლ ი

გადაეცა წარმოებას 15/II-74, ხელმოწერილია დასაბუქლად 12/XII-74, საბუქლი ქაღალდი № 1.
ქაღალდის ზომა 70×108¹/₁₆. პირობითი საბუქლი თაბახი—29,4, სააღრეცხო-საგამომცემლო
თაბახი—23,96.

ტირაჟი 3000,

შეკვ. № 3160,

უკ 01955.

ფასი 1 მან. 80 კპპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ., 5
Издательство «Ганатლება», Тбилиси, ул. Марджанишвили, 5
1974

სპი-ს სტამბა, ლენინის ქ. № 69.
Типография ГПИ, ул. Ленина 69.