

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტი

კალისტრატე ჩაფიძე

ანალოგური საზომი ხელსაწყოების ავტომატური
დამოწმების მეთოდების და საშუალებების დამუშავება

ინჟინერიის (04) დოქტორის კვალიფიკაციის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა
დოქტორი, პროფესორი:
თეიმურაზ ადეიშვილი

ქუთაისი, 2011

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი.....	4
თავი 1. ანალოგური საზომი ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების არსებული მეთოდებისა და საშუალებების ანალიზი	
1.1. ანალოგური საზომი ხელსაწყოების დამოწმების სისტემების განხილვა.....	9
1.1.1. საათის ტიპის ინდიკატორების სკალის გამოსახულების ავტომატური ამოკითხვის მეთოდების განხილვა	19
1.2. დინამიკურ რეჟიმში სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდების ანალიზი.....	22
1.3. სანიმუშო სიგნალის წყაროების და ამოკითხვის მოწყობილობების ტექნიკური პარამეტრები.....	33
1.4. მიღებული შედეგები და დასკვნები.....	38
თავი 2. სკალის გამოსახულების წინასწარი დამუშავების მეთოდები და ამოკითხვის პროცესში წარმოქმნილი ცდომილებების ანალიზი	
2.1. ავტომატური დამოწმების სისტემის კვანძების ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერა.....	39
2.2. დასამოწმებელი ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების წინასწარი დამუშავების მეთოდები.....	49
2.3. სკალის გამოსახულების ამოკითხვის პროცესში წარმოქმნილი ცდომილებების ანალიზი და მათი შემცირების ალგორითმული მეთოდები.....	61
2.4. სკანირების სიჩქარით და პარალაქსით შემოტანილი ცდომილებების მინიმინიზაციის მეთოდების დამუშავება.....	70
2.5. მიღებული შედეგები და დასკვნები.....	81

თავი 3. ავტომატური დამოწმების მეთოდების გამოკვლევა და საზომი ხელსაწყოების ჯამური ცდომილების ანგარიში	
3.1. ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმება დინამიკურ რეჟიმში.....	82
3.2. ანალოგური საზომი ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრის მეთოდები.....	90
3.3. ავტომატური დამოწმება დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეთოდით.....	97
3.4. საათის ტიპის ინდიკატორების დამოწმების ჯამური ცდომილების გაანგარიშება	100
3.5. მიღებული შედეგები და დასკვნები.....	109
თავი 4. ანალოგური საზომი ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების მეთოდებისა და საშუალებების რეალიზაცია	
4.1. საათის ტიპის მიკრომეტრების ავტომატური დამოწმების სისტემა....	110
4.2. საათის ტიპის ინდიკატორების მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის და ძირითადი ცდომილების განსაზღვრის ალგორითმების დამუშავება	116
4.3. ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა და მიღებული შედეგები.....	120
4.4. კონსტრუქციის საიმედოობისა და მუშაუნარიანობის დამადასტურებელი გამოთვლები	124
4.5. სხვადასხვა ტიპის ანალოგური საზომი ხელსაწყოს ავტომატურ დამოწმებაზე გათვლილი მარტივად ადაპტირებადი ამომკითხავი მოწყობილობა....	126
4.6. მიღებული შედეგები და დასკვნები.....	129
ძირითადი დასკვნები.....	130
გამოყენებული ლიტერატურა.....	132

შესავალი

თემის აქტუალობა. ტექნიკური დარგების სწრაფმა განვითარებამ გამოიწვია ახალი ტიპის საზომი ხელსაწყოების მოხმარების აუცილებლობა. ისინი არსებულისაგან განსხვავდებიან გაუმჯობესებული ფუნქციონალური და სისტემური შესაძლებლობით.

ანალოგური საზომი ხელსაწყოების მწარმოებელი ფირმებიდან აღსანიშნავია: ამერიკული-Westinghouse Electric Corp., გერმანული-Prefag, ინგლისური-Howard Butler LTD, ტაივანის-DER EE Electrical Instruments Co. LTD, ახალი ზელანდიის-Carrel & Carrel, ჩეხეთის-Metra Blanska, პოლონეთის-Lumel და სხვები.

დღევანდელი მონაცემებით საქართველოს ტერიტორიაზე ექსპლუატაციაში ათიათასობით სხვადასხვა მოდიფიკაციის ანალოგური საზომი ხელსაწყო და მათი რიცხვი ყოველწლიურად მატულობს მზარდი მოთხოვნების გამო.

აღსანიშნავია, რომ არსებული დამოწმების სისტემები ვერ უზრუნველყოფენ მაღალი სიზუსტის მქონე ანალოგური საზომი ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლების დადგენას. ამიტომ დამოწმების ოპერაცია უმეტესად ხორციელდება ხელით, რაც ამცირებს მწარმოებლობასა და ეკონომიურ ეფექტურობას, ზრდის დამოწმების პროცესში დაშვებული შეცდომების ალბათობას [33, 34].

მიუხედავად საკითხის აქტუალობისა და ამ მიმართულებით შესრულებული შრომების სიმრავლისა, მიღებული გადაწყვეტილებები ვერ დაინერგა წარმოებაში. ეს აიხსნება ავტომატიზაციის ტექნიკური საშუალებების არასაკმარისი განვითარების დონით და დამოწმების ტრადიციული მეთოდებით, რომლებიც ვერ იძლევა მნიშვნელოვან მოგებას მწარმოებლობისა და სიზუსტის გაზრდის თვალსაზრისით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საჭიროა შეიქმნას ავტომატური დამოწმების ტექნიკური სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტექნოლოგიური ოპერაციების ავტომატიზაციისა და მექანიზაციის მაღალ დონეს, ადაპტირებადი იქნებიან ახალი ტიპის ანალოგურ ხელსაწყოებზე, ექნებათ თანამედროვე ტექნიკური საშუალებების

გამოყენების შესაძლებლობა და თავსებადი იქნებიან კომპიუტერულ სისტემებთან.

ეკონომიკური ეფექტურობის მისაღწევად თითოეული ტექნოლოგიური პროცესის ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს 10 წამს, ხოლო ავტომატიზაციის ტექნიკური საშუალებები უნდა იყოს მარტივი, უნიფიცირებული და გამართულად მუშაობდნენ 10000 საათზე მეტი ხანგრძლივობით.

ავტომატური დამოწმების საშუალებებისათვის, რომელთაც უნდა გააჩნდეთ მოთხოვნილი სიზუსტე, მწარმოებლობა და მოქნილობა, საჭიროა გამოვიყენოთ უახლესი ტექნიკური საშუალებები გამოსახულების ამოკითხვისა და ინფორმაციის დამუშავების თვალსაზრისით.

ამ მიზნით საჭიროა შეიქმნას ახალი მეთოდები და დამოწმების ალგორითმები, რომლებიც ორიენტირებული იქნებიან სისტემების ავტომატიზაციაზე და ინფორმაციის ციფრულ დამუშავებაზე.

ავტომატური დამოწმების სისტემების განვითარების ახალი მიმართულება წარმოადგენს ავტომატური კონტროლის, ტექნიკური დიაგნოსტიკის და ობიექტის ამოცნობის ფუნქციების ერთობლიობას.

კვლევის საგანი და პრობლემატიკა. კვლევის საგანია სხვადასხვა ტიპის ანალოგური ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლების ავტომატური დამოწმების ახალი მეთოდები და საშუალებები, ხოლო პრობლემატიკაა:

- ავტომატური დამოწმების მაღალი სიზუსტით და წარმადობით განხორციელების ახალი მეთოდების დამუშავება;
- თანამედროვე ტექნიკური მოწყობილობებით აღჭურვილი, კომპიუტერულ სისტემებთან თავსებადი და სხვადასხვა ტიპის ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმებაზე გათვლილი ავტომატური დამოწმების საშუალებების დამუშავება.

აღნიშნული საკითხების გადასაწყვეტად ანალოგური საზომი ხელსაწყოები უნდა განვიხილოთ, როგორც ავტომატიზაციის აქტიური ობიექტი, რომელიც ელექტრული სიგნალების მეშვეობით დინამიკურ რეჟიმში იძლევა ინფორმაციას საკუთარი თვისებების შესახებ.

კვლევის მიზანი და ამოცანები. კვლევის მიზანია სხვადასხვა ტიპის ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმებაზე ორიენტირებული ზუსტი და მაღალი

წარმადობის ავტომატური დამოწმების სისტემის დამუშავება. ამ მიზნის მისაღწევად გადასაწყვეტია შემდეგი ამოცანები:

- სკალის გამოსახულების ამოკითხვის პროცესში დაშვებული ცდომილებების გამოკვლევა და მათი მინიმიზაციის მიზნით ტექნიკური საშუალებებისა და ალგორითმული მეთოდების დამუშავება;
- დამოწმების სტატისტიკური და დინამიკური რეჟიმების გამოკვლევა. ანალოგური ხელსაწყოების დინამიკური მახასიათებლების დადგენა და მის საფუძველზე დინამიკური ცდომილებების გამორიცხვა;
- სკალის გამოსახულების ამოკითხვის საშუალებად კომპიუტერთან თავსებადი თანამედროვე ტექნიკური მხედველობის სისტემების გამოყენების შესაძლებლობის დადგენა;
- სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოების დამოწმებაზე ორიენტირებული მოწყობილობის დამუშავება.

კვლევის მეთოდები. კვლევის მიზნის მისაღწევად გამოყენებულია გამოთვლითი მათემატიკის, მათემატიკური სტატისტიკის, ავტომატური მართვის თეორიის, გაზომვის შედეგების დამუშავების, ცდომილებების თეორიის, სახეთა გარჩევისა და გამოსახულების ციფრული დამუშავების ძირითადი დებულებები.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ანალოგური საზომი ხელსაწყოები და მათ ავტომატურ დამოწმებასთან დაკავშირებული პრობლემები.

მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში განხილულია თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების ძირითადი შედეგები, მათ შორის:

- დადგენილია, რომ სხვადასხვა ტიპის ანალოგური ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ამოკითხვისათვის ყველაზე პერსპექტიულია ოპტიკური მატრიცული სკანერი;
- დადგენილია ავტომატური დამოწმების პროცესში წარმოქმნილი ცდომილებების სახეები და დამუშავებულია ტექნიკური საშუალებები და ალგორითმული მეთოდები ცდომილებების შესამცირებლად;
- დამუშავებულია დინამიკურ რეჟიმში ავტომატური დამოწმების მეთოდები და საშუალებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დამოწმების მაღალ სიჩქარეს, მცირე

ცდომილებას, ალგორითმული და ტექნიკური რეალიზაციის სიმარტივეს;

- დამუშავებულია სკალაზე მაჩვენებლის მდებარეობის განსაზღვრის და ხელსაწყოთა ძირითადი ცდომილებების გამოთვლის ალგორითმები;
- შედგენილია მასიური წარმოების ანალოგური საზომი ხელსაწყოების დამოწმებაზე ორიენტირებული პროგრამულად მართვადი სკალის გამოსახულების ამომკითხავი მოწყობილობა.

დაცვაზე გამოტანილი დებულებები:

- შემთხვევითი და სისტემური ცდომილებების ანალიზი და მათი შემცირების ალგორითმული მეთოდები და ტექნიკური საშუალებები;
- სხვადასხვა ტიპის ანალოგური ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდები და საშუალებები, რომლებიც დაფუძნებულია სკალის გამოსახულების დამუშავებაზე და ამოკითხვის თანამედროვე ტექნიკურ საშუალებებზე;
- ავტომატური დამოწმების დინამიკური რეჟიმის განხორციელების მეთოდები და საშუალებები;
- სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოების ავტომატურ დამოწმებაზე ადაპტირებადი სისტემა.

სამუშაოს შედეგების საიმედოობა და დასაბუთება მიღწეულია თეორიული და გამოთვლითი ექსპერიმენტების, დამუშავებული მეთოდებისა და ავტომატური დამოწმების საშუალებების საცდელ ნიმუშზე ჩატარებული კვლევითი შედეგების ანალიზით.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება მდგომარეობს შემდეგში:

დამუშავებული მეთოდები და საშუალებები შესაძლებლობას იძლევა, რეალიზება გაუკეთდეს სხვადასხვა ტიპის ანალოგური საზომი ხელსაწყოების მაღალი სიზუსტით და მაღალი წარმადობით ავტომატურ დამოწმებას როგორც სტატიკურ, ასევე დინამიკურ რეჟიმში ერთი და იგივე ამომკითხავი მოწყობილობის გამოყენებით.

დამოწმების სტატიკური და დინამიკური რეჟიმები გამოვიკვლიეთ ქ. თბილისში მეტროლოგიის საშუალებითა ავტომატიზაციის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში და მიღებული შედეგებით დავადასტურეთ დამუშავებული დამოწმების სისტემის

ვარგისიანობა.

სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები წარმოდგენილი იყო მეტროლოგიის მე-7-დე რესპუბლიკურ სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე "Вопросы создания автоматизированной установки для поверки индикаторов часового типа" (თბილისი, 1984).

ენერგეტიკის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციაზე "ელექტრული საზომი ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდები" და "ელექტრული საზომი ხელსაწყოების დამოწმების დინამიკური რეჟიმი" (ქუთაისი, 2010).

პუბლიკაციები. სადისერტაციო თემის ირგვლივ გამოქვეყნებულია ექვსი სამეცნიერო ნაშრომი და მიღებულია ერთი საავტორო მოწმობა გამოგონებაზე.

სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავალის, ოთხი თავისა და ძირითადი დასკვნებისაგან. სამუშაო შეიცავს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 140 გვერდს, 32 ნახაზს, 4 ილუსტრაციას, 6 ცხრილს და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალის 104 დასახელებას.

თავი 1.

ანალოგური საზომი ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების არსებული მეთოდებისა და საშუალებების ანალიზი

1.1. ანალოგური საზომი ხელსაწყოების დამოწმების სისტემების განხილვა

საზომი ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესება დამოკიდებულია გრადუირებისა და დამოწმების ოპერაციების სიზუსტეზე. ავტომატიზაციის თვალსაზრისით ეს ოპერაციები ახლოსაა ერთმანეთთან, რადგან ორივე შემთხვევაში მოითხოვება ხელსაწყოს ჩვენების განსაზღვრა სკალის გამოსახულების მიხედვით.

ავტომატური დამოწმების აუცილებლობამ ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან განაპირობა ინტენსიური გამოკვლევები [26] ამ მიმართულებით. რადგან ხელსაწყოების უმრავლესობას არ გააჩნია ელექტრული საინფორმაციო გამოსასვლელი, ამიტომ ავტომატური დამოწმებისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ სპეციალური ამოკითხავი მოწყობილობა. სკალის ოპტიკური გამოსახულების ამოკითხვის ოპერაციებიდან შედარებით ცნობილია სატელევიზიო [8,9,10,11, 12, 13, 14, 35, 73, 75, 83, 88] და ოპტიკურ-ელექტრონული მეთოდები [6, 7, 15, 26].

გასული საუკუნის 90-იან წლებში სატელევიზიო კამერის ბაზაზე შეიქმნა ავტომატური დამოწმების სისტემები, რომლებიც კომპიუტერის საშუალებით ახორციელებდნენ სკალის გამოსახულების ამოკითხვის შედეგების დამუშავებას.

სკალის გამოსახულების ამოკითხვის საშუალებებიდან შედარებით პერსპექტიულია ტექნიკური მხედველობის სისტემების გამოყენება [43, 59, 60].

საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის განვითარებამ გამოიწვია დიდი რაოდენობის სამეცნიერო-ტექნიკური სამუშაოების შესრულება, რომლებიც მიძღვნილი იყო საზომი საშუალებების ავტომატური დამოწმებისადმი [33,35, 44, 49, 53, 75, 83, 88].

ავტომატურ დამოწმებასთან დაკავშირებული პროცესები განვითარდა ორი

ძირითადი მიმართულებით [5]:

1. მრავლობით მავალეზელ და სამოწმებელ პარამეტრებიანი ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების სპეციალიზირებული სისტემები;

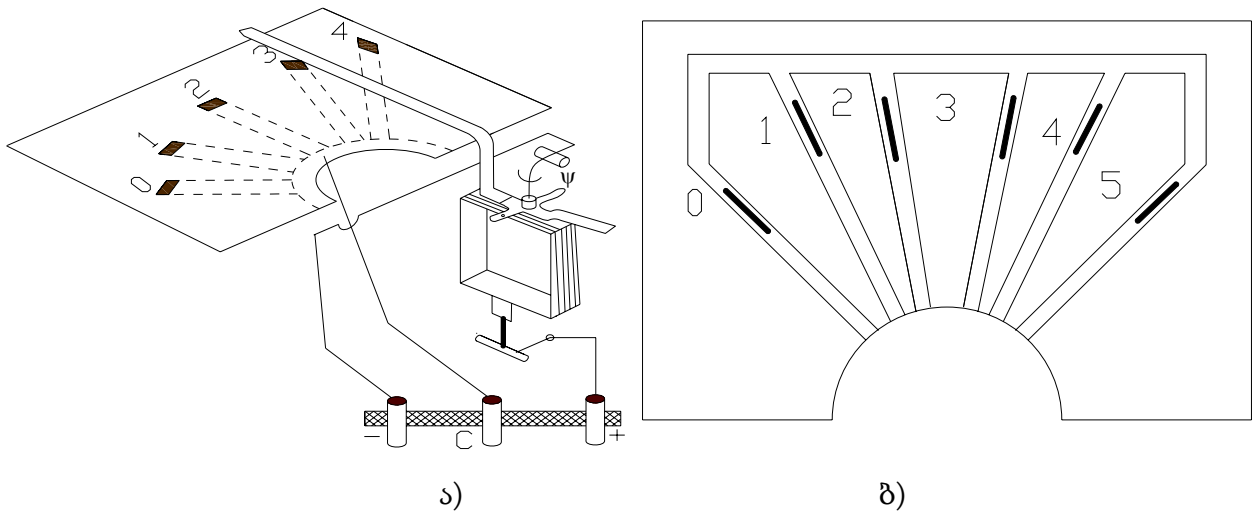
2. მასიური წარმოების ავტომატური დამოწმების სისტემები.

სპეციალიზირებული საზომი მოწყობილობების ხელის რეჟიმით დამოწმების პრობლემას წარმოადგენს რთულად განსახორციელებელი დამოწმების ალგორითმი [74]. ასეთი ხელსაწყოების დამოწმების ტექნიკური რეალიზაცია მარტივდება, მაშინ როცა მათ აქვთ დისტანციური პროგრამული მართვის არხები და გაზომვის შედეგების უნიფიცირებული ელექტრული გამოსასვლელები.

მეორე შემთხვევაში ფართო მოხმარების ხელსაწყოების დამოწმების ალგორითმი გაცილებით მარტივია სპეციალიზირებული ხელსაწყოების დამოწმების ალგორითმთან შედარებით. ასევე მარტივია მასიური ტიპის დამოწმების მოწყობილობები, რომლებიც გამოსახულების ამოკითხვის მიზნით უშუალოდ დაკავშირებულია ხელსაწყო სკალასთან [15, 17, 18, 29, 86]. მათ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ამომკითხავი მოწყობილობის ზუსტი ორიენტაციის აუცილებლობა სამოწმებელი ნიშნულების მიმართ. ამიტომ, შექმნილი მასიური ტიპის დამოწმების სისტემების უმრავლესობა ამოკითხვის პრინციპების მიუხედავად (ოპტიკური, ტევადური) [17,18] საჭიროებენ ამომკითხავი ელემენტების ხელით ორიენტაციას.

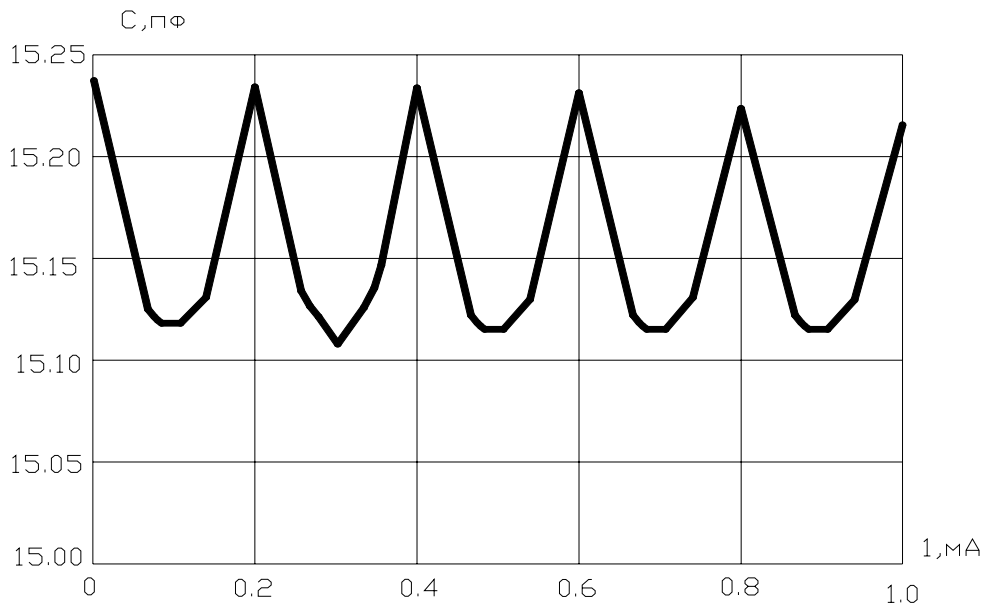
მოწყობილობები, რომელთაც შეეძლოთ ამომკითხავი ელემენტის ავტომატური ორიენტირება, გამოირჩეოდნენ დაბალი სიზუსტით და საიმედოობით, ამიტომ მათ პრაქტიკულად აღარ იყენებენ [26].

ამომკითხავი მოწყობილობა ძირითადად შესრულებული იყო სტაციონალური სახით, მაგრამ შეეძლო ბაზირება დასამოწმებელ ხელსაწყოზე. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ ხელსაწყო ჩაშენებული ტევადური ან ფოტოელექტრული გადამწოდებით [23]. ტევადური ნიღაბის გამოყენება ავტომატური დამოწმების ამოცანის გადაწყვეტის შედეგებით წარმატებული ნაბიჯი იყო. ამისათვის ხელსაწყოს კონსტრუქციაში ათავსებდნენ ტევადურ გადამწოდს [20] მაჩვენებლის სკალაზე მდებარეობის დასადგენად (ნახ.1.1).



ნახ. 1.1 ხელსაწყო ჩაშენებული ტევადური გადამწოდით
 ა) კონსტრუქციული ნახაზი; ბ) ტევადური ნილაბი.

დინამიკურ რეჟიმში დამოწმების განსახორციელებლად აფიქსირებენ მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსებას ტევადობის სიდიდის მაქსიმუმების (მინიმუმების) ანალიზით (ნახ.1.2).



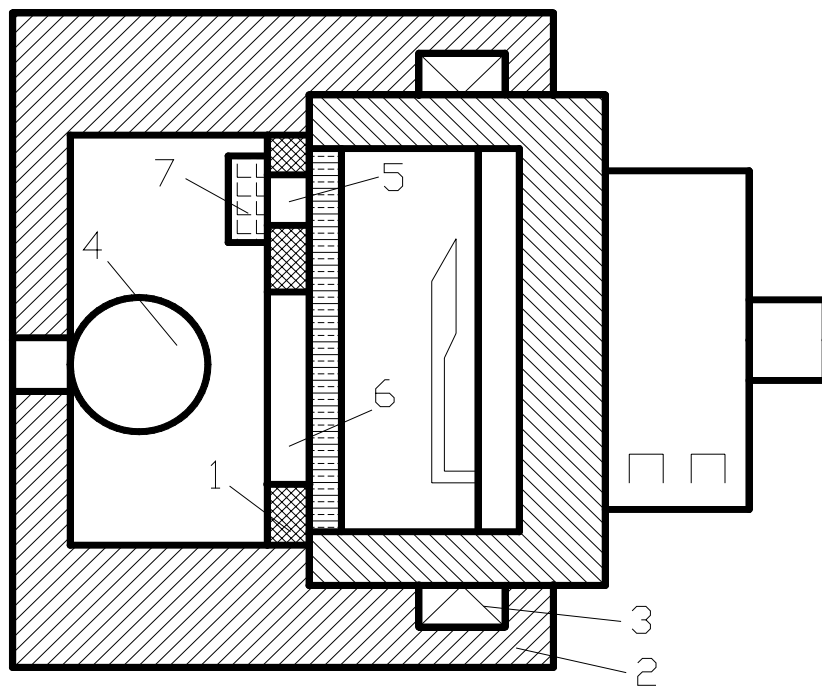
ნახ. 1.2 მაჩვენებლის მდებარეობის მიხედვით ტევადური გადამწოდის ექსპერიმენტული გამოსასვლელი მახასიათებელი

სხვა სახის ნილაბის გამოყენება, როცა შესაძლებელია მაჩვენებლის კუთხური

მდებარეობის განსაზღვრა, საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ დამოწმების სტატიკური რეჟიმი [86].

ოპტიკური ამოკითხვის საფუძველზე შეიქმნა მთელი რიგი მოწყობილობებისა, რომლებიც არ საჭიროებენ წინასწარ პოზიციონირებას [19, 29].

მაგალითად ამომკითხავი თავაკი (ნახ.1.3), რომელიც განხილულია ნაშრომში [19], შედგება მრავალზონიანი დიაფრაგმისაგან 1 და კორპუსისაგან 2, რომელიც სამაგრების 3 მეშვეობით უკავშირდება სამოწმებელი ხელსაწყო კორპუსს.



ნახ. 1.3 ამომკითხავი თავაკის კონსტრუქციული ნახაზი

კორპუსში 2 მოთავსებულია განათების წყარო 4. მრავალზონიანი დიაფრაგმა 1 მჭიდროდ ეკვრის სამოწმებელი ხელსაწყოს დამცავ მინას. მასში გაკეთებულია ხვრელები 5 სკალაზე მაჩვენებლისა და სამოწმებელი ნიშნულების ამოსაკითხად, ხოლო ხვრელი 6 გათვალისწინებულია სკალის გასანათებლად სინათლის წყაროს 4 მეშვეობით. თითოეულ ხვრელში 5 მოთავსებულია ამომკითხავი ფოტოელემენტები. ხვრელს 5 აქვს წრის სექტორის ფორმა (იხ.ნახ.1.4), რომლის სიგანე h განისაზღვრება ამომკითხავი ელემენტის დასამოწმებელი

ხელსაწყოს კორპუსთან ბაზირების მაქსიმალური წრფივი ცდომილებით:

$$h = A_{\Gamma} - \partial_{\Pi}$$

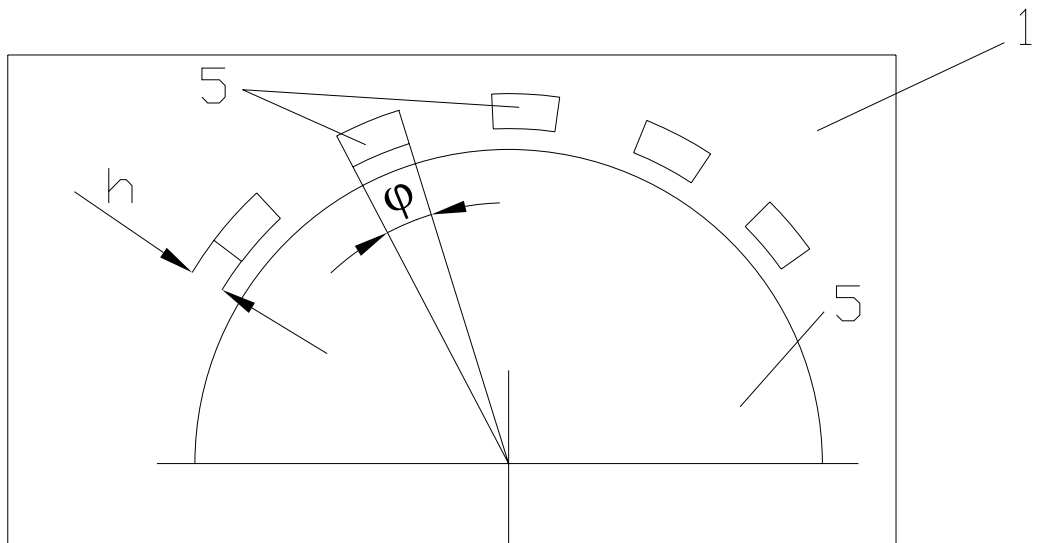
სადაც A_{Γ} - არის ამომკითხავი თავაკის შიდა ზედაპირის მაქსიმალურად შესაძლო ზედაპირის ზომა;

∂_{Π} - ხელსაწყოს მინიმალურად შესაძლო კორპუსის ზომაა.

თავის მხრივ:

$$A_{\Gamma} = A_{\Gamma H} + \Delta_{\Gamma}$$

$$\partial_{\Pi} = \partial_{\Pi H} - \Delta_{\Pi}$$



ნახ. 1.4 სექტორულ სკალიანი ხელსაწყოების დიაგრამა

სადაც $A_{\Gamma H}$ - ამომკითხველი თავაკის შიდა ზედაპირის ნომინალური ზომაა;

Δ_{Γ} - $A_{\Gamma H}$ დამზადების დასაშვები ცდომილებაა;

$\partial_{\Pi H}$ - ხელსაწყოს კორპუსის ნომინალური ზომაა;

Δ_{Π} - $\partial_{\Pi H}$ დამზადების დასაშვები ცდომილებაა;

ხვრელის 5 კუთხე φ განისაზღვრება ხელსაწყოს კორპუსზე ამომკითხავი თავაკის ბაზირების მაქსიმალური ცდომილებით (ნახ.1.5):

$$\frac{\Delta \alpha_i^*}{2} > \varphi \geq 2 \arcsin \frac{A_{\Gamma}}{\partial_{\Pi} + b_{\Pi}} \sqrt{b_{\Pi}^2 - \partial_{\Pi}^2} - \frac{\partial_{\Pi}}{A_{\Gamma}} \times \sqrt{b_{\Pi}^2 - \partial_{\Pi}^2 - A_{\Gamma}^2}$$

სადაც $\Delta \alpha_i^*$ - შესამოწმებელ ნიშნულებს შორის კუთხური მანძილია;

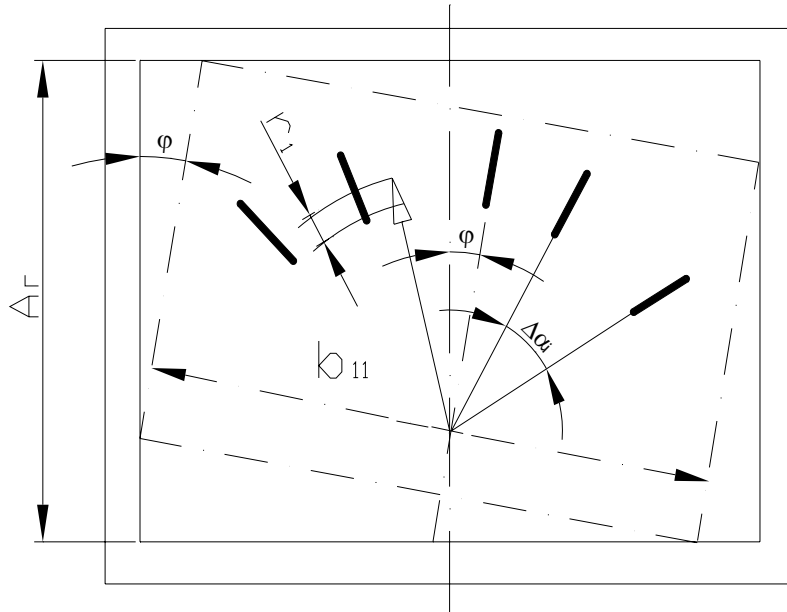
b_{Π} - ხელსაწყოს კორპუსის მინიმალური ჰორიზონტალური ზომაა;

$$b_{II} = b_{III} - \Delta_{III}$$

სადაც b_{III} -ხელსაწყოს კორპუსის ნომინალური ზომაა;

$\Delta_{III} - b_{III}$ -ის დამზადების დასაშვები ცდომილებაა.

ასეთი კონსტრუქციის ამოკითხველი თავაკის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ დიაფრაგმაში სექტორული ხვრელების ზომები განისაზღვრება შესამოწმებელი ხელსაწყოს კორპუსთან ბაზირების მაქსიმალური ცდომილებით.



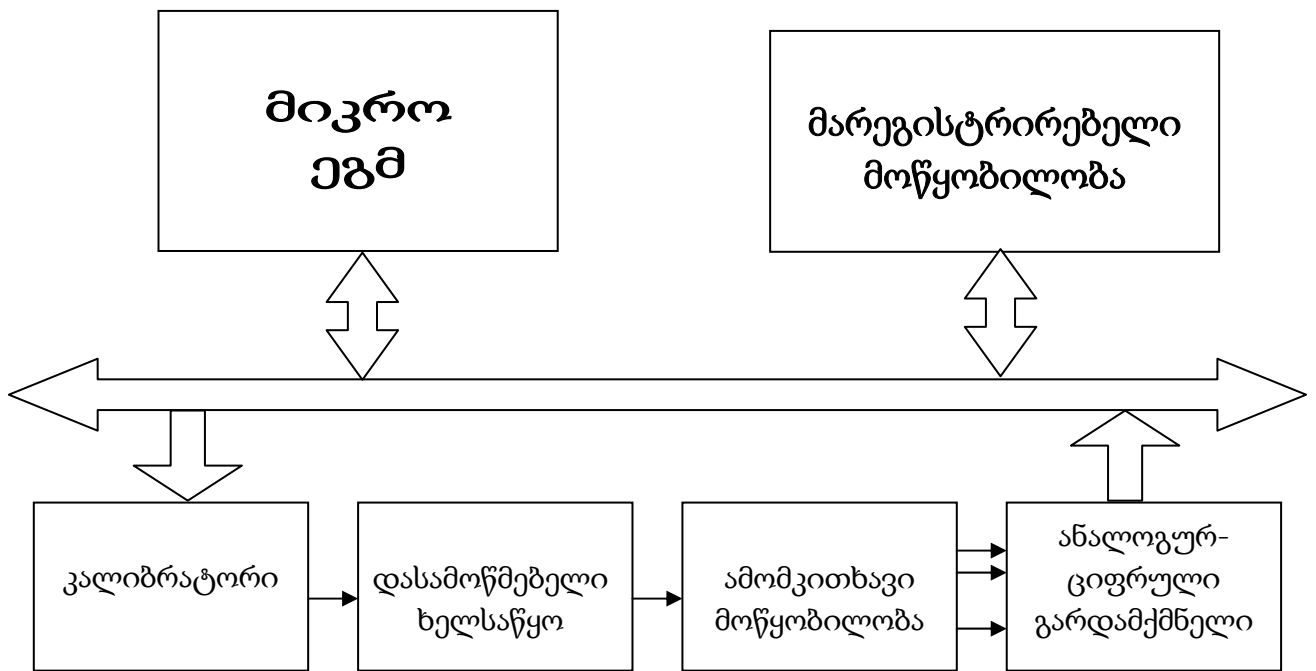
ნახ. 1.5 დიაფრაგმაში სექტორული ხვრელის განსაზღვრა

ეს კი საშუალებას გვაძლევს ფოტოელემენტის ნიშნულის მიმართ ნებისმიერი წანაცვლებისას ამოკითხვის ველზე ყოველთვის მივიღოთ სკალის მონაკვეთი ნიშნულისა და მაჩვენებლის გამოსახულებით.

ნახ.1.6-ზე ნაჩვენებია ავტომატური დამოწმების სისტემა, რომელიც შედგება: კალიბრატორის პროგრამული მართვის, ინფორმაციის კომპიუტერული მართვის, დამუშავების და დამოწმების შედეგების რეგისტრაციის მოწყობილობებისაგან.

ამოკითხავ მოწყობილობაში ფოტოელემენტებიდან ინფორმაციის მისაღებად შეიძლება გამოვიყენოთ მრავალარხიანი ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი, რომლის არხების რაოდენობა განისაზღვრება დიაფრაგმაში სექტორული ხვრელების რაოდენობით. ზემოთ განხილული სისტემა საშუალებას გვაძლევს დინამიკურ რეჟიმში განვახორციელოთ დამოწმების ნებისმიერი მეთოდი. კერძოდ, ანათვლების

ამოკითხვა ნიშნულთან მაჩვენებლის შეთავსების რეგისტრაციის მეთოდით: i -ურ ნიშნულთან მაჩვენებლის შეთავსების მომენტი განისაზღვრება i -ური ფოტოელემენტიდან მიღებული სიგნალის მაქსიმუმით (მინიმუმით). ამისათვის კომპიუტერი მუდმივად ანალიზებს ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნილიდან მიღებულ სიგნალებს და მორიგეობით გადართავს ამომკითხველ არხებს სიგნალის შემდგომი ექსტრემუმის დასაფიქსირებლად.



ნახ. 1.6 ავტომატური დამოწმების სისტემის სტრუქტურული სქემა

ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი ასევე გამოიყენება ფოტომიმდების ავტომატური დამოწმების სისტემასთან დასაკავშირებლად ამომკითხველ მოწყობილობაში, რომელიც ახორციელებს სკალის დინამიკურ სკანირებას [21]. ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის ამოკითხვის პერიოდი Δt_L ავტომატური დამოწმების სისტემაში განისაზღვრება დასაშვები აბსოლუტური კუთხური ცდომილების Δ_α სიდიდით:

$$\Delta_\alpha = \frac{\alpha_n^*}{T_N} \Delta t_L \quad (1.1.1)$$

სადაც α_n^* - დასამოწმებელი ხელსაწყო სკალის კუთხური მნიშვნელობა; T_N -

ხელსაწყოს შესასვლელზე 0-დან X_N^* -მდე სიგნალის ცვლილების დროა. ცდომილების განსაზღვრული მნიშვნელობის Δ_α გათვალისწინებით, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\Delta T_L \leq \gamma T_N \quad (1.1.2)$$

სადაც γ – დასაშვები ფარდობითი ცდომილებაა.

ცდომილების მოცემული მნიშვნელობით Δ_α შეგვიძლია გამოვთვალოთ ამოკითხვის პერიოდი Δt_L და ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის ორობითი თანრიგების რაოდენობა [54]:

$$\Delta t_L \leq \frac{\delta_L t_L}{2(L_{\max} - L_{\min})} \quad (1.1.3)$$

$$\nu \geq 3.33 \lg \left(1 + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{\delta_L} \right) \quad (1.1.4)$$

სადაც δ_L - კვანტირების ბიჯია;

t_L - ამოკითხველი მოწყობილობის გამოსასვლელზე სიგნალის L_{\min} -დან L_{\max} -მდე ცვლილების მინიმალურად შესაძლო დროის სიდიდეა და განისაზღვრება მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების ხანგრძლივობის ნახევრით [19]:

$$t_L = \frac{d_c + d_o}{2R\omega_c} \quad (1.1.5)$$

სადაც d_o - ნიშნულის სიგანეა;

d_c - მაჩვენებლის სიგანეა;

R- ხელსაწყოს სკალის რადიუსია;

ω_c - ხელსაწყოს შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის ზემოქმედების შედეგად

სკალაზე მაჩვენებლის გადაადგილების კუთხური სიჩქარეა;

L_{\max}, L_{\min} - მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების და პირიქით, მომენტებში ამოკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელზე სიგნალების მნიშვნელობებია.

ამრიგად, რადგან განხილული ამოკითხავი მოწყობილობა არ შეიცავს მოძრავ მექანიზმს, ის გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით. მაგრამ, მიუხედავად ამისა გააჩნია ნაკლოვანებები. ჩამოთვლილი ტევადური გადამწოდი ზრდის ხელსაწყოს

თვითღირებულებას და ამცირებს მის ტექნოლოგიურ მახასიათებლებს. მეორე ნაკლია ის, რომ სხვადასხვა ტიპის მოწყობილობის დასამოწმებლად საჭიროა სკალის ხასიათის მიხედვით შევირჩიოთ შესაბამისი ამომკითხავი ნილაბი. ინდივიდუალურად დაგრაღირებული ელექტრომაგნიტური საზომი სისტემისთვის აღნიშნული მოწყობილობის გამოყენება მიუღებელია.

მასიური ტიპის მოწყობილობებით დამოწმება ხორციელდება შეთავსების მეთოდის საფუძველზე ანუ დინამიკურ რეჟიმში. ამ რეჟიმის დროს წარმოიქმნება დამატებითი ცდომილებები, რომლებიც მნიშვნელოვნად ამცირებენ დამოწმების სიზუსტეს [26, 44]. ამიტომ საჭიროა დამატებით განვიხილოთ დინამიკურ რეჟიმში დამოწმების ორგანიზაციის საკითხები.

შედარებით სრულყოფილია დამოწმების და გრაღირების ავტომატური სისტემები, რომლებიც გადამცემი სატელევიზიო კამერის (ვიდეოკამერის) [84] საფუძველზეა შექმნილი.

საწყის ეტაპზე ამოკითხვის ოპერაციების გადასაწყვეტად გამოიყენებდნენ ვიდეოკამერებს 25 კადრი/წამში სიხშირით და სტრიქონგამომშვებითი გაშლით. თითოეული კადრი დისკრეტიზირდებოდა 575 სტრიქონად კადრის აქტიურ ნაწილში. სატელევიზიო გამოსახულების სიკაშკაშის ცვლილების საზღვრებს პოულობდნენ ექსპერიმენტალურად ან გამოთვლიდნენ ფორმულის საშუალებით. ჩატარებული გამოთვლები [82] გვიჩვენებს, რომ სიკაშკაშის გარჩევითობის დონეები ასეთი კამერისათვის აღწევს 100-ს.

ასეთი კლასის შედარებით სრულყოფილი სისტემა დამუშავდა ანალოგური ამპერმეტრებისა და ვოლტმეტრების დასამოწმებლად [73], შესრულებული იყო კომპიუტერის ბაზაზე და აღჭურვილი იყო შემდეგი საშუალებებით:

- ა) პროგრამული უზრუნველყოფის პაკეტით;
- ბ) კომპიუტერის მაგისტრალთან დაკავშირებული პროგრამულად მართვადი სანიმუშო სიგნალის წყაროთი;
- გ) რამდენიმე დასამოწმებელი ხელსაწყოს მიმღები სატელევიზიო კამერებით, რომლებიც კომპიუტერის საშუალებით დაკავშირებული იყო კომპიუტერის პროგრამულ არხთან ინფორმაციის ოპერატიულ მეხსიერებაში შეტანის მიზნით.

ავტომატური დამოწმების სისტემაში სატელევიზიო კამერის გამოყენებას შემოაქვს ინსტრუმენტული ცდომილებები (გაშლისა და ხელსაწყოს სკალის ცენტრების შეუთავსებლობა, გაშლის არაწრფივობა, ელიფსზე სხივის მოძრაობისას დროითი ცდომილებები, დაბალი გარჩევითობა და ა. შ.) [88]. თანამედროვე დამოწმების სისტემებში გამოსახულების დამუშავების ტრადიციული ალგორითმის გამოყენება მოითხოვს მაქსიმალურად მაღალი ხარისხის გამოსახულების მიღებას. მის განსახორციელებლად საჭიროა ძვირადღირებული ოპტიკური სისტემა, განათებისა და პოზიციონირების სპეციალური სისტემები, რაც წარმოების თვალსაზრისით შეუძლებელს ხდის მათ პრაქტიკულ რეალიზაციას [59, 60]. აღნიშნული საკითხების გადასაწყვეტად საჭიროა შესამოწმებელი ხელსაწყოს ჩვენების ამოსაკითხად გამოვიყენოთ ტექნიკური საშუალებები [98], რომლებიც უზრუნველყოფენ ზუსტი და მაღალი გარჩევითობის გამოსახულების მიღებას და აღჭურვილი იქნებიან სტანდარტული ინტერფეისით. ასეთ მოწყობილობას კი წარმოადგენს ოპტიკური მატრიცული სკანერი CCD (Charge-Coupled Device) [64,96,97].

ფოტოელექტრული მატრიცული სკანერი სინათლის წყაროსთან ერთად მოთავსებულია ბიჯურ მექანიზმზე და გადაადგილდება ობიექტის ამოსაკითხი ველის გასწვრივ [65]. მატრიცაში განლაგებული ელემენტები ამოსაკითხი ობიექტიდან არეკლილი სინათლის ინტენსივობას გარდაქმნიან ანალოგური ფორმის ელექტრულ სიგნალში, რომელიც ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის საშუალებით გადადის უნიფიცირებულ სახეში გამომთვლელ სისტემასთან დაკავშირების მიზნით [32, 77, 81].

ოპტიკური სკანერის საფუძველზე შექმნილი ავტომატური დამოწმების სისტემაში სკანერის საშუალებით ადვილად ხორციელდება დამოწმების ოპერაცია სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდით, ხოლო დინამიური რეჟიმის რეალიზაციისათვის შეთავსების მეთოდით ხელსაწყოს ჩვენების განსაზღვრისათვის საჭიროა სკანერის გადაადგილების სინქრონიზება სანიმუშო სიგნალის ცვლილებასთან კავშირში [64].

1.1.1. საათის ტიპის ინდიკატორების სკალის გამოსახულების ავტომატური ამოკითხვის მეთოდების განხილვა

ანალოგური ხელსაწყოების ძირითადი მეტროლოგიური მახასიათებელია ხელსაწყოს ცდომილების ჩვენების ვარიაცია, მექანიკურ ნოლთან დაუბრუნებლობა, მაჩვენებლის გადავარდნა, მაჩვენებლის გაქანება, ჩვენების დამყარების დრო, ხელსაწყოს გადახრით გამოწვეული ცდომილება და ტემპერატურის გავლენა [4].

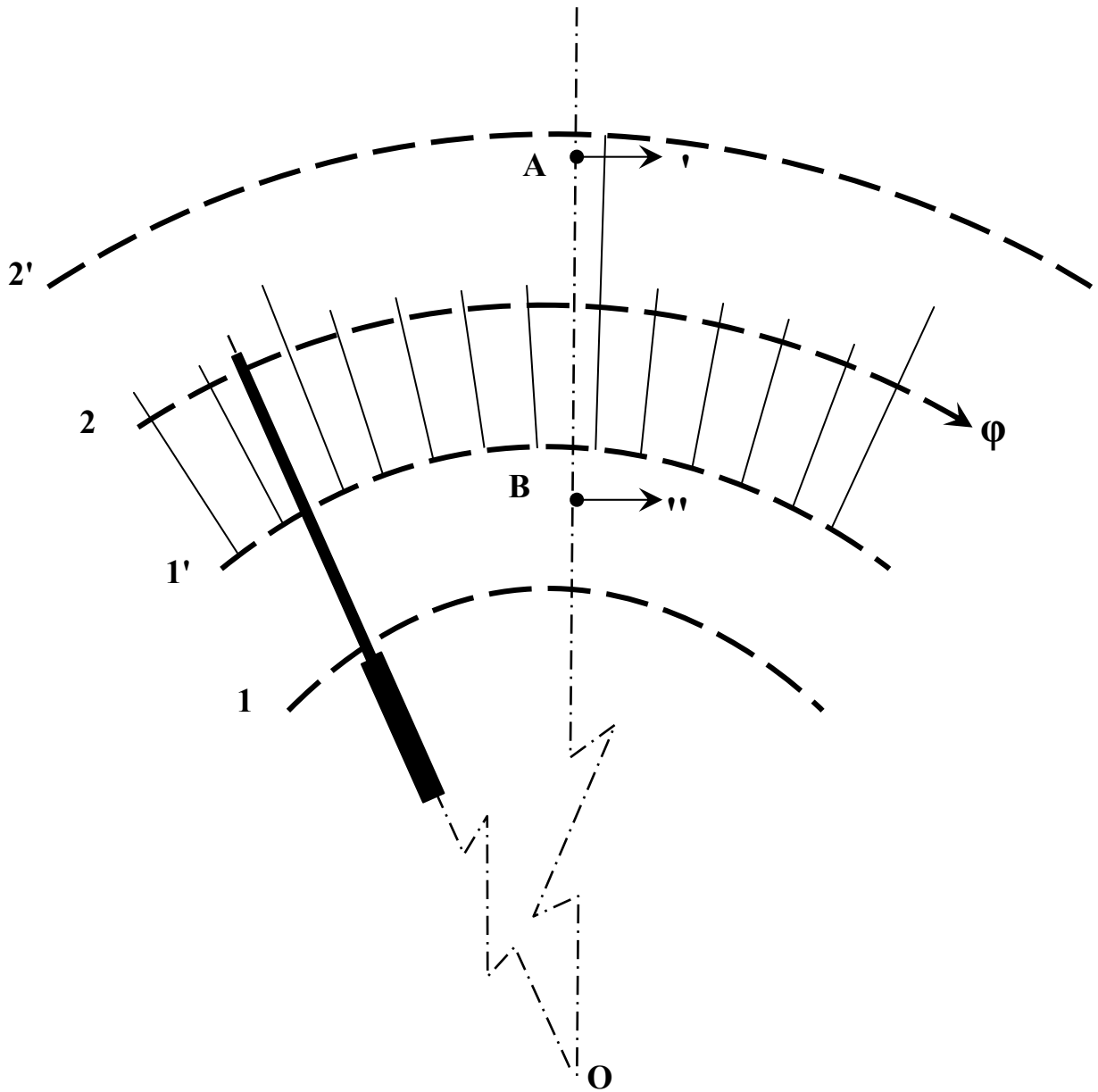
დამოწმების პროცესში ხელსაწყოს მაჩვენებლის სკალის სამოწმებელ ნიშნულთან მდებარეობის შესახებ ინფორმაციის მიღების სახეები იყოფა სამ: ერთარხიან, ორარხიან და მრავალარხიან მეთოდებად (იხ.ნახ.1.7).

ერთარხიანი მეთოდით ჩვენების ამოკითხვა ხორციელდება სკალაზე მაჩვენებლის და ნიშნულის საერთო ნაწილიდან. ეს მეთოდი ერთადერთია მაჩვენებლიანი ხელსაწყოებისათვის, რომლებშიც მაჩვენებლისა და ნიშნულების ველი ერთმანეთს მთლიანად ფარავს. ერთარხიანი მეთოდი მისაღებია აგრეთვე იმ ხელსაწყოებისათვის, რომელთა მაჩვენებელი ნაწილობრივ ფარავს სკალას (ნახ.1.7-ზე, ველი $1' - 2$), ან რომელთა მაჩვენებლის ბოლო სკალის პატარა ნიშნულებს ფარავს მათი სიგრძის 0.3-0.8 ნაწილით.

ერთარხიანი გარდაქმნის თავისებურება ის არის, რომ მხედველობის არეში ყოველთვის გვაქვს ორი ობიექტი - მაჩვენებელი და ნიშნული. როცა ვიყენებთ ოპტიკურ სკანერს, რომელიც გაცილებით ზუსტია, უნდა გამოვიყენოთ წრფივი სკანირების რეჟიმი, რომლის დროსაც ობიექტებს შორის წრფივი დაშორება გარდაიქმნება გამოსასვლელ იმპულსურ სიგნალთა შესაბამის პროპორციულ დროით ინტერვალებში.

ეს მეთოდი საშუალებას გვამლევს შედარებით მარტივად განვსაზღვროთ ხელსაწყოს ჩვენება, როცა მაჩვენებელი იმყოფება სკალის ორ ნიშნულს შორის.

სირთულე იქმნება იმ მომენტში, როცა მაჩვენებლისა და სკალის ნიშნულის სიმეტრიის ღერძთა თანხვედრა ხდება. ერთარხიანი მეთოდის გამოყენებისას არ ხდება ამ მომენტის უშუალო რეგისტრაცია და საჭირო ხდება ერთ-ერთი ირიბი მეთოდით სარგებლობა.



ნახ. 1.7 სკალის გამოსახულების სკანირების ტრაექტორიის მიმართულება
მაჩვენებლიან ხელსაწყოებში

1-1'-მაჩვენებლის მდებარეობის განსაზღვრის ველი; 1'-2 ნიშნულების და
მაჩვენებლის საერთო ველი; 2-2'- სკალის ნიშნულების ამოკითხვის ველი.

თუკი შეთავსების რეგისტრაციის სიზუსტისადმი მოთხოვნა დიდი არ არის, მაშინ შეიძლება გამოვიყენოთ მეთოდი, რომლის მიხედვითაც უნდა დარეგისტრირდეს მაჩვენებლის შეთავსება სკალის ნიშნულთან. ამ მეთოდის გამოყენება წარმოქმნის სისტემატურ ცდომილებას, რომელიც გამოწვეულია მაჩვენებლისა და ნიშნულის სიგანეთა განსხვავებით და ტოლია მათი

ნახევარსხვაობისა.

რეგისტრაციის სიზუსტე შეიძლება ავამაღლოთ, თუკი გამოვიყენებთ მაჩვენებლის მოძრაობის ექსტრაპოლაციის მეთოდს, რასაც მივყევართ მოწყობილობის გართულებასთან, ვინაიდან დამატებით მოწმდება მაჩვენებლის ნიშნულთან მიახლოების სიჩქარე.

ზემოთ განხილული ერთარხიანი მეთოდების საერთო ნაკლია ის, რომ ამომკითხავი თავაკი წინასწარ უნდა შევიდეს მაჩვენებლის მდებარეობის არეში, შემდეგ კი მაჩვენებელი ზუსტად მივიდეს სამოწმებელ ნიშნულამდე. ასეთი ორსაფეხუროვანი დამოწმების რეჟიმი მოითხოვს დიდ დროს, რის გამოც მცირდება მწარმოებლობის დონე. მაგალითისათვის, "ИЧ-10" ტიპის მიკრომეტრისათვის 0.1 მმ უბანზე შესამოწმებელი ნიშნულების რაოდენობა პირდაპირი (ან უკუ) მიმართულებით საზომი ღეროს გადაადგილებისას აღწევს 500 ერთეულამდე.

სკალის გამოსახულების ამოკითხვის ორარხიან სისტემებში ხორციელდება მაჩვენებლისა და ნიშნულის ოპტიკური გამოსახულების სივრცული გამოყოფა. რისთვისაც ამომკითხავი მოწყობილობა ითავსებს ორ: სკალის ნიშნულებისა (ველი 2-2' ნახ. 1.7) და მაჩვენებლის მდებარეობის (ველი 1-1' ნახ.1.7) დადგინის ფუნქციას.

არხების დაყოფის ხარჯზე შესაძლებელი ხდება მაჩვენებლისა და სკალის ნიშნულების სიმეტრიის ღერძების შეთავსების მომენტების რეგისტრაცია, რაც ამარტივებს ამომკითხავი მოწყობილობის მიერ მიღებული ინფორმაციის ანალიზს.

ორარხიანი სისტემის უარყოფითი მხარეა ექსცენტრისიტეტის ცდომილება, რომელიც წარმოიქმნება როცა მოწყობილობის ორი ოპტიკური არხის ხედვის ცენტრების შემაერთებელი ამომკითხავი ზოლი (ნახ.1.7-ზე AB წრფე) არაა სკალის სიბრტყის პარალელური და არ გადის ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის ბრუნვის ცენტრზე. უარყოფითია ისიც, რომ ნიშნულების სიგრძე ამოკითხვის არეში (ნახ.1.7, უბანი 2-2') უმნიშვნელოა, რაც ამცირებს სიგნალ-ხმაურის ფარდობას და ზრდის ცდომილებას.

სკალიდან მონაცემთა ამოკითხვის მრავალარხიან მოწყობილობებში გამოიყენება უძრავად ფიქსირებული ოპტიკო-ელექტრული გარდამქმნელები, რომელთა რაოდენობა, როგორც წესი სკალის სამოწმებელი ნიშნულების რაოდენობის ტოლია. საზომი ხელსაწყოს მაჩვენებელსა და ნიშნულებს შორის ურთიერთმდებარეობის

შესახებ ინფორმაციის მისაღებად, გარდამქნელებს ათავსებენ სკალის სამოწმებელი ნიშნულების მოპირდაპირედ მაჩვენებლის ველზე (ნახ.1.7, უბანი 1–1).

მრავალარხიან დამოწმების სისტემას გააჩნია იგივე ნაკლი რაც ორარხიანს, რაც მდგომარეობს ექსცენტრისიტეტის ცდომილების არსებობაში.

1.2. დინამიკურ რეჟიმში სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდების ანალიზი

ჩვენების ოპტიკური ამოკითხვისას ინფორმაცია მაჩვენებლის და ნიშნულის მდებარეობის შესახებ განისაზღვრება ხელსაწყოს საინდიკაციო ნაწილიდან. დინამიკურ რეჟიმში დამოწმებისას მაჩვენებელი ამოკითხვის პროცესში უწვეტად გადაადგილდება. ამიტომ დამოწმების მეთოდების რეალიზაცია განსხვავებულია სტატიკურ რეჟიმში დამოწმების რეალიზაციისაგან. განვიხილოთ დინამიკურ რეჟიმში ძირითადი მეთოდების განხორციელების თავისებურებანი სკალის გამოსახულების ოპტიკური ამოკითხვისას.

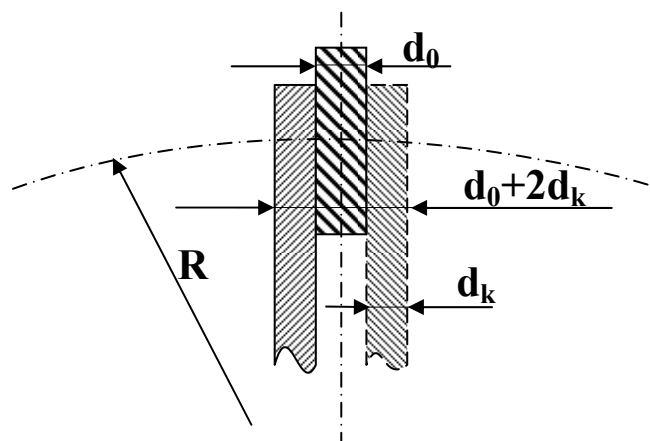
სკალაზე მაჩვენებლის მოძრაობის ხასიათი დამოკიდებულია ხელსაწყოს ცდომილებაზე და წინასწარ ცნობილი არ არის, ამიტომ ერთ-ერთი მეთოდით [8] ავტომატური დამოწმებისას τ დროის ინტერვალში შესამოწმებელ დანაყოფთან მაჩვენებლის შეთავსების პროცესის ამოკითხვა უნდა შესრულდეს K -ჯერ. დროის ეს შუალედი იმდენჯერ ნაკლები უნდა იყოს ხელსაწყოს შესასვლელზე სიგნალის 0-დან X_N^* სიდიდემდე ცვლილების T_N დროზე, რამდენჯერაც დანაყოფის d_0 სიგანის ჯამი გაორმაგებული მაჩვენებლის d_k სიგანესთან მცირეა დანაყოფების შუა წერტილებში გამავალი R რადიუსიანი და a_N^* ცენტრალურ კუთხიანი რკალის სიგრძეზე (იხ.ნახ.1.8):

$$\tau = \frac{d_0 + 2d_c}{KR} \frac{X_N^*}{Sa_N^*} \quad (2.1.1)$$

აქედან გამომდინარე მაჩვენებლის სამოწმებელ ნიშნულთან შეთავსების პროცესის ამოკითხვის ოპერაცია უნდა შესრულდეს რამდენჯერმე, რაც მოითხოვს

დიდი მოცულობის ინფორმაციის დამუშავებას და შესაბამისად ზრდის დამოწმების პროცესის ხანგრძლივობას.

მაგალითად, ელექტრომაგნიტური ხელსაწყოებისათვის ($d_0=6\times 10^{-4}$ მ; $d_k=5\times 10^{-4}$ მ; $R=4\times 10^{-4}$ მ; $d_N^* = \pi/2$ რადიანი), როცა $T_N = 60$ წმ-ს შეთავსების ხანგრძლივობა $\tau=0,5$ წამია. მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების მომენტის საკმარისი სიზუსტით დასაფიქსირებლად ამოკითხვის პროცესი უნდა შესრულდეს რამდენიმე ასეულჯერ. მაღალი ხარისხის გამოსახულების მისაღებად მისი ფორმირება უნდა განხორციელდეს ბევრად ნაკლებ დროში. ამიტომ გამოსახულების ასეთი დიდი მოცულობის ინფორმაციის დამუშავება შეუძლებელია შესრულდეს მოთხოვნილი სიჩქარით. აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია სკანირების სიჩქარის შემცირებით, რისთვისაც ვიყენებთ ოპტიკურ-ელექტრულ მოწყობილობას სკალის გასწვრივ ამომკითხავი მოწყობილობის მექანიკური გადაადგილებით [26].



ნახ.1.8 მაჩვენებლისა და ნიშნულის შეთავსების ხანგრძლივობის გრაფიკული გამოსახვა

ხელსაწყო დამოწმება დინამიკურ რეჟიმში შესაძლებელია განვახორციელოთ სამოწმებელი ნიშნულების რაოდენობის შესაბამისად და სკალის მიხედვით ცდომილების ათვლის მეთოდით.

სკალის მიხედვით ცდომილების ათვლის მეთოდის რეალიზაციისათვის საჭიროა ამოკითხვის ოპერაცია განვახორციელოთ ხელსაწყო შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის მნიშვნელობის სამოწმებელი ნიშნულის ნომინალთან ტოლობისას. თანაბრად

გრადიური და N რაოდენობის ნიშნულების მქონე ხელსაწყოს დამოწმება უნდა განხორციელდეს τ ინტერვალებით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\tau = \frac{X_N^*}{NS} \quad (1.2.2)$$

არათანაბარი გრადიურების შემთხვევაში დამოწმება დინამიკურ რეჟიმში შეიძლება განხორციელდეს ორი მიმართულებით:

1. დამოწმების პროცესში სკალის ჩვენების ამოკითხვებს შორის მუდმივი τ ინტერვალის შენარჩუნებით.

ამ შემთხვევაში (თუ ხელსაწყოს ცდომილება ყველა სამოწმებელ წერტილებში ერთნაირია) მაჩვენებელმა τ დროის ინტერვალში უნდა გაიაროს მანძილი წინა და მომდევნო ნიშნულებს შორის, ხოლო მისი მოძრაობის სიჩქარე ω_κ ტოლი იქნება:

$$\omega_\kappa = \frac{\alpha_\kappa^* - \alpha_{\kappa-1}^*}{\tau} \quad (1.2.3)$$

დამოწმების პროცესში მაჩვენებლის გადაადგილებისათვის საჭირო სიჩქარის უზრუნველყოფისათვის უნდა მოვახდინოთ შესასვლელი დინამიკური სიგნალის ვარირება [67]. შესასვლელი დინამიკური სიგნალის ცვლილების სიჩქარე K ციკლში განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_K = \frac{X_K^* - X_{K-1}^*}{\tau} \quad (1.2.4)$$

სადაც X_K^* , X_{K-1}^* - მიმდინარე და წინა სამოწმებელი ნიშნულების ნომინალებია.

2. დამოწმების პროცესში ხელსაწყოს შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის ცვლილების მუდმივი სიჩქარის შენარჩუნებით.

ამ შემთხვევაში სკალის უთანაბრო გრადიურებისას ჩვენების ამოკითხვა უნდა განხორციელდეს $\tau_0, \tau_1 \dots \tau_N$ ინტერვალებით, რომლებიც გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$\tau_K = \frac{T_N (X_{K-1}^* - X_K^*)}{X_N^*} \quad (1.2.5)$$

ნორმატივების მიხედვით ხელსაწყოს დამოწმება უნდა განხორციელდეს სკალის განსაზღვრულ წერტილებში. უმეტესი ხელსაწყოებისათვის ეს წერტილები სკალის

ძირითადი ნიშნულება. ცხადია, რომ ამ შემთხვევაში ცდომილების პირდაპირი განსაზღვრა უნდა განხორციელდეს შეთავსების მომენტების რეგისტრაციით.

აღნიშნული მეთოდი შედარებით ზუსტია და გამოიყენება მაღალი კლასის დამოწმების სისტემების შესაქმნელად [36].

საზომი ხელსაწყოების ფარდობითი ცდომილების დადგენაზე მოქმედებს ცდომილების ნორმირების განსაზღვრის მეთოდი. უმეტესად საზომი სიდიდეების მანორმირებელ მნიშვნელობად გამოიყენება გაზომვის დიაპაზონის X_N^* ზედა საზღვარი [37, 6], როდესაც სკალის მიხედვით ცდომილების განსაზღვრის მეთოდის გამოყენებით დასამოწმებელი ხელსაწყოს საკუთარი აბსოლუტური ცდომილების მნიშვნელობა იზომება კუთხურ სიდიდეში. აქედან გამომდინარე, სასურველია მანორმირებელ მნიშვნელობად მივიღოთ ხელსაწყოს სკალის ჩვენების შესაბამისი ერთეული.

ფარდობითი ცდომილების γ_k მაღალი სიზუსტით განსაზღვრისათვის საჭიროა კუთხური ცდომილება $\Delta\alpha_k$ დავაკავშიროთ სკალის იმ დანაყოფის α_k^* კუთხურ მნიშვნელობასთან სადაც დაფიქსირდა მაჩვენებელი [26]. მაშინ ფარდობითი ცდომილება ტოლი იქნება:

$$\gamma_k = V_k \frac{\Delta\alpha_k}{\alpha_k^* + \Delta\alpha_k}, \text{ როცა } \Delta\alpha_k < 0 \quad (1.2.6)$$

$$\gamma_k = V_{k+1} \frac{\Delta\alpha_k}{\alpha_k^* + \Delta\alpha_k}, \text{ როცა } \Delta\alpha_k > 0 \quad (1.2.7)$$

სკალის დანაყოფის ფასის ფარდობითი ცდომილება ამ შემთხვევაში ტოლია:

$$V_k = \frac{\Delta X_k^*}{X_N^*} \times 100\% \quad (1.2.8)$$

სადაც X_N^* - სკალის დანაყოფის ფასია.

ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრის სიზუსტის შემცირებამ, როდესაც მანორმირებელ მნიშვნელობად მიღებულია რომელიმე კუთხური სიდიდე (α_k^* ან α_N^*), მოითხოვს ავტომატური დამოწმების ახალ მეთოდების დამუშავებას, რომლის მიხედვითაც სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდით ადგენენ მაჩვენებლის დასამოწმებელ ნიშნულთან შეთავსების მომენტს.

ნაშრომში [23] შეთავსების მომენტის განსაზღვრისათვის გამოთვლიან საშუალო არითმეტიკულს მაჩვენებლის სიმეტრიული მდებარეობისა დასამოწმებელი ნიშნულის მიმართ. ამ მეთოდით გამოირიცხება სისტემური ცდომილება ნიშნის მიხედვით კომპენსაციის გზით. მეთოდის რეალიზაცია (ნიშნულამდე და ნიშნულის შემდეგ მაჩვენებლის თანაბარი მდებარეობის განსაზღვრა), როდესაც უცნობია მაჩვენებლის მოძრაობის ხასიათი, წარმოადგენს გარკვეულ სირთულეს და მოითხოვს ჩვენების ამოკითხვის მაღალ სიზშირეს. რეალიზაციის თვალსაზრისით მარტივია მეთოდი [26], რომლითაც მაჩვენებლის შეთავსების დროის t_K^* მომენტი K ნიშნულთან განისაზღვრება ფორმულით:

$$t_K^* = t_K - \frac{\Delta a_K}{da_K} \tau_K \quad (1.2.9)$$

სადაც t_K - დამოწმების K ციკლში ჩვენების ამოკითხვის მომენტი;

$\Delta a_K - t_K$ დროის მომენტში მაჩვენებელსა და K ნიშნულს შორის მანძილია;

da_K - ორი მომდევნო ამოკითხვით τ_K დროში განსაზღვრული მაჩვენებლის მდებარეობებს შორის მანძილია:

$$da_K = \Delta a_K - \Delta a_{K-1} \quad (1.2.10)$$

ამ მეთოდის უპირატესობაა, რომ არ არის აუცილებელი სკალის ზუსტად განსაზღვრულ უბანში მაჩვენებლის მდებარეობის ამოკითხვა.

აღნიშნულ მეთოდებში მაჩვენებლის მოძრაობის სიჩქარე განხილულ დროის ინტერვალში ითვლება მუდმივად და მაჩვენებლის მოძრაობა აღიწერება პირველი რიგის პოლინომით $P_1(t)$

$$a_c = At + b, \quad \text{როცა } t \in \tau_K \quad (1.2.11)$$

სადაც A - კოეფიციენტი მაჩვენებლის მოძრაობის სიჩქარეა

$$A = \omega_c = \frac{da_K}{\tau_K} = const \quad (1.2.12)$$

ცხადია, რომ ეს პირობა ყოველთვის არ სრულდება, რაც გამოწვეულია სკალის გრადუირების არაწრფივი მახასიათებლით და ხელსაწყოს ცდომილების არაწრფივობით. ამიტომ გამოთვლების შედეგებში აუცილებლად იქნება მეთოდური ცდომილება, რომელიც ამცირებს საერთო სიზუსტეს.

ცნობილია, რომ ხელსაწყოს გრადუირების მახასიათებელი საკმარისი სიზუსტით აპროქსიმირდება მაღალი რიგის პოლინომით. ასევე ცნობილია ავტომატური დამოწმებისას ამ მეთოდის [35,74,76] ეფექტურობა. რადგან ცდომილების სიდიდე ბევრად მცირეა ნიშნულის კუთხური მდებარეობის სიდიდეზე $\Delta a_K \ll a_K^*$, ამიტომ დინამიკური შესასვლელი სიგნალის ზემოქმედების შედეგად მაჩვენებლის გადაადგილება შეიძლება აპროქსიმირდეს მაღალი რიგის პოლინომით N სამოწმებელ წერტილებში გაზომვის შედეგების მიხედვით. აქედან გამომდინარე შეიძლება, რომ მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების მომენტის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ ინტერპოლაციის მეთოდი.

ხელსაწყოს შესასვლელზე უწყვეტი დინამიკური სიგნალის მიწოდების შედეგად მაჩვენებელი ასევე უწყვეტად გადაადგილდება სკალის გასწვრივ. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ხელსაწყო წარმოადგენს ანალოგურ საზომ საშუალებას და ხასიათდება მაჩვენებლის უწყვეტი მიდევნებით შესასვლელ დინამიკურ სიგნალთან მიმართებაში. ამრიგად, ფუნქცია $a_C = f(t)$ უწყვეტია და შეიძლება მისი წარმოდგენა პოლინომის სახით.

დამოწმებისას ხელსაწყოს შესასვლელზე აწოდებენ ცნობილი კანონით უწყვეტ X სიგნალს და ამოკითხავენ ხელსაწყოს ჩვენებას t_K დროის მომენტებში. ამრიგად, შესასვლელზე წრფივად ზრდადი სიგნალის 0-დან X_N^* -მე ცვლილების პერიოდში ხორციელდება ჩვენების ამოკითხვა და მისი განსაზღვრა m -ჯერ:

$$t_1, t_2, \dots, t_K, \dots, t_m \quad (1.2.13)$$

ნორმატიული დოკუმენტების მიხედვით საზომი ხელსაწყოების დამოწმებისას [38] ცდომილება უნდა განისაზღვროს ყველა გამოსაკვლევ წერტილში, რომელთა რაოდენობა განისაზღვრება ტექნიკური პირობებით და განსხვავებულია სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოებისათვის რაოდენობისა და სკალაზე მათი მდებარეობის მიხედვით. ამ მოთხოვნების გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ სამოწმებელი წერტილების რაოდენობა ტოლია ციფრირებული ნიშნულების რაოდენობისა ($m = N$).

დამოწმების პროცესში სკალის გამოსახულების ანალიზით ვპოულობთ მაჩვენებლის კუთხურ მდებარეობებს t_K^* დროის მომენტებში:

$$a_{c1}, a_{c2}, \dots a_{cK}, \dots a_{cN} \quad (1.2.14)$$

პოლინომის შესადგენად ვიყენებთ საწყის მონაცემებს, რომლებიც მიღებულია მაჩვენებლის მდებარეობის (1.3.14) დამოკიდებულებით დროსთან (1.3.13).

გამოკვლევის შედეგები [54] გვიჩვენებს, რომ აპროქსიმაციის ამოცანის გადასაწყვეტად ყველაზე მეტად მისაღებია სპლაინ-ინტერპოლაციის [39, 61, 62] მეთოდი, რომელმაც ფართო გავრცელება ჰპოვა ტექნიკურ დარგებში.

ამრიგად, $[0 \dots t_M]$ ინტერვალზე $a_C = f(t)$ უწყვეტი ფუნქცია შედარებით მაღალი სიზუსტით გამოისახება მესამე რიგის სპლაინ-პოლინომით:

$$a_C = P_3(t) \quad (1.2.15)$$

თუ $P_3(t)$ -ში შევიტანთ (1.3.13) და (1.3.14) მნიშვნელობებს სპლაინ-პოლინომის შედგენის ცნობილი ალგორითმით, მაშინ მიღებული დამოკიდებულებით შესამოწმებელი ნიშნულების კუთხური მდებარეობისათვის a_K^* , ვპოულობთ დროის t_K^* მნიშვნელობებს:

$$t_1^*, t_2^*, t_K^* \dots t_N^* \quad (1.2.16)$$

რისთვისაც მართებულია ტოლობა:

$$P_3(t) = a_K^* \quad (1.2.17)$$

(1.3.16) მწკრივის t_K^* მომენტები წარმოადგენს დამოწმების პროცესში მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების საძიებელ დროით მნიშვნელობას, ხოლო შესასვლელზე სიგნალის ცვლილების კანონით ვპოულობთ საზომი X_K სიგნალის ჭეშმარიტ სიდიდეებს (1.3.17) დროით მომენტებში. X_K^* შესამოწმებელი ნიშნულის განსაზღვრის აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta_K = X(t_K) - X_K^* \quad (1.2.18)$$

ამ მეთოდს გააჩნია შემდეგი უპირატესობები:

- ა) კუთხური სიდიდის Δa_K ნორმირება ხორციელდება ცდომილების გარეშე;

ბ) საშუალებას იძლევა განხორციელდეს დამოწმება გაზომვის მთლიან დიაპაზონში შესასვლელი სიგნალის მუდმივი სიჩქარით ცვლილებისას ხელსაწყოებისათვის არაწრფივი გრადუირების მახასიათებლებით.

აღნიშნული მეთოდი შევადაროთ ანალოგიურ მეთოდს, რომელიც გათვალისწინებულია ავტომატური დამოწმებისათვის დინამიკურ რეჟიმში და ხორციელდება ხელსაწყოს მაჩვენებლის გადაადგილების სიჩქარის შეთანხმებით სკალის სკანირების სიჩქარესთან [67]. ეს მეთოდი დაფუძნებულია ხელსაწყოს შესასვლელზე სიჩქარის ცვლილების (ფაქტიურად მაჩვენებლის გადაადგილების სიჩქარე) და სკალის გამოსახულების ამოკითხვის სიჩქარის შეთანხმებაზე, ორიენტირებულია ავტომატური დამოწმების სისტემაში ოპტიკურ-ელექტრული სკანერის გამოყენებაზე. ამ მეთოდის ძირითადი ამოცანა იყო შეემცირებინა სკანირების სიჩქარე, რაც მნიშვნელოვანია სკალის გასწვრივ ამომკითხავი მოწყობილობის მექანიკური გადაადგილებისას.

N რაოდენობის ნიშნულით თანაბრად გრადუირებული a_N^* კუთხიანი სკალის შემთხვევაში, როცა მაჩვენებლის ამოკითხვა ხორციელდება ხელსაწყოს შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის შესამოწმებელი ნიშნულის ნომინალთან ტოლობისას, მაშინ ანათვლებს შორის დროითი შუალედი გამოითვლება ფორმულით (ვთვლით, რომ ხელსაწყოს საკუთარი ცდომილება არ გააჩნია):

$$\tau = \frac{a_N^*}{N\omega_c} \quad (1.2.19)$$

ამომკითხავმა მოწყობილობამ უნდა შეასრულოს სკანირების სრული ციკლი, ე.ი. უნდა გაიაროს $\left((2\pi + a_N^*) / N \right)$ რადიანი კუთხური მანძილი. ამ შემთხვევაში სკანირების დრო განისაზღვრება:

$$\tau = \frac{2\pi N + a_N^*}{\omega N} \quad (1.2.20)$$

თუ ერთმანეთს გავუტოლებთ (1.3.19) და (1.3.20) განტოლებებს, მივიღებთ საძიებელ დამოკიდებულებას ω და ω_c -ს შორის:

$$\omega = \omega_c (2\pi N + a_N^* + 1) \quad (1.2.21)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ:

$$\omega_c = \frac{a_N^*}{T_N}, \text{ ხოლო } S = \frac{X_N^*}{T_N} \quad (1.2.22)$$

მივიღებთ:

$$\omega = \frac{S a_N^*}{X_N^*} (2\pi N + a_N^* + 1) \quad (1.2.23)$$

(1.3.23) დამოკიდებულების რეალიზაციისას ხელსაწყოს ცდომილება K -ურ სამოწმებელ ნიშნულზე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta a_K = \omega \left(\tau'_K - \frac{a_N^*}{N\omega_c} \right) \quad (1.2.24)$$

სადაც τ'_K - დამოწმების პროცესში $K-1$ -დან K ნიშნულამდე მაჩვენებლის მდებარეობებს შორის სკანირების ციკლის ხანგრძლივობაა.

იმ შემთხვევაში, როცა ხელსაწყოს გრადიურების მახასიათებელი არაწრფივია, დამოწმების განსახორციელებლად მუდმივი სიჩქარით ($\omega = const$) სკანირებისას საჭიროა ვიცოდეთ სკალაზე სამოწმებელი ნიშნულების კუთხური მდებარეობა. თუ ცნობილია ნებისმიერ $K-1$ და K სამოწმებელ ნიშნულებს შორის კუთხის მნიშვნელობა, მაშინ K -ური ციკლის სკანირების ხანგრძლივობა (ამომკითხავი მოწყობილობა $(K-1)$ -დან K -მდე გაივლის $(2\pi + a_N^*)$ რადიანს) განისაზღვრება:

$$\tau_K = \frac{2\pi + a_K^*}{\omega} \quad (1.2.25)$$

მაჩვენებელმა τ_K დროში უნდა გაიაროს a_K^* კუთხური მანძილი, კუთხური სიჩქარით:

$$\omega_{cK} = \frac{a_K^*}{\tau_K} \quad (1.2.26)$$

შესაბამისად, ამ ციკლში დასამოწმებელი ხელსაწყოს შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის ცლილების სიჩქარე განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$S_K = \frac{X_{K-1}^* - X_K^*}{\tau_K} \quad (1.2.27)$$

ამრიგად, მოცემული შესასვლელი დინამიკური სიგნალის S_K სიჩქარით ცვლილებისას, მაჩვენებლის $K-1$ და K ნიშნულებს შორის ω_{cK} სიჩქარით გადაადგილდება. ხოლო, სკანირება ω სიჩქარით უნდა განხორციელდეს τ_K დროის (1.3.25) ინტერვალში. როდესაც დასამოწმებელ ხელსაწყოს გააჩნია ცდომილება, მაშინ მაჩვენებლის τ_K დროში კუთხური გადაადგილება განსხვავებული იქნება a_K^* მნიშვნელობიდან Δa_K სიდიდით. რადგან Δa_K წარმოადგენს აბსოლუტურ ცდომილებას, ამიტომ ამოკითხვა შესრულდება τ_K -დან განსხვავებული τ'_K დროის ინტერვალის შემდეგ. საძიებელი ცდომილების სიდიდე პროპორციულია τ'_K და τ_K სიდიდეების სხვაობის და ტოლია:

$$\Delta a_K = \omega(\tau'_K - \tau_K) \quad (1.2.28)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ τ'_K დროის ინტერვალი განისაზღვრება $K-1$ ნიშნულთან მაჩვენებლის მდებარეობის ამოკითხვის t'_{K-1} (Δa_{K-1} ცდომილება $K-1$ შესამოწმებელი ნიშნულის მიმართ) და K ნიშნულთან მაჩვენებლის მდებარეობის ამოკითხვის (Δa_K ცდომილება K ნიშნულის მიმართ) t'_K მომენტების შუალედით, მაშინ ცდომილება Δa_K -ტოლი იქნება:

$$\Delta a_K = \omega(\tau'_K - \tau_K) - \Delta a_{K-1} \quad (1.2.29)$$

საერთო ჯამში, ხელსაწყო სკალის მუდმივი სიჩქარით სკანირებისას აუცილებელია დამოწმების K -ურ ციკლში ხელსაწყო შესასვლელს მივაწოდოთ S_K სიჩქარით ცვლადი სიგნალი:

$$S_K = \frac{\omega(X_{k-1}^* - X_K^*)}{2\pi + a_K^*} \quad (1.2.30)$$

მაშინ, კუთხურ ერთეულში გამოსახული Δa_K ცდომილება K -ურ დასამოწმებელ ნიშნულთან განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\Delta a_K = \frac{\omega \cdot a_K^*}{2\pi + a_K^*} \tau'_K - a_K^* - \Delta a_{K-1} \quad (1.2.31)$$

აღნიშნულ მეთოდში $\Delta a_K = 0$ დაშვებას, როდესაც მაჩვენებლის მდებარეობის ამოკითხვა ხორციელდება შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის სიდიდის ტოლობისას

დასამოწმებელი ნიშნულის ნომინალთან, მივყავართ შემთხვევამდე: თუ $\Delta a_K \neq 0$, მაშინ (1.3.31)-ით გამოთვლილი მნიშვნელობა რეალურისაგან განსხვავებული იქნება $\Delta a_K^{\text{მეთ}}$ მეთოდური ცდომილების სიდიდით. ვინაიდან მაჩვენებლის ამოკითხვის t'_K დროის მომენტში ხელსაწყოს შესასვლელზე დინამიკური სიგნალის სიდიდე განსხვავებულია X_K^* მნიშვნელობიდან და მას აღწევს მხოლოდ $\Delta \tau_K^{\text{მეთ}}$ ინტერვალის შემდეგ, მაშინ:

$$\Delta \tau_K^{\text{მეთ}} = \tau'_K - \tau_K \quad (1.2.32)$$

$\Delta \tau_K^{\text{მეთ}}$ დროის პერიოდში მაჩვენებელი გადაადგილდება $\Delta a_K^{\text{მეთ}}$ კუთხური სიდიდით და საკუთარი $\Delta a_K^{\text{კორ}}$ ცდომილება $\Delta a_K^{\text{მეთ}}$ -ის გათვალისწინებით იქნება:

$$\Delta a_K^{\text{კორ}} = \Delta a_K - \Delta a_K^{\text{მეთ}} \quad (1.2.33)$$

მეთოდური ცდომილება $\Delta a_K^{\text{მეთ}}$ განისაზღვრება $\Delta \tau_K^{\text{მეთ}}$ ინტერვალის ხანგრძლივობით და $\Delta \tau_K^{\text{მეთ}}$ დროში გადაადგილების $\omega_K^{\text{მეთ}}$ სიჩქარით:

$$\Delta a_K^{\text{მეთ}} = \omega_K^{\text{მეთ}} \Delta \tau_K^{\text{მეთ}}, \quad (1.2.34)$$

$\Delta \tau_K^{\text{მეთ}}$ ინტერვალის ხანგრძლივობა განისაზღვრება (1.3.33) გამოსახულებით, ხოლო $\omega_K^{\text{მეთ}}$ შეიძლება გამოვთვალოთ მაჩვენებლის K ან $K+1$ ციკლში გადაადგილების საშუალო სიჩქარით:

$$\omega_K^{\text{მეთ}} = \frac{a_K^* - \Delta a_{K-1} + \Delta a_K}{\tau'_K}, \text{ როცა } \tau'_K < \tau_K \quad (1.2.35)$$

$$\omega_K^{\text{მეთ}} = \frac{a_{K+1}^* - \Delta a_K + \Delta a_{K+1}}{\tau'_{K+1}}, \text{ როცა } \tau'_K > \tau_K \quad (1.2.36)$$

ამრიგად, აღნიშნული მეთოდის რეალიზაციისათვის საჭიროა (1.2.33), (1.2.34), (1.2.35) და (1.2.36) გამოსახულებებიდან გამოვთვალოთ $\Delta a_K^{\text{მეთ}}$ მეთოდური ცდომილება თითოეულ საკონტროლო წერტილში და გამოსახულების (1.2.33) მიხედვით შევიტანოთ შესწორება.

მეთოდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს არათანაბარი გრადუირების მახასიათებლიანი ხელსაწყოების დამოწმებისას შესასვლელი სიგნალის ცვლილების სიჩქარის შეთანხმება სამოწმებელ მაჩვენებლებს შორის ინტერვალის მიმართ.

ავტომატური დამოწმებისას დინამიკურ რეჟიმში ხელსაწყოს სკალის ხარისხიანი გამოსახულების მისაღებად საჭიროა ოპტიკური ამოკითხვის ოპერაცია განხორციელდეს რაც შეიძლება მცირე დროში. ეს კი შესაძლებელია ვიდეოკამერის ან მატრიცული ოპტიკური სკანერის გამოყენებით.

1.3. სანიმუშო სიგნალის წყაროების და ამომკითხავი მოწყობილობების ტექნიკური პარამეტრები

ხელსაწყოს შესასვლელზე მისაწოდებელი სანიმუშო სიგნალების წყაროებიდან ყველაზე ხშირად კალიბრატორები (სურ.1.9) გამოიყენება. ისინი ხასიათდებიან მაღალი მეტროლოგიური და საექსპლუატაციო მახასიათებლებით. შეუძლიათ იმუშაონ როგორც ხელის, ასევე ავტომატური, დისტანციური და პროგრამული მართვის რეჟიმებში, აღნიშნული ხელსაწყოები უზრუნველყოფენ გამომავალი პარამეტრების სიზუსტეს და მათი ცვლილების ფართო დიაპაზონს.

დამოწმების ავტომატიზირებულ სისტემებთან კალიბრატორების დაკავშირება ხორციელდება RS-232C მიმდევრობითი ტიპის ინტერფეისის საშუალებით. უნივერსალური H4-6, H4-7, H4-11 და ა.შ. სერიის კალიბრატორები წარმოადგენენ მრავალფუნქციონალურ და სწრაფქმედ მაღალი კლასის ხელსაწყოებს, რომლებიც ავტომატიზირებულ სისტემებში ავტონომიურად უზრუნველყოფენ ფართო ნომენკლატურის ჯგუფის ხელსაწყოებისა და მოწყობილობების დამოწმებას, დაკალიბრებას და გამოკვლევას.

ამერიკული წარმოების Fluke სერიის კალიბრატორებს თან ახლავთ EasyCal ტიპის პროგრამული უზრუნველყოფის პაკეტი და თავსებადია Intel Pentium პროცესორთან GPIB ინტერფეისით. ის საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ სრული ავტომატური დაკალიბრება ISO 9000 დოკუმენტაციის მიხედვით.



ა)



ბ)



გ)

სურ.1.9 ამერიკული წარმოების კალიბრატორები: ა) და ბ)-ზე ნაჩვენებია Fluke-ს, ხოლო გ)-ზე Hart Scientific ტიპის ხელსაწყოები

Fluke-ს ტიპის კალიბრატორებთან სამუშაოდ ასევე შექმნილია უფრო უნივერსალური MET/CAL პროგრამული უზრუნველყოფის ვერსია, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ RS232 ინტერფეისი.

აღსანიშნავია, რომ დღემდე არსებული კალიბრატორები განკუთვნილია დამოწმების მხოლოდ სტატისკური რეჟიმისათვის. მიუხედავად ამისა, რადგან მათ მიერ გამომუშავებული სანიმუშო სიგნალის ცდომილება (0,1–0,0005%) რამდენიმე ათეულჯერ მცირეა დასამოწმებელი ხელსაწყოების საკუთარ ცდომილებაზე, გააჩნიათ გამომავალი სიგნალის ფართო დიაპაზონი და უზრუნველყოფილნი არიან პროგრამული მართვით, ამიტომ საშუალებას გვაძლევენ რეალიზება გავუკეთოთ დამოწმების ყველა ძირითად მეთოდს.

სკალის გამოსახულების ამოკითხვის ეფექტური ტექნიკური სისტემის მისაღებად აუცილებელია, რომ გამოყენებული ამომკითხავი მოწყობილობა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

- ა) ამოსაკითხი გამოსახულების საკმარისი ზომა და მაღალი გარჩევითობა;
- ბ) ავტომატური დამოწმების მოწყობილობის კომპიუტერთან თავსებადობა და სკანერის პროგრამული მართვის შესაძლებლობა;
- გ) ოპტიკური ინფორმაციის ციფრულ ფორმაში გარდაქმნის მისაღები სიჩქარე;
- დ) ფართო დინამიკური დიაპაზონი, რომელიც განსაზღვრავს მოწყობილობის

უნარს გაარჩიოს ორიგინალური გამოსახულების სიკაშკაშის გრადაციები.

- ე) საიმედოობა;
- ვ) მოწყობილობის დაბალი ღირებულება.

განვიხილოთ აღნიშნული მახასიათებლები.

გარჩევითობა. ამომკითხავი მოწყობილობა უნდა ამოვირჩიოთ სკანირების შედეგად მიღებული დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის ციფრული გამოსახულების დეტალიზაციის ხარისხის მიხედვით. იგი გვიჩვენებს, თუ რა რაოდენობის ელემენტებად შეიძლება დაიყოს ორიგინალის გამოსახულება ერთ დუიმში და გამოისახება წერტილებით დუიმში dpi (dot per inches). რაც მეტია გარჩევითობა, მით მეტი ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ და დავამუშაოთ ორიგინალზე. სკანერს აქვს გარჩევითობის ორი სახე: ოპტიკური და ინტერპოლაციური.

ოპტიკური გარჩევითობა. იგი სკანერის ერთ-ერთი მთავარი ტექნიკური მახასიათებელია. ჰორიზონტალის მიმართ ოპტიკური გარჩევითობა განისაზღვრება CCD მატრიცის ელემენტებით, ხოლო ვერტიკალის მიმართ დაცილების ერთეულზე ბიჯის მნიშვნელობით, რომელიც დამოკიდებულია სკანერის ბიჯური მექანიზმის გადაადგილების სიდიდეზე.

ინტერპოლაციური გარჩევითობა. ინტერპოლაციის დროს გამოსახულების ორ წერტილს შორის პროგრამული საშუალებებით ისმება ერთი ან რამოდენიმე დამატებითი წერტილი, რომლებსაც ენიჭებათ მეზობელი ფერების საშუალო მნიშვნელობა. რაც არ უნდა ზუსტი იყოს ინტერპოლაციური ალგორითმი, ეს არის გამოთვლა და არა ორიგინალიდან მონაცემების გადმოღება. ამიტომ ის არ გვაძლევს წაკითხული გამოსახულების დეტალიზაციის გაუმჯობესების საშუალებას.

ოპტიკური სიმჭიდროვე. იგი არის სკანერის მახასიათებელი და გამოხატავს მის უნარს, გაარჩიოს ორიგინალის გამოსახულების სიკაშკაშის გრადაციები. ორიგინალის ოპტიკური სიმჭიდროვე გამოისახება ათობითი ლოგარითმით ორიგინალზე დაცემული სინათლის ინტენსივობის ფარდობისა სინათლის იმ ინტენსივობასთან, რომელიც აირეკლება მისგან ან გაივლის მასში. სკანირება შეიძლება მოხდეს ორიგინალის ოპტიკური სიმჭიდროვის განსაზღვრულ დიაპაზონში, ე.ი. არსებობს საზღვარი, რომლის იქითაც გამოსახულების დეტალებს

ველარ ვარჩევთ, რადგან ორიგინალი არის ძალიან ნათელი (0,0-აბსოლუტური გამჭვირვალობა) ან ძალიან ბნელი (4,0-აბსოლუტურად შავი ზედაპირი).

ფერის სიღრმე. იგი განისაზღვრება სკანერში გამოყენებული ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის თანრიგების რაოდენობით და გვიჩვენებს, თუ რამდენად ზუსტია ინფორმაცია ფერის შესახებ სკანირებული გამოსახულების თითოეულ წერტილში.

თუკი საკმარისია გამოვიყენოთ ნახევარტონური (ნაცრისფერი შეფერილობა) გამოსახულება, მაშინ თითოეულ წერტილში ფერის დონე კოდირდება რვა თანრიგიანი ორობითი რიცხვით და ვღებულობთ ნაცრისფერი ფერის 256 გრადაციას (Gray Scale). სამი შემადგენელი ფერის (წითელი, მწვანე და ლურჯი) ზედდების შედეგად მივიღებთ ფერად გამოსახულებას. ამ შემთხვევაში თითოეული წერტილი აღიწერება ორობითი რიცხვით, რომელსაც აქვს არა 8, არამედ 16 თანრიგი (თანრიგების საერთო რაოდენობა არის-48).

თანამედროვე სკანერები იძლევა როგორც სრულფეროვანი, ასევე ნახევარტონალური და შავ-თეთრი გამოსახულების მიღების საშუალებას.

სკანირების მაქსიმალური არე. იგი განისაზღვრება სკანერის პლანშეტის ზომით. რაც მეტია მოცემული არე, მით მეტი ხელსაწყო შეიძლება განლაგდეს მასზე ჩვენების ერთდროული განსაზღვრისათვის. სკანერთა უმრავლესობას აქვს A4 ფორმატის დოკუმენტების სკანირებისთვის განკუთვნილი პლანშეტის ზომა.

სკანირების სიჩქარე. დრო, რომელიც საჭიროა წინასწარი დათვალიერებისათვის და სახელდობრ სკანირებისათვის, მნიშვნელოვნად მოქმედებს მწარმოებლობაზე. სკანირების სიჩქარე დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა: გარჩევითობა, მისაღები გამოსახულების ზომა და ფერის სიღრმე.

სკანერის გარჩევითობის მნიშვნელობის არჩევისას აუცილებელია ვეძებოთ კომპრომისი მისაღები გამოსახულების ზომასა და დამოწმების სისტემის სიზუსტეს შორის. ცხადია, რომ გარჩევითობა უნდა იყოს მით უფრო მეტი, რაც ნაკლებია დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის ზომები. გარჩევითობის მინიმალური შესაძლებლობის განსაზღვრისათვის გავანალიზოთ ანალოგური ვოლტმეტრის

სკალის გამოსახულება, რომლის ზომებია 47.4x25.6 მმ (ხელსაწყოს ზომებია 60x60) და სკანირებულია სხვადასხვა გარჩევითობით.

სკანირებისას, როცა ერთ დუიმიზე არის 400 წერტილი, მაშინ სკალის ორ ცენტრალურ ნიშნულს შორის 24-დან 26-მდე დაცილება შეადგენს 27 პიქსელს. ამრიგად, ერთ პიქსელში შეცდომა შეესაბამება აბსოლუტურ ცდომილებას $\Delta = (26 - 24) \text{ ვოლტი} / 27 \text{ პიქსელი} = 0.074 \text{ ვოლტი პიქსელზე}$, რაც გაზომვის მოცემულ საზღვრებში $X_N^* = 50 \text{ ვოლტი}$ განსაზღვრება ფარდობითი ცდომილებით, რომელიც ტოლია $\gamma = (\Delta / X_N^*) * 100\% = (0.074 / 50) * 100\% \approx 0.15\%$. თუ მხედველობაში მივიღებთ სანიმუშო საზომი ხელსაწყოების მიმართ არსებულ მეტროლოგიურ მოთხოვნებს, შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ასეთი გარჩევითობით შესაძლებელია დავამოწმოთ მცირეგაბარიტიანი ხელსაწყოები რომელთა სიზუსტის კლასიც არის $\gamma_{\text{ხელ}} = 0.5$. ამასთან, აუცილებელია დავუშვათ, რომ გარჩევითობით გამოწვეული ცდომილება ბევრად აღემატება სხვა წყაროებით გამოწვეულ ცდომილებას, რაც პრაქტიკაში ყოველთვის არ სრულდება.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ავტომატური ამოკითხვის სისტემისათვის სკანირების ოპტიმალური გარჩევითობა შეადგენს 400-600 dpi. მისი შემცირება გამოიწვევს ხელსაწყოთა დამოწმების სიზუსტის შემცირებას, მაშინაც კი, როცა გამორიცხულია სხვა ნებისმიერი ცდომილება. მეორეს მხრივ, გარჩევითობის გაზრდა 600 dpi-ზე ზევით იწვევს გამომავალი ინფორმაციის მოცულობის მკვეთრ ზრდას და გამოსახულების პროგრამული დამუშავების გახანგძლივებას.

ვინაიდან სკალის გამოსახულებაზე არ არის ფერადი ელემენტები, რომლის გამოსახულების ინფორმაციული მოცულობა 3-ჯერ აღემატება ნახევარტონალურს და 24-ჯერ ბინარულს, და ასევე თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ფერადი გამოსახულების სკანირებას სჭირდება მნიშვნელოვნად დიდი დრო, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ამოკითხვის ასეთი მეთოდი მიზანშეწონილი არ არის. ასევე ბინარიზაცია, რომელიც სკანერის სტანდარტული პროგრამული უზრუნველყოფით სრულდება, პირველ რიგში ორიენტირებულია შავ-თეთრი ტექსტური დოკუმენტების კორექტულ წარმოდგენაზე. ის არ აძლევს მომხმარებელს საშუალებას მიაწოდოს სიკაშკაშის გრადაციის გაყოფის საზღვრები, რომელიც

უფრო შესაფერი იქნება სკალის გამოსახულების დასამუშავებლად, რადგან ბინარიზაციის პროცესს თან ახლავს ინფორმაციის ნაწილობრივი დაკარგვა. აუცილებელია სკალის გამოსახულება მივიღოთ ნაცრისფერი შეფერილობით და ბინარიზაცია შევასრულოთ ალგორითმის საშუალებით, რომელიც დაფუძნებულია გამოსახულების ოპტიმალური გამყოფი საზღვრის შერჩევაზე.

1.4. მიღებული შედეგები და დასკვნები

1. დადგენილია, რომ დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების ეფექტური ამომკითხავი საშუალებაა მატრიცული სკანერი (CCD-ტექნოლოგია).
2. დადგენილია, რომ სკალის ნახევარტონალური გამოსახულების ამოკითხვისათვის მატრიცული სკანერის გარჩევითობის ოპტიმალური დიაპაზონია 400-600dpi.
3. დადგენილია, რომ გამოსახულების მაღალი ხარისხით ამოკითხვისათვის ოპტიკური სკანერი უნდა გადაადგილდეს სკალის გასწვრივ სინათლის წყაროსთან ერთად.
4. დადგენილია ავტომატური დამოწმების სისტემებში საზომი ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ამოკითხვისათვის განკუთვნილი არატრადიციული ალგორითმული მეთოდების დამუშავების აუცილებლობა.
5. დადგენილია, რომ ავტომატური დამოწმების სისტემებს უნდა გააჩნდეთ ახალი ტიპის საზომ ხელსაწყოებზე მარტივი გადაწყობის, სტანდარტული მოწყობილობებით რეალიზაციის, კომპიუტერთან თავსებადობის, ექსპლოატაციის სიმარტივის, მაღალი სიზუსტისა და საიმედოობის შესაძლებლობა.
6. დადგენილია სანიმუშო სიგნალის წყაროდ კალიბრატორების გამოყენების უპირატესობა, რადგან მათი ცდომილება (0,1–0,0005%) რამდენიმე ათეულჯერ მცირეა დასამოწმებელი ხელსაწყოების საკუთარ ცდომილებაზე, გააჩნიათ გამომავალი სიგნალის ფართო დიაპაზონი, უზრუნველყოფილნი არიან პროგრამული მართვით და საშუალებას გვაძლევენ რეალიზაცია გავუკეთოთ დამოწმების ყველა ძირითად მეთოდს.

თავი 2. სკალის გამოსახულების წინასწარი დამუშავების მეთოდები და ამოკითხვის პროცესში წარმოქმნილი ცდომილებების ანალიზი

2.1. ავტომატური დამოწმების სისტემის კვანძების ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერა

ავტომატური დამოწმების სისტემა წარმოადგენს რთულ ტექნიკურ მოწყობილობას, რომელიც შედგება სხვადასხვა ფუნქციონალური კვანძებისაგან.

ავტომატური დამოწმების სისტემის დანაწევრება შესაძლებელია სტრუქტურული სქემის და დამოწმების მეთოდების ალგორითმის ანალიზის საფუძველზე [26, 51].

დამოწმების პროცესი შეიძლება დავეყოს სამ ძირითად ნაწილად:

- ა) ხელსაწყო შესასვლელზე სანიმუშო სიგნალის მიწოდება;
- ბ) სკალის სამოწმებელ წერტილებში ჩვენების ამოკითხვა;
- გ) მიღებული შედეგების დამუშავება.

დასამოწმებელი ხელსაწყო ასევე წარმოადგენს სისტემის ნაწილს, რადგან ის ჩართულია გარდასაქმნელი სიდიდეების კვანძში [46]. დამოწმების მეთოდების (სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმი) განხილვისას სტრუქტურულ სქემაში [51] შემავალი დანარჩენი მოწყობილობები (საბეჭდი მოწყობილობა, ინტერფეისი, მარეგისტრირებელი მოწყობილობა და ა.შ.) უნდა განვიხილოთ, როგორც კავშირის პასიური ელემენტები [68].

დამოწმების სისტემის ფუნქციონირებისას მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები:

- ა) სანიმუშო სიგნალების წყაროს გამოსასვლელზე სიგნალის ცვლილება;
- ბ) ხელსაწყო მოძრავი ნაწილის გადაადგილება;
- გ) სკალის გამოსახულების ამოკითხვა;
- დ) ამომკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელზე სიგნალის ცვლილება;
- ე) მიღებული ინფორმაციის დამუშავების ალგორითმის რეალიზაცია და სისტემის ცალკეული ელემენტების მართვა.

განვიხილოთ დამოწმების თითოეული პროცესის მიმდინარეობა მათემატიკური თვალსაზრისით:

1. სანიმუშო სიგნალის წყაროს ფუნქციონირება განისაზღვრება მისი გამოსასვლელი x სიგნალის დროსთან კავშირში. ვინაიდან სანიმუშო სიგნალის წყაროს ცდომილება მინიმუმ ერთი თანრიგით ნაკლებია დასამოწმებელი ხელსაწყოს ცდომილებაზე [51, 40, 41, 42], შეგვიძლია სანიმუშო სიგნალის წყაროს ცდომილება მივიღოთ ნულის ტოლად ან გავითვალისწინოთ აუცილებლობის შემთხვევაში.

სტატიკური მავალებელი ზემოქმედებისას სანიმუშო სიგნალის წყაროს ფუნქციონირება აღიწერება გამოსახულებით [26]:

$$x(t) = \sum_{k=1}^N C_k \delta_k \quad (2.1.1)$$

სადაც δ_k - დროის ($\Delta t = [t_{k-1}, t_k]$) k ინტერვალის მახასიათებელი ფუნქციაა;

$$\begin{cases} \delta_k(t) = 1, & \text{როცა } t \in \Delta t_k \\ \delta_k(t) = 0, & \text{როცა } t \notin \Delta t_k \end{cases} \quad (2.1.2)$$

სადაც N - სიგნალის საფეხურების რაოდენობაა და ტოლია ხელსაწყოს დასამოწმებელი ნიშნულების რიცხვითი მნიშვნელობისა;

C_k - k საფეხურის სიდიდეა:

$$C_k = X_k^* - X_{k-1}^* \quad (2.1.3)$$

სადაც X_k^* - დასამოწმებელი k ნიშნულის ნომინალია;

X_{k-1}^* - დასამოწმებელი $k-1$ ნიშნულის ნომინალი.

დროის ინტერვალი Δt_k განისაზღვრება:

$$\Delta t_k = t_{\text{ჩვენ}} + t_{\text{ამოკ}} \quad (2.1.4)$$

სადაც $t_{\text{ჩვენ}}$ - ხელსაწყოს ჩვენების დამყარების დროა და განისაზღვრება სანიმუშო წყაროს k საფეხურის დამყარების $t_{\text{დამყ}}$ და ხელსაწყოს ჩვენების $t_{\text{ხელ}}$ დროების ჯამური მნიშვნელობით:

$$t_{\text{ჩვენ}} = t_{\text{დამყ}} + t_{\text{ხელ}} \quad (2.1.5)$$

ხოლო, $t_{\text{ამოკ}}$ - ხელსაწყოს ჩვენების ამოკითხვისთვის საჭირო დროის სიდიდეა.

ხელსაწყოების დამოწმებისას დინამიკურ რეჟიმში ფართოდ გამოიყენება მის შესასვლელზე წრფივად ზრდადი სიგნალის მიწოდება:

$$x(t) = S_k t \quad (2.1.6)$$

სადაც S_k - სანიმუშო წყაროს გამოსასვლელზე სიგნალის ცვლილების სიჩქარეა.

მაჩვენებლის $(k - 1)$ - ნიშნულიდან k ნიშნულზე გადაადგილებისას τ_k დროით ინტერვალში სიგნალის ცვლილების სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$S_k = \frac{X_k^* - X_{k-1}^*}{\tau_k} \quad (2.1.7)$$

ხოლო წრფივი სკალის შემთხვევაში:

$$S = \frac{X_N^*}{T_N} \quad (2.1.8)$$

სადაც X_N^* - სკალის ბოლო დანაყოფის ნომინალია;

T_N - სიგნალის ნოლიდან X_N^* -მდე ცვლილების დროა.

მაშინ

$$x(t) = \frac{X_N^*}{T_N} t \quad (2.1.9)$$

ამრიგად, შესასვლელი სანიმუშო სიგნალის წყაროს მათემატიკური აღწერისათვის უნდა გავითვალისწინოთ ოთხი ფაქტორი:

- ა) ხელსაწყოს სკალის მახასიათებელი (X_N^*, T_N);
- ბ) ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მახასიათებელი ($t_{ხელ}$);
- გ) ამომკითხავი მოწყობილობის მახასიათებელი ($t_{ამომ}$);
- დ) სანიმუშო სიგნალის წყაროს მახასიათებელი ($t_{დამყ}$).

2. ხელსაწყოს სკალის გრადუირების მახასიათებლის მათემატიკური აღწერისათვის უნდა დავადგინოთ დამოკიდებულება დასამოწმებელი k ნიშნულის კუთხურ a_k^* მდებარეობასა და შესასვლელი სიგნალის x_k^* ნომინალს შორის:

$$a_k^* = k X_k^* \quad (2.1.10)$$

სადაც k - პროპორციულობის კოეფიციენტი.

ხელსაწყოს წრფივი გრადუირების მახასიათებლის შემთხვევაში:

$$k = \frac{a_N^*}{X_N^*} \quad (2.1.11)$$

ხელსაწყოების გრადუირების კვადრატული მახასიათებლის შემთხვევაში:

$$k = \frac{a_N^*}{X_N^{*2}} \quad (2.1.12)$$

ორივე (2.1.11) და (2.1.12) გამოსახულება წარმოადგენს რეალური გრადუირების მახასიათებლის მიახლოებით განსაზღვრას, ამიტომ ხელსაწყოს გრადუირების მახასიათებელი უნდა წარმოვადგინოთ პოლინომის სახით:

$$a_k^* = P_n(X_k^*) \quad (2.1.13)$$

პოლინომს P_n ვირჩევთ ისეთი სახით, რომ აკმაყოფილებდეს ლაგრანჟის პირობას. ასეთი პოლინომია სპლაინ-ინტერპოლიაცია და გამოიყენება მრავალკვანძიანი X_k^* ფუნქციებისათვის [50].

მაშინ თითოეული $[X_{k-1}^*, X_k^*]$ ინტერვალისათვის:

$$a_k^* = \sum_{l=0}^3 a_1^k (X_k - X)^l \quad (2.1.14)$$

სადაც a_1^k - სპლაინის კოეფიციენტი;

$k = 1, N$ - სპლაინის ნომერი.

3. დასამოწმებელი ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მათემატიკური აღწერისას, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ორი დაშვება: მოწყობილობა ჩაითვალოს არაინერციულ რგოლად, მაშინ მოწყობილობის მოძრავი ნაწილის გადაადგილება ან მობრუნების კუთხე შესასვლელი სიგნალის ცვლილებასთან იქნება წრფივ დამოკიდებულებაში:

$$a_c = \frac{a_N^*}{X_N^*} X \quad (2.1.15)$$

ხოლო, კვადრატულდამოკიდებულებიანი სკალის შემთხვევაში:

$$a_c = \frac{a_N^*}{X_N^{*2}} X^2 \quad (2.1.16)$$

გამოსახულებების (2.1.15) და (2.1.16) გამოყენება გამოიწვევს ცდომილების გაზრდას, რადგან დამოწმების პროცესში სტატისტიკური შემავალი სიგნალის შემთხვევაში შეუძლებელია გავითვალისწინოთ მოწყობილობის მოძრავი ნაწილის დამყარების დრო,

ხოლო დინამიკური ზემოქმედების შემთხვევაში შეუძლებელია გავითვალისწინოთ მოწყობილობის მოძრავი ნაწილის ჩამორჩენა სიგნალის ცვლილებასთან შესაბამისობაში. ამიტომ, ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილი უნდა აღიწეროს შემდეგი სახის ფუნქციით:

$$j \frac{da_c^2}{dt^2} + P \frac{da_c}{dt} + W a_c = X(t) \quad (2.1.17)$$

სადაც, J - მოძრავი ნაწილის ინერციის მომენტია;

P - რხევის დამყარების კოეფიციენტია;

W - კუთრი უკუქმედების მომენტია.

მოძრავი ნაწილის დამყარების დრო $t_{დამ}$ აუცილებელია შესასვლელი სიგნალის ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერისათვის [51]:

$$t_{დამ} = \frac{\pi n_1 - \varepsilon_1}{\omega_0 \sqrt{1 - \beta}} \quad (2.1.18)$$

$$t_{დამ} = \frac{2\pi}{\omega_0} \left(1,25\beta - \frac{0,93\beta}{4\beta^2 - 1} \right) \quad (2.1.19)$$

$$\varepsilon_1 = \arccos(\beta) \quad (2.1.20)$$

$$n_1 = 1,24 \operatorname{tg}(\varepsilon) \quad (2.1.21)$$

სადაც β - მოძრავი ნაწილის დამყარების ხარისხია:

$$\beta = \frac{P}{W \sqrt{WJ}} \quad (2.1.22)$$

ω_0 - საკუთარი რხევის სიხშირე:

$$\omega_0 = \sqrt{P/J} \quad (2.1.23)$$

4. ამომკითხავი მოწყობილობის ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერისათვის საჭიროა მისი განხილვა შესასვლელის (მოწყობილობის სკალიდან ინფორმაციის ამოკითხვა) და გამოსასვლელის (სიგნალის დამოკიდებულება მოცემულ მომენტში ამოკითხულ გამოსახულებაზე) მიხედვით. გამოსახულების ამოკითხვის პროცესი იყოფა სტატიკურ და დინამიკურ რეჟიმებად.

იმის გამო, რომ ინფორმაცია მოწყობილობის ჩვენების შესახებ ამოკითხება როგორც ნიშნულისა და მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობა, ამიტომ ამომკითხავი

მოწყობილობის შესასვლელ სიდიდედ შეიძლება მიღებული იქნას იმ სამოწმებელი წერტილის კუთხური მდებარეობა, რომელიც მოცემულ მომენტში უნდა ამოიკითხოს.

შესასვლელზე ამოკითხვის სტატიკური რეჟიმი შესაძლებელია აღიწეროს შემდეგი გამოსახულებით :

$$\alpha_{\text{სა}}(t) = \sum_{k=0}^{MN} \Psi_k \Theta_k \quad (2.1.24)$$

სადაც - $\alpha_{\text{სა}}$ ამოსაკითხი წერტილის კუთხური მდებარეობაა,

Θ_k - მახასიათებელი ფუნქცია k -ური დროის ინტერვალში $\Delta\tau_k^* = [\tau_{k-1}^*, \tau_k^*]$ ტოლია:

$$\begin{cases} \Theta_k(t) = 1 \text{ როცა } t \in \Delta\tau_k^* \\ \Theta_k(t) = 0 \text{ როცა } t \notin \Delta\tau_k^* \end{cases} \quad (2.1.25)$$

N - ამომკითხავი მოწყობილობის ფიქსირებული მდებარეობების რაოდენობაა, რომელიც სამოწმებელი ნიშნულების რაოდენობის ტოლია;

Ψ_k - ამოსაკითხი წერტილის k -ური მატებაა:

$$\Psi_k = a_k^* - a_{k-1}^* \quad (2.1.26)$$

დროის მომენტები τ_{k-1}^* და τ_k^* განისაზღვრება შემდეგი პირობით:

$$\begin{cases} X(\tau_{k-1}^*) = \frac{X_{k-1}^* + X_k^*}{2} \\ X(\tau_k^*) = \frac{X_k^* + X_{k+1}^*}{2} \end{cases} \quad (2.1.27)$$

ამოსაკითხი წერტილის კუთხური მდებარეობა აითვლება სკალის ნულოვანი დანაყოფიდან.

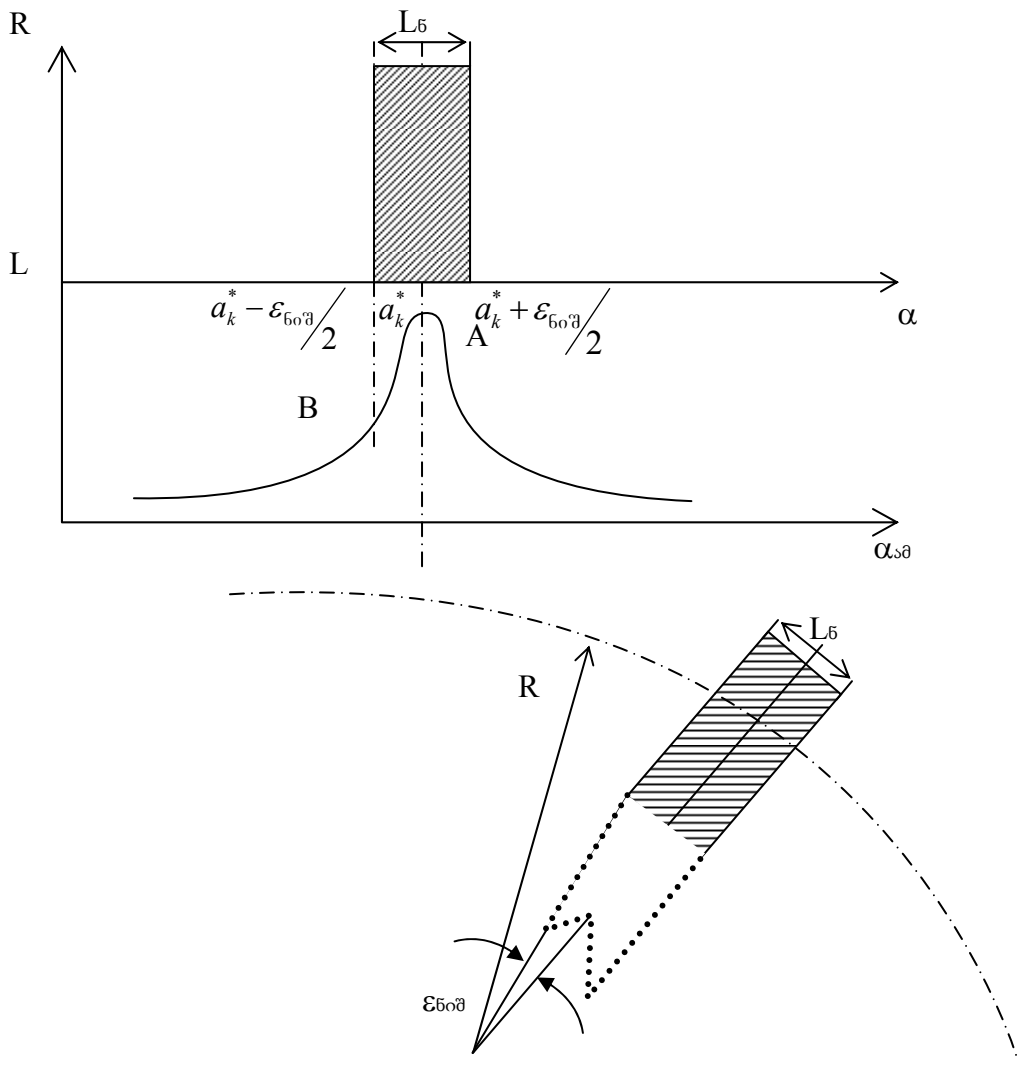
გამომავალი სიგნალის მათემატიკურ ფორმაში აღწერისათვის უნდა გავანალიზოთ ამომკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელი სიგნალების ხასიათი ამოკითხვის სხვადასხვა ფიზიკურ საფუძველზე რეალიზაციისას. ოპტიკო-ელექტრონული გარდამქმნელის [26, 70], ტევადური გადამწოდების [56], გადამცემი ვიდეოკამერის [35, 83] საფუძველზე შექმნილი ამომკითხავ მოწყობილობათა გამომავალი სიგნალი (შესაბამისად - ძაბვა , დენი , ტევადობა ან სიგნალის რაოდენობა გაშლის სტრიქონში) კარგად აპროქსიმირდება ექსპონენციალური ფუნქციით [30]:

$$L = \alpha \cdot \exp(b\alpha_{\text{სა}} + c\alpha_{\text{სა}}^2) \quad (2.1.28)$$

სადაც L - ამომკითხავი მოწყობილობის გამომავალი სიგნალია,

a, b, c - კოეფიციენტები, რომელიც განსაზღვრავს ფუნქციის მაქსიმუმს და მის მდებარეობას აბცისათა ღერძზე. ფუნქციის კოეფიციენტები განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით (იხ.ნახ. 2.1):

$$\begin{cases} \frac{-b + \sqrt{-2c}}{2c} = \alpha_k^* - \frac{\varepsilon_6}{2} \\ -\frac{b}{2c} = \alpha_k^* \end{cases} \quad (2.1.29)$$



ნახ.2.1 ამომკითხავი მოწყობილობის ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერის გრაფიკული გამოსახვა

სადაც α_k^* - ამოსაკითხი k-ური ნიშნულის კუთხური მდებარეობაა;

ε_6 - ცენტრალური კუთხე, რომელიც ტოლია:

$$\varepsilon_6 = \arccos\left(1 - \frac{l_6^2}{2R^2}\right) \quad (2.1.30)$$

სადაც l_6 - დასამოწმებელი ნიშნულის სიგანეა;

R - ამოსაკითხი არის რადიუსია.

მაშინ:

$$c = \frac{2}{\varepsilon_6^2} \quad \text{ხოლო, } b = \frac{4\alpha_k^*}{\varepsilon_6^2} \quad (2.1.31)$$

გამოსახულებაში (2.1.28) a -კოეფიციენტის ცვლილებით შესაძლებელია ვცვალოთ ფუნქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა. დავუშვათ $a=1$, მაშინ ამომკითხავი მოწყობილობის გამომავალი სიგნალი k -ური წერტილისათვის იქნება:

$$L_6 = \exp\left(\frac{4\alpha_k^*}{\varepsilon_6^2} \alpha_{\text{სმ}} + \frac{2}{\varepsilon_6^2} \alpha_{\text{სმ}}^2\right) \quad (2.1.32)$$

ანალოგიურად მოწყობილობის მაჩვენებლის ამოკითხვისას:

$$L_8 = \exp\left(\frac{4\alpha_k^*}{\varepsilon_8^2} \alpha_{\text{სმ}} + \frac{2}{\varepsilon_8^2} \alpha_{\text{სმ}}^2\right) \quad (2.1.33)$$

საბოლოოდ მონაცემთა ათვლისას, როდესაც ათვლის არეში ერთდროულად თავსდება მაჩვენებელიც და სამოწმებელი ნიშნულიც, ვღებულობთ:

$$L = \max(L_6, L_8) = \left(\exp\left(-2\left(\frac{\alpha_{\text{სმ}} - \alpha_k^*}{\varepsilon_6}\right)^2\right), \exp\left(-2\left(\frac{\alpha_{\text{სმ}} - \alpha_m}{\varepsilon_8}\right)^2\right) \right) \quad (2.1.34)$$

(2.1.34) გამოსახულება წარმოადგენს ამომკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელი სიგნალის მათემატიკურ აღწერას ამოკითხვის სხვადასხვა რეჟიმებისა და გამოსახულების ელემენტების სახესხვაობების დროს.

მონაცემთა ამოკითხვისას ინფორმაციის ჭეშმარიტებაზე მოქმედებს რიგი ფაქტორებისა, რომელთაც მიეკუთვნება:

- ა) სკანირების ტრაექტორიის არაწრფივობა;
- ბ) ამომკითხავი მოწყობილობის გარჩევითობა;
- გ) ამოსაკითხი ელემენტების კოორდინატების დადგენის დისკრეტულობა.

მოყვანილი ფაქტორების მიერ გამოწვეული ცდომილებების კვლევა ჩატარებულია ნაშრომებში [35, 53, 87, 88, 91, 92] როგორც ანალიტიკური, ასევე იმიტაციური

მოდელირების მეთოდებით. ინფორმაციის დამამუშავებელი მოწყობილობის მოდელირებისას უნდა გავითვალისწინოთ მისი ორი ძირითადი ფუნქცია:

- ა) დასამოწმებელი მოწყობილობის ჩვენების განსაზღვრა ამომკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელი სიგნალის მიხედვით;
- ბ) დასამოწმებელი მოწყობილობის ცდომილების სიდიდის გამოთვლა.

ამომკითხავი მოწყობილობის სიგნალი ამოკითხვის სტატკურ რეჟიმში წარმოადგენს იმპულსების თანმიმდევრობას, რომელთა N რაოდენობა სკალის სამოწმებელი ნიშნულების ტოლია. მაჩვენებლის სამოწმებელ ნიშნულებთან შეთავსების სიგნალი აღწევს თავის ლოკალურ მაქსიმუმებს დროის მომენტებში:

$$t_1^*, t_2^*, \dots, t_N^* \quad (2.1.35)$$

ამრიგად, სიგნალების მაქსიმუმების გამოყოფით და (2.1.35) მწკრივის დაფიქსირებით, როცა ცნობილია შესასვლელი სიგნალის გენერირების სახე, შესაძლებელი ხდება აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილების სიდიდის განსაზღვრა დასამოწმებელ წერტილებში:

$$\Delta_k = X(t_k) - X_k^* \quad (2.1.36)$$

$$\gamma_k = \frac{\Delta_k}{X_N^*} 100\% \quad (2.1.37)$$

დინამიკურ რეჟიმში ამოკითხვისას მონაცემები განისაზღვრება დამოწმების ყოველ ციკლში. ციკლის ქვეშ იგულისხმება k -ური ნიშნულის დამოწმების პროცესი, რომელიც მეორდება N -ჯერ. ამომკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელი სიგნალის მიხედვით ჩვენების განსაზღვრის ალგორითმის [48, 66] საფუძველზე, როდესაც მაჩვენებელი სკალის ნულოვან დანაყოფს ემთხვევა (დამოწმების წინ სისტემატური ცდომილების გამორიცხვის მიზნით მაჩვენებელს არეტირის საშუალებით აყენებენ ნოლზე) ამოკითხულ სიგნალებში გამოიყოფა N მაქსიმუმი (მინიმუმი) რომელთა კოორდინატებია:

$$a_1^*, a_2^*, \dots, a_N^* \quad (2.1.38)$$

ისინი შეესაბამება ნიშნულთა მდებარეობებს კოორდინატთა სისტემაში და განისაზღვრება ამოკითხული სტრიქონით. დამოწმების k -ურ ციკლში, როცა

მაჩვენებელს სკალაზე უკავია k -ური მდებარეობა, სიგნალებიდან გამოიყოფა და დაითვლება ყველა არსებული ლოკალური მაქსიმუმი (მინიმუმი):

$$a_1^M, a_2^M, \dots, a_M^M \quad (2.1.39)$$

თუ მათი M რაოდენობა დაემთხვა N სამოწმებელ ნიშნულთა რაოდენობას, ე.ი. მაჩვენებელი შეუთავსდა k სამოწმებელ ნიშნულს $\Delta\alpha$ ცდომილებით. თუ გამოყოფილი M მაქსიმუმების რაოდენობა მეტია N სამოწმებელ ნიშნულებზე, მაშინ (2.1.39)–ით გამოყოფილი მაქსიმუმების კოორდინატებს მიმდევრობით ადარებენ ნიშნულების (2.1.38) კოორდინატებს. თუ ამოსაკითხი ელემენტის J -ური კოორდინატისთვის სრულდება პირობა:

$$|\alpha_J^M - \alpha_k^*| = \Delta\alpha \quad (2.1.40)$$

მაშინ ის იდენტიფიცირდება, როგორც k -ური ნიშნული. წინააღმდეგ შემთხვევაში ელემენტი ჩაითვლება მაჩვენებლად, ხოლო $(\alpha_J^M - \alpha_k^*)$ სხვაობა მაჩვენებლიდან k -ურ ნიშნულამდე მანძილის პროპორციულად. N ციკლის ჩატარების შემდეგ განისაზღვრება მაჩვენებლის ყველა კუთხური მდებარეობა:

$$\alpha'_{c1}, \alpha'_{c2}, \dots, \alpha'_{cN} \quad (2.1.41)$$

დასამოწმებელი მოწყობილობის ფარდობითი ცდომილების გამოთვლისათვის შეიძლება ნაშრომში [16] შემოთავაზებული პროცედურის რეალიზაცია, რომლის თანახმადაც დამოწმებისას განსაზღვრული ყველა ნიშნულის კუთხური მდგომარეობისა (2.1.38) და მათი ნომინალების მიხედვით:

$$X_1^*, X_2^* \dots X_N^*$$

განისაზღვრება n რიგის პოლინომი, რომელიც გამოხატავს მოწყობილობის X ჩვენებათა დამოკიდებულებას სკალაზე ამოსაკითხი ელემენტის კუთხურ მდებარეობაზე:

$$X = Pn(\alpha_k^*) \quad (2.1.42)$$

(2.1.42) ფორმულაში მაჩვენებლის კუთხური კოორდინატების (2.1.41) ჩასმით მივიღებთ სამოწმებელ წერტილებში ჩვენების განსაზღვრის გამოსახულებას :

$$X'_k = P_3(\alpha'_{ck}) \quad (2.1.43)$$

საიდანაც ვანგარიშობთ აბსოლუტურ ცდომილებას:

$$\Delta_k = X'_k - X_k^* \quad (2.1.44)$$

ამომკითხავი მოწყობილობების სიგნალების ანალიზის აღწერილი ხერხებიდან ჩანს, რომ ძირითად ოპერაციად მიიჩნევა სკალის ელემენტების მდებარეობის განსაზღვრა სიგნალის მაქსიმუმის მიხედვით. ასეთი მიდგომა რეალურ სისტემებში უზრუნველყოფს ანალიზის კორექტულობას, სკალის არასტაბილური ან არათანაბარი განათებისას [57, 35]. სიგნალის მაქსიმუმის განსაზღვრისათვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი ცნობილი ალგორითმი [72]. ყველაზე მარტივი ალგორითმი მდგომარეობს ამომკითხავი მოწყობილობიდან მიღებული ბოლო სამი სიგნალის შედარებაში:

$$L_{ii-2} \leq L_{ii-1} > L_{ii}$$

სადაც $L_{ii-2}, L_{ii-1}, L_{ii}$ – ამომკითხავი მოწყობილობის სიგნალის სიდიდეა დროის t_{i-2} , t_{i-1} და t_i მომენტებში.

2.2. დასამოწმებელი ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების წინასწარი დამუშავების მეთოდები

ხელსაწყოს სკალის არასტაბილური განათების გამო, ამომკითხავი ოპტიკური სისტემის გამოსახულებაში გვექნება უზნები სხვადასხვა გარჩევითობითა და სიკაშკაშით.

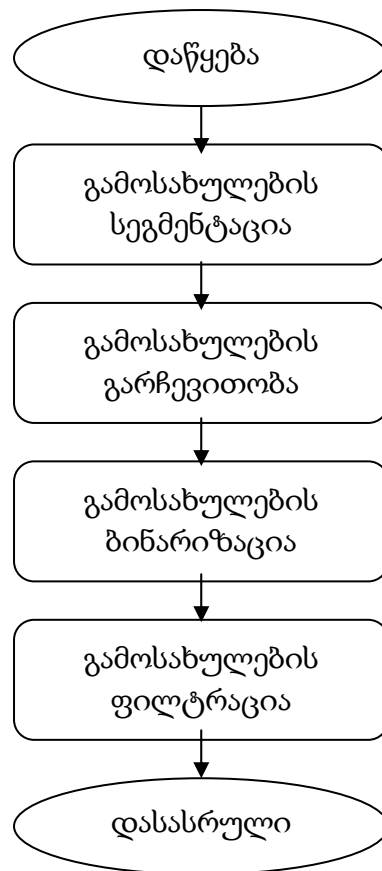
დაბალი გარჩევითობა შედარებით გავრცელებული დეფექტია და გამოწვეულია სიკაშკაშის დიაპაზონის შეზღუდულობით. მას უმეტესად თან ახლავს დონეთა გადასვლის მახასიათებლების არაწრფივობა. ეს კი იწვევს დამატებით სირთულეებს გამოსახულების დამუშავებისას. მაგალითად, გამოსახულების ბინარიზაციისას რთულია ობიექტებისა და ფონის განცალკევება. უმრავლეს შემთხვევაში გარჩევითობა შეიძლება გავზარდოთ გამოსახულების თითოეული ელემენტის სიკაშკაშის შეცვლით. თუ სკალის გამოსახულებაზე განლაგებულია ხელსაწყოს ამოსაკითხი ელემენტები, მაშინ აუცილებელია ავამაღლოთ მათი გარჩევითობა.

გამოსახულების დამუშავების ცნობილი მეთოდების ანალიზი [1, 43, 69, 78, 79] გვიჩვენებს, რომ გაცილებით მარტივი და ეფექტურია ბინარული (შავ-თეთრი)

გამოსახულების დამუშავებაზე გათვლილი ალგორითმები. დასამოწმებელი ხელსაწყო სკალის გამოსახულების ამოკითხვისათვის მისი წარმოდგენა ნაცრისფერის 256 გრადაციამი არ არის საჭირო, რადგან საკმარისია მივიღოთ ინფორმაცია იმის შესახებ, არის თუ არ მოცემული წერტილი მაჩვენებლის ან ნიშნულის ნაწილი. მიზანშეწონილია ჩავატაროთ გამოსახულების ბინარიზაცია, ანუ გარდავექმნათ ნაცრისფერი გამოსახულება ბუდის ცვლადთა მასივად, რომლითაც განისაზღვრება, წარმოადგენს თუ არა მოცემული წერტილი ერთ-ერთი ამოსაკითხი ელემენტის ნაწილს.

გამოსახულების ციფრულ მასივად გარდაქმნისა და ამოკითხვის დროს ხდება მისი დამახინჯება ხმაურითა და სხვადასხვა შემფოთებებით. რის გამოც გამოსახულების დამუშავების დროს გვექნება დამატებითი ელემენტები ან რეალური ობიექტების დამახინჯებული კონტურები.

დასამოწმებელი ხელსაწყო სკალის გამოსახულების წინასწარი დამუშავების ოპერაციები [45] (იხ.ნახ.2.2) მიეკუთვნებიან $A_1(F_1)$ ტექნოლოგიას.



ნახ.2.2 გამოსახულების წინასწარი დამუშავების ბლოკ-სქემა

გამოსახულების დამუშავების სფეროში ცნობილია ალგორითმული მეთოდები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ თითოეული ოპერაცია. მნიშვნელობა ენიჭება მოცემული ოპერაციისათვის უფრო ეფექტურის შერჩევას.

გამოსახულების სეგმენტაცია. გამოსახულების ერთგვაროვან უბნებად დანაწილების რამდენიმე საერთო მეთოდი არსებობს [1,25,97]. რადგან დასამუშავებელი გამოსახულება წარმოდგენილია ნაცრისფერის გრადაციებში, ამიტომ აუცილებელია გავანალიზოთ ისეთები, რომლებიც ვარგისია არაბინარული გამოსახულებისათვის.

სეგმენტაციის ამოცანის გადაწყვეტა ხორციელდება ორი მეთოდით:

1. გამოვყოთ ერთნაირი განათების უბნები მათი თანდათანობითი ზრდის გზით და განვსაზღვროთ თანაბარი განათების უბნებს შორის საზღვრები. უბნების გამოყოფის მეთოდი მათი ზრდის გზით ითვალისწინებს მიახლოებული სიკაშკაშის მქონე პიქსელთა ჯგუფის პოვნას. ყველაზე მარტივი ვარიანტი ამ მეთოდის განხორციელებისა მდგომარეობს პიქსელების ამორჩევაში, რომლებიც როგორც მეზობელ, ასევე შესამოწმებელ უბნებზე ხასიათდებიან მიახლოებით ერთნაირი სიკაშკაშით. თუკი სიკაშკაშის მნიშვნელობები ერთმანეთს უახლოვდება, შესაბამისი პიქსელები მოხვდებიან ერთ ჯგუფში უბნის ფორმირებისათვის. მოცემული მეთოდის ეფექტურობის ასამაღლებლად გამოსახულებას ყოფენ მცირე უბნებად. თითოეული უბანი მოწმდება ერთგვაროვნებაზე და თუკი შემოწმების შედეგი იქნება მიუღებელი, შესაბამის უბანს კიდევ დაყოფენ უფრო მცირე უბნებად. პროცესი გრძელდება მანამ, ვიდრე ყველა გამოყოფილი უბანი არ დადასტურდება ერთგვაროვნებაზე. ამის შემდეგ მცირე უბნების და არა პიქსელების გაერთიანების გზით ხორციელდება უბნების გაფართოება. ცხადია, რომ ასეთი მეთოდის გამოყენებას აქვს უპირატესობა, რადგან სხვა მეთოდებთან შედარებით მას ახასიათებს ხმაურის მიმართ მცირე მგრძობიარობა, ხოლო მისი რეალიზაციის სირთულე მდგომარეობს უბნების ერთგვაროვნების პირობის ამორჩევაში.

2. საზღვრების გამოვლენა პიქსელების იმ ორი ჯგუფის ძეხვით ხდება, რომლებიც ფორმირებულია მეზობელი პიქსელების სიკაშკაშის მნიშვნელობის ანალიზის საფუძველზე. სასაზღვროდ იდენტიფიცირებული პიქსელები ერთიანდებიან ჩაკეტილ კონტურში და ქმნიან შესაბამის უბანს.

განხილულ ამოცანაში ერთგვაროვანი სიკაშკაშის მქონე საზღვრების გამოყოფისათვის გათვალისწინებული უბნის მცნება პირობითია. ვინაიდან მასზე განლაგებულია ობიექტების დიდი რაოდენობა (მაჩვენებელი, ნიშნული, სპეციალური ნიშნები და სიმბოლოები), მათი სიკაშკაშე კი ახლოსაა ალტერნატიული უბნის სიკაშკაშესთან. ამის გამო, გამოსახულების ერთგვაროვან უბნებად დაყოფის არც ერთი ცნობილი მეთოდი პლანშეტის საერთო გამოსახულებიდან ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების ანალიზისათვის არ იქნება მისაღები.

გამოსახულების სეგმენტაციის ამოცანის ამოხსნისათვის შემუშავებული იქნა სპეციალური კომბინირებული ალგორითმი, რომელშიც შერწყმულია ორივე აღწერილი მეთოდი:

1. სკანერის პლანშეტის საერთო გამოსახულების ერთი მხრიდან ანალიზი უკეთდება გამოსახულების წერტილების სიკაშკაშის მნიშვნელობებს საკმაოდ დიდი ბიჯით (ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით). ბიჯის მნიშვნელობა განისაზღვრება გამოსახულებაზე სკალის მთლიანი ზომით;
2. თუ განსახილველ წერტილში სიკაშკაშის მნიშვნელობა მეტია რაღაც ზღვრულ მნიშვნელობაზე, მაშინ წერტილი მიეკუთვნება ხელსაწყოს სკალას. წინააღმდეგ შემთხვევაში უნდა განაალიზდეს მომდევნო წერტილი;
3. მორიგეობით იზრდება და მცირდება გამოსახულების ორდინატები, ვიდრე არ განისაზღვრება სკალის ზედა და ქვედა საზღვრები. სკალის საზღვრებად ითვლება წერტილთა მიმდევრობა თავისი სიკაშკაშის მნიშვნელობებით, რომელიც არსებითად განსხვავდება სკალაზე სხვა წერტილთა სიკაშკაშისაგან;
4. გამოსახულების აბცისის გადიდებითა და შემცირებით ხდება სკალის მარცხენა და მარჯვენა საზღვრების მოძებნა;
5. მას შემდეგ, რაც განსაზღვრული იქნება ყველა უბანი, მოხდება მათი ამოცნობა და სელექცია.

რომ გამოვრიცხოთ ის უბნები, რომლებიც სინამდვილეში არ ეკუთვნის ხელსაწყოს სკალას, უნდა შევამოწმოთ კოორდინატთა მნიშვნელობები ორი პარამეტრის მიხედვით. თუ ანალიზისას ნათელი გახდება, რომ კოორდინატთა ასეთი მნიშვნელობების მქონე ობიექტი არ შეიძლება იყოს ხელსაწყოს სკალა, მაშინ ის იქნება

უარყოფილი. ობიექტი ასევე უარყოფილი იქნება, თუკი პერიმეტრის კუთვნილ არეში მას აქვს მაღალი სიკაშკაშის მქონე წერტილთა სიმრავლე.

თუკი გამოყოფილი ობიექტი აკმაყოფილებს ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ პირობებს, მაშინ უბანი განიხილება ხელსაწყოს სკალად.

ხელსაწყოს სკალაზე უბნის უფრო ზუსტი გამოყოფისათვის აუცილებელია გამოვიყენოთ მიღებული გამოსახულების დაძვრის ინვარიანტულობის ერთ-ერთი ცნობილი მეთოდი.

დაძვრის ინვარიანტულობა სრულდება გეომეტრიული მომენტების გამოთვლით. უნდა მოვახდინოთ $M \times M$ ზომების F_{ij} გამოსახულების გარდაქმნა G_{ij} -ში ფორმულის [82] მეშვეობით:

$$G_{ij} = F \left[i + \left(\bar{i} - \frac{M-1}{2} \right), j + \left(\bar{j} - \frac{M-1}{2} \right) \right] \quad (2.2.1)$$

სადაც (\bar{i}, \bar{j}) - არიან F_{ij} ცენტრის კოორდინატები და გამოითვლებიან ფორმულით:

$$\bar{i} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{j} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2.2.2)$$

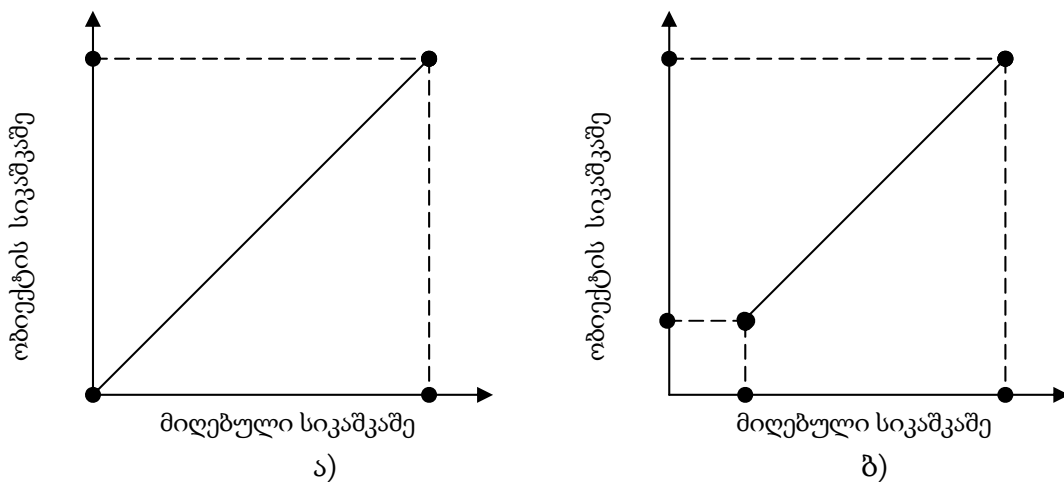
$$m_{pq} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} i^p j^q F_{i,j} \quad (2.2.3)$$

სადაც m_{pq} - გეომეტრიული მომენტია.

გეომეტრიული მომენტის მეთოდის გამოყენებით განისაზღვრება საწყისი გამოსახულების გეომეტრიული სიმბიმის ცენტრი და ის გადააქვთ ახალი გამოსახულების ცენტრში. მეთოდი კარგ შედეგს გვაძლევს გამოსახულებისათვის, რომელიც შეიცავს ინფორმაციულ ნაწილს ამოზნექილი არის სახით, რომელშიც არ არის სიცარიელე. დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების გადამუშავებისას ამ მეთოდმა დადებითი შედეგი არ მოგვცა, რადგან მაჩვენებლის სკალაზე გადაადგილების გამო სიმბიმის ცენტრი მუდმივად იცვლება.

გამოსახულების გარჩევითობა. გარჩევითობის გაზრდა შესაძლებელია არსებული გამოსახულების გადაყვანით უფრო მაღალ სიკაშკაშის დიაპაზონის გამოახულებაში.

ნახ.2.3-ზე ნაჩვენებია გარჩევითობის ორი მეთოდი ელემენტების მიმართ წრფივი გარდაქმნის საშუალებით. პირველი მათგანის შესაბამისად (ნახ.2.3, ა) ამოკითხული გამოსახულება წრფივად აისახება ისე, რომ მთლიანად იკავებს სიკაშკაშის მთელ დიაპაზონს. მეორე მეთოდით (ნახ.2.3, ბ), ხდება დასამუშავებელი გამოსახულების სიკაშკაშის ექსტრემალური მნიშვნელობების მაქსიმალური და მინიმალური ზღვრული სიდიდეებით შეზღუდვა. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს გამოსახულების აღქმის უფრო მაღალ ხარისხს, განსაკუთრებით თუ დამუშავებული გამოსახულება შეიცავს შედარებით მცირე რაოდენობის ელემენტებს, რომლებიც შეზღუდვის დონეს სცილდებიან.



ნახ.2.3 გამოსახულების გარჩევითობის გაზრდის მეთოდების გრაფიკული გამოსახვა
ა) წრფივი; ბ) სიკაშკაშის დიაპაზონის შეზღუდვით

გარჩევითობის ცვლილება შეიძლება განვახორციელოთ ასევე სიკაშკაშის ცვლილების არაწრფივი ფუნქციის მეშვეობით [1]:

$$G = K1 \left(\frac{F}{K1} \right)^{K2} \quad (2.2.4)$$

სადაც $K1$ და $K2$ ემპირიული მეთოდით შერჩეული კოეფიციენტებია;

F - საწყისი გამოსახულების წერტილების სიკაშკაშეა;

G - მიღებული გამოსახულების წერტილების სიკაშკაშეა.

თუ შევარჩევთ $K1$ და $K2$ კოეფიციენტებს მივიღებთ კონკრეტული გამოსახულებისათვის საუკეთესო ეფექტს. არაწრფივი გარდაქმნა უმეტესად გამოიყენება მაშინ, როცა F საწყისი გამოსახულების გარჩევითობა ძალიან სუსტია, ან მასზე არის არსებითად განსხვავებული გაურჩევადი უბნები.

თუ მაჩვენებლიანი ხელსაწყოების სკალის ოპტიკური ამოკითხვისას მიღებული გამოსახულების სიკაშკაშე საკმაოდ კარგი და თანაბარია, საკმარისია წრფივი გარჩევითობის მეთოდის გამოყენება.

წრფივი გარჩევითობა ხორციელდება გარდაქმნით:

$$G = aF + b \quad (2.2.5)$$

ამ გარდაქმნის პარამეტრები a და b განისაზღვრებიან საჭირო დინამიკური დიაპაზონის სიდიდით. თუ მოცემულია სკალის საწყისი გამოსახულება $[F_{\min}, F_{\max}]$ და დამუშავების შედეგად უნდა მივიღოთ $[G_{\min}, G_{\max}]$ გამოსახულება, მაშინ (2.2.5)-დან გამომდინარე:

$$G_{\min} = aF_{\min} + b \quad (2.2.6)$$

$$G_{\max} = aF_{\max} + b \quad (2.2.7)$$

საიდანაც:

$$a = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \quad (2.2.8)$$

$$b = \frac{G_{\min}F_{\max} - G_{\max}F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \quad (2.2.9)$$

სეგმენტაციის ოპერაციის ჩატარების შემდეგ დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების სიკაშკაშის დიაპაზონი დარჩება უფრო ნაკლები, ვიდრე პლანშეტის გამოსახულებაზე.

გარჩევითობის ამალღების ოპერაციის შედეგად მეზობელი პიქსელების სიკაშკაშეებს შორის მიიღება დიდი განსხვავება, რაც მოგვცემს ბინარიზაციისას ჩრდილების მოცილებისა და მაღალხარისხოვანი გამოსახულების მიღების მიზნით საჭირო დამყოფი ზღვრის უფრო ფართო დიაპაზონში ვარირების საშუალებას.

გამოსახულების ბინარიზაცია. ამოსაკითხი ელემენტების კოორდინატების განსაზღვრისათვის საკმარისია გვექონდეს დასამოწმებელი ხელსაწყოს საინფორმაციო

ნაწილის შავ-თეთრი გამოსახულება. სკანერებში უმეტეს შემთხვევაში გამოყენებული ბინარიზაციის ფიქსირებული ზღვარი ხშირ შემთხვევაში არ იძლევა საშუალებას მივიღოთ ფონი-ობიექტის მკვეთრად განსხვავებული საზღვარი, ამიტომ სკანირება ხდება ნახევარტონალური გამოსახულების რეჟიმში, ხოლო შავ-თეთრი გამოსახულების მისაღებად უნდა გამოვიყენოთ ალგორითმული მეთოდები გამყოფი საზღვრის საუკეთესო მნიშვნელობის დასადგენად.

თუ F_{ij} -არის ნახევარტონალური გამოსახულება, τ - საზღვარი და f_0 და f_1 - ორი ბინარული მნიშვნელობა, მაშინ დაყოფის შედეგად მივიღებთ ბინარულ გამოსახულებას:

$$G_{ij} = \begin{cases} f_0, & \text{თუკი } F_{ij} \ll \tau \\ f_1, & \text{თუკი } F_{ij} > \tau \end{cases} \quad (2.2.10)$$

როგორც ვხედავთ, დაყოფის შესრულების მთავარი პირობაა τ მნიშვნელობის არჩევა ზოგიერთი კრიტერიუმის მეშვეობით. ეს მნიშვნელობა შეიძლება იყოს საერთო მთელი გამოსახულებისათვის, ან სხვადასხვა მისი ცალკეული ნაწილებისათვის. ერთზღვარიანი მნიშვნელობა გამოიყენება მაშინ, როცა ფონი-ობიექტის სიკაშკაშის მნიშვნელობა ერთგვაროვანია მთელი გამოსახულებისათვის. გამოსახულების სიკაშკაშისა და გარჩევითობის მნიშვნელოვანი ცვლილებებისას იყენებენ მრავალდონიან ბინარიზაციას გამოსახულების სხვადასხვა უბნებისათვის. ამ შემთხვევაში ალგორითმის სირთულეს წარმოადგენს გამოსახულების თითოეული ფრაგმენტის ზომის ამორჩევა, რომლისთვისაც უნდა შეირჩეს ბინარიზაციის საზღვარი. ფრაგმენტის ზომა უნდა იყოს საკმაოდ დიდი, რათა ფონის პიქსელთა რიცხვი საკმარისი იყოს საშუალო სიკაშკაშის მნიშვნელობის კარგი შეფასებისათვის, მაგრამ არა იმდენად დიდი, რომ გამოსახულების ერთგვაროვნების დადგენა ვერ მოხერხდეს.

რადგან ხელსაწყო სკალის გამოსახულებას აქვს ფონისა და ობიექტის სიკაშკაშის ერთგვაროვანი მნიშვნელობა, მისი გარდაქმნისათვის შავ-თეთრ გამოსახულებაში შეიძლება გამოვიყენოთ გლობალური დაყოფა.

გამყოფი საზღვარი აუცილებელია ავირჩიოთ იმ წერტილების სიკაშკაშის განაწილების ანალიზიდან, რომლებიც ხელსაწყო სკალის გამოსახულებას ეკუთვნის.

ეს პროცედურა ტარდება სეგმენტაციისა და გარჩევითობის გაზრდის ოპერაციის შემდეგ.

სურ.2.4-ზე ნაჩვენებია ხელსაწყოს სკალის ბინარული გამოსახულება, რომელიც მიღებულია ბინარიზაციის საზღვრის სამი სხვადასხვა (τ_1 , τ_2 , τ_3) მნიშვნელობისათვის.

მიღებული შედეგების გაანალიზებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მცირე τ_1 მნიშვნელობისას გვექნება გამოსახულებაზე ობიექტებს შორის კავშირის დაკარგვის საშიშროება, ხოლო გაზრდილი τ_3 ზღურბლის დროს ჩნდება ჩრდილი, რომელიც



სურ.2.4 ხელსაწყოს სკალის ბინარული გამოსახულება

ართულებს გამოსახულების შემდგომ დამუშავებას. ამრიგად, ოპტიმალურია სიკაშკაშის τ_2 მაჩვენებელი, რომელიც საორიენტაციოდ შუალედურია ორ პიკურ τ_1 და τ_3 მნიშვნელობებს შორის. ამ შემთხვევაში მკვეთრადაა გამოსახული ხელსაწყოს მაჩვენებელი და ნიშნულები, ასევე შესაძლებელია ფონის მოხსნა შემფოთებების წარმოქმნის გარეშე.

გამოსახულების ფილტრაცია. გამოსახულებაზე შემფოთებების ფილტრაცია შეიძლება ჩავატაროთ როგორც სტატისტიკური ფილტრაციის კლასიკური, ასევე სივრცული დამუშავების მეთოდებით [1, 2, 69, 80].

გამოსახულების ფილტრაციის ალგორითმის არჩევისას ჩვეულებრივ ხელმძღვანელობენ ხარისხის აღდგენის ზოგიერთი კრიტერიუმით. შედარებით უნივერსალური და გავრცელებული არის კვადრატის მინიმუმის კრიტერიუმი, რომელიც საკმაოდ კონსტრუქციულია და საშუალებას იძლევა თეორიულად გამოვთვალოთ ფილტრაციის ოპტიმალური ალგორითმები შემფოთებათა ცნობილი

მოდელების დროს. თავის მხრივ, ოპტიმალური ალგორითმები პრაქტიკაში საკმაოდ რთულია გამოთვლებისა და რეალიზაციისათვის. ამიტომ გამოსახულების დამუშავების ავტომატიზირებულ სისტემებში უპირატესობა ენიჭებათ კვაზიოპტიმალურ ალგორითმებს, რომლებიც იძლევა კვადრატის მინიმუმს მოცემული სტრუქტურის ზოგიერთი კლასის ალგორითმში.

არაბინარულ გამოსახულებაზე ხმაურის სპექტრი პრაქტიკულად ყოველთვის შეიცავს უფრო მაღალ სივრცულ სიხშირეებს, ვიდრე საწყისი გამოსახულების სპექტრი. გარდა ამისა, დამახინჯებული ელემენტები ხშირად სიკაშკაშის მიხედვით მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან მეზობელი ელემენტებისაგან, ამიტომ ხმაურის ჩახშობის ეფექტური საშუალება არის დაბალსიხშირული ფილტრაცია. დისკრეტიზირებული გამოსახულებისათვის შეიქმნა მთელი რიგი ალგორითმები ხმაურის ჩასახშობად, ისინი დაფუძნებულია სპეციალური აპერტურის (უჯრედი) [69] გამოყენებაზე:

$$\begin{bmatrix} 0_1 & 0_2 & 0_3 \\ 0_4 & 0 & 0_5 \\ 0_6 & 0_7 & 0_8 \end{bmatrix} \quad (2.2.11)$$

$$\text{თუ } \left[0 - \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 0_i \right] > \varepsilon, \quad \text{მაშინ} \quad 0 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 0_i \quad (2.2.12)$$

(2.2.11) და (2.2.12) გამოსახულებები ახორციელებენ ხმაურის ჩახშობის მარტივ ზღურბლურ მეთოდს, რომლის გამოყენებისას მიმდევრობით ცვლიან გამოსახულების ყველა ელემენტის სიკაშკაშეს. თუკი აპერტურის ცენტრში 3×3 (2.2.11) ელემენტის სიკაშკაშე აღემატება უახლოესი ელემენტების ჯგუფის საშუალო სიკაშკაშეს, რაღაც ε ზღურბლური სიდიდით, მაშინ ელემენტის სიკაშკაშე იცვლება საშუალო სიკაშკაშის მნიშვნელობით.

გამოსახულების ელემენტები, რომლებიც ხვდებიან უჯრედში, მრავლდება რაღაც სიდიდის კოეფიციენტზე. ამასთან, აპერტურის მასივი ნორმირებულია გადაცემის ერთეულოვანი კოეფიციენტის მისაღებად, რადგან ხმაურის ჩახშობის პროცედურამ არ უნდა გამოიწვიოს დამუშავებული გამოსახულების საშუალო სიკაშკაშის წანაცვლება.

ქვემოთ მოყვანილია სამი სახის შემანელებელი მასივი (2.2.13), რომელთაც ხშირად უწოდებენ ხმაურჩამხშობ ნიღბებს:

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad H_3 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2.13)$$

აღნიშნული ნიღბები განსხვავდებიან ხმაურის ჩახშობის ხარისხით, მაგალითად H_1 ნიღბს აქვს მაქსიმალური ხარისხი, ხოლო H_2 - მინიმალური.

ხმაურჩამხშობი ნიღბების გამოყენება იწვევს დაბალი სიკაშკაშის არის გაფართოებას, მცირე დეტალების გაქრობას და ობიექტების კონტურების სიმკვეთრის შემცირებას. ეს მიუღებელია დასამოწმებელ ხელსაწყოთა ჩვენების განსაზღვრისას, რადგან მათი სიზუსტე დამოკიდებულია მაჩვენებლის და ნიშნულების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტეზე.

ამიტომ, ავტომატური დამოწმების სისტემებში სკალის გამოსახულების წინასწარი დამუშავებისას ბინარიზაციის შემდეგ უნდა მოხდეს გამოსახულების ფილტრაცია. ბინარული გამოსახულების ფილტრაცია დაფუძნებულია სხვა პრინციპებზე, რათა გამოვრიცხოთ ობიექტები, რომელთა ზომები მნიშვნელოვნად მცირეა გამოსაკვლევი ობიექტის ზომებზე. გამოსახულებაზე ასეთი ობიექტების არსებობა გაართულებდა დასამოწმებელი ხელსაწყოების გამოსახულებაზე ამოსაკითხი ელემენტების პოვნას და გაზრდიდა მათ ამოცნობას ალგორითმის მუშაობის დროს.

ბინარული გამოსახულებების გადამუშავებისათვის ფართოდ გამოიყენება მედიანური ფილტრაცია - სიგნალთა არაწრფივი დამუშავების მეთოდი, შემუშავებული ტიუკის მიერ [24, 64]. ისევე როგორც დაბალსიხშირული ფილტრაციის აპერტურული მეთოდებისათვის ერთგანზომილებიანი მედიანური ფილტრი წარმოადგენს მცოცავ უჯრედს, რომელიც გამოსახულების ელემენტების კენტ რაოდენობას მოიცავს. ცენტრალური ელემენტი იცვლება უჯრედში ყველა ელემენტების მედიანით. მედიანური ფილტრის თავისებურებას წარმოადგენს სიკაშკაშის ვარდნის სიდიდის შენარჩუნება. მედიანური ფილტრი განსაკუთრებით ეფექტურია იმპულსური შემფოთებების ჩასახშობად. მაგალითად, მედიანური ფილტრი უჯრედით 3×3 თანაბარ ფონზე მთლიანად ახშობს ერთეულოვან ან ჯგუფურ (ორი, სამი და ოთხ იმპულსიან) ამოვარდნებს.

მედიანური ფილტრის 3×3 უჯრედებიდან უფრო გავრცელებული არის შემდეგი:

$$W_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad W_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2.14)$$

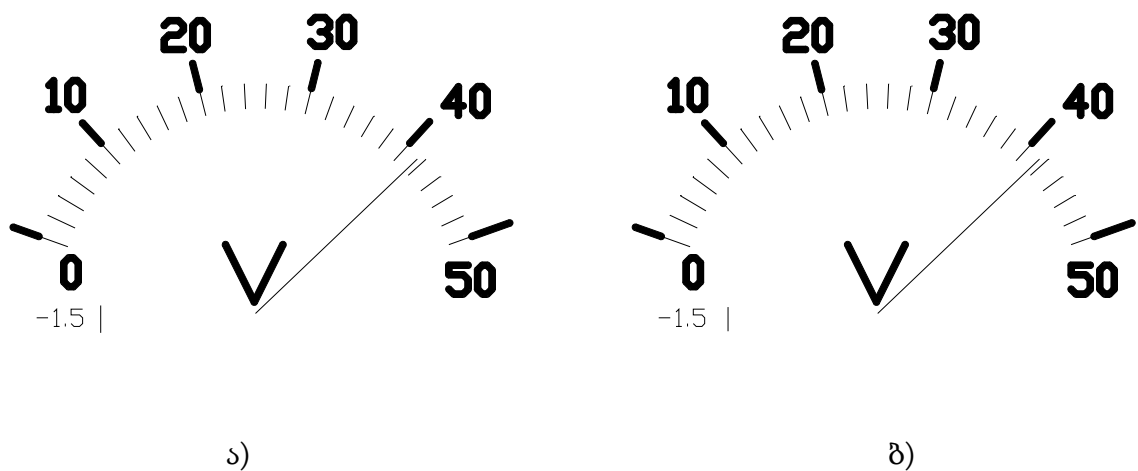
ცხრილიდან 1 ჩანს, რომ მედიანური ფილტრი უჯრედით (2.2.14) სხვადასხვა ჯგუფის იმპულსური შემფოთების წარმატებული ჩახშობისათვის ორჯერ მეტი მაინც უნდა იყოს შემფოთებათა ჯგუფის ზომაზე. იმის გამო, რომ მაჩვენებლის და ნიშნულების სიგანე არის 3-5 პიქსელი, იქმნება საშიშროება, რომ მედიანურმა ფილტრმა ისინი ჩაახშოს. ამასთან, შემფოთებათა მცირე ჯგუფის შენახვა ფილტრის გამოყენებას ცხრილი 1

მედიანური ფილტრის გავლენა ჯგუფურ შემფოთებებზე

№	სიკაშკაშის ელემენტების საწყისი კონფიგურაცია	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
1.	0				
2.	00	00			
3.	00 0	00 0		0	
4.	00 00	00 00	00 00	00 00	
5.	000 0	000 0	0 0	0	
6.	0 000 0	0 000 0	0 000 0	0	0
7.	000 000 000	000 000 000	000 000 000	000 000 000	0 000 0
8.	0 000 00000 000 0	0 000 00000 000 0	0 000 00000 000 0	000 000 000 000	000 000 000
9.	00000	00000		00000	
10.	00 0000 0000 00	00 0000 0000 00	00 0000 0000 00	00 0000 0000 00	00 0000 0000 00

უსაფუძვლოს ხდის. როგორც ცხრილიდან 1 ჩანს, ფილტრი W_4 ახშობს შემფოთებების ჯგუფს 2, 3 და 4 ელემენტით და თითქმის უცვლელად ტოვებს ელემენტების მრავალრიცხვიან ჯგუფებს, ამიტომ ანალოგური ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ფილტრაციისათვის სწორედ ის იქნება არჩეული.

ნახ.2.5-ზე ნაჩვენებია ხელსაწყოს გამოსახულების ფილტრაციის შედეგები W_4 ფილტრის საშუალებით.



ნახ.2.5 ხელსაწყოს სკალის გამოსახულება ა) ფილტრაციამდე, ბ) ფილტრაციის შემდეგ მედიანური W_4 ნილბიანი ფილტრით

2.3. სკალის გამოსახულების ამოკითხვის პროცესში წარმოქმნილი ცდომილებების ანალიზი და მათი შემცირების ალგორითმული მეთოდები

გამოსახულების ამოკითხვის დროს მიღებული ინფორმაციის სიზუსტეზე მოქმედებს მრავალი სპეციფიკური ფაქტორი. სატელევიზიო კამერის გამოყენება მნიშვნელოვნად ზღუდავს სისტემების მასიური გამოყენების შესაძლებლობებს [88, 89]. ოპტიკური სკანერს ასევე შემოაქვს ცდომილებები, რომელიც გამოწვეულია ამოკითხვის ტექნიკური საშუალებით და ინფორმაციის დამუშავების ალგორითმით.

ყველა ამ ცდომილების სახეები შეგვიძლია დავყოთ ორ ჯგუფად:

1. სკალის გამოსახულების ოპტიკურ-ელექტრული მეთოდით ამოკითხვისას წარმოქმნილი ცდომილებები;
2. მიღებული გამოსახულების ჩვენების განსაზღვრის ალგორითმით შემოტანილი ცდომილებები.

პირველ ჯგუფს მიეკუთვნებიან:

- ა) დისკრეტიზაციის ცდომილება;
- ბ) ინფორმაციის გარდაქმნის ცდომილებები;
- გ) გამოსახულების დამახინჯებით გამოწვეული ცდომილებები;
- დ) პარალაქსით გამოწვეული ცდომილებები.

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნებიან:

- ა) სკალაზე ამოსაკითხი ელემენტების საზღვრების მდებარეობის დადგენის ცდომილება;
- ბ) ამოსაკითხი ელემენტების შუა ხაზის დადგენის ცდომილება;
- გ) ამოსაკითხ ელემენტებს შორის მანძილის განსაზღვრის ცდომილება;
- დ) სკალის არაწრფივადობით გამოწვეული ცდომილება;
- ე) ექსცენტრისიტეტით გამოწვეული ცდომილება.

ამ ცდომილებებიდან შემთხვევითი ხასიათისაა დისკრეტიზაციით და გარდამქმნელი არხით შემოტანილი ცდომილებები.

დისკრეტიზაციით გამოწვეული ცდომილება. საწყისი უწყვეტი გამოსახულების სკანირების შედეგად მიღებული ინფორმაცია წარმოდგება სიბრტყეზე ელემენტარული უბნების სახით. მათი ზომები განისაზღვრება ოპტიკური გარჩევითობის მიხედვით. თანამედროვე პლანშეტური სკანერი უზრუნველყოფს საკმაოდ მაღალ გარჩევითობას (6400 წერტილი დუიმზე). ზოგადად მიღებულ გამოსახულებაზე ობიექტების კოორდინატები შესაძლებელია განისაზღვროს Δ_{ϱ} აბსოლუტური ცდომილებით, რომელიც დისკრეტიზაციის ინტერვალის ნახევარია:

$$\Delta_{\varrho} = \frac{25,4m}{2dpi} \quad (2.3.1)$$

სადაც m -მიღებული გამოსახულების მასშტაბია;

25,4 - დუიმის ზომაა მილიმეტრებში.

ოპტიკური სკანერის გამოყენება საშუალებას იძლევა შევამციროთ დისკრეტიზაციის ცდომილება გარჩევითობის გაზრდის საშუალებით. ასევე შესაძლებელია გამოვიყენოთ ინტერპოლაციური გარჩევითობა, რომელიც მათემატიკური მეთოდების გამოყენების საფუძველზე კიდევ უფრო ამცირებს ცდომილებას.

გამოსახულების გარდამქმნელი არხიდან შემოტანილი ცდომილებები. აღნიშნული ცდომილებები გამოწვეულია გარდამქმნელი ოპტიკურ-ელექტრული არხით შექმნილი შემფოთებების გამო. ნაწილობრივ ის გამოწვეულია ამოსაკითხი გამოსახულების სიკაშკაშის არასტაბილურობით, სიგნალის გამაძლიერებლის მიერ შემოტანილი ხმაურით, ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის ცდომილებით და ა.შ. გარდამქმნელი არხის გავლენით სკალის გამოსახულების ერთი და იგივე წერტილის სიკაშკაშე სკანირების თითოეულ ეტაპზე მიიღება სხვადასხვა გრადაციით. სიკაშკაშის ცვლილება აღინიშნება არა მარტო ლოკალურ უბნებზე, არამედ მთლიან გამოსახულებებზე. პიქსელების სიკაშკაშის ცვლილებას ფონი-ობიექტის ოპტიკურ საზღვარზე აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა. ფონი-ობიექტის საზღვრის სიკაშკაშის ფიქსირებული მნიშვნელობით შესაძლებელია განისაზღვროს ელემენტების კიდებების მდებარეობის დადგენის სიზუსტის ცდომილება.

სკალის გამოსახულების ოპტიკური დამახინჯებით შემოტანილი ცდომილებები. გამოსახულების დამახინჯება გამოწვეულია ოპტიკური სისტემისათვის დამახასიათებელი თვისებებით (სფერული აბერაცია, ასტიგმატიზმი, დისტორსია და ა.შ.), რომელთაც გააჩნიათ კომპლექსური რთული ხასიათი.

ოპტიკური დამახინჯების კომპენსაციას ახორციელებენ მოდელირების ორი გზით. პირველ შემთხვევაში საზღვრავენ შემთხვევით გამოსახულებაზე ოპტიკური სისტემის გავლენას, ხოლო მეორე შემთხვევაში მოდელს ქმნიან კონკრეტული დასამუშავებელი დამახინჯებული გამოსახულების პარამეტრების განსაზღვრის გზით. ეს მიდგომები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ დამახინჯების გამომწვევ ფაქტორებზე ინფორმაციის შეგროვების მეთოდებით.

მიღებული გამოსახულების იდეალური მოდელის შექმნა შეუძლებელია და ის ვერასოდეს დაემთხვევა საწყის გამოსახულებას. ზოგჯერ ცდილობენ მინიმიზაცია

გაუკეთონ საშუალო კვადრატულ ცდომილებას, ანუ ძირითადი და რესტავრირებული გამოსახულებების სხვაობას. გამოსახულების დამუშავების სისტემის მოდელირების საკითხები ღრმადია აღწერილი ნაშრომში [70], სადაც მითითებულია, რომ ოპტიკური სისტემით შემოტანილი დამახინჯების განსაზღვრის მათემატიკური მოდელი განსაკუთრებით რთულია და არ იძლევა ზოგადი ამონახსნის მიღების საშუალებას.

პარალაქსით შემოტანილი ცდომილებები გამოწვეულია დაკვირვების წერტილიდან ხელსაწყოს სკალამდე მანძილის ცვლილებით, მაჩვენებელზე სხვადასხვა კუთხიდან დაკვირვებით, მაჩვენებელსა და სკალას შორის მანძილის ცვლილებით და მაჩვენებლის ბუნების სხვადასხვა სიგანით. დაკვირვების წერტილიდან სკალამდე მანძილი განისაზღვრება ოპტიკურ პლანშეტში გამოყენებული ოპტიკური სისტემით. ცდომილებები გამოწვეულია დაკვირვების წერტილიდან ხელსაწყოს სკალამდე მანძილის ცვლილებით და მაჩვენებელზე სხვადასხვა კუთხიდან დაკვირვებით, რომლებიც მუდმივად იცვლება სკანერის გადაადგილების გამო. ხელსაწყოს აწყობის ხარისხიდან გამომდინარე მაჩვენებელი ასევე იკავებს (გადაადგილება არ ხორციელდება სკალის პარალელურ სიბრტყეში) სხვადასხვა მდებარეობას დაკვირვების წერტილის მიმართ.

გარდა აღნიშნულისა პარალაქსზე მოქმედებს საზომი ხელსაწყოს დამცავ მინაში გამავალი სინათლის სხივის გარდატეხის მნიშვნელობა.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, გამოსახულების ოპტიკური სისტემით და პარალაქსით გამოწვეული ცდომილებების განსაზღვრა ანალიტიკური სახით საკმაოდ რთულია, რადგან მათემატიკურ გამოსახულებაში შესული პარამეტრების უმრავლესობა უცნობია და იცვლება ხელსაწყოდან ხელსაწყოზე. ამიტომ, ჩვენების ოპტიკური ამოკითხვის მეთოდით მომუშავე ავტომატური დამოწმების სისტემაში ახდენენ აღნიშნული ცდომილებების მინიმიზაციას აპარატურული საშუალებით ან ექსპერიმენტალური მონაცემებით.

პარალაქსით შემოტანილი ცდომილებების გამორიცხვის მიზნით ვიდეოკამერიან ავტომატური დამოწმების სისტემაში გამოიყენებენ ობიექტივებს დიდი ფოკუსური მანძილით [69]. ამ მეთოდის გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის ამომკითხავი მოწყობილობის ზომებს, ართულებს რეგულირებისა და ექსპლუატაციის პროცესებს.

ვიდეოკამერის ნაცვლად სკანერის გამოყენება ამ მეთოდის რეალიზაციას შეუძლებელს ხდის.

რადგან აღნიშნული ცდომილებები სისტემური ხასიათისაა, ამიტომ მათი შემცირება შესაძლებელია ერთი და იგივე ხელსაწყოთა ცდომილების საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრით და მისი გათვალისწინებით გაზომვის შედეგებში შესწორების სახით. ცდომილების საშუალო მნიშვნელობის დადგენისათვის უნდა ავირჩიოთ ერთი ტიპის საზომი ხელსაწყოები და დავადგინოთ მათი გრადუირების მახასიათებლები ხელით მრავალჯერადი დამოწმების (შემთხვევითი ცდომილებების გამორიცხვის მიზნით) შედეგად. ექსპერიმენტის დროს აუცილებელია ცდომილებები განისაზღვროს ტექნოლოგიური ნიღაბის თითოეული ფანჯრისათვის, რადგან მათი მნიშვნელობები დამოკიდებულია ამოკითხვის ველში ხელსაწყოთა მდებარეობაზე.

დამოწმების დროს მიღებული შედეგების კორექტირება შესაძლებელია მაჩვენებლის მდებარეობასთან დამოკიდებული ცდომილების საშუალო მნიშვნელობის და მეორე მხრივ ხელსაწყოთა საწყისი ჩვენების ფარდობითი ცდომილების გათვალისწინებით.

ამოსაკითხი ელემენტების მდებარეობის საზღვრის პოვნისას დაშვებული ცდომილება დამოკიდებულია ამოსაკითხი ელემენტების კიდეების საზღვრის დადგენის სიზუსტეზე და განსხვავებულია მაჩვენებლისა და ნიშნულისათვის. ამ სახის ცდომილება გამოწვეულია ბინარიზაციის ზღურბლის განსაზღვრის დროს დაშვებული უზუსტობით. ზღურბლის მიღებული მნიშვნელობის განსხვავებას ჭეშმარიტისაგან მივყავართ ფონ-ობიექტის საზღვრის ნაწილობრივ ცდომილებით განსაზღვრასთან.

$$\Delta_b = \frac{\Psi}{\operatorname{tg}(\Omega)} \quad (2.3.2)$$

სადაც Ψ - ბინარიზაციის ზღურბლის განსაზღვრის ცდომილებაა;

Ω - სიკაშკაშის ცვლილების მრუდზე ფონ-ობიექტის განმსაზღვრელ წერტილში მხების დახრის კუთხეა. $\Omega = 80^\circ$ მნიშვნელობაზე შეგვიძლია ალგორითმში შევირჩიოთ ინტერვალების ისეთი რაოდენობა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს აღნიშნული ცდომილება მივიღოთ მნიშვნელოვნად მცირე სიდიდით.

მაჩვენებლისა და ნიშნულის შუახაზის მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება.

მაჩვენებლის შუახაზის მდებარეობა ალგორითმში განისაზღვრება პიქსელებში გამოსახული მაჩვენებლის სიგანის ნახევრის მიმატებით სასაზღვრო წერტილთან. ასეთ შემთხვევაში მაჩვენებლის შუალედის განსაზღვრის ცდომილება დამოკიდებულია მაჩვენებლის სიგანისა და მისი საზღვრის მდებარეობის დადგენის ცდომილებაზე.

ნიშნულის შუახაზის მდებარეობა განისაზღვრება მისი გამოსახულების მარჯვენა და მარცხენა საზღვრების კოორდინატთა საშუალო მნიშვნელობით. ნიშნულის შუალედის მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება დამოკიდებულია მისი სიკაშკაშის ცვლილების სხვადასხვაობაზე ფონი-ობიექტი, ობიექტი-ფონის მარჯვენა და მარცხენა საზღვრების სიდიდეზე, რომელიც გრაფიკული სახით ნაჩვენებია ნახ.2.6-ზე.

ნიშნულის ნაპოვნი შუახაზის წანაცვლება მის რეალურ მდებარეობასთან შედარებით გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta_{\text{ობ}} = \frac{\Psi}{\text{tg}(\Omega_2)} - \frac{\Psi}{\text{tg}(\Omega_1)} \quad (2.3.3)$$

სადაც Ω_1 - ფონი-ობიექტის საზღვარზე სიკაშკაშის ცვლილების მრუდის მხების დახრის კუთხეა;

Ω_2 - ობიექტი-ფონის საზღვარზე სიკაშკაშის ცვლილების მრუდის მხების დახრის კუთხეა;

Ψ - ბინარიზაციის ზღურბლია, რომელიც მოცემულ შემთხვევაში განისაზღვრება

$$\Psi = (\Psi_{\text{ობ}} - \Psi_{\text{ფ}}) / 2 \quad (2.3.4)$$

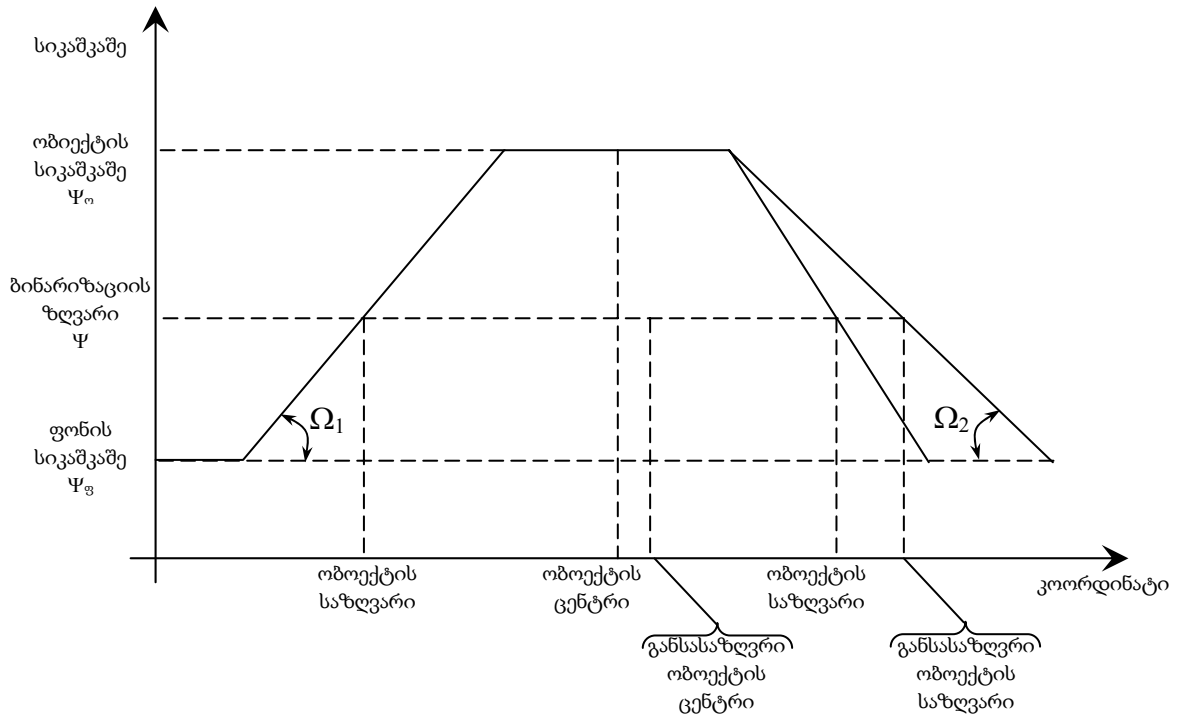
სადაც $\Psi_{\text{ობ}}$ - ობიექტის სიკაშკაშის საშუალო მნიშვნელობა;

$\Psi_{\text{ფ}}$ - ფონის სიკაშკაშის საშუალო მნიშვნელობაა.

სიკაშკაშის ოპტიკური საზღვარის წანაცვლება შესაძლებელია გამოვსახოთ ფარდობითი ცდომილებით;

$$\gamma_{\text{ობ}} = \frac{25,4 \cdot \Delta_{\text{ობ}}}{L_b \text{ dpi}} 100\% \quad (2.3.5)$$

სადაც L_b - ხელსაწყოს სკალის სიგრძეა.



ნახ.2.6 სიკაშკაშის ფონი-ობიექტის, ობიექტი-ფონის საზღვრის გრაფიკული გამოსახვა

ბინარიზაციის ზღურბლის $\Psi = 40$ საშუალო მნიშვნელობისას Ω_1 და Ω_2 -ს შორის $\pm 5^\circ$ სხვაობის ($\Omega_1 = 80^\circ$, $\Omega_2 = (75-85)^\circ$) დროს ნიშნულის ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრის ფარდობითი ცდომილება არ აჭარბებს $\pm 0,25\%$.

ამოსაკითხ ელემენტებს შორის მანძილი მათი შუახაზების დაშორებით განისაზღვრება. თუ ცნობილია მაჩვენებლის Δ_g და ნიშნულის Δ_f შუახაზების განსაზღვრის ცდომილება, მაშინ გამოსათვლელი ცდომილება ტოლია:

$$\Delta_{გმ} = \sqrt{\Delta_g^2 + \Delta_f^2} \quad (2.3.6)$$

სკალის არაწრფივობით გამოწვეული ცდომილება. სკალის გამოსახულების მიხედვით ამოკითხვის მეთოდის ალგორითმის რეალიზაციისას ჩვენების განსაზღვრის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს ხელსაწყო სკალის არაწრფივობა დასამოწმებელი ნიშნულის უბანში.

კვადრატული სკალის შემთხვევაში არაწრფივობის ფარდობითი ცდომილება განისაზღვრება [26]:

$$\gamma_s = \mp \frac{1}{4} \left(\frac{X_N^*}{X_i^*} \cdot \frac{\ell_i}{L_s} \right)^2 100\% \quad (2.3.7)$$

სადაც X_N^* - სკალის ნომინალია;

X_i^* - დასამოწმებელი i ნიშნულის ნომინალია;

ℓ_i - მაჩვენებელსა და დასამოწმებელ i ნიშნულს შორის მანძილია;

L_s -სკალის სიგრძეა.

ფორმულაში ნიშანი მინუსი გვაქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც საზომი მანძილი იმყოფება X_i ნიშნულის მარცხნივ.

სკალის არაწრფივობა ახლოსაა კვადრატულთან ელექტრომაგნიტური სისტემის მქონე გამზომი ხელსაწყოებისათვის. დანარჩენ შემთხვევაში არაწრფივობა მნიშვნელოვნად მცირეა.

ცდომილების მაღალი სიზუსტით განსაზღვრისათვის დაშორება ℓ_i უნდა შევაფარდოთ იმ დანაყოფის L სიგრძეს, სადაც იმყოფება მაჩვენებელი დაკალიბრებული სიგნალის მიწოდების შედეგად. ამ შემთხვევაში ხელსაწყოს ფარდობითი ცდომილება განისაზღვრება ფორმულით [26]:

$$\gamma_s = \frac{\Delta x}{X_N^*} \frac{\ell_i}{L} 100\% = \nu \frac{\ell_i}{L} \quad (2.3.8)$$

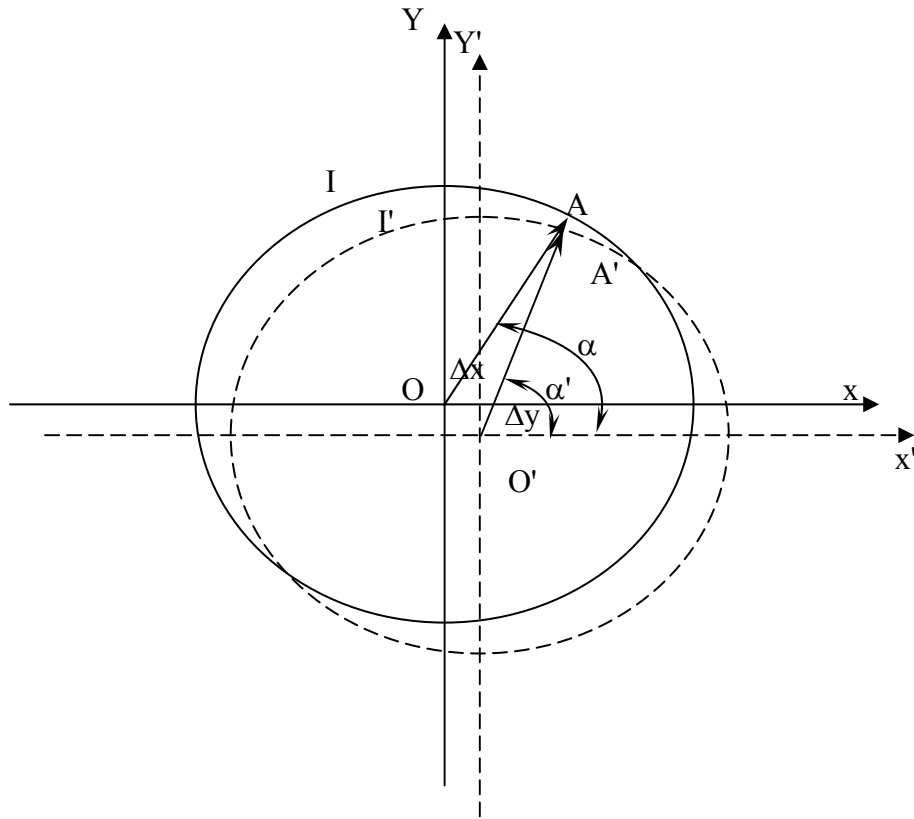
სადაც, Δx - სკალის დანაყოფის ფასია;

$\nu = \frac{\Delta x}{X_N^*} \cdot 100\%$ - დანაყოფის ფარდობითი ფასია გამოსახული პროცენტებში.

ექსცენტრისიტეტით გამოწვეული ცდომილება. აღნიშნული ცდომილება განპირობებულია სკალის რეალურ და განსაზღვრულ ცენტრებს შორის შეუთავსებლობით.

ზემოთ აღნიშნული ცდომილებები (დისკრეტიზაცია, სკალაზე სამოწმებელი ელემენტების მდებარეობის საზღვრების პოვნა, ნიშნულის შუახაზის დადგენა) გამოწვეულია წრის ცენტრის განმსაზღვრელი წერტილების არაზუსტი დადგენით. ამას მივყავართ O' ცენტრის წანაცვლებისაკენ რეალური O ცენტრის მიმართ Δx და Δy მნიშვნელობებით. ეს წანაცვლება იწვევს A მაჩვენებლის საძებნი მდებარეობის I

ტრაექტორიის გადაადგილებას I ტრაექტორიაზე. ამიტომ მაჩვენებლის მდებარეობა განისაზღვრება A' წერტილში a' კუთხური მდებარეობით (ნახ.2.7).



ნახ.2.7 ექსცენტრისიტეტის გრაფიკული გამოსახვა

ექსცენტრისიტეტით გამოწვეული ფარდობითი ცდომილება იქნება:

$$\gamma_e = \frac{a' - a}{a_N^*} 100\% \quad (2.3.9)$$

სადაც $\Delta a = a' - a$ სხვაობა გამოითვლება ფორმულით [26]:

$$\Delta a = \arctg \frac{r(\cos \omega \cdot tga - \sin \omega)}{\frac{x_i}{\cos^2 a} - r(\sin \omega \cdot tga + \cos \omega)} \quad (2.3.10)$$

სადაც $r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$, $\omega = \arctg\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$,

$$x_i = \left[(\Delta x + \Delta y \cdot tga) \pm \sqrt{(\Delta x + \Delta y \cdot tga)^2 + \frac{Rl^2 - r^2}{\cos^2 a}} \right] \cos^2 a \quad (2.3.11)$$

ექსცენტრისიტეტის გამოსათვლელი ფორმულა, როცა $45^0 \leq a \leq 135^0$ და ω იცვლება 0-დან 360^0 გვიჩვენებს, რომ ცდომილების მაქსიმალური სიდიდე არ აღემატება $\gamma_g \leq 0,27\%$ -ს.

დისკრეტიზაციის γ_g , სკალაზე მაჩვენებლის შუახაზის დადგენის γ_a ცდომილების, სამოწმებელი ნიშულის γ_b შუახაზის განსაზღვრის და ექსცენტრისიტეტის γ_g ცდომილებების შეჯამებით მივიღეთ:

$$\gamma = \sqrt{\gamma_g^2 + \gamma_b^2 + \gamma_a^2 + \gamma_g^2} = 0,373\% \quad (2.3.12)$$

ვინაიდან ცდომილების მდგენელები და ჯამური ცდომილება შემთხვევითი ხასიათისაა და აქვს ნორმალური განაწილების კანონი, მაშინ საშუალო კვადრატული გადახრისათვის გვექნება:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} \gamma = 0,181 \quad (2.3.13)$$

განხილული ცდომილებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ყველაზე დიდი რიცხვითი მნიშვნელობის ცდომილება შემოაქვს ოპტიკურ სისტემას და პარალაქსს. ორივე ცდომილება გამოწვეულია ოპტიკური მატრიცული სკანერის გამოყენების გამო. თავიანთი ხასიათით ეს ცდომილებები სისტემატიკურია და შესაძლებელია მათი განსაზღვრა. ამიტომ დასამოწმებელი ხელსაწყოს ჩვენების კორექტირების მიზნით სასურველია ერთი ტიპის ხელსაწყოების ცდომილების საშუალო მნიშვნელობის ნაცვლად გამოვიყენოთ მოცემული ხელსაწყოს კონკრეტული ცდომილების მნიშვნელობა.

2.4. სკანირების სიჩქარით და პარალაქსით შემოტანილი ცდომილებების მინიმიზაციის მეთოდების დამუშავება

ანალოგური საზომი ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების ოპერაციის აქტუალური საკითხებიდან მნიშვნელოვანია ხელსაწყოს ჩვენების ამოკითხვის ახალი და ეფექტური ტექნიკური საშუალებების დამუშავება [101,103]. ეს

საშუალებები უნდა გამოირჩეოდნენ კონსტრუქციული სიმარტივით, უნდა უზრუნველყონ მაღალი მწარმოებლობა და საიმედოობა, ორიენტირებული უნდა იყვნენ სერიული უნიფიცირებული ხელსაწყოების გამოყენებაზე, ხასიათდებოდნენ თავსებადობით თანამედროვე გამომთვლელ სისტემებთან, უზრუნველყონ ადვილი ადაპტირება ახალი ტიპის ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმებისათვის.

ამოკითხვის ოპერაციები ძირითადად ხორციელდება სტატიკური და დინამიკური რეჟიმებისათვის. დინამიკურ რეჟიმში ეს პროცესი ბევრად რთულია ხელსაწყოს მაჩვენებლის უწყვეტი გადაადგილების გამო.

სტატიკური რეჟიმით დამოწმებისას ხელსაწყოს შესასვლელზე აწვდიან სკალის ნიშნულების ტოლფას სანიმუშო სიგნალების მიმდევრობას. შესამოწმებელი ნიშნულის α_k^* და მაჩვენებლის მდებარეობის a_k კუთხური მნიშვნელობებით ადგენენ ხელსაწყოს აბსოლუტურ ცდომილებას:

$$\Delta\alpha_k = \alpha_k - \alpha_k^* \quad (2.4.1)$$

ამრიგად, სკალის ჩვენების მიხედვით ამოკითხვის მეთოდით ხელსაწყოების ცდომილების განსაზღვრისათვის, საჭიროა ვიპოვოთ მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის მნიშვნელობა და შევადაროთ ის სამოწმებელი ნიშნულის კუთხურ მდებარეობას. დამოწმების სტატიკური მეთოდი გვაძლევს მეტ ცდომილებას, რადგან ჩვენება განისაზღვრება სკალის გამოსახულების მიხედვით.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამოსაკითხ ნიშნულებს შორის კუთხური მდებარეობის განსაზღვრა სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდით ზღუდავს 1,5-ზე მაღალი სიზუსტის კლასის ხელსაწყოების დამოწმების შესაძლებლობას [55,76, 84, 85].

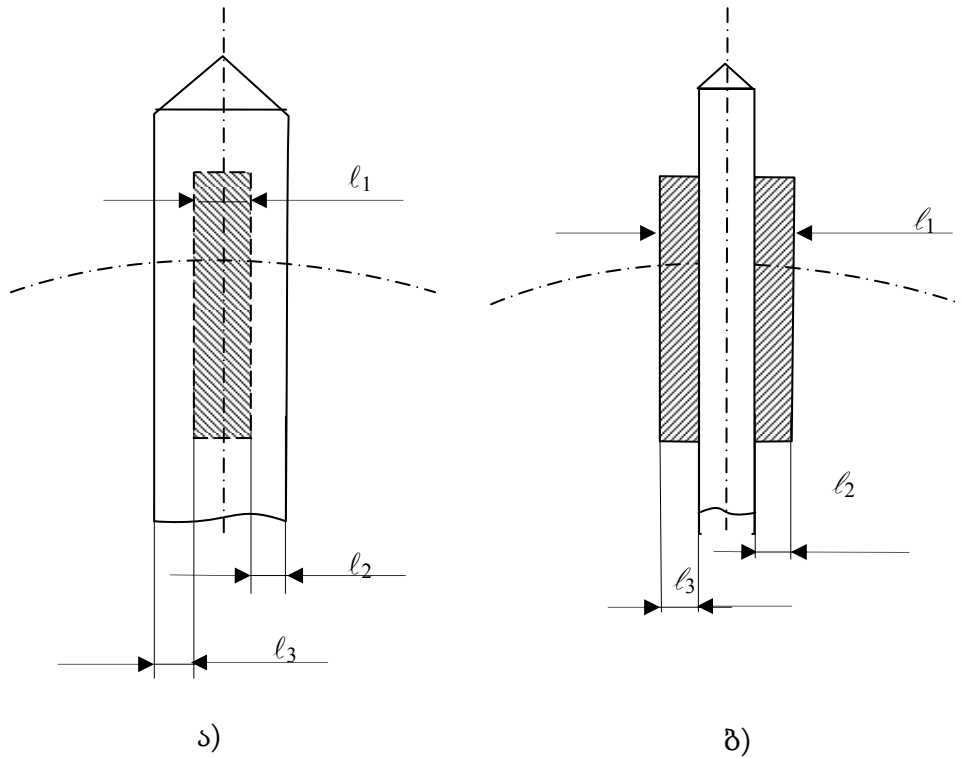
შედარებით სრულყოფილია ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმებისა და გრადუირების ავტომატური მოწყობილობები, რომლებშიც ამომკითხველი მოწყობილობის ფუნქციას ასრულებს გადამცემი სატელევიზიო კამერა (ვიდეოკამერა). ვიდეოკამერის გამოყენებას მნიშვნელოვნად ზღუდავს მის მიერ შემოტანილი სისტემატური ცდომილებები (გაშლის ცენტრის შეუთავსებლობა სკალის ცენტრთან, გაშლის დამახინჯება, ფაზური დამახინჯება, დროითი დამახინჯებები სხივის მოძრაობისას, დაბალი გარჩევითობა და სხვა). ასევე მაღალი

ხარისხის გამოსახულების მისაღებად საჭიროა ძვირადღირებული ოპტიკური სისტემები.

ამ პრობლემის გადასაჭრელად უნდა გამოვიყენოთ ტექნიკური საშუალება, რომელიც უზრუნველყოფს ზუსტი და მაღალი გარჩევითობის გამოსახულების მიღებას და აქვს კომპიუტერთან სტანდარტული ინტერფეისი. ასეთი მოწყობილობაა მატრიცული ფოტომიმდები, სატელევიზიო კამერასთან შედარებით CCD სკანერი იძლევა საშუალებას მივიღოთ მაღალი ოპტიკური გარჩევითობის (6400dpi და მეტი) და სიკაშკაშის დიდი დიაპაზონის გამოსახულება. ასეთი ტიპის ფოტოელექტრული გარდამქმნელები თავსებადი არიან თანამედროვე პერსონალურ კომპიუტერებთან.

ფოტოელექტრული სკანერი სინათლის წყაროსთან ერთად მოთავსებულია მოძრავ მექანიზმზე, რომელიც გადაადგილდება ბიჯური ან მუდმივი დენის ძრავის საშუალებით ამოსაკითხი ველის გასწვრივ. ასეთი სისტემით შედარებით მარტივად ხორციელდება სკალის გამოსახულების მიხედვით ამოკითხვის მეთოდი, ხოლო დინამიკურ რეჟიმში შეთავსების მეთოდის განსახორციელებლად საჭიროა ხელსაწყო შესასვლელზე სიგნალის ცვლილების შესაბამისობაში ოპტიკური სკანერის წრფივი გადაადგილების ან მობრუნების კუთხის სიდიდის შეთანხმება. შეთავსების მეთოდით ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმებისას საჭიროა ამოკითხვის ოპერაცია განვახორციელოთ მაშინ, როცა მაჩვენებლის და ნიშნულის შუა წერტილები შეუთავსდებიან ერთმანეთს. ამ მიზნით ამომკითხავი მოწყობილობა გადაადგილდება სკალის გასწვრივ ისე რომ, შეთავსების მომენტამდე ის უნდა იმყოფებოდეს სამოწმებელ ნიშნულზე. ვპოულობთ ნიშნულის სიგანეს l_1 და შეთავსების მომენტის განსაზღვრისათვის ვადარებთ l_2 და l_3 სიდიდეებს (ნახ. 2.8, ა და ბ). მაჩვენებლის შეთავსება ნიშნულთან ხორციელდება, როცა $l_2 = l_3$ [101, 103].

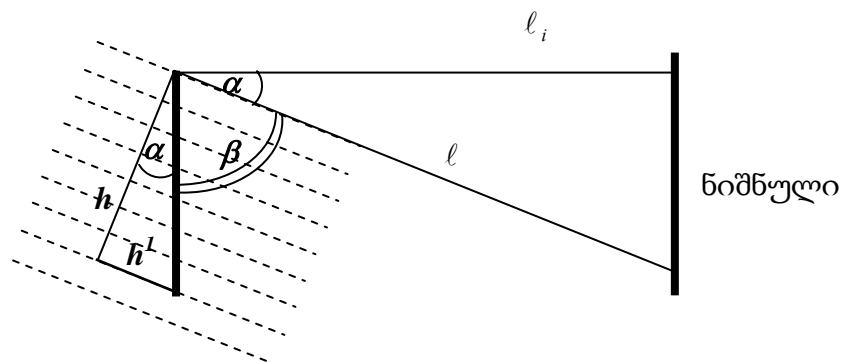
მატრიცული სკანერი შედგება სვეტებისა და სტრიქონების მიხედვით განლაგებული ფოტომგრძნობიარე ელემენტებისგან, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მაჩვენებლის და ნიშნულის პარამეტრები, ასევე მათი მდებარეობები გამოსახულებაზე განლაგებული პიქსელების კოორდინატების მიხედვით.



ნახ.2.8 მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების მეთოდები:

ა) ნიშნულის სიგანე ნაკლებია მაჩვენებლის სიგანეზე, ბ) მაჩვენებლის სიგანე ნაკლებია ნიშნულის სიგანეზე

სკალის გამოსახულების მიხედვით ცდომილების განსაზღვრისას უნდა გავითვალისწინოთ მატრიცული ფოტომიმდების ამომკითხავი სტრიქონების კუთხური მდებარეობა მაჩვენებლის ან ნიშნულის მიმართ (ნახ.2.9).



ნახ. 2.9 სკანირების მიმართულების დამოკიდებულება ელემენტებს შორის მდებარეობაზე

ცდომილების შემცირების მიზნით უნდა განსაზღვროთ α კუთხური მნიშვნელობა და გამოვთვალოთ ℓ_i სიდიდე სკალის გამოსახულების ელემენტებს შორის. ეს ოპერაცია შესაძლებელია შევასრულოთ დამატებითი მოწყობილობის გარეშე, მატრიცული სკანერის სტრიქონებში და სვეტებში გამოსახულების მიერ დაკავებული პიქსელების მდებარეობის განსაზღვრის მიხედვით:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{h'}{h} \quad (2.4.2)$$

$$\ell_i = \ell \cos \alpha \quad (2.4.3)$$

მაშინ, აღნიშნული მეთოდის გარეშე დაშვებული აბსოლუტური ცდომილება ტოლი იქნებოდა:

$$\Delta = \ell \left[1 - \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{h'}{h} \right) \right] \quad (2.4.4)$$

ხოლო, ფარდობითი:

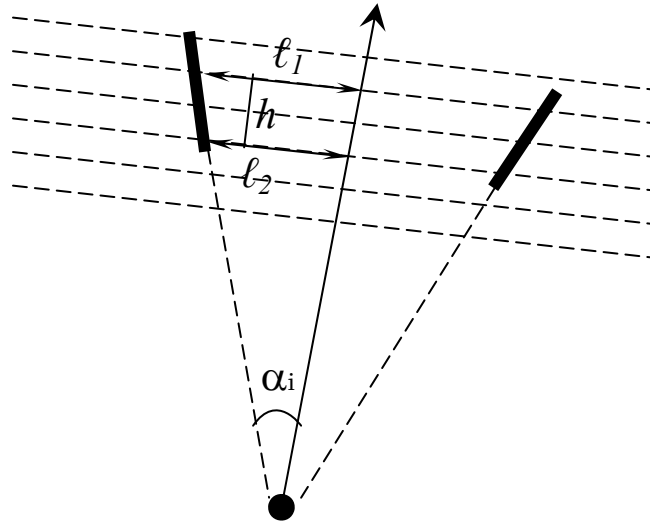
$$\gamma = \left[\frac{1}{\cos \left(\operatorname{arctg} \frac{h'}{h} \right)} - 1 \right] 100\% \quad (2.4.5)$$

ამრიგად, სკალის გამოსახულების ამოკითხვის პროცესში ცდომილების გამორიცხვის მიზნით გამოსახულების მიერ დაკავებული პიქსელების კოორდინატების მიხედვით დავადგენთ რეალურ მანძილს ნიშნულსა და მაჩვენებელს შორის.

მრგვალსკალიანი ხელსაწყოებისათვის მაჩვენებელსა და სამოწმებელ ნიშნულს შორის კუთხური მდებარეობა სხადასხვა მიმართულებით სკანირებისას დამოწმების სტატისტიკურ რეჟიმში გამოითვლება ფორმულით:

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{\ell_1 - \ell_2}{h} \quad (2.4.6)$$

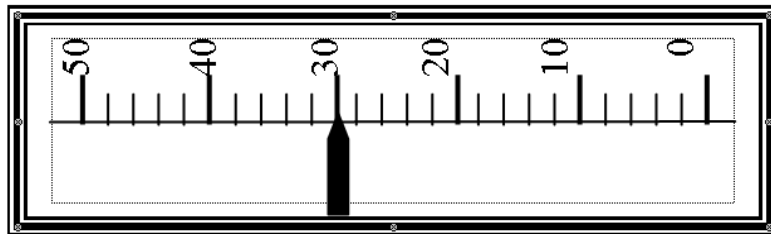
სადაც ℓ_1 და ℓ_2 სკანერის h მანძილით დაშორებული სტრიქონებით განსაზღვრული სკალის ელემენტებს შორის მანძილია (იხ. ნახ. 2.10).



ნახ. 2.10 მაჩვენებელსა და ნიშნულს შორის კუთხური სიდიდის განსაზღვრა

პროფილური ხელსაწყოებისათვის (ნახ.2.11) გამოსახულების დამახინჯებით შემოტანილი ცდომილებები გამოწვეულია არა მარტო ოპტიკური სისტემის მახასიათებლებით, არამედ ამოკითხავი სიბრტყის მიმართ სკალის სიმრუდით. ამიტომ, მიღებულ გამოსახულებაზე ნიშნულს შორის დაშორება მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო შორს იმყოფებიან ისინი ამოკითხვის ცენტრიდან (ნახ.2.12). ამ შემთხვევაში სკალის გამოსახულების დამახინჯება შეგვიძლია გამოვრიცხოთ, როცა ცნობილია ხელსაწყოს სკალის პროფილის რადიუსი, მაშინ დანაყოფებს შორის მანძილი ტოლი იქნება:

$$\ell_i^* = R \arcsin\left(\frac{\ell}{R}\right) \quad (2.4.7)$$



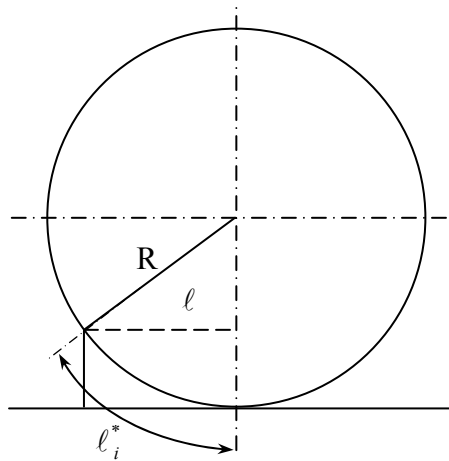
ნახ.2.11 პროფილური ხელსაწყოს სკალის გამოსახულება

ასეთი გამოთვლის უარყოფითი მხარეა მიღებული შედეგების სკანერის პლანშეტის ვერტიკალური მდებარეობიდან ხელსაწყოს გადახრაზე დამოკიდებულება.

აქედან გამომდინარე, ცდომილების შემცირების მიზნით სკანერმა უნდა იმოძრაოს პროფილის გასწვრივ და იყოს პარალელური ამოსაკითხი ველის მიმართ. თუ გავითვალისწინებთ (2.4.1; 2.4.2 და 2.4.4) ფორმულებს, მაშინ მივიღებთ:

$$\ell_i^* = R \arcsin \left(\frac{\ell \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{h'}{h} \right)}{R} \right) \quad (2.4.8)$$

ამრიგად, სხვადასხვა მიმართულებით სკანირებისას პროფილურ ხელსაწყოებში მაჩვენებელსა და ნიშნულს შორის კუთხური მდებარეობა გამოითვლება (2.5.5) ფორმულით.



ნახ.2.12 პროფილური ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების პროექცია ამოსაკითხ სიბრტყეზე

აღნიშნული დამოკიდებულებები სამართლიანია მხოლოდ დამოწმების სტატიკური რეჟიმისათვის, რადგან დინამიკურ რეჟიმში ზემოთ აღნიშნული ყველა ტიპის ხელსაწყოებისათვის მაჩვენებლის მუდმივი გადაადგილების გამო დამატებით გვექნება სკანირების სიჩქარით შემოტანილი ცდომილება.

დავუშვათ, რომ სკანირების ციკლი სრულდება τ დროის ინტერვალში, ხოლო მაჩვენებელი გადაადგილდება ω კუთხური სიჩქარით:

$$\omega = \frac{\alpha_N^*}{T_N} \quad (2.4.9)$$

მაშინ მაჩვენებელი τ სკანირების დროში გადაინაცვლებს $\Delta\alpha$ კუთხური სიდიდით:

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha_N^*}{T_N} \tau \quad (2.4.10)$$

თუ სკანირების სიხშირეა n (კადრი/წმ), მაშინ ერთი სტრიქონის ამოკითხვისათვის საჭირო დრო ტოლი იქნება:

$$\tau_s = \frac{1}{nm_s} \quad (2.4.11)$$

სადაც m_s სკანერის სტრიქონების რაოდენობაა.

თუ ამოკითხვის სასურველ არეში იმყოფება m_1 სტრიქონი, მაშინ სკანირების სიჩქარით შემოტანილი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება ტოლი იქნება:

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha_N^*}{T_N} \frac{1 + m_1(m_s - m_1)}{nm_1} \quad (2.4.12)$$

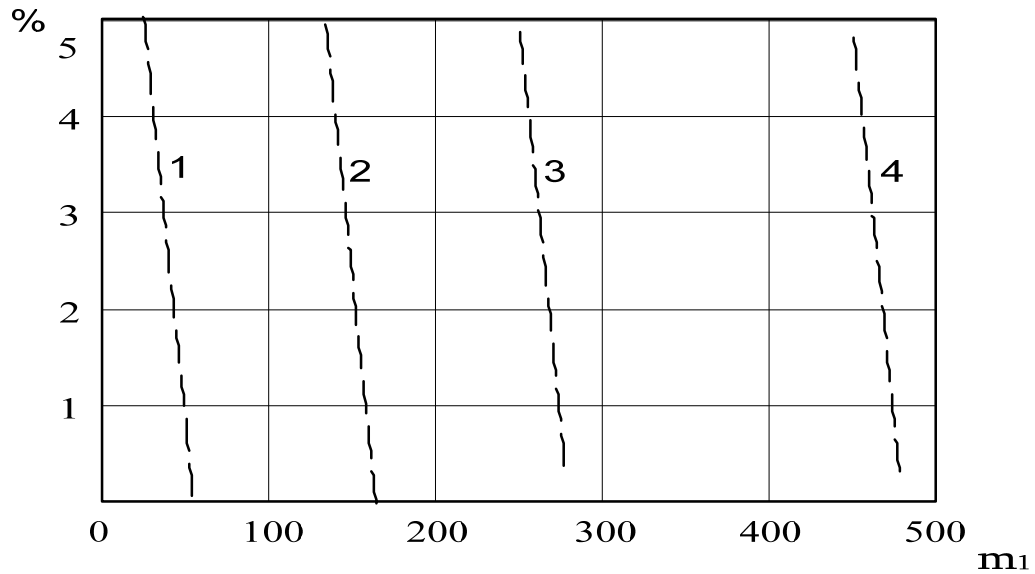
ხოლო, ფარდობითი ცდომილება ტოლი იქნება:

$$\gamma = \frac{1 + m_1(m_s - m_1)}{T_N nm_1} 100\% \quad (2.4.13)$$

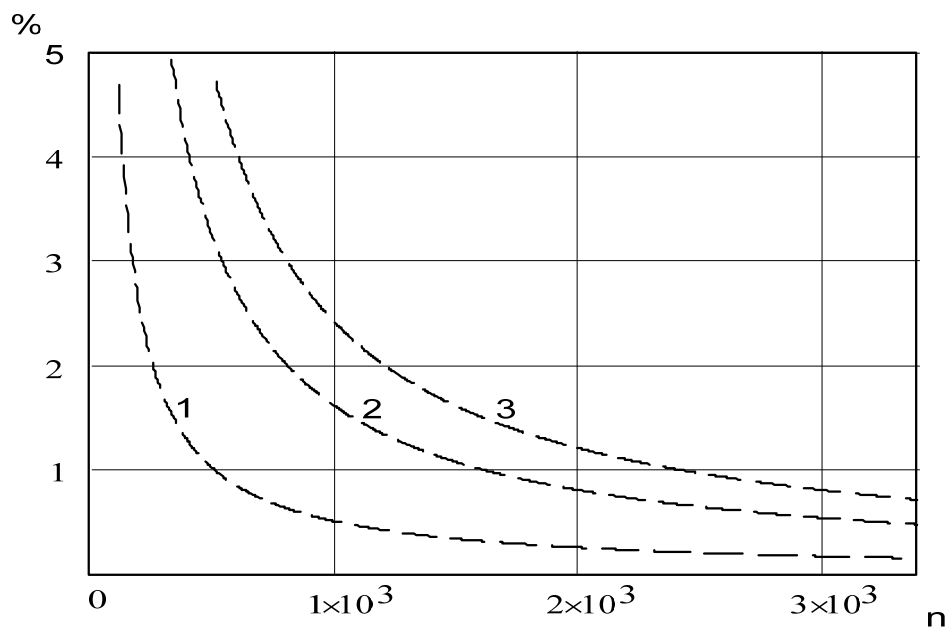
მაგალითისათვის განვიხილოთ მონოქრომატული CCD მატრიცა "KAI-0340M" (დამამზადებელი კომპანიაა-Kodak Image Solutions) პიქსელების განლაგებით 7.4X7.4 მკმ. და აქვს შესაძლებლობა ვცვალოთ კადრების სიხშირე (214; 581; 618; 1637; 3400 ჰც) ფანჯრის ზომებთან (640X480; 228X480; 640X164; 228X164; 228X55) შესაბამისობაში.

ნახაზზე - 2.13 ნაჩვენებია (2.4.13) ფორმულით აგებული მრუდები სტრიქონების m_s სხვადასხვა მნიშვნელობისას. განხილულ შემთხვევაში $T_N=10$ წმ და $n = 60$ კად/წმ. 1, 2, 3 და 4 მრუდებს შეესაბამება ფანჯარა 55, 160, 240 და 480 სტრიქონების რაოდენობით. გრაფიკიდან (იხ.ნახ.2.13) ჩანს, რომ ფარდობითი ცდომილების სიდიდე არაა დამოკიდებული ფანჯარაში სტრიქონების რაოდენობაზე და დამოკიდებულია $(m_s - m_1)$ სხვაობაზე.

მეორეს მხრივ, ფარდობითი ცდომილება დამოკიდებულია კადრების სიხშირეზე (იხ.ნახ.2.14). მრუდები 1, 2, 3 შეესაბამება (m_1, m_s) პარამეტრების 10, 30 და 50% თანაფარდობას. განხილულ შემთხვევაში - $m_s = 480$, $T_N=10$ წმ.



ნახ.2.13 სკანირებით შემოტანილ ფარდობით ცდომილებაზე საინფორმაციო არეში განლაგებული სტრიქონების რაოდენობის დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ.2.14 სკანირების სიჩქარით შემოტანილი ფარდობითი ცდომილების კადრების სიხშირესთან დამოკიდებულების გრაფიკი

აღნიშნულიდან გამომდინარე, სკანირების სიჩქარით შემოტანილი ცდომილების შესამცირებლად $m_s - m_1$ სხვაობა უნდა მიუახლოვდეს 0-ს ან უნდა გავზარდოთ

კადრების სიხშირე. პირველი პირობის შესრულება მნელია სკანერის მუდმივი გადაადგილების გამო (იცვლის მდებარეობას სკალის მიმართ), ხოლო მეორე პირობის შესრულება გამოიწვევს დასამუშავებელი ინფორმაციის მოცულობის მნიშვნელოვან გაზრდას.

დინამიკურ რეჟიმში გამოსახულების ამოკითხვის დროს სკანერმა უნდა დაიკავოს სამოწმებელი ნიშნულის ველი დამოწმების დაწყებამდე. ამრიგად, სკანერი გადაადგილდება მაჩვენებლის მოძრაობის მიმართულებით, უსწრებს მას და ელოდება სამოწმებელ ნიშნულთან მცირე სათვალთვალო კუთხით შეთავსების მომენტის რეგისტრაციამდე.

სკანერის სამოწმებელ ნიშნულებს შორის გადაადგილების სიჩქარე განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\omega_k = \frac{\alpha_{K+1} - \alpha_K}{t_k} \quad (2.4.14)$$

სადაც

$$t_k = t_m - t_{\text{დამ}} - t_{\text{ამოკ}} - t_{\text{შეთ}}.$$

ხოლო, t_m -მაჩვენებლის გადაადგილებაზე, $t_{\text{დამ}}$ -დამყარების პროცესზე, $t_{\text{ამოკ}}$ -გამოსახულების ამოკითხვაზე და $t_{\text{შეთ}}$ -შეთავსების დაფიქსირებისათვის k შუალედში საჭირო დროის მნიშვნელობებია.

აღნიშნული მეთოდი მნიშვნელოვნად ამცირებს გამოსახულების ამოკითხვის დროს დაშვებულ ცდომილებას.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ დასამოწმებელი ხელსაწყოების სკალაზე გვაქვს ელემენტები, (მაჩვენებელი, ნიშნულები და სხვადასხვა აღნიშვნები) რომელთა პარამეტრები წინასწარ ცნობილია, მაშინ შესაძლებელია პარალაქსით შემოტანილი ცდომილებების მნიშვნელოვანი შემცირება. მნიშვნელოვანია გამოვიყენოთ ის წინასწარ ცნობილი სიდიდეები, რომლებიც ემთხვევა გაზომვის მიმართულებას. მაგალითად, მაჩვენებელს და ნიშნულს შორის მანძილის დადგენისას უნდა ვიცოდეთ ხელსაწყოს სამოწმებელ ნიშნულებს შორის li მანძილი. დავუშვათ, რომ ოპტიკური სკანერით განსაზღვრული l'_i ელემენტებს შორის მანძილია, მაშინ პარალაქსის შესწორების კოეფიციენტი იქნება:

$$\kappa_i = \frac{\ell_i}{\ell'_i} \quad (2.4.15)$$

მაშინ, სკანერით დაფიქსირებული ℓ'_i სიდიდის რეალური ნომინალური მნიშვნელობა იქნება: $\kappa_i \ell'_i$.

აქედან გამომდინარე, ხელსაწყო სკალის ელემენტების ცნობილი პარამეტრების მიხედვით შეგვიძლია მნიშვნელოვნად შევამციროთ პარალაქსით შემოტანილი ცდომილება.

ამრიგად:

1. წრფივსკალიანი ხელსაწყოებისათვის ელემენტებს შორის მანძილი განისაზღვრება:

$$\ell_i = \kappa_i \cdot \ell \cdot \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{h'}{h}\right) \quad (2.4.16)$$

2. მრგვალსკალიანი ხელსაწყოებისათვის:

$$\alpha_i = \kappa_i \cdot \alpha \cdot \operatorname{arctg} \frac{\ell_1 - \ell_2}{h} \quad (2.4.17)$$

3. პროფილური ხელსაწყოებისათვის:

$$\ell_i^* = \kappa_i \cdot R \cdot \operatorname{arcsin} \left(\frac{\ell \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{h'}{h}\right)}{R} \right) \quad (2.4.18)$$

ამრიგად, ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე საჭიროა გავითვალისწინოთ შემდეგი მომენტები:

ა) გამოსახულების ელემენტების პარამეტრების განსაზღვრის და პარალაქსით შემოტანილი ცდომილების შესამცირებლად $t_{\text{მოკ}}$ დროის მონაკვეთში უნდა გამოვიყენოთ სკანერის ფანჯრის დიდი ზომა და კადრების დაბალი სიხშირე (640X480, 60ჰც).

ბ) სკანირების სიჩქარით შემოტანილი ცდომილების და დასამუშავებელი ინფორმაციის მოცულობის შესამცირებლად $t_{\text{მოთ}}$ დროის მომენტში უნდა ვისარგებლოთ სკანერის ფანჯრის მცირე სიდიდით და კადრების შედარებით მაღალი სიხშირით.

გ) ოპტიკური სისტემით შემოტანილი ცდომილებების შესამცირებლად უნდა გამოვიყენოთ სკანერის გამოსახულების ველის შუა უბანი და ამ უბანში სამოწმებელი ელემენტის მოსათავსებლად უნდა განვახორციელოთ სკანერის მოძრავი მექანიზმის ამძრავის ავტომატური მართვა.

2.5. მიღებული შედეგები და დასკვნები

1. განხილულია ავტომატური დამოწმების სისტემის თითოეული კვანძი მათი ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერით. მის საფუძველზე შესაძლებელია დამოწმების სისტემის მათემატიკური მოდელის დამუშავება.
2. დამუშავებულია საწყისი გამოსახულების მომზადების ტექნოლოგია (სეგმენტაცია, გარჩევითობის ამაღლება, ბინარიზაცია და ფილტრაცია).
3. დადგენილია ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების ამოკითხვის ხარისხზე მოქმედი ცდომილებების ორი ჯგუფი:
 - ა) ოპტიკო-ელექტრონული საშუალებით გამოსახულების ამოკითხვის შედეგად მიღებული ცდომილება.
 - ბ) გამოსახულების ჩვენების განსაზღვრის ალგორითმით შემოტანილი სისტემატური ცდომილებები.
4. დამუშავებულია წრფივ, მრგვალ და პროფილურ სკალიანი ხელსაწყოების გამოსახულებაზე ელემენტებს (ნიშნული, მაჩვენებელი) შორის რეალური მაძილის განსაზღვრის ალგორითმული მეთოდები.
5. დამუშავებულია დამოწმების დინამიკურ რეჟიმში ამომკითხავი მოწყობილობის გადაადგილების ხასიათის მეთოდოლოგია და გამოთვლილია მოძრაობის სიჩქარის მინიმალური მნიშვნელობა.
6. დამუშავებულია სკანირების სიჩქარით შემოტანილი ცდომილების განსაზღვრის მეთოდი და დადგენილია სკანირების სიხშირის მისაღები დიაპაზონი.

თავი 3

ავტომატური დამოწმების მეთოდების გამოკვლევა და საზომი ხელსაწყოების ჯამური ცდომილების ანგარიში

3.1. ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმება დინამიკურ რეჟიმში

ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური რეჟიმი ხორციელდება მის შესასვლელზე დროში ცვლადი სიგნალის მიწოდებით. ავტომატური დამოწმების ასეთი პროცესი უფრო ტექნოლოგიურია, ვიდრე სტატიკური, ვინაიდან პირველ რიგში ის უზრუნველყოფს მაღალ მწარმოებლობას და მეორე მხრივ, არის უნივერსალური ხელსაწყოს ვარიაციული ჩვენების შემოწმების თვალსაზრისით.

დამოწმების დინამიკურ რეჟიმში თავს იჩენს დინამიკური ცდომილებები, რომლის მინიმიზაციისა და დამოწმების დროის შემცირების მიზნით ანალოგური ხელსაწყოს შესასვლელზე აწოდებენ სპეციალური ფორმის სიგნალებს [3, 26, 52, 69]. მაგალითად ნაშრომში [52] გვთავაზობენ შემდეგი ფუნქციის სიგნალს:

$$X(t) = X_k^* \cdot (1 - \exp(-t/\tau)), \quad \text{როცა } \tau \geq \pi/\omega_0 \quad (3.1.1)$$

ასეთი ფუნქციის მქონე შესასვლელი სიგნალების პრაქტიკული გამოყენება მკვეთრად შეზღუდულია ტექნიკურად მათი რეალიზაციის სირთულის გამო. ასევე, სპეციალური სიგნალის პარამეტრებს განსაზღვრავენ შესამოწმებელი ხელსაწყოების მოძრავი ნაწილის ზოგადი დინამიკური მახასიათებლით. რის გამოც ეს მეთოდი ვერ უზრუნველყოფს ცდომილების განსაზღვრის სიზუსტეს ხელსაწყოების ტექნიკური თვისებების ინდივიდუალურობის გამო.

პრაქტიკული თვალსაზრისით მიღებულია ხელსაწყოს შესასვლელზე წრფივად ზრდადი სანიმუშო სიგნალის მიწოდება, ხოლო დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მიზნით პოულობენ მის რიცხვით Δ_g მნიშვნელობას და გაზომვის შედეგების დამუშავებისას შეაქვთ შესწორების სახით [22]. აქედან გამომდინარე,

ხელსაწყოს აბსოლუტური ცდომილება κ -ურ სამოწმებელ ნიშნულზე ტოლი იქნება:

$$\Delta_{\kappa} = x_{\kappa} - (x_{\kappa}^* - \Delta_g) \quad (3.1.2)$$

სადაც x_{κ}^* სამოწმებელი ნიშნულის რიცხვითი მნიშვნელობაა, ხოლო x_{κ} , მაჩვენებლის x_{κ}^* ნიშნულთან შეთავსების მომენტში შესასვლელი სიგნალის სიდიდე.

ამრიგად, დინამიკური ცდომილების გამოსათვლელად საჭიროა გამოვიკვლიოთ ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებელი. რომლის დადგენა მოითხოვს ადგენების, რეგისტრაციისა და რხევის სიხშირის ანალიზის ოპერაციებს.

ანალოგიური საზომი ხელსაწყოების უმრავლესობისათვის მათი მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებელი აღიწერება მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებით:

$$T^2 \frac{d^2 a^*}{dt^2} + 2\beta T \frac{da^*}{dt} + \omega_0^2 a^* = kx \quad (3.1.3)$$

სადაც- β მილევის ხარისხია, ხოლო T დროის მუდმივაა ($T=1/\omega_0$),

ω_0 - რეზონანსული სიხშირეა.

დიფერენციალური (3.1.3) განტოლება წარმოადგენს ანალოგიური ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მათემატიკურ მოდელს და საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ მისი რეაქცია შესასვლელი სიგნალის ნებისმიერი კანონით ცვლილებისას.

ავტომატური დამოწმებისას, პრაქტიკული თვალსაზრისით, მიღებულია ხელსაწყოს შესასვლელს მივაწოდოთ დროის მიხედვით წრფივად ცვლადი სიგნალი. ვინაიდან, ანალოგიური ხელსაწყოების უმეტესობის მოძრავი ნაწილის მახასიათებელი წარმოადგენს მეორე რიგის ინერციულ სისტემას, მაშინ წრფივად ცვლადი სიგნალის მოქმედებით მაჩვენებლის გადაადგილების კანონი მილევის ხარისხის სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის აღიწერება შემდეგი გამოსახულებით [26,27]:

$$a_c(t) = \frac{a_N^* t}{T_N} - \frac{2a_N^* \beta}{\omega_0 T_N} + \frac{a_N^* \exp(-\beta \omega_0 t)}{\omega_0 T_N \sqrt{1-\beta^2}} \times \sin \left(\omega_0 t \sqrt{1-\beta^2} + \arctg \frac{\beta \sqrt{1-\beta^2}}{0,5-\beta^2} \right) \quad (3.1.4)$$

როცა, $\beta < 1$

$$a_c(t) = \frac{a_N^* t}{T_N} - \frac{2a_N^*}{\omega_0 T_N} + \frac{a_N^* \exp(-\omega_0 t)}{\omega_0 T_N} \times (2 + \omega_0 t) \quad (3.1.5)$$

როცა, $\beta = 1$

$$a_c(t) = \frac{a_N^* t}{T_N} - \frac{2a_N^* \beta}{\omega_0 T_N} + \frac{a_N^* \exp(-\beta \omega_0 t)}{\omega_0 T_N \sqrt{\beta^2 - 1}} \times \sinh \left(\omega_0 t \sqrt{\beta^2 - 1} + \operatorname{ar} \tanh \frac{\beta \sqrt{\beta^2 - 1}}{\beta^2 - 0,5} \right) \quad (3.1.6)$$

როცა, $\beta > 1$

გამოსახულებებიდან (3.1.4), (3.1.5), (3.1.6) ჩანს, რომ ხელსაწყო მარჯვენა იმეორებს შესასვლელი სიგნალის ცვლილების კანონს დინამიკური ცდომილების სიზუსტით:

$$a_c(t) = \frac{a_N^* t}{T_N} - \Delta_g \quad (3.1.7)$$

დინამიკური ცდომილება განისაზღვრება (3.1.4), (3.1.5), (3.1.6) გამოსახულებების ბოლო ორი წევრით და ტოლია:

$$\Delta_g = \Delta_{gt} + \Delta_{g0} \quad (3.1.8)$$

სადაც, Δ_{g0} - დინამიკური ცდომილების მუდმივი მდგენელია;

Δ_{gt} - დინამიკური ცდომილების ცვლადი მდგენელი.

დინამიკური ცდომილების მუდმივი მდგენელი სამივე შემთხვევაში ($\beta < 1$, $\beta = 1$, $\beta > 1$) უცვლელია და განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\Delta_{g0} = \frac{2a_N^* \beta}{\omega_0 T_N} \quad (3.1.9)$$

როგორც (3.1.9)-დან ჩანს, ის დამოკიდებულია შესასვლელი სიგნალის ცვლილების სიჩქარეზე და ხელსაწყო მოძრავი ნაწილის მახასიათებლის პარამეტრებზე.

ცვლადი მდგენელები მიღევადი ხასიათისაა და გამოისახებიან შემდეგნაირად:

$$\Delta_{g_t} = \frac{\alpha_N^* \exp(-\beta\omega_0 t)}{\omega_0 T_N \sqrt{1-\beta^2}} \times \sin\left(\omega_0 t \sqrt{1-\beta^2} + \arctg \frac{\beta\sqrt{1-\beta^2}}{0,5-\beta^2}\right) \quad (3.1.10)$$

როცა $\beta < 1$

$$\Delta_{g_t} = \frac{\alpha_N^* \exp(-\omega_0 t)}{\omega_0 T_N} \times (2 + \omega_0 t) \quad (3.1.11)$$

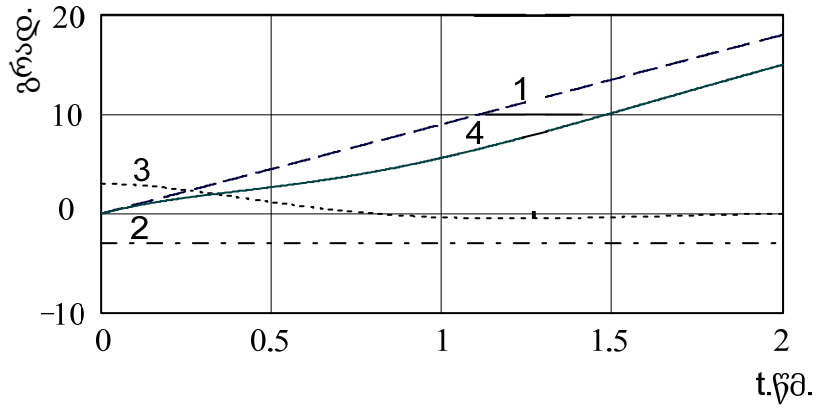
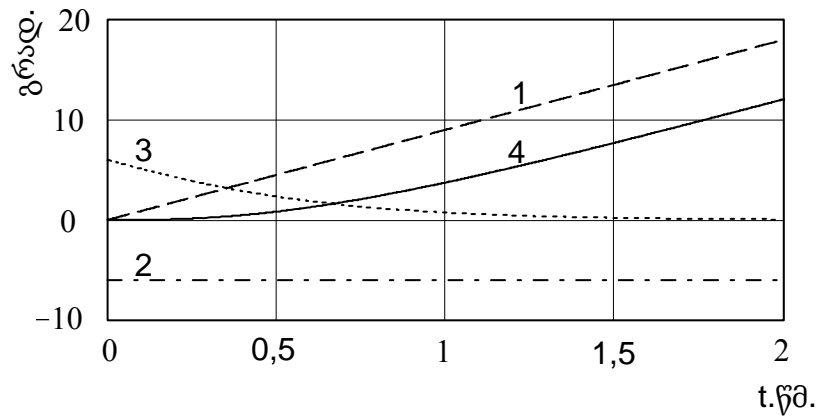
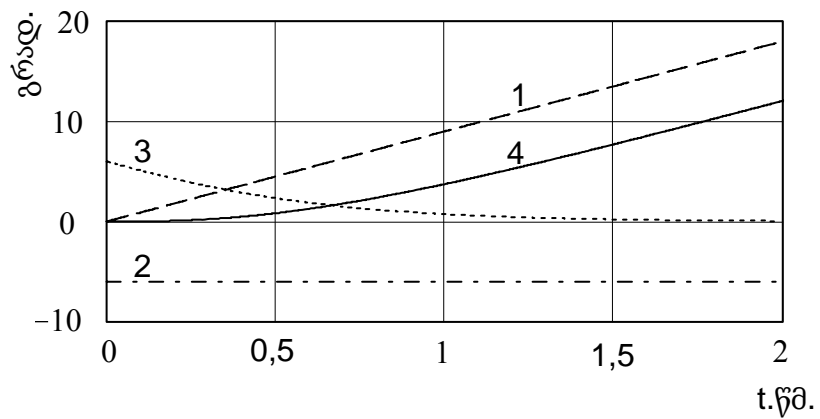
როცა $\beta = 1$

$$\Delta_{g_t} = \frac{\alpha_N^* \exp(-\beta\omega_0 t)}{\omega_0 T_N \sqrt{\beta^2-1}} \times \sinh\left(\omega_0 t \sqrt{\beta^2-1} + \operatorname{artanh} \frac{\beta\sqrt{\beta^2-1}}{\beta^2-0,5}\right) \quad (3.1.12)$$

როცა $\beta > 1$

ნახ. 3.1, ა, 3.1, ბ და 3.1, გ-ზე წარმოდგენილი გრაფიკები გამოსახვენ მდგენელების ხასიათს ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის შესასვლელზე წრფივად ზრდადი სიგნალის მოწოდებისას მიღევის ხარისხის სამი სხვადასხვა ($\beta < 1$, $\beta = 1$, $\beta > 1$) მნიშვნელობისათვის. მრუდი 1 - შეესაბამება მაჩვენებლის გადაადგილებას, რომელიც ზუსტად იმეორებს შესასვლელი სიგნალის ცვლილებას ($\alpha_0(t)$); მრუდი 2 - შეესაბამება დინამიკური ცდომილების მუდმივ მდგენელს ($\Delta_{g_0}(t)$); მრუდი 3 - შეესაბამება დინამიკური ცდომილების ცვლად მდგენელს ($\Delta_{g_t}(t)$), ხოლო მრუდი 4 - მაჩვენებლის გადაადგილების ხასიათია ($\alpha_c(t)$). აღნიშნული დამოკიდებულებები მიღებულია იმ შემთხვევისათვის, როცა $\omega_0 = 3\text{წმ}^{-1}$, $T_N = 10\text{წმ}$, $\alpha^* = \pi/2$.

გამოთვლები ჩატარებულია ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მახასიათებლის პარამეტრების (β , ω_0) სხვადასხვა, მაგრამ რეალური მნიშვნელობებისათვის [71]. სიგნალის ნოლიდან X_N^* -მდე ცვლილების T_N დროს მნიშვნელობებს 10, 20 ან 30 წამს ვირჩევთ რამდენჯერმე ნაკლებს სტატისტიკურ რეჟიმთან შედარებით. მიღებული მონაცემებიდან (ცხრილი 2) ჩანს, რომ დინამიკური ცდომილების მნიშვნელობა (2-10)% იმდენად დიდია, რომ შეუძლებელს ხდის 4,0 და უფრო მაღალი კლასის ხელსაწყოების დამოწმებას მოძრავი ნაწილის მაღალი სიჩქარით გადაადგილებისას.

ა) $\beta = 0.5$ ბ) $\beta = 1$ გ) $\beta = 1.5$

ნახ. 3.1 ხელსაწყოთა შესასვლელზე წრფივად ზრდადი სიგნალის მოქმედებით მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის მდგენელები

დინამიკური ცდომილების მდგენელების მაქსიმალური მნიშვნელობები [%]

მოდრავი ნაწილის აჩქარების ხარისხი β	მდგენელების მაქსიმალური ფარდობითი ცდომილება	ხელსაწყოს შესასვლელზე სიგნალის მოქმედების დრო T_N , წმ.								
		10			20			30		
		მოდრავი ნაწილის საკუთარი რხევის სიხშირე ω_0 , წმ ⁻¹ .								
		3	6	9	3	6	9	3	6	9
0,5	γ_g	-4,33	-2,17	-1,44	-2,17	-1,08	-0,72	-1,44	-0,72	-0,48
	γ_{g0}	-3,33	-1,67	-1,11	-1,67	-0,87	-0,56	-1,11	-0,56	-0,37
	γ_{gt}	3,33	1,67	1,11	1,67	0,87	0,56	1,11	0,56	0,37
1,0	γ_g	-6,67	-3,33	-2,22	-3,33	-1,67	-1,11	-2,22	-1,11	-0,74
	γ_{g0}	-6,67	-3,33	-2,22	-3,33	-1,67	-1,11	-2,22	-1,11	-0,74
	γ_{gt}	6,67	3,33	2,22	3,33	1,67	1,11	2,22	1,11	0,74
1,5	γ_g	-10,0	-5,00	-3,33	-5,00	-2,50	-1,67	-3,33	-1,67	-1,11
	γ_{g0}	-10,0	-5,00	-3,33	-5,00	-2,50	-1,67	-3,33	-1,67	-1,11
	γ_{gt}	10,0	5,00	3,33	5,00	2,50	1,67	3,33	1,67	1,11

განხილულიდან გამომდინარე აუცილებელია შეიქმნას ავტომატური დამოწმების სპეციალური მეთოდი, რომელიც გამორიცხავს ჩვენების დინამიკურ ცდომილებას.

ცნობილია ავტომატური დამოწმების ერთ-ერთი მეთოდი დინამიკური ცდომილების მუდმივი მდგენელის გამორიცხვით [6, 26, 52], რომელიც წრფივად და დამოკიდებული ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის გადაადგილების სიჩქარეზე. დამოწმების პროცესს ახორციელებენ ორ ეტაპად შესასვლელი სიგნალის ცვლილების ორ ურთიერთგანსხვავებულ სიჩქარეზე. დავუშვათ, რომ ეტაპების მიხედვით სიგნალის ცვლილების სიჩქარეების ფარდობა ტოლია ორის:

$$S''/S' = 2 \quad (3.1.13)$$

მაშინ K წერტილში ხელსაწყოს ფარდობითი ცდომილება γ_k ტოლი იქნება:

$$\gamma_i = \gamma'_k - \gamma''_k \quad (3.1.14)$$

სადაც γ'_k - სიგნალის დაბალ S' სიჩქარეზე ცვლილებისას დამოწმების შედეგია;

γ''_k - სიგნალის მაღალ S'' სიჩქარეზე ცვლილებისას დამოწმების შედეგი.

ორსიჩქარიანი მეთოდით დამოწმების შედეგებიდან გამოირიცხება დინამიკური Δ_g ცდომილების Δ_{g0} მუდმივი მდგენელი, ხოლო ცვლადი Δ_{gt} მდგენელი ისევ რჩება. დინამიკური ცდომილების მუდმივი მდგენელის გამორიცხვა ზრდის დამოწმების ცდომილებას სკალის საწყის უბანში, რადგან მუდმივი მდგენელი შებრუნებული ნიშნით გამორიცხვამდე ამცირებდა მას.

(3.1.10), (3.1.11), (3.1.12) გამოსახულებიდან და ნახ.3.1-დან გამომდინარე დინამიკური ცდომილების ცვლადი მდგენელი Δ_{gt} სწრაფად მიიღევა (2÷3) წმ, მაგრამ მიუხედავად ამისა მაღალი სიჩქარით დამოწმების პროცესში ის მოქმედებს დასამოწმებელი ხელსაწყოს საკუთარი ცდომილების განსაზღვრის სიზუსტეზე სკალის მნიშვნელოვან ნაწილზე.

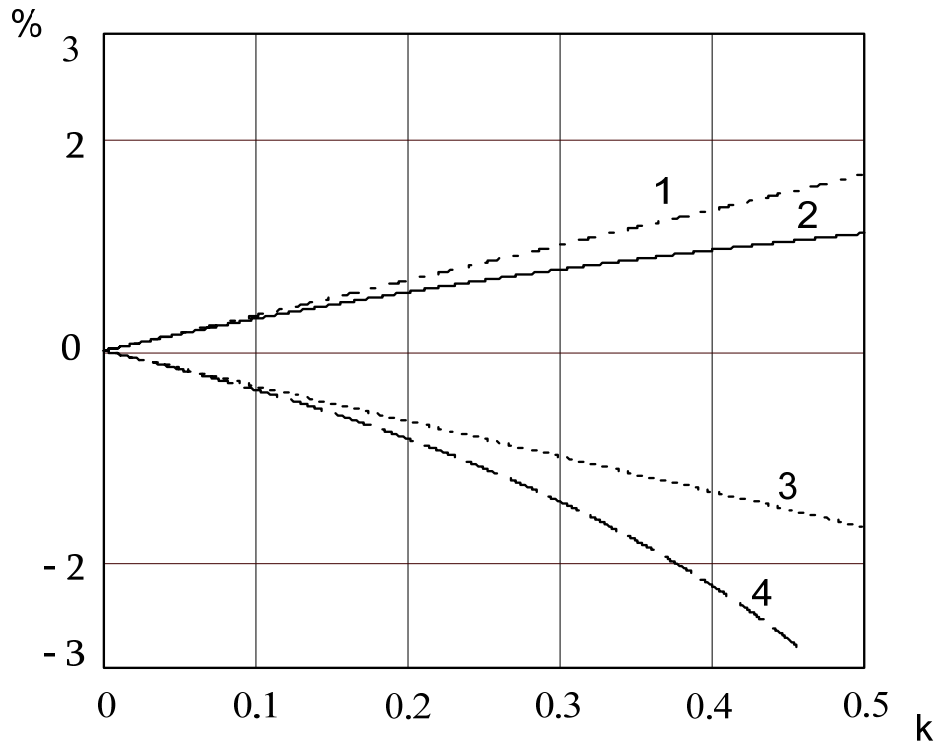
ამრიგად, განხილულიდან გამომდინარე დინამიკური ცდომილების ცვლადი მდგენელი მოქმედებს ხელსაწყოს სკალის დასაწყისის 1/5 ნაწილზე და დამოწმების პროცესში შემოაქვს მნიშვნელოვანი ცდომილება.

ავტომატური დამოწმების დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეორე მეთოდით პოულობენ დინამიკური მდგენელების მნიშვნელობებს და მას შებრუნებული ნიშნით ითვალისწინებენ დამოწმების შედეგების დამუშავებისას.

ამ მეთოდის პრაქტიკული გამოყენებისათვის აუცილებელია დასამოწმებელი ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრების პოვნა. კერძოდ, ხელსაწყოს საკუთარი რხევის სიხშირე ω_0 და რხევის მიღევის ხარისხი β . ω_0 და β მნიშვნელობები დამოკიდებულია ხელსაწყოს კონსტრუქციულ და ტექნოლოგიურ პარამეტრზე და ინდივიდუალურია თითოეული ხელსაწყოსათვის. მათი საშუალო მნიშვნელობებია $\beta_{საშ}=1$, $\omega_{0საშ}=6$ წმ⁻¹. ზოგადად β იცვლება 0,5÷1,5-მდე, ხოლო ω_0 3÷9 წმ⁻¹ დიაპაზონში [26].

დამოწმების შედეგებში დინამიკური ცდომილების საშუალო მნიშვნელობის გათვალისწინება შესწორების სახით ყოველთვის სასურველ შედეგებს ვერ იძლევა.

ნახ.3.2-ზე ნაჩვენებია ფარდობითი ცდომილების Δ_g გრაფიკები β და ω_0 -ას სხვადასხვა კომბინაციით საშუალო მნიშვნელობებიდან გადახრისას:



ნახ.3.2 ფარდობითი ცდომილების Δ_g % მნიშვნელობა β და ω_0 საშუალო სიდიდიდან გადახრისას

ა) Δ_g^1 , როცა $\beta = \beta_{საშ} (1-k)$, ხოლო $\omega_0 = \omega_{0საშ}$; (წრფე 1-ნახ.3.2)

ბ) Δ_g^2 , როცა $\beta = \beta_{საშ}$, ხოლო $\omega_0 = \omega_{0საშ} (1+k)$; (წრფე 2-ნახ.3.2)

გ) Δ_g^3 , როცა $\beta = \beta_{საშ} (1+k)$, ხოლო $\omega_0 = \omega_{0საშ}$; (წრფე 3-ნახ.3.2)

დ) Δ_g^4 , როცა $\beta = \beta_{საშ}$, ხოლო $\omega_0 = \omega_{0საშ} (1-k)$; (წრფე 4-ნახ.3.2)

ეს დამოკიდებულებები მიღებულია თეორიულად, დინამიკურ რეჟიმში შესასვლელი სიგნალის ნოლიდან X_N^* -მდე $T_N=10$ წმ-ში ცვლილებისას. განხილულიდან ჩანს, რომ გამორიცხვის გარეშე დინამიკური ცდომილება აღწევს $\pm 0,5\%$ -ს მოძრავი

ნაწილის მახასიათებლის პარამეტრების რეალური მნიშვნელობიდან $\pm 10\%$ -იანი გადახრისას და $\pm 1\%$ -ს 20% -იანი გადახრისას.

ამიტომ, 1,5 და უფრო მაღალი კლასის ხელსაწყოების დასამოწმებლად საჭიროა ვიცოდეთ თითოეული ხელსაწყოს β -სა და ω_0 -ის მნიშვნელობა $\pm(5\div 10)\%$ სიზუსტით.

ამრიგად, დინამიკურ რეჟიმში ავტომატური დამოწმების მაღალი მწარმოებლობის მისაღწევად ხელსაწყოს შესასვლელზე უნდა ვიმოქმედოთ მაღალი სიჩქარით წრფივად ზრდადი სიგნალით. წარმოქმნილი დინამიკური ცდომილებების გამორიცხვა შესაძლებელია გაზომვის შედეგებში შესწორებების შეტანით, რომლის მნიშვნელობის დასადგენად საჭიროა ზუსტად განვსაზღვროთ თითოეული დასამოწმებელი ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებელი.

3.2. ანალოგური საზომი ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრის მეთოდები

ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მახასიათებლის განსაზღვრა მიეკუთვნება იდენტიფიკაციის ამოცანას [90]. ამიტომ აუცილებელია განვახორციელოთ აქტიური იდენტიფიკაცია, რისთვისაც ხელსაწყოს შესასვლელს აწვდიან სპეციალურ დეტერმინირებულ ზემოქმედებას.

პასიური იდენტიფიკაცია ამ შემთხვევაში შეუძლებელია, რადგან უცნობია ხელსაწყოს ზუსტი მახასიათებელი. იდენტიფიკაციის პროცესი შეიცავს ორ ეტაპს: მოდელის ტიპის და მახასიათებლის ინედიფიკაციას. მოცემულ შემთხვევაში მოდელის ტიპი ცნობილია და წარმოადგენს მეორე რიგის ინერციულ რგოლს, რომელიც აღიწერება დიფერენციალური განტოლებით (3.1.3) ამიტომ, დასადგენია მხოლოდ სისტემის ძირითადი დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრების მნიშვნელობა.

ცნობილია რხევითი სისტემის ძირითადი დინამიკური მახასიათებლის ექსპერიმენტალური განსაზღვრის ორი მეთოდი:

ა) ხელსაწყოს ალაგზნებენ თავისუფალი რხევებით და აანალიზებენ მიღების პროცესს, რის საფუძველზეც განსაზღვრავენ საძიებელ დინამიკურ მახასიათებელს;

ბ) ხელსაწყოს მოძრავ ნაწილს ალაგზნებენ იძულებითი რხევებით და აანალიზებენ სიხშირული მახასიათებლით [28, 58].

ორივე შემთხვევაში მოძრავი ნაწილის ძირითადი დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრის პროცესი შედგება ალაგზნების, რეგისტრაციის და რხევის სიხშირის ანალიზის სამი ძირითადი ოპერაციისაგან.

საზომი ხელსაწყოს თავისუფალი რხევით ალაგზნებისათვის ძირითადად იყენებენ დამრტყმელ, ხოლო იძულებითისათვის ვიბრაციულ სტენდებს. ასეთი მოწყობილობების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს:

ა) პარამეტრების უზუსტო განმეორება და ალაგზნები იძულებების ფორმის ცვლილების სირთულე;

ბ) კონსტრუქციის, რეგულირებისა და ექსპლუატაციის სირთულე;

გ) ძვირადღირებულია და მოითხოვს ენერჯის დიდ ხარჯებს.

უფრო მოსახერხებელია ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის ალაგზნება თავისუფალი რხევებით უშუალოდ მის შესასვლელზე სიგნალის მიწოდებით [57, 58, 72]. ასეთი მეთოდის განხორციელება ავტომატური დამოწმების სისტემაში მოითხოვს სპეციალური საზომი მოწყობილობების გამოყენებას. უფრო ეფექტურია მეთოდი, რომელიც განსაზღვრავს მოძრავი ნაწილის მახასიათებელს სკალის გამოსახულების მიხედვით.

ხელსაწყოს მაჩვენებლის გადადგილება $X^*(t)$, რომელიც იზომება სკალის გრადუირების ერთეულით, ერთეული ნახტომის ზემოქმედების შედეგად აღიწერება (3.1.3) დიფერენციალური განტოლებით, როცა: $x = X_N^*$.

დინამიკური მახასიათებლის საპოვნელად საჭიროა ამოვხსნათ ეს განტოლება ტელიორის მწკრივის გამოყენებით, როცა $t_0 = 0$ და შესაბამისად $(t + t_0) = t$

$$X^*(t) = X^*(0) + \frac{1}{1!} \frac{dX^*}{dt} t + \frac{1}{2!} \frac{d^2 X^*}{dt^2} t^2 + \dots \quad (3.2.1)$$

მწკრივის ფორმირებისათვის დინამიკურ რეჟიმში (ერთეული ნახტომის ზემოქმედებით გამოწვეული მოძრავი ნაწილის თავისუფალი რხევები) განსაზღვროთ საწყისი პირობა:

$$X^*(0) = 0 \quad \text{და} \quad \frac{dX^*}{dt} = 0 \quad (3.2.2)$$

თუ შემოვისაზღვრებთ (3.2.1) მწკრივის ორი წევრის ფორმირებით, მაშინ საწყისი განტოლებით (3.1.2) და მოცემული დაშვებით (3.2.2.) მივიღებთ:

$$\frac{d^2 X^*}{dt^2} = \omega_0^2 X_N^*, \quad \frac{d^3 X^*}{dt^3} = -2\beta\omega_0^2 X_N^* \quad (3.2.3)$$

მიღებული გამოსახულების გათვალისწინებით ვპოულობთ დიფერენციალური განტოლების მიახლოებით ამონახსნს:

$$X^*(t) = \omega_0^2 X_N^* \left(0,5t^2 - \frac{1}{3}\beta\omega_0 t^3 \right) \quad (3.2.4)$$

ხოლო β და ω_0 სიდიდეებს ვპოულობთ სისტემიდან

$$\begin{cases} X_K^* = \omega_0^2 X_N^* \left(0,5t_K^{*2} - \frac{1}{3}\beta\omega_0 t_K^{*3} \right) \\ X_{K+1}^* = \omega_0^2 X_N^* \left(0,5t_{K+1}^{*2} - \frac{1}{3}\beta\omega_0 t_{K+1}^{*3} \right) \end{cases} \quad (3.2.5)$$

სადაც t_K^* , t_{K+1}^* , მაჩვენებლის ნიშნულებთან (X_K^* , X_{K+1}^*) შეთავსების დროითი მომენტებია ხელსაწყოს შესასვლელზე X_N^* სიდიდის ერთეული ნახტომის ფორმის სიგნალის ზემოქმედებისას.

ამ შემთხვევაში ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრის მეთოდის რეალიზაციის ალგორითმი [49] შემდეგია:

ა) ხელსაწყოს შესასვლელს აწვდიან ერთეულ ნახტომს, რომლის სიდიდე სკალის ბოლო ნიშნულის მნიშვნელობის X_N^* -ის ტოლია;

ბ) ამომკითხავი მოწყობილობის საშუალებით აფიქსირებენ t_K^* და t_{K+1}^* დროის მომენტებს მაჩვენებლის X_K^* და X_{K+1}^* ნიშნულებთან შეთავსებისას.

გ) β და ω_0 -ის მნიშვნელობებს გამოთვლიან (3.2.5) განტოლებათა სისტემის საშუალებით:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2X_K^*}{X_N^* \left(t_K^{*2} - t_K^{*3} \frac{X_{K+1}^* t_K^{*2} - X_K^* t_{K+1}^{*2}}{X_{K+1}^* t_K^{*3} - X_K^* t_{K+1}^{*3}} \right)}} \quad (3.2.6)$$

$$\beta = \frac{1.5(X_{K+1}^* t_K^{*2} - X_K^* t_{K+1}^{*2})}{\omega_0 (X_{K+1}^* t_K^{*3} - X_K^* t_{K+1}^{*3})} \quad (3.2.7)$$

რადგან გამოსახულება (3.2.4) მიღებულია (3.2.1) განტოლების ნოლის მიდამოებში ამონახსნის გაშლით და აღწერს მაჩვენებლის მოძრაობას სკალის დასაწყისში, ამიტომ დროის მომენტები t_K^* და t_{K+1}^* უნდა იყოს მცირე და ნიშნულები X_K^* და X_{K+1}^* ნომინალებით ასევე უნდა მდებარეობდნენ ნოლის მახლობლობაში.

ცხრილში 3 ნაჩვენებია β და ω_0 ($\beta=0.5$, $\omega_0=3$) განსაზღვრის ცდომილების მნიშვნელობა სკალის საწყისი ნიშნულიდან დამორების მიხედვით:

ცხრილი 3

β და ω_0 -ის პროცენტული გადახრა საშუალო მნიშვნელობიდან

№	$\Delta\alpha=5^\circ\text{C}$				$\alpha_1=5^\circ\text{C} \quad \alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha$			
	β	ω_0	$\beta\%$	$\omega_0\%$	β	ω_0	$\beta\%$	$\omega_0\%$
1.	0.489	2.997	2.2	0.10	0.489	2.997	2.2	0.1
2.	0.485	2.995	3.0	0.17	0.481	2.991	3.8	0.3
3.	0.482	2.994	3.6	0.20	0.474	2.985	5.2	0.5
4.	0.478	2.992	4.4	0.27	0.469	2.978	6.2	0.73
5.	0.474	2.990	5.2	0.33	0.462	2.969	7.5	1.03
6.	0.471	2.989	5.8	0.37	0.456	2.958	8.8	1.4
7.	0.467	2.987	6.6	0.43	0.450	2.946	10.0	1.8
8.	0.462	2.985	7.6	0.50	0.444	2.931	11.2	2.3
9.	0.458	2.983	8.4	0.57	0.439	2.918	12.2	2.73
10.	0.453	2.982	9.4	0.63	0.433	2.899	13.4	3.37
11.	0.448	2.979	10.4	0.70	0.428	2.879	14.4	4.03
12.	0.443	2.977	11.4	0.77	0.423	2.856	15.4	4.8
13.	0.437	2.975	12.6	0.83	0.417	2.83	16.6	5.67
14.	0.431	2.972	13.8	0.93	0.412	2.80	17.6	6.67
15.	0.424	2.970	15.2	1.00	0.407	2.766	18.6	7.8
16.	0.417	2.966	16.6	1.13	0.402	2.725	19.6	9.17
17.	0.408	2.963	18.4	1.20	0.397	2.676	20.6	10.8

ა) ასათვლელი ნიშნულების ერთდროული დაშორებისას;

ბ) პირველი ფიქსირებული ნიშნულისა და მეორის დაშორებისას.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ β და ω_0 -ის მნიშვნელობების დადგენა მიახლოებითი (3.2.5), (3.2.6) ფორმულებით დასაშვებია მხოლოდ 1,5 და უფრო დაბალი კლასის ხელსაწყოების დამოწმებისას, როცა სამოწმებელი ნიშნულები X_K^* და X_{K+1}^* განლაგებულია სკალის საწყისი ნიშნულიდან (5÷10) გრადუსიან სექტორში. ზოგიერთი ტიპის ელექტრული საზომი ხელსაწყოს სკალაზე ნიშნულების განლაგების (ცხრილი 4) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფართო მოხმარების ხელსაწყოებს აღნიშნულ სექტორში აქვთ ერთი ან არცერთი სამოწმებელი ნიშნული. ამიტომ მეთოდის რეალიზაციისათვის საჭიროა სამოწმებელ წერტილებად გამოვიყენოთ შუალედური (მცირე ზომის) ნიშნულები, რომელთა ამოკითხვა შესაძლებელია მხოლოდ ვიდეოკამერით ან ოპტიკური სკანერით.

ცხრილი 4

მაჩვენებლიანი ელექტრული ხელსაწყოების ტექნიკური მონაცემები

№	ხელსაწყოს ტიპი	გაზომვის დიაპაზონი	სიზუსტის კლასი	სამოწმებელ ნიშნ. რაოდ.	პირველი ორი ნიშნულის კუთხური მდებარეობა	ზომები
1.	Э8030 Э8031	5 A 50-250 B	2.5	6-7	$\alpha_1=7-9$ $\alpha_2=10-14$	80X80
2.	M4258	10-100mA 300B	1.5	10 6	$\alpha_1=9; \alpha_2=18$ $\alpha_1=15; \alpha_2=30$	80X80
3.	M2001	5-500mA 1-10 A	2.5	5 10	$\alpha_1=18; \alpha_2=36$ $\alpha_1=9; \alpha_2=18$	60X60
4.	M1400	1-10mA 500 μ A	1.5	10 5	$\alpha_1=9; \alpha_2=18$ $\alpha_1=18; \alpha_2=36$	80X80
5.	M2027	50 μ A	1.5	10	$\alpha_1=9; \alpha_2=18$	120X105
6.	M1690A	50-500 μ A 1-10mA	1.0	10	$\alpha_1=9; \alpha_2=18$	120X105
7.	M4204	10-1000 μ A	1.5 2.5	10	$\alpha_1=9; \alpha_2=18$	80X80

მაღალი სიზუსტის კლასის (1.5 და ზემოთ) ხელსაწყოებისათვის β და ω_0 -ის პარამეტრების მიახლოებითი გამოთვლა ვერ უზრუნველყოფს დინამიკური

ცდომილების საჭირო სიზუსტით განსაზღვრას. ამიტომ საჭიროა დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრები განვსაზღვროთ დიფერენციალური განტოლების (3.1.4) ზუსტი ამონახსნიდან [26], როცა ხელსაწყოს შესასვლელზე მიეწოდება ერთეული ნახტომის ფორმის სიგნალი.

მაშინ, გარდამავალი მახასიათებელი აღიწერება შემდეგი სახით:

$$X^*(t) = X_N^* \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \exp(-\beta\omega_0 t) \times \sin \left(\omega_0 t \sqrt{1-\beta^2} + \arctg \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta} \right) \right] \quad (3.2.8)$$

როცა $\beta < 1$

$$X^*(t) = X_N^* [1 - (1 + \omega_0 t) \exp(-\omega_0 t)] \quad (3.2.9)$$

როცა $\beta = 1$

$$X^*(t) = X^* \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\beta^2 - 1}} \exp(-\beta\omega_0 t) \times \sinh \left(\omega_0 t \sqrt{\beta^2 - 1} + \operatorname{atanh} \frac{\sqrt{\beta^2 - 1}}{\beta} \right) \right] \quad (3.2.10)$$

როცა $\beta > 1$

საზომ ნაწილში ალგორითმის რეალიზაციის მეთოდი იგივეა. ხელსაწყოს შესასვლელზე მიაწოდებენ სკალის ბოლო ნიშნულის ნომინალის სიდიდის ერთეულ ნახტომს და აფიქსირებენ მაჩვენებლის X_K^* და X_{K+1}^* ნიშნულებთან შეთავსების t_K^* და t_{K+1}^* მომენტებს. ალგორითმის გამოთვლით ნაწილში t_K^* და t_{K+1}^* -ის მნიშვნელობებს ჩასვამენ გამოსახულებაში (3.2.8), (3.2.9), (3.2.10) და ღებულობენ β -სა და ω_0 -ს მიმართ არაწრფივ ალგებრულ განტოლებას. სისტემის ამოხსნას ახორციელებენ ცნობილი მეთოდით [30].

ვინაიდან (3.2.8), (3.2.9), (3.2.10) გამოსახულებები ზუსტად აღწერენ მაჩვენებლის მოძრაობას მთელი სკალის გასწვრივ, ამიტომ ნიშნულები X_K^* და X_{K+1}^* შეგვიძლია ავირჩიოთ ნებისმიერად, რაც მნიშვნელოვნად აფართოებს მეთოდის ამ ვარიანტის გამოყენების არეს. გამოსახულებიდან (3.2.8), (3.2.9), (3.2.10) β -სა და ω_0 -ს განსაზღვრის სიზუსტეზე, გარდა რიცხვითი მეთოდით სისტემის ამოხსნის შედეგისა, ასევე მოქმედებს X_K^* და X_{K+1}^* ნიშნულების შორის კუთხის მნიშვნელობა და შეთავსების t_K^*

და t_{K+1}^* მომენტების განსაზღვრის სიზუსტე.

თუ სამოწმებელ წერტილებად გამოვიყენებთ პირველ X_1^* და მის მომდევნო X_2^* ნიშნულებს, ხოლო შეთავსების მომენტს განვსაზღვრავთ 10^{-4} წმ-ის დისკრეტიზაციის ბიჯით, მაშინ მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებელი გამოითვლება დაახლოებით 1 %-იანი ცდომილებით. ეს კი საკმარისია დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეთოდით დავამოწმოთ ყველა ძირითადი (0,5-4,0) კლასის სიზუსტის ხელსაწყო.

ოპტიკური სკანერის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს დამატებითი მოწყობილობის გარეშე ვისარგებლოთ დიფერენციალური განტოლების მიახლოებითი ამონახსნით (3.2.6), (3.2.7) და საკმარისი სიზუსტით განვსაზღვროთ დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრები. ვინაიდან ოპტიკური სკანერი წარმოადგენს დისკრეტული ელემენტების (პიქსელები) ერთობლიობას, მაშინ ეს ელემენტები შეგვიძლია ჩავთვალოთ სამოწმებელ X_K^* და X_{K+1}^* ნიშნულებად, ხოლო მათ შორის მანძილი განვსაზღვროთ ხელსაწყოს dpi-ის მნიშვნელობით. ამრიგად, მიუხედავად იმისა სამოწმებელ ხელსაწყოს აქვს თუ არა ნიშნულები სკალის საწყის ნაწილში შეგვიძლია განვახორციელოთ დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრის ციკლი.

განტოლების ზუსტი ამონახსნიდან (3.2.8), (3.2.9), (3.2.10) დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრების განსაზღვრა ხორციელდება რიცხვითი მეთოდებით ე.ი. ცდომილების რაღაც სიდიდით და რადგან, რთულია ამ მეთოდის განხორციელების ალგორითმი, ამიტომ აღწერილი მეთოდის გათვალისწინებით უპირატესობას ვანიჭებ მიახლოებითი ამონახსნის გამოყენებას.

დაუშვათ, რომ სკალის α_N^* მნიშვნელობა (მრგვალსკალიანი ხელსაწყოები) დავყავით n რაოდენობის φ კუთხურ სიდიდედ, მაშინ თითოეული $\varphi = \alpha_N^*/n$ მნიშვნელობა წარმოადგენს სამოწმებელ ნიშნულს. ამიტომ, დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრების დადგენა უნდა მოხდეს ამ წერტილებში. მაჩვენებელსა და ნიშნულს შორის φ კუთხური მნიშვნელობა შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფორმულით:

$$\varphi = \arcsin \frac{L}{\ell} \quad (3.2.11)$$

სადაც L ნიშნულის ზედა კიდიდან მაჩვენებლის ბრუნვის ცენტრამდე წინასწარ ცნობილი სიდიდეა, ხოლო ℓ განისაზღვრება (2.5.1), (2.5.2) ფორმულებით.

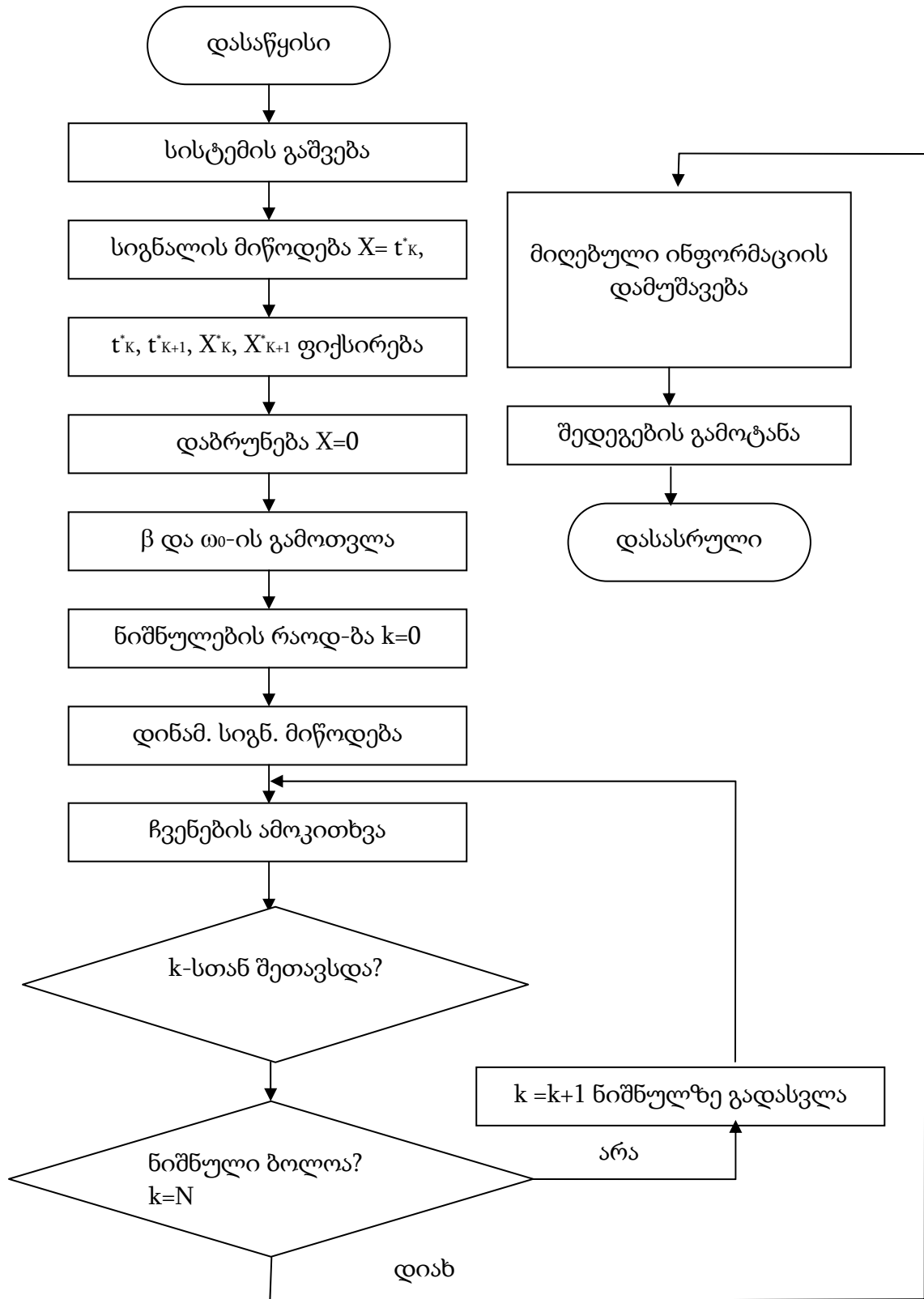
ამრიგად, წინასწარ ვსაზღვრავთ α კუთხურ მნიშვნელობას (2.5.1), რომლის საშუალებითაც ვპოულობთ ცალსახა დამოკიდებულებას φ და ℓ' სიდიდეებს შორის. სამოწმებელ წერტილებში ვაფიქსირებთ მაჩვენებლის შეთავსების დროის მომენტებს და ვპოულობთ დინამიკური მახასიათებლის პარამეტრებს.

აღნიშნული მეთოდი ანალოგიურად შეგვიძლია გამოვიყენოთ წრფივსკალიანი და პროფილური ხელსაწყოებისათვის.

3.3. ავტომატური დამოწმება დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეთოდით

ანალოგიური ხელსაწყოების დამოწმება დინამიკურ რეჟიმში შედგება ორი ციკლისაგან: დამხმარე ციკლში განსაზღვრავენ ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკურ მახასიათებელს, ხოლო ძირითადში პოულობენ სამოწმებელ წერტილებში ხელსაწყოს საკუთარ ცდომილებას. დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მიზნით ახორციელებენ მის გამოთვლას და შესწორების სახით შეაქვთ დამოწმების შედეგებში (ნახ.3.3) [22]. პროცესის განხორციელებამდე აფიქსირებენ ხელსაწყოს სიზუსტის კლასს, სკალის სახეობას, დამოწმების დასაშვებ ცდომილებას. ირჩევენ დინამიკური მახასიათებლის გამოთვლის მეთოდს: მიახლოებითი (3.2.6), (3.2.7) ან რიცხვითი (3.2.8), (3.2.9), (3.2.10) გამოსახულებების გამოყენებით. აქედან გამომდინარე, სკალაზე ორი X_K^* და X_{K+1}^* ნიშნულის მიხედვით ახორციელებენ დამხმარე ციკლს. შედეგების დამუშავებისათვის იყენებენ შესაბამის ალგორითმს.

დამხმარე ციკლში ხელსაწყოს შესასვლელზე მიაწოდებენ სკალის ბოლო ჩვენების სიდიდის ერთეულ ნახტომს და აფიქსირებენ X_K^* , X_{K+1}^* ნიშნულებთან მაჩვენებლის შეთავსების t_K^* , t_{K+1}^* დროის მომენტებს. მოძრავი ნაწილის დამყარების დროის (სტანდარტის მიხედვით არ უნდა აღემატებოდეს 4 წმ-ს) შუალედში ალგორითმის



ნახ. 3.3 ხელსაწყოს დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეთოდით ავტომატური დამოწმების ალგორითმის ბლოკ-სქემა

მიხედვით გამოითვლება ხელსაწყოს საკუთარი რხევის სიხშირე ω_0 და მილევის ხარისხი β .

დამხმარე ციკლში გამოთვლების დასრულების შემდეგ იწყება ძირითადი ციკლი. ხელსაწყოს შესასვლელს აწვდიან წრფივად ზრდად სიგნალს, აფიქსირებენ მაჩვენებლის $X_1^*, X_2^*, \dots, X_N^*$, ნიშნულებთან შეთავსების $t_1^*, t_2^*, \dots, t_N^*$ დროის მომენტებს და იგივე მომენტებში შესასვლელი სიგნალის X_1, X_2, \dots, X_N მნიშვნელობებს.

ხელსაწყოს აბსოლუტური ცდომილება K -ურ ნიშნულთან განისაზღვრება შემდეგი სახით:

$$\bar{\Delta}_K = X_K - X_K^* + \bar{\Delta}_g \quad (3.3.1)$$

სადაც $\bar{\Delta}_g$ - შესწორებაა, რომელიც ტოლია დინამიკური ცდომილებისა შებრუნებული ნიშნით :

$$\bar{\Delta}_g = - \Delta_g \quad (3.3.2)$$

საჭიროების შემთხვევაში ჩვენების ვარიაციის განაზღვრისათვის ძირითად ციკლს იმეორებენ მაჩვენებლის საწინააღმდეგო მიმართულებით გადაადგილებისას. ამ შემთხვევაში ხელსაწყოს შესასვლელზე მიეწოდება წრფივად კლებადი (საწინააღმდეგო მიმართულების) სიგნალი.

ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების მეთოდი მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრით, უზრუნველყოფს ხელსაწყოს საკუთარი ცდომილების მაღალი სიზუსტით განსაზღვრას დროის მცირე შუალედში.

რადგან დამხმარე ციკლის ხანგრძლივობა არაუმეტეს 4 წმ-ია, ხოლო ძირითადი მიმდინარეობს მაღალი სიჩქარით წრფივად ზრდადი სიგნალის ზემოქმედებით, ამიტომ დამოწმების ხანგრძლივობა არ აჭარბებს 10÷15 წამს, რაც 3÷4-ჯერ მცირეა, ვიდრე ორსიჩქარიანი მეთოდით დამოწმებისას [26].

ხელსაწყოს შესასვლელზე ერთეული ნახტომის ზემოქმედებით სისტემის მახასიათებლის გამოკვლევის მეთოდის უარყოფითი მხარეა პირველი ციკლის ხანგრძლივობა, რომელიც სამი ეტაპისაგან შედგება: გარდამავალი პროცესის მიმდინარეობა, მაჩვენებლის საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება და ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დამყარება. ასევე ზოგიერთი ხელსაწყოსათვის (მექანიკური

გამზომი ხელსაწყოები) დაუშვებელია სკალის ბოლო ნიშნულის ნომინალის ტოლფასი სიგნალის მყისიერი მიწოდება.

უფრო უნივერსალური მეთოდია, როდესაც ხელსაწყოს შესასვლელზე ვაწოდებთ ერთეულ იმპულსს [102, 104].

წონითი ფუნქციები მეორე რიგის ინერციული სისტემისათვის გამოისახება განტოლებებით:

$$k(t) = \frac{\omega_0 X_N^*}{\sqrt{1-\beta^2}} \exp(-\beta\omega_0 t) \sin(\omega_0 t \sqrt{1-\beta^2}) \quad (3.3.3)$$

როცა $\beta < 1$

$$k(t) = \omega_0^2 X_N^* t \exp(-\omega_0 t) \quad (3.3.4)$$

როცა $\beta = 1$

$$k(t) = \frac{\omega_0 X_N^*}{\sqrt{\beta^2-1}} \exp(-\beta\omega_0 t) \sinh(\omega_0 t \sqrt{\beta^2-1}) \quad (3.3.5)$$

როცა $\beta > 1$

ვპოულობთ ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მახასიათებლის პარამეტრებს, ვსაზღვრავთ დინამიკური მდგენელის მნიშვნელობას და ვითვალისწინებთ ხელსაწყოს ცდომილების დადგენისას.

3.4. საათის ტიპის ინდიკატორების დამოწმების ჯამური ცდომილების გაანგარიშება

საძიებო ჯამური ცდომილება წარმოადგენს სანიმუშო საზომი მოწყობილობის და დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის გამოსახულების ამოკითხვის ცდომილებათა ჯამს.

პირველი მდგენელი არ აღემატება 1 მკმ-ს, ხოლო მეორე მდგენელი წარმოადგენს: მეთოდურ („სიგნალი/ხმაური“ თანაფარდობის საბოლოო მნიშვნელობის განსაზღვრა) და დისკრეტიზაციის ცდომილებათა ჯამს.

მეთოდური ცდომილება ექცენტრისიტეტზე შეტანილი შესწორების შემთხვევაში გამოწვეული იქნება სკალაზე ნიშნულების არასწორი განლაგებით. მაგალითად, "ИЧ-10" ტიპის ინდიკატორისათვის ჯამური ცდომილება სკალაზე ნიშნულების განლაგებაში არ აღემატება 0.1მკმ. ამიტომ, მონაცემთა ამოკითხვის ზღვრული ცდომილება იქნება:

$$|\delta_1|_{\max} \approx 0.46 \text{ მკმ.}$$

ხმაურით გამოწვეული ცდომილების დასადგენად უნდა განისაზღვროს რეპერული ნიშნულისა τ_6 და მაჩვენებლის τ_a იმპულსების ხანგრძლივობა.

სიმარტივისათვის დავუშვათ, რომ რეპერული ნიშნულის l_6 და მაჩვენებლის გამოსახულების სიგანე მათივე შესაბამისი დიაფრაგმის სიგანის ტოლია, მაშინ ვღებულობთ:

$$\tau_6 = \frac{2l_6}{\omega R_6} \quad (3.4.1)$$

$$\tau_a = \frac{2l_a}{\omega R_a} \quad (3.4.2)$$

სადაც ω - ამომკითხავი თავაკის ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა;

R_6 -რეპერული ნიშნულის ამომკითხავი დიაფრაგმის ბრუნვის რადიუსია;

R_a -მაჩვენებლის ამომკითხავი დიაფრაგმის ბრუნვის რადიუსია.

(3.4.1) და (3.4.2) გამოსახულებების საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს საზომი ღეროს რა სიდიდით გადაადგილებას შეესაბამება τ_6 და τ_a იმპულსების ხანგრძლივობა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მათი განმეორების პერიოდი T შეესაბამება მაჩვენებლის ერთ მობრუნებას, ანუ ჩვენ შემთხვევაში საზომი ღეროს 1000 მკმ სიდიდით გადაადგილებას, მაშინ:

$$L_6 = \frac{\tau_6}{T} \cdot 1000 = \frac{l_6}{\pi R_6} \cdot 1000 \quad (3.4.3)$$

$$L_a = \frac{\tau_a}{T} \cdot 1000 = \frac{l_a}{\pi R_a} \cdot 1000 \quad (3.4.4)$$

თუ სიმარტივის მიზნით დავუშვებთ, რომ რეპერული ნიშნულის და მაჩვენებლის იმპულსები სამკუთხა ფორმისაა და მათ შესაბამის „სიგნალი/ხმაური“ ფარდობას

აღვნიშნავთ ρ_6 და ρ_a -თი, მაშინ ამ იმპულსების ფრონტების ფიქსაციის დადგენის ცდომილება იქნება:

$$\Delta L_6 = \frac{L_6}{2\rho_6} = \frac{\ell_6}{2\pi R_6 \rho_6} \cdot 1000 \quad (3.4.5)$$

$$\Delta L_a = \frac{L_a}{2\rho_a} = \frac{\ell_a}{2\pi R_a \rho_a} \cdot 1000 \quad (3.4.6)$$

განხილული მაგალითისათვის ΔL_a და ΔL_6 -ს მნიშვნელობების სიდიდე, როცა $R_6=24,5$ მმ, $R_a=17,5$ მმ, $\rho_a=\rho_6=10$ და სტანდარტის მოთხოვნიდან გამომდინარე $\ell_6 \approx 0,2$ მმ; $\ell_a \approx 0,4$ მმ, მაშინ მივიღებთ:

$$\Delta L_6 \approx 0,13 \text{ მკმ}, \quad \Delta L_a \approx 0,36 \text{ მკმ}.$$

ნათელია, რომ ΔL_a და ΔL_6 სიდიდეები ახასიათებენ დროის ინტერვალების ფიქსირებისას დაშვებულ ცდომილებებს. რადგან ამ ინტერვალების გაზომვა დისკრეტული ფორმით ხორციელდება (შემავსებელი იმპულსების რაოდენობა), ამიტომ გაზომვის შედეგებში აისახება დისკრეტიზაციის ცდომილება, რომელიც განპირობებულია ინტერვალში განლაგებული შემავსებელი იმპულსების დანაკარგებით. ამიტომ დისკრეტიზაციის ზღვრული ცდომილება არ აღემატება შემავსებელი იმპულსების ერთ პერიოდს, ანუ ამ შემთხვევაში $\pm 1000/N_0$ მკმ-ს. N_0 (იხ.ნახ.3.4-ა) მაჩვენებლის ერთი სრული ბრუნის შესაბამისი შემავსებელი იმპულსების რაოდენობაა. მაგალითად, თუ $N_0=2000$ მაშინ ერთი შემავსებელი იმპულსის ფასი იქნება 0,5 მკმ.

ვიპოვოთ ამომკითხავი მოწყობილობის მიერ x_a და y_a კოორდინატების განმსაზღვრელი იმპულსების ფრონტის ფიქსაციის ცდომილება.

წრფივი ფორმით გამოსახული იმპულსების ფრონტის ხანგრძლივობა ტოლია:

$$L_{b,3} = \frac{\ell_{b,3}}{\Gamma} \quad (3.4.7)$$

სადაც $\ell_{b,3}$ - სპირალური დიაფრაგმის სიგანეა;

Γ -ოპტიკური სისტემის გადიდების კოეფიციენტი.

ხოლო მათი ფიქსაციის ცდომილება „სიგნალი/ხმაური“ ρ_b : ფარდობისას

$$\Delta L_{b,3} = \frac{\ell_{b,3}}{\Gamma \rho_{b,3}} \quad (3.4.8)$$

თუ ჩავთვლით, რომ $L_{\text{ს}} = 50$ მკმ, $\Gamma = 1^*$, $\rho = 10$, მაშინ მივიღებთ, რომ: $\Delta L_{\text{ს}} = 5$ მკმ.

დისკრეტიზაციის ცდომილება განისაზღვრება გამოსახულებით $\frac{2\pi m}{\Gamma N_0}$ და იმ შემთხვევაში, როცა $2\pi m = 4\text{მმ}$; $N_0 = 2000$ - 2 მკმ-ის ტოლია.

ვიპოვოთ α_0 , x_5 , y_5 , x_8 და y_8 სიდიდეების ზღვრული აბსოლუტური ცდომილება, რომლებიც განპირობებულია ხმაურისა და დისკრეტიზაციის ცდომილების გავლენით. აღვნიშნოთ ისინი შესაბამისად $\Delta\alpha_0$, Δx_5 , Δy_5 , Δx_8 და Δy_8 . ამასთან გავითვალისწინოთ, რომ დროის ყველა ინტერვალი განისაზღვრება შემავსებელი მთვლელი იმპულსით.

ცნობილია, რომ რამდენიმე ცვლადის ფუნქციის $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ ზღვრული აბსოლუტური ცდომილება აისახება x_1, x_2, \dots, x_k ცვლადების a_1, a_2, \dots, a_k სიდიდეთა ზღვრული აბსოლუტური მნიშვნელობით [30]:

$$\Delta f = \sum_{i=1}^k \Delta a_i \left| f'_{x_i}(a_1, a_2, \dots, a_k) \right| \quad (3.4.9)$$

თუ დაუშვებთ, რომ მოცემული მოწყობილობისათვის $n=1$ და $N_0 = \text{const}$, $\Delta N_{\pi i} = \Delta N_{3i}$, მაშინ (3.4.9)-ის და ფორმულების:

$$\delta = \frac{1000}{2\pi} \Delta\alpha_0 \quad (3.4.10)$$

$$x = \frac{1000}{2\pi} \alpha_0 = \frac{1000}{N_0} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (N_{fi} + N_{bi}) \quad (3.4.11)$$

გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\Delta\alpha_0 = 2\pi \frac{1}{1000} \left(\Delta L_6 + \Delta L_8 + \frac{1000}{N_0} \right) \quad (3.4.12)$$

სადაც n – გაზომვების რაოდენობაა;

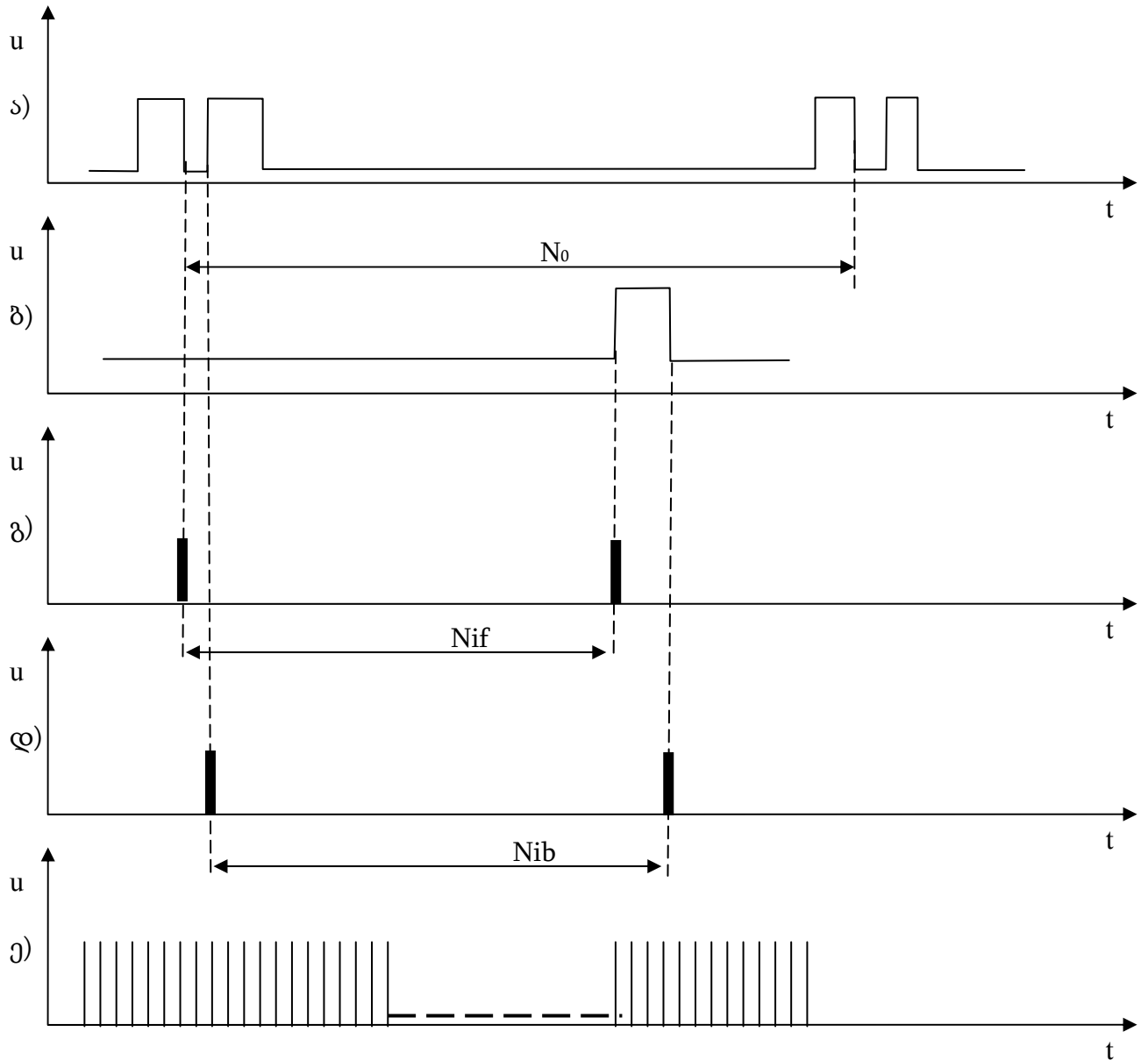
i – გაზომვის რიგითი ნომერია;

$1/2(N_{fi} + N_{bi})$ – რეპერული ნიშნულისა და მაჩვენებლის სიმეტრიათა ღერძებს შორის იმპულსების რაოდენობაა (იხ. ნახ. 3.4-გ, დ);

δ – ინდიკატორის ჩვენების ამოკითხვის ცდომილებაა მკმ-ში;

$\Delta\alpha_0$ – მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილებაა რადიანებში.

ანალოგიურად (3.4.9) გამოსახულებით და ფორმულების:



ნახ.3.4 სტატიკურ რეჟიმში გამოძვარი სიგნალების ეპიურები

$$x_6 = R_6 \frac{\pi}{N_0} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} [(N_{CDfi} + N_{CDbi}) - (N_{BCfi} + N_{BCbi})] \quad (3.4.13)$$

$$y_6 = R_6 \frac{\pi}{N_0} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} [(N_{BCfi} + N_{BCbi}) - (N_{ABfi} + N_{ABbi})] \quad (3.4.14)$$

(3.4.13), (3.4.14) გათვალისწინებით, ვღებულობთ:

$$\Delta x_6 = \Delta y_6 = 2\pi \frac{1}{1000} R_6 \left(2\Delta L_6 + \frac{1000}{N_0} \right) \quad (3.4.15)$$

ასევე (3.4.9) გამოსახულებით და ფორმულებით:

$$x_c = \frac{2\pi m}{\Gamma} \cdot \frac{1}{N_0} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (N_{ai} + N_{bi}) \quad (3.4.16)$$

$$y_c = \frac{2\pi m}{\Gamma} \cdot \frac{1}{N_0} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (N_{ci} + N_{di}) \quad (3.4.17)$$

(3.4.16), (3.4.17) გათვალისწინებით, ვღებულობთ:

$$\Delta x_a = \Delta y_a = 2\Delta L_b + \frac{2\pi m}{\Gamma N_0} \quad (3.4.18)$$

(3.4.15) და (3.4.18) ფორმულების გამოყვანისას უგულებელყოფილია ΔR_a , $\Delta(2\pi m)$ და ΔR_a შესაკრებები სიმცირის გამო (იგულისხმება, რომ $\Delta R_b = \Delta(2\pi m) = \Delta R_a$ და იცვლება $0,05 \div 0,1$ მმ-ის ფარგლებში).

აღნიშნული დაშვებების და ფორმულის,

$$\Delta \alpha_o = -\frac{x_b}{R_b} - \frac{x_a}{R_a} + \frac{x_a - x_b}{|x_a - x_b|} \frac{x_b}{R_b} + \frac{x_a - x_b}{|x_a - x_b|} \frac{1}{R_b} [(x_a - x_b) \cos \alpha_o - (y_a - y_b) \sin \alpha_o] \quad (3.4.19)$$

(3.4.19) გათვალისწინებით ვღებულობთ ექსცენტრისიტეტზე შესწორების ზღვრული აბსოლუტური ცდომილების გამოსათვლელ ფორმულას:

$$\Delta(\Delta \alpha_o) = 3 \cdot \frac{\Delta x_b}{R_b} + \frac{R_b + R_a}{R_b \cdot R_a} \cdot \Delta x_a \quad (3.4.20)$$

თუ შევკრებთ (3.4.12), (3.4.20) გამოსახულებებს და შევიტანთ Δx_b და Δx_a (3.4.15) და (3.4.18) ფორმულებიდან გამოთვლილ სიდიდეებს (არ ვითვალისწინებთ მეთოდურ ცდომილებებს), მაშინ მივიღებთ ხელსაწყოს ჩვენების ამოკითხვისას დაშვებული ზღვრული აბსოლუტური ცდომილების განმსაზღვრელ გამოსახულებას ექსცენტრისიტეტზე შესწორების გათვალისწინებით:

$$|\delta_2| = \Delta \alpha_o + \Delta(\Delta \alpha_o) = 7\Delta L_b + \Delta L_a + 4 \cdot \frac{1000}{N_0} + \frac{R_b + R_a}{R_b \cdot R_a} \cdot \frac{1000}{2\pi} \left(2\Delta L_b + \frac{2\pi m}{\Gamma N_0} \right) \quad (3.4.21)$$

განხილული მაგალითისათვის, როცა $R_b=4,5\text{მმ}$ -ს $R_g=17,5\text{მმ}$ -ს, $2\pi m=4\text{მმ}$; $\Gamma=1^*$ (პარამეტრების მოყვანილი სიდიდეები მიზანშეწონილია კონსტრუქციულობის თვალსაზრისით) შეიძლება მივიღოთ:

$$|\delta_2| = 7\Delta L_6 + \Delta L_8 + 4 \cdot \frac{1000}{N_0} + \frac{1}{20\pi} \left(2\Delta L_b + \frac{4000}{N_0} \right) \quad (3.4.22)$$

თუ მაგალითად $N_0=10\ 000$, მაშინ (3.4.22) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$|\delta_2| = 7 \cdot 0,13 + 0,36 + 0,4 + 0,17 = 1,84 \text{ მკმ}. \quad (3.4.23)$$

ვიპოვოთ $|\delta_2|$ -ს მნიშვნელობა, რომლის დროსაც "ИЧТ"-ს დამოწმების ცდომილება ნორმის ფარგლებში იქნება.

სტანდარტის მოთხოვნის თანახმად სანიმუშო მოწყობილობების სარწმუნო 0,98 ალბათობისას აბსოლუტური ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 1,5 მკმ-ს.

ვინაიდან დასამოწმებელი ინდიკატორის სანიმუშო მოწყობილობების საზომი ღეროს გადაადგილების მაგალითში მოყვანილი $|\delta_1|$ და $|\delta_2|$ დამოუკიდებელია, დამოწმების ჯამური ცდომილება განისაზღვრება მდგენელთა კვადრატების შეჯამებით.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სანიმუშო მოწყობილობების საზომი ღეროს გადაადგილების ცდომილების ზღვრული სიდიდე და მეთოდური $|\delta_1|$ ცდომილება ცნობილია და შესაბამისად ტოლია 1 მკმ და 0,46 მკმ, ზემოთ მოყვანილი პირობებიდან გამომდინარე შეიძლება მივიღოთ, რომ $|\delta_2|$ ზღვრული სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს 1,02 მკმ-ს. განხილულთან შედარებით გაზრდილი პარამეტრებისა და ერთჯერადი გაზომვებისას ეს სიდიდე შეადგენს 1,84 მკმ-ს.

$|\delta_2|$ ცდომილების შემცირება შესაძლებელია „სიგნალი/ხმაური“ ფარდობის გაზრდით ან გაზომვის შედეგების სტატისტიკური დამუშავებით.

პირობა $|\delta_2| \leq 1,02 \text{ მკმ}$ დაკმაყოფილდება, როცა $\rho \geq 22,3$ ერთჯერადი გაზომვისას ($n=1$), ან $\rho=10$ ორჯერადი გაზომვის გასაშუალებისას, ანუ $n=4$ (იგულისხმება, რომ

გაზომვების ცდომილებათა შედეგები განაწილებულია ნორმალური კანონის მიხედვით).

პრაქტიკულად n სიდიდე უნდა განისაზღვროს ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე, ვინაიდან ΔL_5 , ΔL_6 და ΔL_7 სიდიდეთა დისპერსიის ფარდობა დისკრეტიზაციის ბიჯთან არაა ერთმანეთის ტოლი, და შედეგად n -ჯერ ჩატარებული გაზომვისას ამ ცდომილებათა შემცირების მიახლოების ხარისხი \sqrt{n} -თან შესაძლოა განსხვავებული იყოს თითოეული მათგანისათვის.

მრავალარხიანი ავტომატური დამოწმებისას ზღვრული აბსოლუტური ცდომილების გაანგარიშებისათვის შესაძლებელია მივიღოთ შესწორებები ექსცენტრისიტეტზე (3.4.15), (3.4.18), (3.4.20), ხოლო სამოწმებელი ინდიკატორის მაჩვენებლის ორ მეზობელ მდებარეობას შორის კუთხის ფიქსაციის ზღვრული აბსოლუტური ცდომილება გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta \alpha_0 = 2\pi \frac{1}{1000} \cdot (2\Delta L_9 + \Delta_k) \quad (3.4.24)$$

სადაც Δ_k სანიმუშო ხელსაწყოს ღეროს გადაადგილების დისკრეტულობის ზღვრული აბსოლუტური ცდომილების სიდიდეა.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საზომი ღეროს გადაადგილების სანიმუშო მოწყობილობად გამოყენებულია რასტრული გარდამქმნელი (მოდელი 19000) გამომავალი სიგნალის სიხშირის 10-ჯერადი მნიშვნელობით, მაშინ $\Delta_k \approx 0,1$ მკმ.

ამგვარად, ინდიკატორის ჩვენების ამოკითხვის ზღვრული აბსოლუტური ცდომილების (მეთოდური ცდომილების გათვალისწინებლად) განსაზღვრისათვის ვღებულობთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$|\delta_2| = G\Delta L_6 + 2\Delta L_9 + 3 \cdot \frac{1000}{N_0} + \Delta_k + \frac{R_6 + R_9}{R_6 \cdot R_9} \cdot \frac{1000}{2\pi} \left(2\Delta L_7 + \frac{2\pi m}{\Gamma N_0} \right) \quad (3.4.25)$$

განხილული მაგალითისათვის, როცა $R_7=24,5$ მმ-ს $R_6=17,5$ მმ-ს, $2\pi m=4$ მმ; $\Gamma=1^x$:

$$|\delta_2^*| = G\Delta L_6 + 2\Delta L_9 + 3 \cdot \frac{1000}{N_0} + \Delta_k + \frac{1000}{20\pi} \left(2\Delta L_7 + \frac{4000}{N_0} \right) \quad (3.4.26)$$

თუ, მაგალითად $N_0=10\ 000$, მაშინ (3.4.26)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$|\delta_2^*| = 6 \cdot 0,13 + 2 \cdot 0,36 + 0,3 + 0,1 + 0,17 = 2,07 \text{ მკმ} \quad (3.4.27)$$

ამ სიდიდის შემცირება საჭირო დონემდე შესაძლებელია გაზომვის შედეგების სტატისტიკური დამუშავებით.

საათის ტიპის ინდიკატორების ავტომატური დამოწმებისას ცდომილების განსაზღვრა ხორციელდება მაჩვენებლის უკუსვლისა და გაქანების რეჟიმში ორარხიანი ამომკითხავი მოწყობილობის საშუალებით და დასამოწმებელი ინდიკატორის საზომი ღეროს პოზიციონირების მოწყობილობით. ამ რეჟიმში მუშაობისას დამოწმების შედეგებზე გავლენას არ ახდენს ექსცენტრისიტეტის და დასამოწმებელი ინდიკატორის სკალაზე ნიშნულების უთანაბრობით გამოწვეული ცდომილება. ამიტომ ამ შემთხვევაში დამოწმების ზღვრული აბსოლუტური ცდომილება ერთჯერადი გაზომვებისას იქნება:

$$|\delta| = \sqrt{\left(\Delta L_{\text{გ}} + \Delta L_{\text{ა}} + \frac{1000}{N_0}\right)^2 + \Delta_n^2} \quad (3.4.28)$$

სადაც Δ_n ნიშნულზე გაყვანის ზღვრული აბსოლუტური ცდომილებაა. როგორც აღინიშნა ადვილი მისაღწევია $\Delta_n \leq 1,5 \text{ მკმ}$, მაშინ (4.2.15) მიიღებს სახეს:

$$|\delta| = \sqrt{0,59^2 + 0,5^2} \approx 0,77 \text{ მკმ} \quad (3.4.29)$$

სტანდარტის მოთხოვნის თანახმად სარწმუნო აბსოლუტური ცდომილება ინდიკატორების დამოწმებისას არ უნდა აღემატებოდეს 3,0 მკმ-ს. უკუსვლის ცდომილების განსაზღვრისას კი არ უნდა აღემატებოდეს 2,0 მკმ-ს.

$$|\delta| \leq 0,66 \text{ მკმ}$$

აღნიშნული პირობა ადვილი მისაღწევია გაზომვის შედეგების სტატისტიკური დამუშავებისას, აუცილებლობის შემთხვევაში შესაძლებელია Δ_n სიდიდის შემცირება.

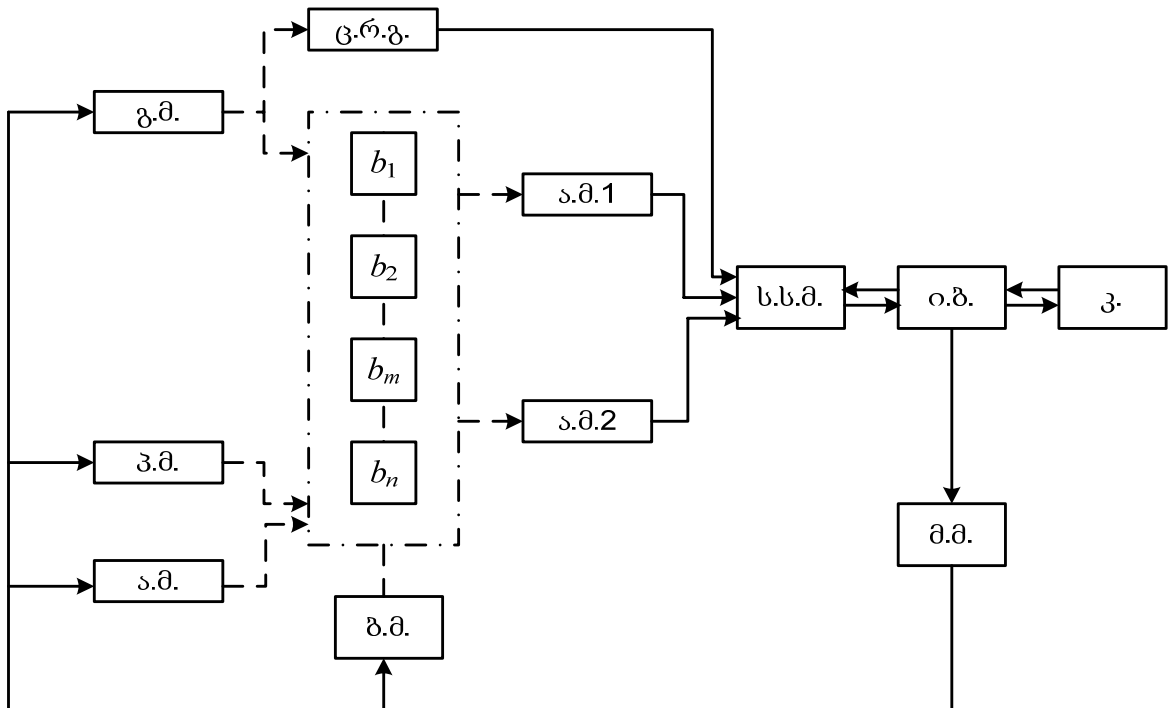
3.5. მიღებული შედეგები და დასკვნები

1. დადგენილია, რომ დამოწმების დინამიკურ რეჟიმში ცდომილების სიდიდე მნიშვნელოვანია და შეუძლებელს ხდის დავამოწმოთ 4.0 და უფრო მაღალი სიზუსტის კლასის ანალოგური ხელსაწყოები.
2. დადგენილია, რომ ანალოგური ხელსაწყოების დინამიკურ რეჟიმში საჭირო სიზუსტით ავტომატური დამოწმებისას უნდა გამოვრიცხოთ ჩვენების დინამიკური მდგენელები. ამისათვის საჭიროა ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის გამოკვლევა.
3. დამუშავებულია დინამიკურ რეჟიმში ავტომატური დამოწმების ორ ციკლიანი რეჟიმი: პირველში განისაზღვრება მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებელი, ხოლო მეორეში სამოწმებელი ხელსაწყოს საკუთარი ცდომილება.
4. დადგენილია მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებლის დიფერენციალური განტოლების მიახლოებითი ამონახსნის მეთოდით განსაზღვრის უპირატესობა.
5. დადგენილია რომ, თუ მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების მომენტს განვსაზღვრავთ 10^{-4} წმ-ის დისკრეტიზაციის ბიჯით, ხოლო მოძრავი ნაწილის დინამიკურ მახასიათებელს გამოვთვლით 1%-იან ცდომილებით, მაშინ დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეთოდით შესაძლებელია დავამოწმოთ ყველა ძირითადი (0,5-4,0) სიზუსტის კლასის ხელსაწყო.
6. დადგენილია, რომ ხელსაწყოს შესასვლელზე დინამიკური მახასიათებლის განსაზღვრის მიზნით იმპულსური ფუნქციის გამოყენება ერთეული ნახტომით ზემოქმედებასთან შედარებით ორჯერ ამცირებს პირველი ციკლის ხანგრძლივობას.
7. დამუშავებულია საათის ტიპის ინდიკატორების დამოწმების ჯამური ცდომილების გაანგარიშების მეთოდიკა.

თავი 4 ანალოგური საზომი ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების მეთოდებისა და საშუალებების რეალიზაცია

4.1. საათის ტიპის ინდიკატორების ავტომატური დამოწმების სისტემა

სისტემა (იხ.ნახ. 4.1) განკუთვნილია საათის ტიპის 0,01 მმ დანაყოფის ფასით ინდიკატორების დამოწმებისათვის. მაღალი დონის ავტომატიზაცია და სკალის ჩვენების ამოკითხვის ახალი მეთოდები საშუალებას გვაძლევს დავამოწმოთ ნებისმიერი მრგვალსკალიანი ხელსაწყო [23,94,95].

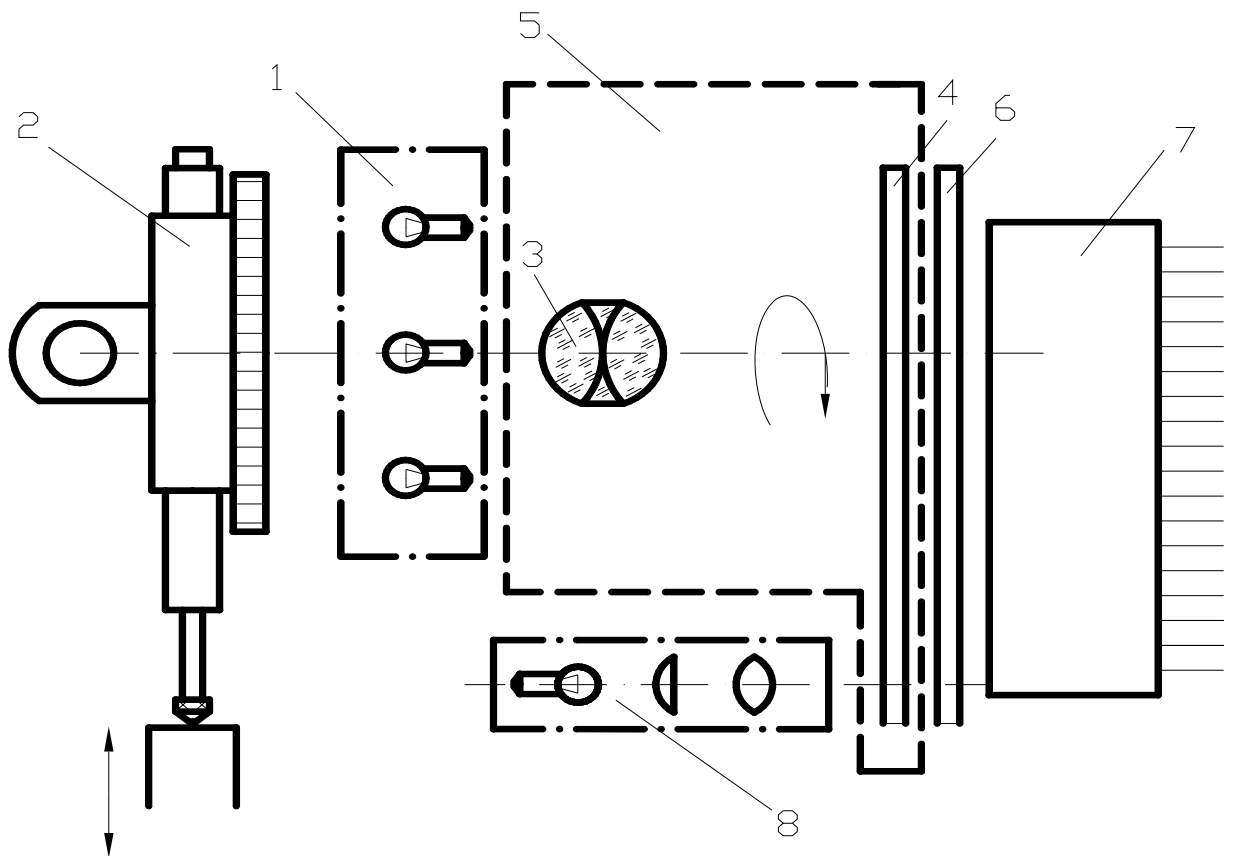


ნახ. 4.1 მიკრომეტრების დამოწმების ავტომატიზირებული სისტემის
ფუნქციონალური სქემა

ც.რ.გ.-ციფრული რასტრული გარდამქმნელი; გ.მ.-გადამაადგილებელი მოწყობილობა; პ.მ.-პოზიციონირების მოწყობილობა; ა.მ.-არეტირების მოწყობილობა; b_1 - b_n -დასამოწმებელი ხელსაწყოები; ბ.მ.-ბაზირების მოწყობილობა; ა.მ.1-ა.მ.2-ამომკითხავი მოწყობილობა; ს.ს.მ.-საინფორმაციო საზომი მოწყობილობა; ი.ბ.-ინტერფეისის ბლოკი; მ.მ.-მართვის მოწყობილობა; კ.-კომპიუტერი

დამოწმების პროცესების ავტომატიზაციამ საშუალება მოგვცა შევამციროთ დამოწმების დრო 3,5 წუთამდე, ნაცვლად 20 წუთისა და განვახორციელოთ ინდიკატორების პარტიებით (24 ცალი) დამოწმება.

დასამოწმებელი ხელსაწყოების $b_1, b_2, b_3...b_n$ პარტიას ათავსებენ სპეციალურ მაცენტრებელ საშუალებაში, რომელიც უზრუნველყოფს ფოტოელექტრულ ამომკითხავ მოწყობილობებთან ინდიკატორების წყვილის მოთავსებას. ბაზირების მოწყობილობა (ბ.მ.) წარმოადგენს სატრანსპორტო მექანიზმს, რომელიც ერთი წყვილი ხელსაწყო დამოწმების შემდეგ ამომკითხავი მოწყობილობების ა.მ.1, ა.მ.2 ქვეშ ათავსებს ინდიკატორების ახალ წყვილს. ამომკითხავი მოწყობილობით ა.მ.1-ით (ნახ.4.2) განისაზღვრება ცდომილებები გაზომვის მთელ დიაპაზონში, 1მმ-იან და 0,1მმ-იან



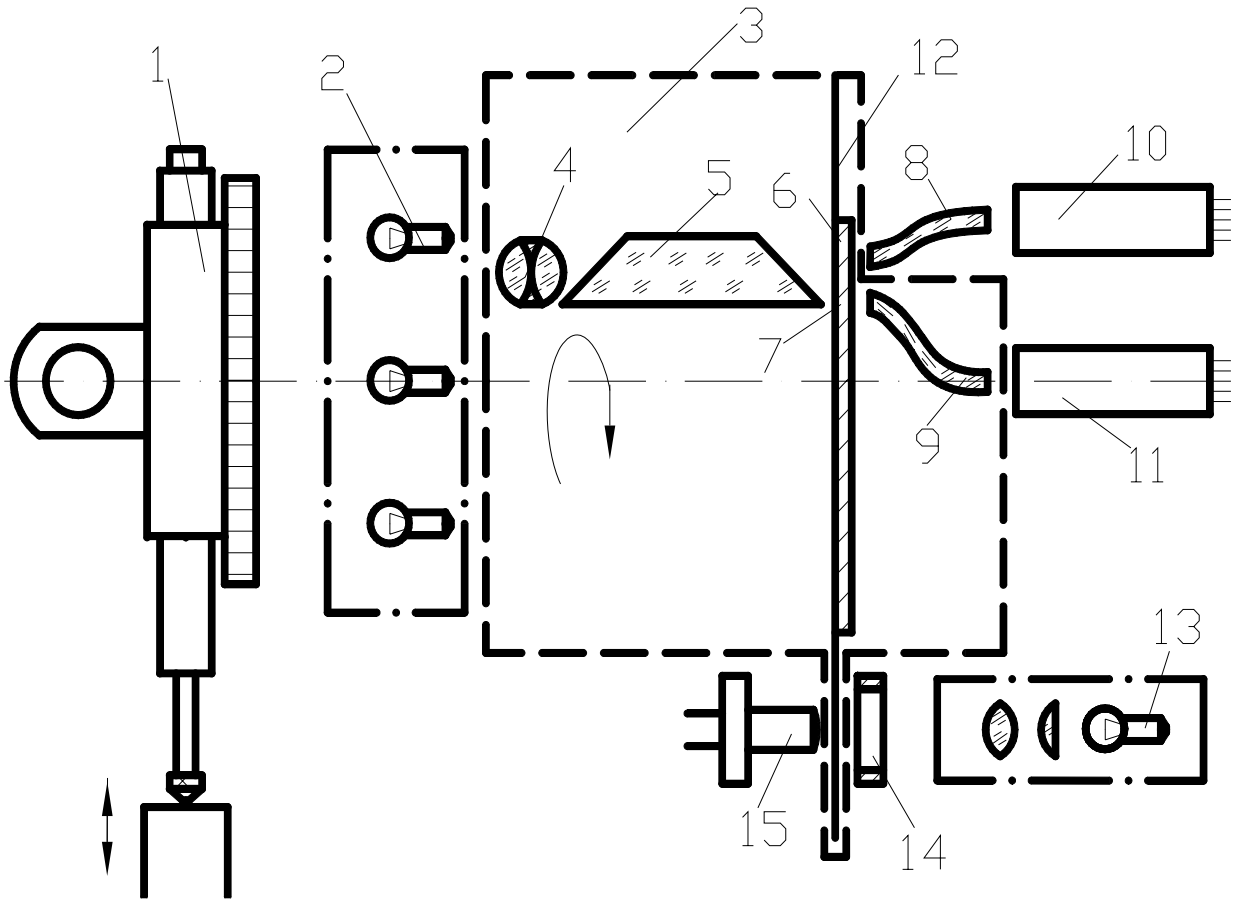
ნახ.4.2 მრავალარხიანი ამომკითხავი მოწყობილობის ოპტიკური სქემა
1-სოფიტური მანათელები; 2-დასამოწმებელი მიკრომეტრი; 3-საპროექციო ობიექტივი; 4-მანალიზებელი დისკო; 5-მბრუნავი დოლი; 6-მანალიზებელი ეკრანი; 7-ფოტომიმლებები; 8-სინათლის წყარო.

ნებისმიერ უბანზე. ინდიკატორებისათვის 0,01 მმ დანაყოფის ფასით ა.მ.2-ით განისაზღვრება ჩვენების ვარიაციები და მაჩვენებლის დაუბრუნებლობის ცდომილება.

ინდიკატორის საზომი ღერო ებჯინება სპეციალურ მოწყობილობას და უზრუნველყოფს მის წინ და უკან გადაადგილებას. იგივე გადამაადგილებელ მოწყობილობას (გ.მ.) საწინააღმდეგო მხრიდან ებჯინება ფოტოელექტრული რასტრული სისტემის (მოდელი 19000) საზომი ღერო. ციფრული რასტრული გარდამქმნელი (ც.რ.გ) გამოყენებულია სანიმუშო საზომ საშუალებად. დასამოწმებელი ხელსაწყოების საზომი საზღვრების (0-2, 0-5, 0-10 მმ) მიხედვით იზღუდება გადამაადგილებელი მოწყობილობის სამოდრაო დიაპაზონი. ინდიკატორის და რასტრული გარდამქმნელის საზომი ღეროები გადაადგილდებიან ერთნაირი სიდიდით, ხოლო ხელსაწყოს მაჩვენებელი ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას. ამიტომ მაჩვენებლის გამოსახულება ამომკითხავ მოწყობილობაში ა.მ.1-ში მორიგეობით გადაფარავს სკალის ნიშნულების გამოსახულებას, რაც შესაბამისად იწვევს სინათლის ნაკადის ცვლილებას და ფოტოელექტრული გარდამქმნელის გამოსასვლელზე ელექტრული იმპულსების წარმოქმნას. მიღებული იმპულსები მიეწოდება საინფორმაციო-საზომ მოწყობილობას (ს.ს.მ), რომელიც ინტერფეისის ბლოკის მეშვეობით (ი.ბ) დაკავშირებულია კომპიუტერთან (კ.). მიღებული მონაცემებით ვსაზღვრავთ სკალის ნიშნულების შესაბამის აბსოლუტური ცდომილების უდიდეს მნიშვნელობებს.

ა.მ.2-ის (ნახ.4.3, სურ.4.4) დანიშნულებაა განსაზღვროს საწყისი ნიშნულის მიმართ მაჩვენებლის მობრუნების კუთხე [23]. მობრუნების კუთხის სანიმუშო გადამწოდად გამოყენებულია კუთხური გადაადგილების საზომი გარდამქმნელი (მოდელი BE-5IB). გარდამქმნელის მოძრავ ნაწილზე დამაგრებულია დისკო ორი ნახვრეტით, რომელთა გრძივი ღერძი ემთხვევა ერთსა და იმავე რადიუსს. დისკოს ბრუნვისას ეს დიაფრაგმები გადაკვეთენ საწყის ნიშნულს და მაჩვენებლის გამოსახულებას. შუქსატარი, რომელიც შეუღლებულია სკალის ნიშნულის გამოსახულებასთან უძრავია, ხოლო მაჩვენებლის გამოსახულებასთან შეუღლებული შუქსატარი მოძრაობს ა.მ.2-ის მოძრავ ნაწილთან ერთად. ვინაიდან შუქსატარის ერთი მხარე მიყვება ბრუნვის ღერძს, ამიტომ შესაბამისი ფოტოელექტრული გარდამქმნელი არ საჭიროებს მოძრავ ნაწილზე მოთავსებას. ფოტომიმდებიდან გამომავალი იმპულსები

გამოიყენება საინფორმაციო-საზომი მოწყობილობისათვის კუთხური მობრუნების გადამწოდვით შემავსებელი იმპულსების სტარტ-სტოპური რეჟიმით დასათვლელად, ხოლო მათი რაოდენობით განისაზღვრება ხელსაწყოს ჩვენების მნიშვნელობა.

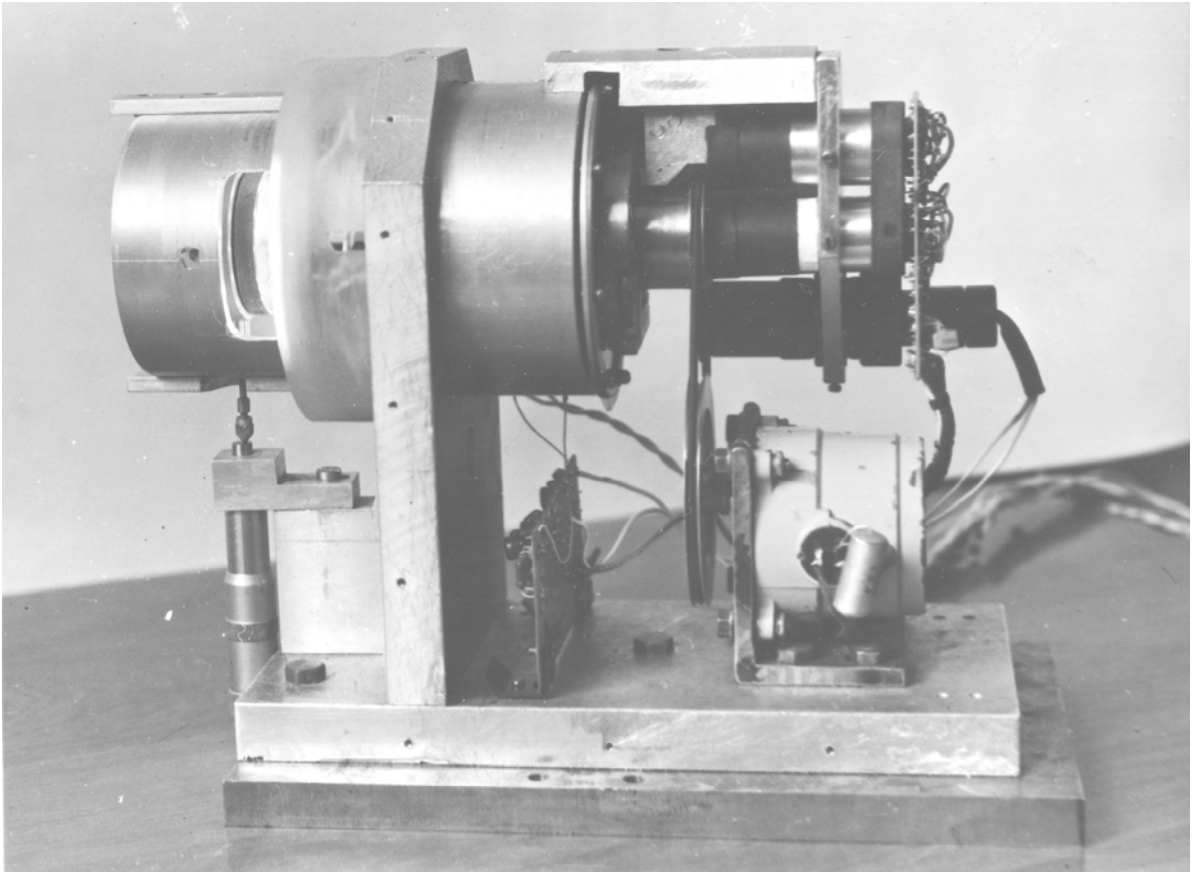


ნახ.4. 3 მიკრომეტრის მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის განმსაზღვრელი მოწყობილობის ოპტიკური სქემა

1-დასამოწმებელი მიკრომეტრი; 2-სოფიტური მანათელები; 3-ამომკითხავი თავაკის მბრუნავი დოლი; 4-ობიექტივი; 5-პრიზმა; 6,7,14-ჭრილიანი დიაფრაგმა; 8, 9-შუქსატარი; 10,11,15-ფოტომიმდები; 12-კოდური დისკო; 13-გამანათებელი.

დასამოწმებელი ხელსაწყოს საზომ ღეროზე პოზიციონირების მოწყობილობის (პ.მ.) მოქმედებით მაჩვენებლის გადაადგილებისას მიმდევრობით აფიქსირებენ სკალის გამოსახულებას საზომი დიაპაზონის სამ წერტილში: საწყისში, შუაში და ბოლოში.

თითოეულ ამ წერტილში მიმდევრობით განისაზღვრება ხელსაწყოს ჩვენების ვარიაცია და მაჩვენებლის დაბრუნების ცდომილება. პირველ შემთხვევაში (ჩვენების ვარიაცია) საზომი ღერო პოზიციონირების მოწყობილობის საშუალებით საწყისი მდგომარეობიდან გადაინაცვლებს 50 მკმ და კვლავ დაბრუნდება საწყის მდებარეობაში, ხოლო მეორე შემთხვევაში მოწყობილობით (ა.მ.) ხორციელდება ავტომატური არეტირება. თითოეული ოპერაციის მიმდინარეობის შესახებ ინფორმაცია ამომკითხავი მოწყობილობიდან (ა.მ.2) ფიქსირდება კომპიუტერში და გამოითვლება დასამოწმებელი ხელსაწყოს პარამეტრები.

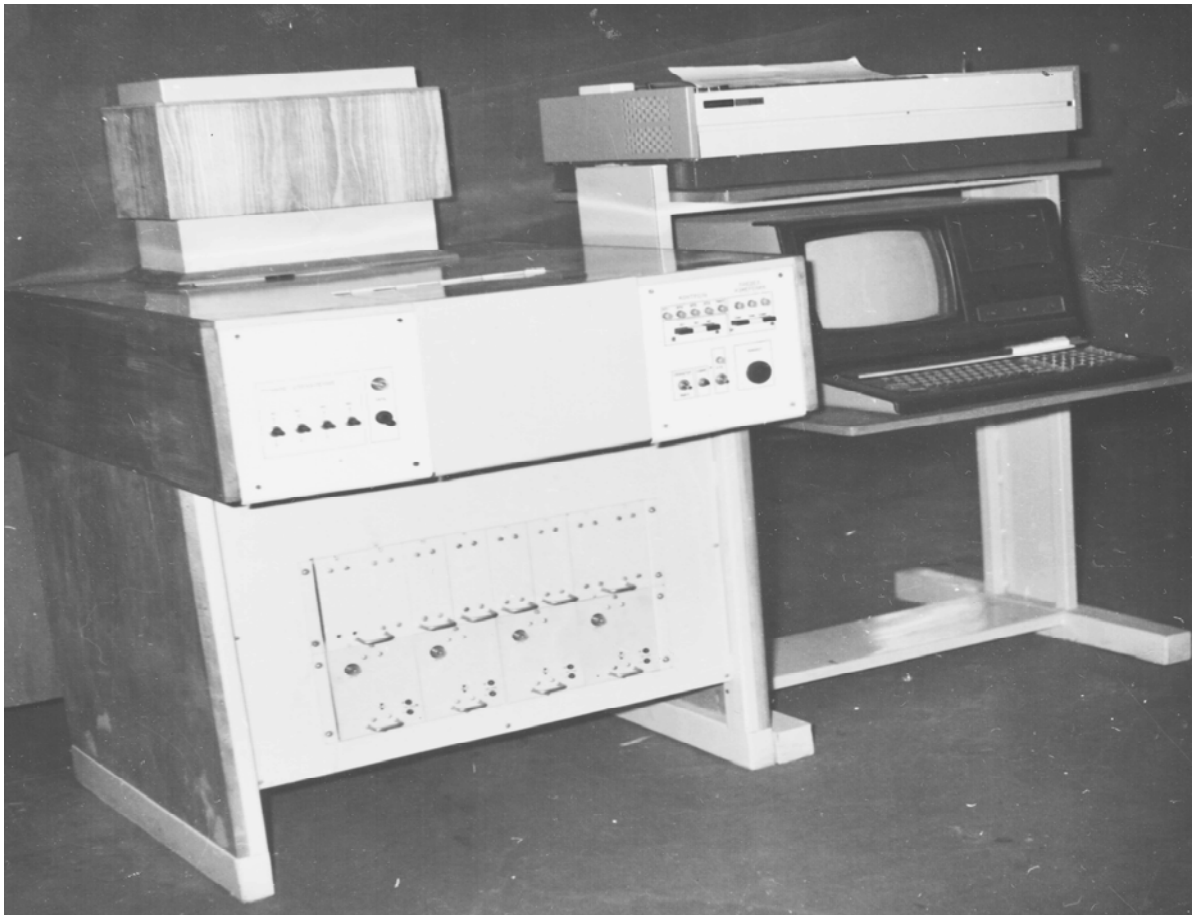


სურ. 4.4 ამომკითხავი მოწყობილობის საერთო ხედი

ზემოთ აღწერილი კვანძების მართვა, საზომი ინფორმაციის დამუშავება და დამოწმების შედეგების რეგისტრაცია ხორციელდება კომპიუტერის საშუალებით.

კომპიუტერი ინტერფეისის საშუალებით (ი.ბ) უკავშირდება მართვის მოწობილობას (მ.მ) და საინფორმაციო საზომ მოწყობილობას (ს.ს.მ.).

ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა დაადასტურა საცდელი ნიმუშის "АПСИ" (იხ.სურ.4.5) სტანდარტის მიხედვით ნორმირებული ცდომილებების განსაზღვრის შესაძლებლობა. შედეგების საშუალო კვადრატული გადახრა სტატიკურ რეჟიმში (ა.მ.2) სკალიდან ჩვენების ავტომატური ამოკითხვისას არ აჭარბებს 0,15 მკმ, ხოლო დინამიკურ რეჟიმში (ა.მ.1)- 0,4 მკმ. ცდომილების სისტემატური მდგენელი ძირითადად განისაზღვრება ციფრული რასტრული სისტემის (მოდელი 19000) ტექნიკური პარამეტრებით და არ აჭარბებს 2 მკმ გაზომვის მთელ დიაპაზონში.



სურ.4.5 საათის ტიპის ინდიკატორების ავტომატური დამოწმების სისტემა " АПСИ"

ჩვენების ვარიაციისა და მაჩვენებლის დაბრუნების ცდომილების სისტემატური მდგენელი განპირობებულია ამომკითხავი მოწყობილობის ბრუნვის ღერძის დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის ცენტრის მიმართ ექსცენტრისიტეტით.

4.2. საათის ტიპის ინდიკატორების მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის და ძირითადი ცდომილების განსაზღვრის ალგორითმების დამუშავება

ინფორმაციის დამამუშავებელი მოწყობილობა უზრუნველყოფს ძირითადი ცდომილების განსაზღვრას სანიმუშო და საზომი ხელსაწყოს ჩვენებათა მნიშვნელობების გამოკლების გზით:

$$\Delta X = X_{\text{სან}} - X_{\text{გაზ}}$$

გაზომვის შედეგი $\Delta X_{\text{გაზ}}$ თავის მხრივ შედგება ხელსაწყოს საკუთარი $X_{\text{ხელ}}$ და ექსცენტრისიტეტის ჩვენებათა ჯამისაგან:

$$X_{\text{გაზ}} = X_{\text{ხელ}} + X_{\text{ექს}}$$

ხელსაწყოს მაჩვენებლის მდებარეობა რეპერული ნიშნის მიმართ განისაზღვრება (3.4.11) ფორმულის მიხედვით.

ასეთი მიდგომა გამორიცხავს სისტემურ ცდომილებას, რომელიც გამოწვეულია ნიშნულისა და მაჩვენებლის შესაბამისი იმპულსების ხანგძლივობის ცვლილებით.

გაზომვის პერიოდების რაოდენობა n შეირჩევა შემთხვევითი ცდომილების საჭირო საშუალო მნიშვნელობის მისაღებად.

ინფორმაციის დამამუშავების სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის მისაღებად უნდა განვიხილოთ გამოთვლების თანმიმდევრობა და შევარჩიოთ სხვადასხვა რეჟიმებისათვის საერთო ტიპიური მოდული.

ასეთ ტიპიურ მოდულს წარმოადგენს გამოსახულება:

$$M_j = \frac{1}{2N_0 n} \sum_{i=1}^n (a_{ji} + b_{ji}) \quad (4.2.1)$$

თუ გამოსახულებას (4.2.1) გავამრავლებთ 1000-ზე მაშინ ის იდენტური გახდება (3.4.11) ფორმულისა. ამ ფორმულის საფუძველზე განვიხილოთ პროგრამული დამუშავების ალგორითმი (იხ.ნახ.4.6): ბლოკში 1 მიეწოდება n , N_0 საწყისი მონაცემები, ხოლო ბლოკი 2 აფიქსირებს N_f და N_b სიგნალების წინა ფრონტებსა და უკანა ფრონტებს შორის შემავსებელი იმპულსების რაოდენობას.

ბლოკში 3 ხორციელდება რეპერული ნიშნულისა და მაჩვენებლის სიმეტრიის დერძებს შორის მოთავსებული შემავსებელი იმპულსების რაოდენობის $[1/2(N_{fi}+N_{bi})]$ მისივე ფასზე ($1000/N_0$) გამრავლებით მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის დადგენა.

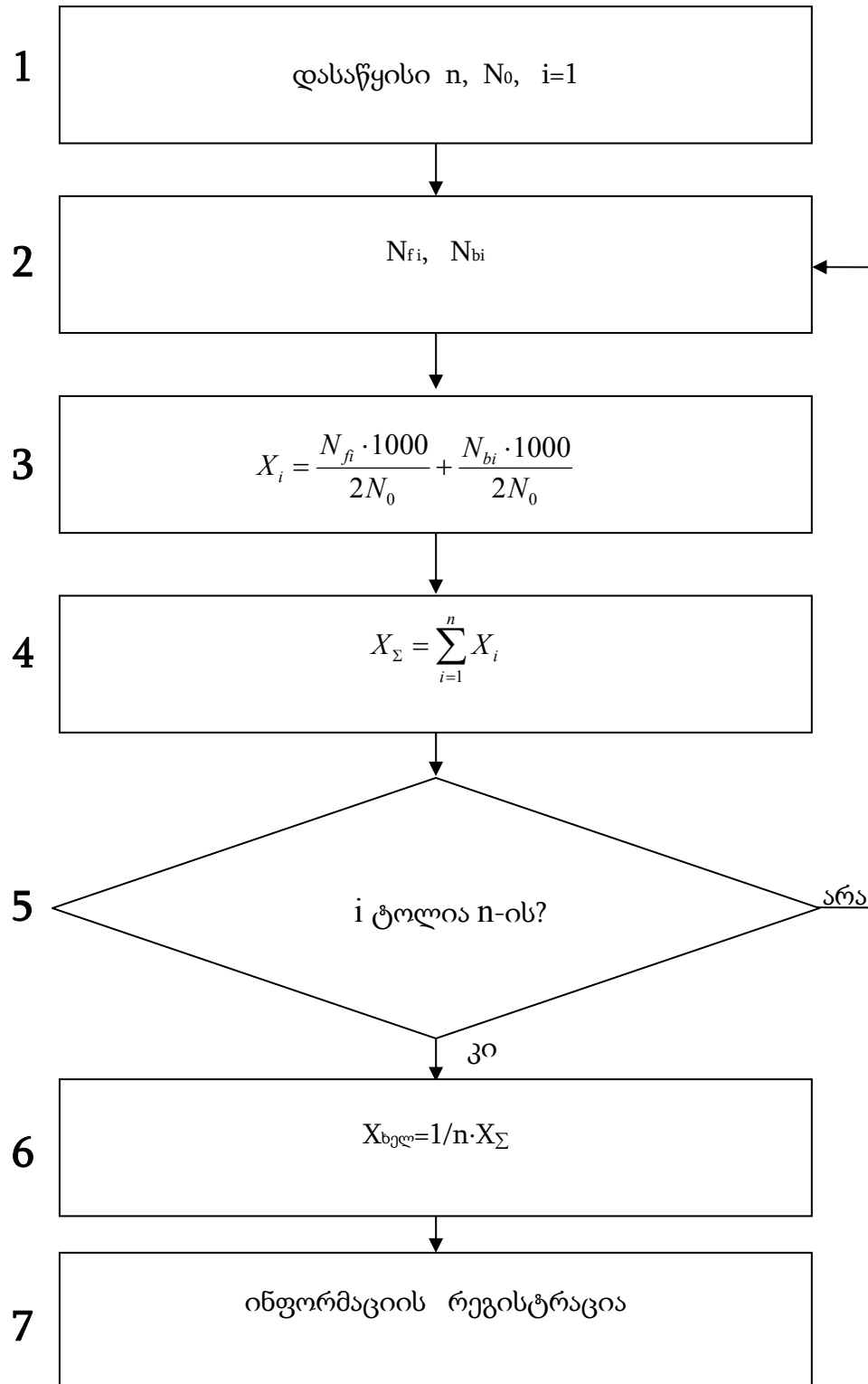
ბლოკში 4 მიმდინარეობს გაზომვის შედეგების (X_j) აჯამვა. ბლოკები 2, 3, 4 ჩართულია ციკლურ რეჟიმში, ხოლო ციკლების რაოდენობა განისაზღვრება ბლოკით 5.

n ციკლის დასრულების შემდეგ ბლოკით 6 გამოითვლება გაზომვის შედეგების საშუალო მნიშვნელობა, რომელიც რეგისტრირდება მე-7 ბლოკში.

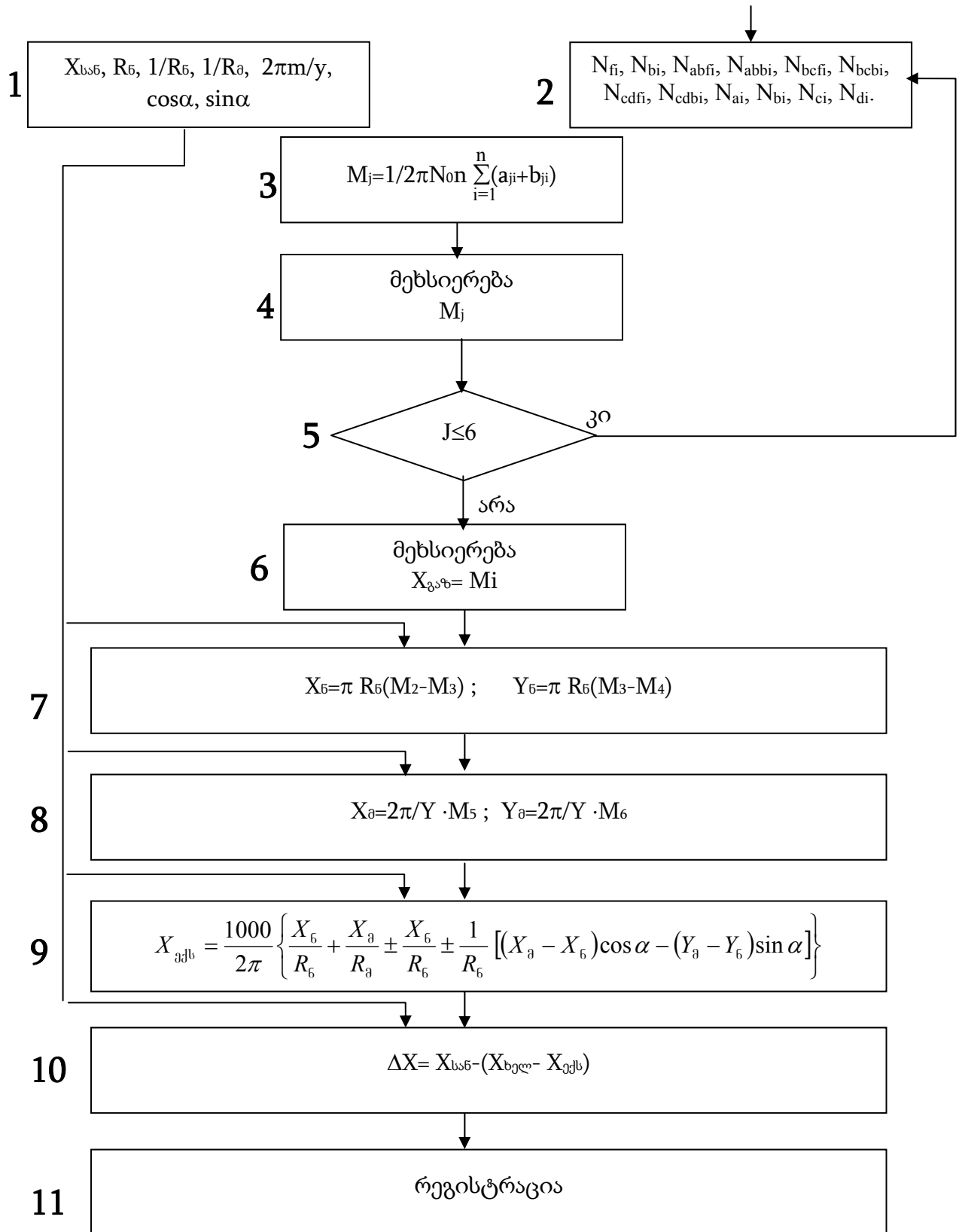
ნახაზზე 4.6 ნაჩვენებია ალგორითმი წარმოადგენს ხელსაწყოს ძირითადი ცდომილებების გამოსათვლელი პროგრამის ბლოკ-სქემის (იხ.ნახ. 4.7) ერთ ნაწილს (ბლოკი 3).

ბლოკში 1 წინასწარ ჩაიწერება შემდეგი ინფორმაცია: სანიმუშო გადაადგილების სიდიდე ($X_{საფ}$), სკალის რადიუსი- R_b , მაჩვენებლის რადიუსი- R_a , $2\pi m/y$, $\sin\alpha$, $\cos\alpha$ და დამოწმების ციკლების რაოდენობა n .

ბლოკში 2 ხორციელდება უნიტარულ კოდში შემოსული ინფორმაციის დამუშავება. ეს ინფორმაცია N_{fi} -ის და N_{bi} -ის ($j=1,2,\dots,6$) მნიშვნელობების შესახებ მიეწოდება ბლოკს 3, რომლის საშუალებითაც გამოითვლება M_j მოდული. გამოთვლილი სიდიდეები შეინახება ბლოკში 4 და ციკლის (ბლოკი 5) დამთავრების შემდეგ გამოსათვლელად მიეწოდება ბლოკს 6. კოორდინატების მნიშვნელობები და შესწორების სიდიდე ($X_{ესს}$) გამოითვლება შესაბამისად ბლოკებით 7,8,9. ამის შემდეგ ბლოკით 10 ხორციელდება ძირითადი ცდომილებების გამოთვლა, ხოლო შედეგები რეგისტრირდება მე-11 ბლოკში.



ნახ.4.6 სკალაზე მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის განმსაზღვრელი ალგორითმის ბლოკ-სქემა



ნახ.4.7 ხელსაწყოს ძირითადი ცდომილების განმსაზღვრელი ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ზემოთ აღწერილი ბლოკ-სქემიდან ჩანს, რომ ძირითად ოპერაციას წარმოადგენს ალგებრული შეკრება და გამრავლება, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს გამოთვლითი ოპერაციების მიმდინარეობას.

4.3. ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდოლოგია და მიღებული შედეგები

ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმების ოპერაციის განხორციელებისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პირობაა ამომკითხავი მოწყობილობის ფოტოელექტრული გარდამქმნელიდან მიღებული პირველადი სიგნალის ვარგისიანობა შემდეგი დამუშავებისათვის.

ორარხიანი ამომკითხავი მოწყობილობის გამოსასვლელზე ელექტრულ სიგნალებს აქვთ შემდეგი პარამეტრები: მაჩვენებლის შესაბამისი სიგნალის ამპლიტუდა 4 ვოლტი (სიგ/ხმაურ=8), ნიშნულის შესაბამისი სიგნალის ამპლიტუდა 0,5 ვოლტი (სიგ/ხმაურ=10).

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების (იხ.ცხრ.5) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ საშუალო კვადრატული გადახრის რიცხვითი მნიშვნელობა ერთი ან ორი შემავსებელი იმპულსის ფასის ტოლია და ეს სიდიდე მოცემული მოწყობილობებისათვის შეადგენს 0,5-1,0 მკმ-ს. ექსცენტრისიტეტით გამოწვეული სისტემური ცდომილების განსაზღვრისათვის საზომი ხელსაწყო შესასვლელზე მიმდევრობით ვაწოდებთ ოც თანაბარსხვაობიან $X_{\text{ნომი}}$ სანიმუშო სიგნალს. მაჩვენებლის თითოეული მდებარეობისათვის ვასრულებთ ათ ამოკითხვას და გამოთვლილი მონაცემების საშუალო არითმეტიკულით X_i ვადგენთ სხვაობას ΔX_i ნაკონ საშუალო არითმეტიკულსა და მისი შესაბამისი სიგნალების ნომინალურ მნიშვნელობებს შორის. ერთ-ერთი ასეთი ექსპერიმენტის შედეგი ნაჩვენებია ცხრილში 6, ხოლო აღნიშნული სხვაობების შედეგები გამოსახულია წერტილების სახით (იხ.ნახ.4.8).

სკალის გამოსახულების ამოკითხვის საშუალო კვადრატული ცდომილების
ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები

№	x_i , მკმ	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1.	710,25	-0,88	0,7744
2.	711,50	+0,37	0,1369
3.	710,50	-0,63	0,3969
4.	712,25	+1,12	1,254
5.	711,75	+0,62	0,3844
6.	709,75	-1,38	1,904
7.	711,00	-0,13	0,0169
8.	710,25	-0,88	0,7744
9.	711,25	+0,12	0,0144
10.	711,00	-0,13	0,0169
11.	712,75	+1,62	2,624
12.	711,75	+0,62	0,3844
13.	710,00	-1,13	1,277
14.	711,25	+0,12	0,0144
15.	711,50	+0,37	0,1369
16.	712,50	+1,37	1,877
17.	710,25	-0,88	0,7744
18.	711,00	-0,13	0,0169
19.	712,00	+0,87	0,759
20.	711,75	+0,62	0,3644
	$\Sigma=14224,25$		$\Sigma=13,9016$

ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავებით ვღებულობთ:

$$\delta = 0,855 ; \quad M(X)=711.163; \quad D(X)=0,708.$$

აპროქსიმაციის ფუნქციის საპოვნელად ვიყენებთ უმცირესი კვადრატის მეთოდს [93], ხოლო საძებნ განტოლებას წარმოვადგენთ ექსცენტრისიტეტის ცდომილების გამოსათვლელი ფორმულის (3.4.19) გათვალისწინებით:

$$\Delta X_i^* = a + b \cos \alpha + c \sin \alpha \quad (4.2.1)$$

სადაც a , b და c - საპოვნი მუდმივი კოეფიციენტებია;

α - მაჩვენებლის მოზრუნების კუთხეა.

ნორმალურ განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე:

$$\left\{ \begin{array}{l} na + b \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i + c \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \\ a \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i + b \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i + c \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \cos \alpha_i \\ a \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i + b \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i + c \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \sin \alpha_i \end{array} \right. \quad (4.2.2)$$

განტოლების (4.2.2) ამოხსნის შედეგად ვპოულობთ მუდმივ კოეფიციენტებს, რის შედეგადაც გამოსახულება (4.2.1) მიიღებს შემდეგ სახეს:

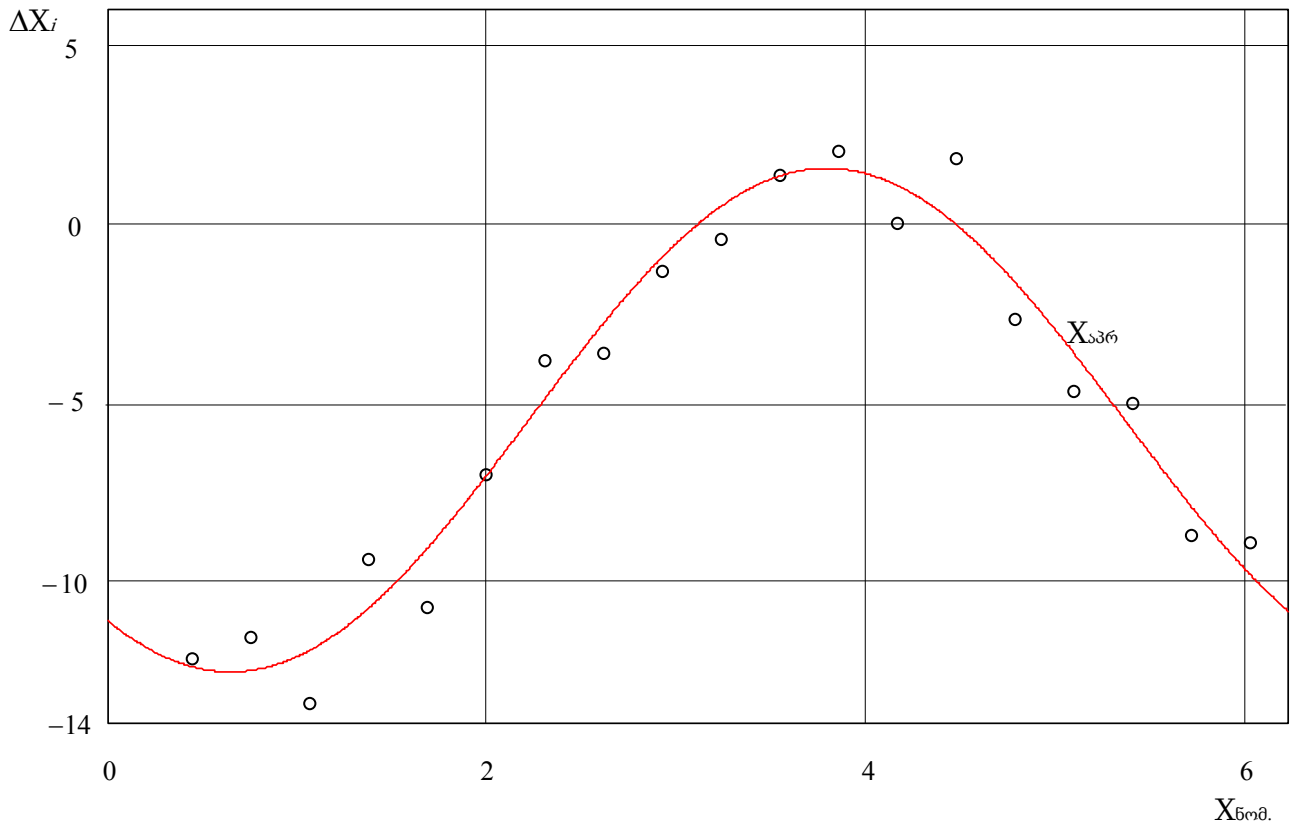
$$\Delta X_i^* = -5,503 - 5,63 \cos \alpha - 4,251 \sin \alpha \quad (4.2.3)$$

ფორმულით (4.2.3) გამოთვლილი მონაცემები Δx_i^* გამოსაკვლევია α_i წერტილებისათვის და ასევე ექსპერიმენტალურ x_i და აპროქსიმირებულ სიდიდეებს შორის სხვაობითი მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 6.

ექსცენტრისიტეტის ცდომილების ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები

i	$X_{\text{ნომი}}$	α_i	x'_i	$\Delta x_i = x'_i - X_{\text{ნომი}}$	Δx^*_i	$\Delta x_i - \Delta x^*_i$
	მკმ	გრად	მკმ	მკმ	მკმ	მკმ
1.	50	18°	38,1	-11,9	-12,2	+0,3
2.	100	36°	88,3	-11,7	-12,6	+0,9
3.	150	54°	136,0	-14,0	-12,3	-1,7
4.	200	72°	190,1	-9,9	-11,3	+1,4
5.	250	90°	238,3	-11,7	-9,8	-1,9
6.	300	108°	292,8	-7,2	-7,8	+0,6
7.	350	126°	345,7	-4,3	-5,7	+1,4
8.	400	144°	395,9	-4,1	-3,4	-0,7
9.	450	162°	448,3	-1,7	-1,5	-0,2
10.	500	180°	499,0	-1,0	+0,1	-1,1
11.	550	198°	551,6	+1,6	+1,2	+0,4
12.	600	216°	602,3	+2,3	+1,5	+0,8
13.	650	234°	650,5	+0,5	+1,2	-0,7
14.	700	252°	700,1	+0,1	+0,3	-0,2
15.	750	270°	751,9	+1,9	-1,3	+3,2
16.	800	288°	795,5	-4,5	-3,2	-1,3
17.	850	306°	843,7	-6,3	-5,4	-0,9
18.	900	324°	891,7	-8,3	-7,6	-0,7
19.	950	342°	941,5	-8,5	-9,5	+1,0
20.	990	356,4°	978,9	-11,1	-10,9	-0,2

$\delta = 1.2 \text{ მკმ}$



ნახ.4.8 ექსცენტრისიტეტის ცდომილების გამოკვლევის
ექსპერიმენტული შედეგები

4.4. კონსტრუქციის საიმედოობისა და მუშაუნარიანობის

დამადასტურებელი გამოთვლები

ავტომატური დამოწმებისას ხელსაწყოს სკალის ჩვენების ამოკითხვის ცდომილება სხვადასხვა რეჟიმებში განისაზღვრება:

1. ავტომატური დამოწმებისას მაჩვენებლის გაქანების რეჟიმში ამოკითხვის ცდომილება განისაზღვრება ინდიკატორის სკალის ჩვენების ამოკითხვის ცდომილებით.

მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემებიდან გამომდინარე საშუალო კვადრატული გადახრა შეადგენს:

$$S_{\sigma} \leq 0.15 \text{ მკმ.}$$

ავტომატური დამოწმების სისტემის ჩვენების ცდომილება სარწმუნო 0,98 ალბათობით, როცა $m=2$ ტოლია:

$$\Delta = 6.995 \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{2}} = 0.71 \text{ მკმ}$$

მონაცემთა ზღვრული ცდომილება გაქანების რეჟიმში შეადგენს 1,0 მკმ-ს.

2. ანალოგური ხელსაწყოს მაჩვენებლის უკუსვლისას, ცდომილება განისაზღვრება სკალის გამოსახულების განსაზღვრისა და შესასვლელი სიგნალის ცდომილების ერთობლიობით.

მიღებული შედეგების თანახმად ჩვენებისა და პოზიციონირების ცდომილების საშუალო კვადრატული გადახრა შესაბამისად შეადგენს

$$S_{\sigma} \leq 0.15 \text{ მკმ და } S_{\Delta} \leq 0.15 \text{ მკმ.}$$

ვინაიდან ეს მდგენელები არ არიან ურთიერთკავშირში, ავტომატური დამოწმების სისტემის საშუალო კვადრატული ცდომილება განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$S = \sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\Delta}^2} = 0,25 \text{ მკმ}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ უკუსვლის ცდომილებად მიიღება ინდიკატორის ჩვენებათა სამი წყვილის სხვაობათა საშუალო არითმეტიკული, რომლებიც შეესაბამება ერთსა და იმავე საზომ წერტილს, საზომი ღეროს წინსვლა- უკუსვლითი მოძრაობისას ჯამური ცდომილება სარწმუნო 0,98 ალბათობით განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\Delta_{\text{უკ.სვ}} = 4,541 \frac{S_{\text{უკ.სვ}}}{\sqrt{3}} = 2,622 \cdot S_{\text{უკ.სვ}} = 0,66 \text{ მკმ}$$

დასაშვები ცდომილება უკუსვლის ცდომილების განსაზღვრის რეჟიმში ტოლია 0,7მკმ.

3. საათის ტიპის ინდიკატორის დინამიკურ რეჟიმში დამოწმებისას ცდომილება სკალის 1 მმ და 0,1 მმ ნებისმიერ უბნზე განისაზღვრება სანიმუშო მოწყობილობის (რასტრული ციფრული მოდელი 19000) და ჩვენების ამოკითხვის ცდომილებით.

ცდომილებათა პირველი მდგენელი სისტემური ხასიათისაა და მისი მნიშვნელობა არ აღემატება 2,0 მკმ-ს.

ავტომატური დამოწმების სისტემით განსაზღვრულ მონაცემთა საშუალო კვადრატული გადახრა დინამიკურ რეჟიმში ტოლია $S_{\Sigma} \leq 0.6$ მკმ.

ჯამური ცდომილების ზღვრული სიდიდე 0,98 ალბათობით ცდომილებისას, როცა $m=5$ ტოლი იქნება:

$$\Delta = 2\text{მკმ} + 3,365 \frac{S_c}{\sqrt{5}} = 2,9\text{მკმ}$$

ინდიკატორების ცდომილების განსაზღვრისას ცდომილების ეს სიდიდე მუდმივია (3,0 მკმ) გაზომვის მთელ არეში და ნაკლებია დასაშვებზე.

1 მმ უბანზე ცდომილების სისტემური მდგენელი ნაკლებია დასაშვებ (2,0 მკმ) სიდიდეზე.

$$\Delta = 0,2\text{მკმ} + 0,9\text{მკმ} = 1,1\text{მკმ}$$

0,1 მმ უბანზე ცდომილების სისტემური მდგენელი ასევე მცირე სიდიდისაა $\Delta_s = 0.9$ მკმ დასაშვებ 1,5 მკმ სიდიდესთან შედარებით.

4.5. სხვადასხვა ტიპის ანალოგური საზომი ხელსაწყოთა ავტომატურ დამოწმებაზე გათვლილი მარტივად ადაპტირებადი ამომკითხავი მოწყობილობა

დღეისათვის საზომ საშუალებებზე მოთხოვნა იცვლება. ამიტომ წარმოებები იძულებული არიან გამოუშვან ხელსაწყოების ფართო ასორტიმენტი შედარებით მცირე პარტიებად, ხშირად განაახლონ საწარმოო საზომი საშუალებები. ხელსაწყოები დააკომპლექტონ შეცვლადი სკალით და შუნტებით. ამ ყველაფერს მივყავართ იმ ხელსაწყოების ტიპის ხშირ ცვლასთან, რომლებიც გადიან ავტომატურ დამოწმებას და მოითხოვენ სისტემის ხშირ გადაწყობას.

მოქნილი ავტომატური დამოწმების სისტემის გამოყენებისათვის აუცილებელია მომხმარებელმა თვითონ შეძლოს სისტემის გადაწყობა ხელსაწყოთა ახალი ტიპების მიხედვით. ამასთან ეს უნდა განხორციელდეს სისტემის ტექნიკური და პროგრამული ნაწილის არსებითი ცვლილებების გარეშე.

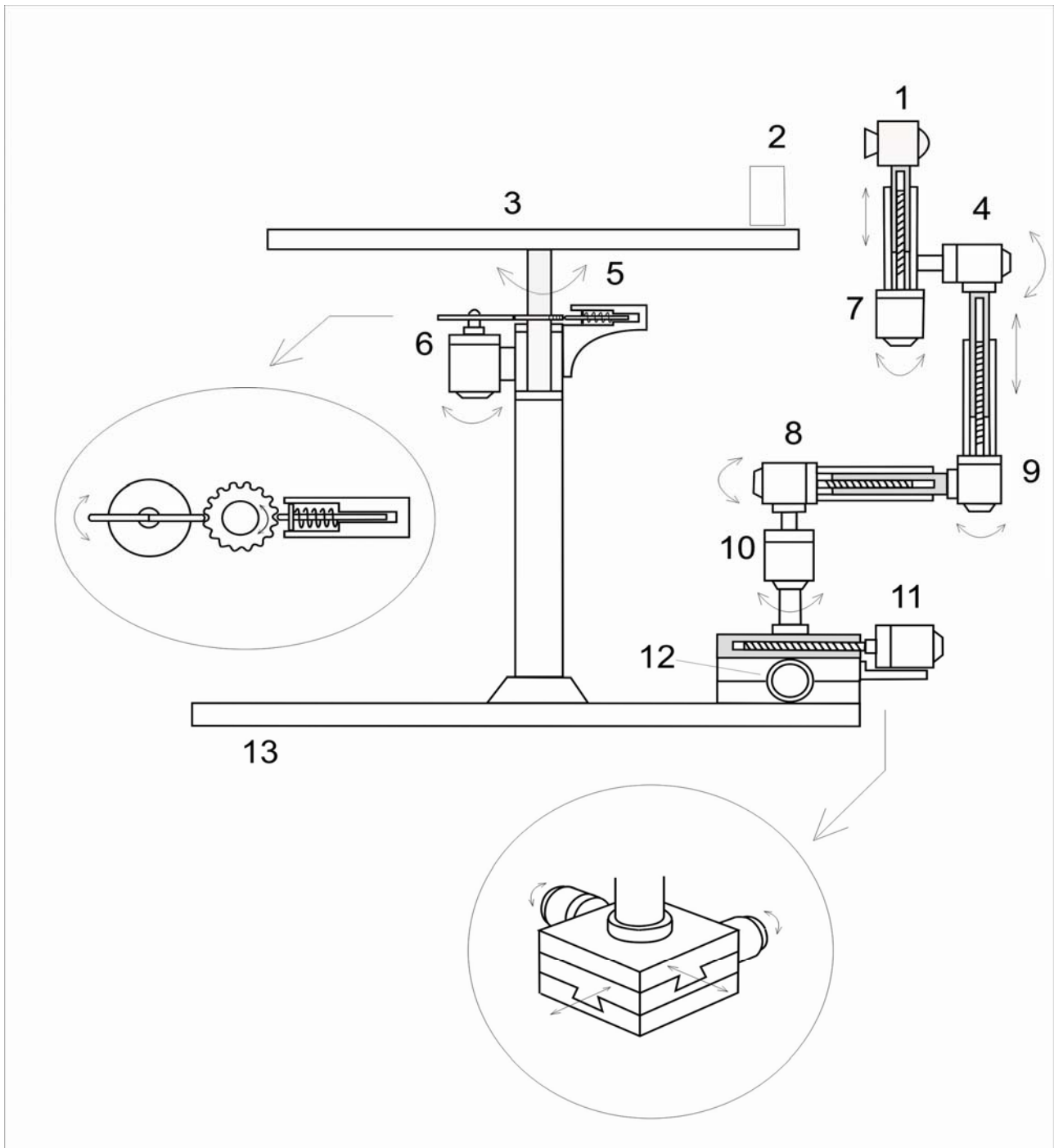
ნახ.4.9-ზე ნაჩვენებია ძირითადი ტიპის ხელსაწყოების დამოწმებაზე გათვლილი ადვილად ადაპტირებადი ამომკითხავი მოწყობილობის კონსტრუქციული გამოსახულება. მისი საშუალებით შესაძლებელია დავამოწმოთ წრფივსკალიანი, მრგვალსკალიანი და პროფილური ანალოგური ხელსაწყოები. დასამოწმებელ ხელსაწყოებს ათავსებენ პარტიებად საზომ მაგიდაზე 3, რომელიც ხელსაწყოს ფიზიკური ზომიდან გამომდინარე გადაადგილდება ბიჯებით ამძრავის 6 საშუალებით. პოზიციის დაფიქსირება ხორციელდება მექანიზმის 5 საშუალებით.

ამომკითხავი მოწყობილობის ნახ.4.9-ზე ნაჩვენები მდებარეობა განკუთვნილია ხელსაწყოებისათვის, რომელთა სკალა მოთავსებულია ვერტიკალურ სიბრტყეში, ხოლო ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განლაგებული სკალის შემთხვევაში ამომკითხავი მოწყობილობის დგარი ჰორიზონტალური 13 სიბრტყიდან უნდა გადავანაცვლოთ ვერტიკალურ სიბრტყეში.

წრფივსკალიანი ხელსაწყოების შემთხვევაში დამოწმება ხორციელდება ამძრავის 12 გადაადგილებით, ხოლო ამ პროცესისათვის მომზადება ამძრავების 8, 11 (სკალიდან დაშორება) 10 (სკალის პარალელურ სიბრტყეში დაყენება) და 7 (სკანერის ნიშნულების არეში მოთავსება) საშუალებით.

მრგვალსკალიანი საზომი ხელსაწყოების შემთხვევაში დამოწმება ხორციელდება ამძრავის 4 საშუალებით, ხოლო მომზადება ამძრავების 8, 11 (სკალიდან დაშორება) 7, 9, 12 (ბრუნვის ცენტრის მაჩვენებლის ცენტრთან შეთავსება და სკანერის მაჩვენებლების არეში მოთავსება) და 10 (სკანერის სკალის პარალელურ სიბრტყეში დაყენება) საშუალებით.

პროფილური ხელსაწყოების შემთხვევაში დამოწმება ხორციელდება ამძრავის 10 საშუალებით, ხოლო მომზადება ამძრავების 9, 7 (სკანერის ნიშნულების არეში მოთავსება) 11, 12 (ბრუნვის ცენტრის მაჩვენებლის ცენტრთან შეთავსება) და 8 (სკალიდან დაშორება) საშუალებით.



ნახ.4.9 სხვადასხვა ტიპის ანალოგური ხელსაწყო ავტომატურ დამოწმებაზე
გათვლილი ადვილად ადაპტირებადი ამომკითხავი მოწყობილობა

4.6. მიღებული შედეგები და დასკვნები

1. დამუშავებულია 0,01მმ დანაყოფის ფასით საათის ტიპის ინდიკატორების ავტომატური დამოწმების სისტემა სტატიკური და დინამიკური რეჟიმებისათვის.
2. დამუშავებულია საათის ტიპის ინდიკატორების მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის და ძირითადი ცდომილების განსაზღვრის ალგორითმები.
3. დადგენილია საცდელი ნიმუშის "АПСИ" სტანდარტის მიხედვით ნორმირებული ცდომილებების განსაზღვრის შესაძლებლობა. შედეგების საშუალო კვადრატული გადახრა სტატიკურ რეჟიმში სკალიდან ჩვენების ავტომატური ამოკითხვისას არ აჭარბებს 0,15 მკმ, ხოლო დინამიკურ რეჟიმში 0,4 მკმ. ცდომილების სისტემური მდგენელი ძირითადად განისაზღვრება ციფრული რასტრული სისტემის (მოდელი 19000) ტექნიკური პარამეტრებით და არ აჭარბებს 2 მკმ გაზომვის მთელ დიაპაზონში.
4. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების ანალიზით დადგენილია ექსცენტრისიტეტით შემოტანილი სისტემური ცდომილების მნიშვნელობა, რომლის მიხედვითაც უმცირესი კვადრატის მეთოდით განხორციელებულია აპროქსიმაცია. ექსპერიმენტულ და აპროქსიმირებულ მონაცემებს შორის საშუალო კვადრატული გადახრა შედგენს $\delta = 1.2$ მკმ-ს.
5. გამოთვლების საფუძველზე დადასტურებულია კონსტრუქციის საიმედოობა და მუშაუნარიანობა.
6. დამუშავებულია ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმებაზე გათვლილი ადვილად ადაპტირებადი ამომკითხავი მოწყობილობის კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური სქემა..

ძირითადი დასკვნები

1. დადგენილია, რომ დღეისათვის არსებული ავტომატური დამოწმების სისტემები ვერ უზრუნველყოფენ ახალი ტიპის და სხვადასხვა მოდიფიკაციის ანალოგური ხელსაწყოების დამოწმებას. ამიტომ, აუცილებელია დამუშავდეს ავტომატური დამოწმების ახალი მეთოდები და საშუალებები თანამედროვე ISO სტანდარტების მოთხოვნების და უახლესი ტექნიკური ბაზის გათვალისწინებით.
2. დადგენილია, რომ სკალის გამოსახულების ამოკითხვის საშუალებებიდან უპირატესობა გააჩნია ოპტიკურ მატრიცულ სკანერს, ხოლო სანიმუშო სიგნალის წყაროებიდან კალიბრატორებს.
3. დადგენილია, რომ ანალოგური ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმების სისტემებისათვის მატრიცული სკანერის გარჩევითობის ოპტიმალური დიაპაზონია 400-600dpi. სკანერი განათების (ავტომატური რეგულირებით) სისტემასთან ერთად თავსდება მოძრავ მექანიზმზე და გადაადგილდება სამოწმებელი ხელსაწყო სკალის გასწვრივ.
4. განხორციელებულია ავტომატური დამოწმების სისტემის თითოეული კვანძის ფუნქციონირების მათემატიკური აღწერა, რომლის საფუძველზე შესაძლებელია დამუშავდეს დამოწმების სისტემის მათემატიკური მოდელი.
5. შერჩეულია საწყისი გამოსახულების მომზადების ტექნოლოგია (სეგმენტაცია, გამოსახულებაზე არჩევითობის ამაღლება, ბინარიზაცია და ფილტრაცია). დადგენილია, რომ (მაღალი ხარისხის გამოსახულების მისაღებად) სკანირება უნდა განხორციელდეს ნახევარტონალური გამოსახულების რეჟიმში, ხოლო შავ-თეთრი გამოსახულების მისაღებად უნდა გამოვიყენოთ ალგორითმული მეთოდები გამყოფი საზღვრის საუკეთესო ვარიანტის დასადგენად. მიღებული გამოსახულების ფილტრაციის მიზნით უპირატესობა მიენიჭა არაწრფივ მედიანურ ფილტრს.
6. დამუშავებულია წრფივ, მრგვალ და პროფილურ სკალიან ხელსაწყოთა ელემენტების გამოსახულებებს შორის რეალური მანძილის განსაზღვრის ალგორითმული მეთოდები და მინიმუმამდელა დაყვანილი პარალაქსით შემოტანილი ცდომილება.

7. დამუშავებულია სკანირების სიჩქარით შემოტანილი ცდომილების განსაზღვრის მეთოდი და დადგენილია სკანირების სიხშირის ოპტიმალური დიაპაზონი.
8. დადგენილია, რომ ანალოგური ხელსაწყოების დინამიკურ რეჟიმში საჭირო სიზუსტით ავტომატური დამოწმებისათვის უნდა გამოვრიცხოთ დინამიკური მდგენელები. ამ მიზნით ავტომატური დამოწმება ხორციელდება ორ ციკლიანი რეჟიმით: პირველში განისაზღვრება მოძრავი ნაწილის დინამიკური მახასიათებელი, ხოლო მეორეში სამოწმებელი ხელსაწყო საკუთარი ცდომილება.
9. დადგენილია რომ, თუ მაჩვენებლის ნიშნულთან შეთავსების მომენტს განვსაზღვრავთ 10^{-4} წმ-ის დისკრეტიზაციის ბიჯით, ხოლო მოძრავი ნაწილის დინამიკურ მახასიათებელს გამოვთვლით 1%-იან ცდომილებით, მაშინ დინამიკური ცდომილების გამორიცხვის მეთოდით შესაძლებელია დავამოწმოთ ყველა ძირითადი (0,5-4,0) სიზუსტის კლასის ხელსაწყო.
10. დამუშავებულია საათის ტიპის ინდიკატორების მაჩვენებლის კუთხური მდებარეობის და ძირითადი ცდომილების განსაზღვრის ალგორითმები.
11. ავტომატური დამოწმების მეთოდებზე აპრობაცია ჩატარებულია ქ. თბილისში მეტროლოგიის საშუალებათა ავტომატიზაციის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში სამეცნიერო ჯგუფთან ერთად. ავტომატიზაციის საფუძველზე 0.01მმ დანაყოფის ფასით საათის ტიპის ინდიკატორების დამოწმების დრო შემცირდა 3,5 წუთამდე ნაცვლად 20 წუთისა (ხელის რეჟიმი). ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა დაადასტურა საცდელი ნიმუშის "АПСИ" სტანდარტის მიხედვით ნორმირებული ცდომილებების განსაზღვრის შესაძლებლობა. შედეგების საშუალო კვადრატული გადახრა სტატიკურ რეჟიმში ჩვენების ავტომატური ამოკითხვისას არ აჭარბებს 0,15 მკმ, ხოლო დინამიკურ რეჟიმში 0,4 მკმ. ცდომილების სისტემატური მდგენელი ძირითადად განისაზღვრება ციფრული რასტრული სისტემის ტექნიკური პარამეტრებით და არ აჭარბებს 2 მკმ გაზომვის მთელ დიაპაზონში.
12. დამუშავებულია სხვადასხვა მოდიფიკაციის ანალოგური ხელსაწყო ავტომატურ დამოწმებაზე მარტივად ადაპტირებადი ამომკითხავი მოწყობილობის კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური სქემა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Абламейко С.В., Лагуновский В.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. - Мн.: Амалфея, 2000. - 304 с.
2. Абламейко С.В. Сравнение алгоритмов фильтрации шумов при различных параметрах фильтров// Теория и методы проектирования сложных систем и автоматизации научных исследований - Минск Институт техн. кибернетики АН БССР, 1985. - с. 34-38.
3. Автоматизация радиоизмерений. Под ред. В.П.Балашова. - М.: Сов. радио, 1996. - 527 с.
4. Аналоговые электроизмерительные приборы / Под. ред. А.А. Преображенского. - М.: Высшая школа, 1979. -351 с.
5. Аристов О.В. Белоусов Ю.М., Макаров Э.Ф. Автоматизация поверки средств радиоизмерений / Под. ред. Э.Ф. Макарова. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 168 с.
6. А.с.197003 Способ автоматической поверки измерительных приборов / Д.И. Зорин, С.П. Эскин. - Оpubл. Б.И. 1967, №12.
7. А.с. 468161 Устройство для поверки электроизмерительных приборов / В.И. Бекешев, В.И. Алексеева. - Оpubл. Б.И. 1987, №15.
8. А.с. 1307419 Способ автоматического считывания информации с дуговых шкал СЕП / Ю.В. Корольков, В.П. Карлин. - Оpubл. Б.И.1987, № 16.
9. А.с. 1624378 Способ автоматического считывания информации со шкал измерительных приборов со стрелочным указателем / Ю.В. Корольков. - Оpubл. Б.И. 1991, № 4.
10. А.с. 1087931 Способ автоматической поверки электроизмерительных приборов / В.Н. Чинков, В.Г. разладов. - Оpubл. Б.И. 1984, № 15.
11. А.с. 1112330 Способ автоматического считывания показаний со шкал стрелочных измерительных приборов устройство для его осуществления / П.В. Минченков, А.Н. Черничин, А.Ш. Канцельсон, Д.И. Кузнецов, М.Д. Виноградов. - Оpubл. Б.И. 1984, № 33.
12. А.с. 1004931 Устройство для преобразования положений отметок шкалы и указателя стрелки прибора в электрические сигналы / В.А. Ищенко, Г.Е. Ричагов. - Оpubл. Б.И. 1983, № 10.
13. А.с. 864213 Устройство для автоматической поверки стрелочных измерительных приборов / Ю.А. Хохлов, И.П. Гринберг, В.Я. Низский, В.П. Юраскин, С.Н. Бурков. - Оpubл. Б.И. 1981, № 34.

14. А.с. 1569757 Способ контроля цифровых измерительных приборов / В.В. Мизинов. - Оpubл.Б.И. 1990, № 2.
15. А.с. 894629 Устройство для поверки электроизмерительных приборов / В.Н. Стростелев, В.В. Степанов, В.П. Кириллов. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 48.
16. А.с. 1383242 Способ автоматической поверки стрелочных измерительных приборов и устройство для его осуществления / Ю.Г. Свинолулов, В.П. Войтко, Н.М. Степаненко, Д.Л. Удут. - Оpubл. Б.И. 1986. № 11.
17. А.с. 1422198 Устройство для автоматической поверки стрелочных электроизмерительных приборов / В.Н. Чинков, Ю.А. Стеценко, И.Ю. Курганцев. - Оpubл. Б.И. 1988, № 35.
18. А.с. 1276909 Устройство для поверки шкального прибора / Г.И. Леонов, М.Д. Шифрина, В.А. Свириденко. - Оpubл. Б.И. 1986, №46.
19. А.с. 1739328 Устройство для автоматической поверки стрелочных измерительных приборов / С.К. Киселев, В.А. Мишин. - опубл. Б.И. 1992, № 21.
20. А.с. 1308018 Электроизмерительный прибор и устройство для его поверки / В.А. Мишин, Г.В. Медведев, Ф.С. Корчев, 1987.
21. А.с. 1406547 Устройство для поверки электроизмерительных приборов / Г.Н. рожков, О.С. Мурков, В.И. Горюшкин, А.Н. Лядвин. - Оpubл. Б.И. 1988, № 24.
22. А.с. 1599818 Способ автоматической поверки измерительных приборов / В.А. мишин, С.К. Киселев, Г.В. Медведев. - Оpubл. Б.И. 1990, № 38.
23. А.С. №1515051. "Способ поверки стрелочных измерительных приборов с круговой шкалой и устройство для его осуществления" В.М. Сихарулидзе, А.С. Метаплишвили, М.В. Мартиросян, В.В. Наркевич, К.Г. Чапидзе. 1989 г.
24. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналв и логики/ Под ред. проф. В. П. Дьяконова .— М.: СОЛОН-Пресс, 2009, 248 стр.
25. Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Ворновицкий И.Э. Сегментация изображений: методы пороговой обработки // Зарубежная радиоэлектроника. - 1987, № 10. - с. 6-24.
26. Безикович А.Я., Прицкер В.И., Эскин С.П. Автоматизация поверки электроизмерительных приборов. - Л.: Энергия. 1976. - с. 216.
27. Безикович А.Я., Прицкер В.И., Эскин С.П. О поверке показывающих приборов в динамическом режиме. // Труды метрологических институтов СССР. Общие вопросы метрологии. Вып. 130 (190). - М.-Л.: Изд-во стандартов, 172, с. 167-176.

28. Белый Д.М. Методы и устройства контроля и улучшения характеристик магнитоэлектрических приборов в процессе производства. Автореферат диссертации...канд. техн. наук - Пенза, ПИИ, 1981.
29. Бекешев В.И. Установка для автоматической поверки щитовых электроизмерительных приборов. // Информационный листок БелНИИНТИ, сер. Энергетика и промэнергетика. - № 10/9, 1970. - с. 1-2.
30. Берд Дж. Инженерная математика: Карманный справочник М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. -544 с: ил.
31. Буловский П.И., Лукичев А.Н. Технология и оборудование производства электроизмерительных приборов. - М.: Высшая школа, 1983. - 280 с.
32. Виданов А. Сканер не роскошь, а средство ввода // Компьютерпресс. - 1997, № 11. - с. 164-168.
33. Владимиров В.Л. Теоретические основы, методы и алгоритмы автоматизации поверки средств измерения электрических величин. Автореферат диссертации...доктора техн. наук по специальности 05.11.05. - Львов, 1991.
34. Владимиров В.Л., Антрусяк С.А., Ясеницкий Е.И. Методы и алгоритмы автоматизированной поверки средств измерений с кодовым выходом. - М. Издательство стандартов, 1989. - 145с.
35. Войтко В.П. Автоматизированный комплекс на базе микроЭВМ для поверки стрелочных измерительных приборов. Автореферат диссертации...канд. техн. наук по специальности 05.11.16. - Новосибирск, 1989.
36. Волгин Л.И. Основы метрологии, оценка погрешностей результатов измерений, схемотехника измерительных преобразователей. - М.: МГУС, 2001. - 108 с.
37. Грачева Н.О., Киселев С.К. Обработка изображений шкал стрелочных приборов в системе автоматической поверки. // "Информационные технологии и электроника": материалы четвертой всероссийской студенческой научно-технической конференции - Екатеринбург: УГТУ - УПИ, 2000. - с. 20-21.
38. ГОСТ 8.508-84 Метрологические характеристики средств измерений точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 54 с.
39. Де Вор К. Практическое руководство по сплайнам. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1985. - 304 с.

40. Калибратор тока программируемый ПЗ21. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 2.389.001 ТО.
41. Калибратор напряжения программируемый ПЗ20. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 2.389.000 ТО.
42. Калибраторы. - Электронный ресурс: www.belvar.ural.ru.
43. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения. - М.: Изд-во стандартов, 1967. - 160 с.
44. Киселев С.К. Автоматизация поверки Щитовых электроизмерительных приборов при оптическом считывании показаний. - Ульяновск: УлГТУ, 2004. - 162 с.
46. Киселев С.К., Шабаев Д.Г. определение показаний приборов с цифровой индикацией при автоматизации их поверки. // Научно-технический калейдоскоп. - Ульяновск, 2004, №2, с. 36-41.
47. Киселев С.К. Автоматизированный допусковой контроль погрешности СЭП при использованный оптоэлектронных датчиков // " Оптические, радиоволновые тепловые методы и средства контроля качества материалов, изделий и окружающей среды": тезисы докладов VI-ой всероссийской конференции. - Ульяновск, 1993. - с.28.
48. Киселев С.К., Грачева Н.О. Алгоритмические методы обработки изображений шкал стрелочных приборов в системах автоматизации поверки. // Вестник УлГТУ. - Ульяновск, 2001, №2. - с. 25-31.
49. Киселев С.К., Шабаев Д.Г. Система автоматизации поверки щитовых электроизмерительных приборов // Вестник УлГТУ. - Ульяновск, 2004, №3. - с. 44-48.
50. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики - М.: Наука, 1989 - 608 с.
51. Методы электрических измерений / Л.Г. Журавин, М.А. Мариенко, Е.И. Семенов, Э.И. Цветков., под. ред. Э.И. Цветкова. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. - 288 с.
52. Методы и средства определения метрологических характеристик измерительных информационных систем. Сб. науч. трудов. - Львов, ВНИИИУС, 1990. - 128 с.
53. Мизинов В.В. Комплекс для автоматической поверки комбинированных измерительных приборов. Автореферат диссертации...канд. техн. наук по специальности 05.13.17. - Москва, 1990.

54. Мини и микро-ЭВМ в управлении промышленными объектами / Л.Г. Филиппов, И.Р. Фрейдзон, А. Давидовичу, Э. Дятку. Пер. с рум. Под общ. ред. И.Р. Фрейдзона, Л.Г. Филиппова. - Л.: Машиностроение, 1984. - 336 с.
55. Мишин В.А., Медведев Г.В. Автоматизация производства щитовых электроизмерительных приборов. - Ульяновск: УлГТУ, 2002. - 340 с.
56. Мишин В.А. Теория, разработка и исследование стрелочных электроизмерительных приборов как активных объектов автоматизации производства на этапах регулирования и контроля. Диссертация... д. т. н. по специальности 05.11.05 - Ульяновск, 1987 - 466 с.
57. Мишин В.А., Киселев С.к. Автоматизированная система для поверки стрелочных измерительных приборов // "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов ИКАПП - 91": тезисы докладов всесоюзной конференции., Ч.1. - Барнаул, 1991. - с. 177-178.
58. Мишин В.А., Медведев Г.В. Состояние и перспективы создания унифицированных измерительных механизмов аналоговых электроизмерительных приборов // Приборы и системы управления. - 1991, "11. - с. 27-28.
59. Мошкин В.И., Титов В.С. Системы технического зрения промышленных роботов (обзор) // Приборы и системы управления. - 1984, №1. - с. 33-35.
60. Мошкин В.И., Петров А.А., Титов В.С., Якушенков Ю.Г. Техническое зрение роботов / Под общ. ред. Ю.Г.Якушенкова. - М.: Машиностроение, 1990 г.
61. Никитин В. А., Бойко С. В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: Учебное пособие 2-е изд.-Оренбург ОГУ, 2004.-462с.
62. Описание ABBYY FineReader Bank Automation API - М.: ABBYY Software House, 2002. - 26 с.
63. Орешников В.В. Электроизмерительные приборы непосредственной оценки. - М.: Машиностроение, 1964. - 184 с.
64. Патент № 2152047 Способ и устройство для автоматической поверки стрелочных измерительных приборов / С.К. Киселев, Н.О. Грачева, Е.В. Романова. - Оpubл. Б.И. 2000, № 18.

65. Патент № 2205414 Способ автоматической поверки и устройство для его осуществления / Н.О. Грачева, С.К. Киселев. - Оpubл. Б.И. 2003, № 15.
66. Патент РФ № 2035746 Способ автоматического считывания показаний со шкал стрелочных измерительных приборов при их поверке / С.К. Киселев, В.А. Мишин. - Оpubл. Б.И. 1995, № 14.
67. Петухов Г.Б., Шумилов К.А., Якушин В.И. Математическая модель процесса измерений в задачах оценивания его качества // Приборостроение, 1988, № 1.
68. Полляк Ю.Г., Филимонов В.А. Статистическое моделирование средств связи - М.: Радио и связь, 1988 - 176 с.
69. Претт У. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн.: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982.
70. Пустынский И.Н., Титов В.С., Ширабакина Т.А. Адаптивные фотоэлектрические преобразователи с микропроцессорами - М.: Энергоатомиздат, 1990 - 80 с.
71. Разработка способов экспериментальной диагностики виброустойчивости электроизмерительных приборов. Отчет по НИР № 12-62/75. руков. В.А. мишин, № гос. рег. 75045417. - Ульяновск: УлПИ, 1977, - 254 с.
72. Рамазанова А.Г. Исследование алгоритмов определения параметров максимума полезного сигнала в измерительных задачах // Измерительная техника. - 1991, № 12. - с. 23-24.
73. Свинолулов Ю.Г., Плотникова Т.Б. Автоматизация поверки аналоговых электроизмерительных приборов // Приборы и системы управления. - 1993, № 7. - с. 39-41.
74. Свинолулов Ю.г., Седов Э.Н. Автоматизированный измерительный комплекс для поверки приборов ПЗ12М // "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов": тезисы докладов всесоюзной конференции. Ч.1. - барнаул, 1991. - с. 141-412.
75. Седов Э.Н. Автоматизированные технологические установки для поверки стрелочных измерительных приборов. Автореферат диссертации ученой степени канд. техн. наук по спец. 05.11.05. - Томск, 1996.

76. Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. Моделирование и управление в сложных системах. - М.: Сов. радио, 1974. - 264 с.
77. Соболенко Р. Сканирование - основной способ ввода графической информации в компьютер // Компьютерная газета. - 1997, № 40. - с. 4-5.
78. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Ч.1. Математические модели // Соросовский образовательный журнал. - 1996, № 3.
79. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Ч. 2. Методы и алгоритмы. // Соросовский образовательный журнал. - 1996, № 3.
80. Сосулин Ю.Г., Фам Чунг Зунг. Инвариантное распознавание изображений комбинированной нейронной сетью. // Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений. - 2003, № 8-9.
81. Спивак М. Еще раз про сканер // Компьютер-пресс. - 1996, №3. - с. 96-109.
82. Телевизионные передающие камеры. - М.: Радио и связь, 1988. - 303 с.
83. Удут Д.Л. Автоматизированные компьютерные комплексы для поверки и контроля качества стрелочных измерительных приборов. Автореферат диссертации ... канд. техн. наук по специальности 05.11.05. - Томск, 1992.
84. Удут Д.Л. Проблемы поверки стрелочных измерительных приборов "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов ИКПП-91": тезисы докладов всесоюзной конференции. Ч.1. - Барнаул. 1991 - с. 85-86.
85. Универсальные калибраторы моделей 5520А / 5500А. Универсальные калибраторы моделей 9100 / 9100Е. - Электронный ресурс: www.wiftest.ru.
86. Федотов Л.В. Автоматизация градуировки щитовых электромагнитных приборов переменного тока. Диссертация ... канд. тех. наук. - Ульяновск, 1993. - 242 с.
87. Хохлов В.А. Комплекс устройств автоматического контроля метрологических характеристик аналоговых измерительных приборов. Автореферат диссертации ... д.т.н. - М.: СНИТИ, 1987. - 48 с.
88. Хохлов Ю.А. Анализ инструментальных погрешностей автоматического устройства для поверки аналоговых измерительных приборов // Измерительная техника. - 1986, №5. - с. 5-6.

89. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 440 с.
90. Черпаков Б.И. Проблемы комплексной автоматизации и механизации производства. Аналитический обзор. - М.: ВНИИЦентр, 1986. - 124 с.
91. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем. - искусство и наука М.: Мир, 1978. - 418 с.
92. Ю. Г. Карпов. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5.- БХВ-Петербург, 2005.- 403 с.
93. Долинский У.Ф., Погрешности измерений и обработка результатов измерений. М. "Машиностроение", 1967.
94. В.М. Сихарулидзе, Ф.Ф. Дорфман, М.В. Мартиросян, В.В. Наркевич, Л.А. Мацаберидзе, К.Г. Чапидзе. Вопросы создания автоматизированной установки для поверки индикаторов часового типа. Материалы VII республиканской научно-технической конференции по метрологии. Тбилиси. 1984 г.
95. В.М. Сихарулидзе, Л.А. Мацаберидзе, К.Г. Чапидзе. Автоматизированная поверочная система для индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм. Метрологическая служба в СССР, научно-технический реферативный сборник. Вып. 1. М. 1988.
96. George E. Smith Nobel Lecture: The invention and early history of the CCD// Rev.Mod. Phys. -2010.-В.3.-Т.82.-С.2037-2312.
97. Frucci, Maria; Sanniti di Baja, Gabriella (2008). «[From Segmentation to Binarization of Gray-level Images](#)». [Journal of Pattern Recognition Research](#) 3 (1): 1–13.
98. J.Lewis Time to revisit a machine vision // Test & Measurement World. February, 2003.
99. Willard S. Boyle Nobel Lecture: CCD-An extension of man' s view // Rev.Mod. Phys.- 2010.-В. 3.-Т.82.- С. 2035-2312.
100. ავტომატური მართვის თეორია. ნაწ.1. ა. ვ. ნეტუშილის საერთო რედაქციით. "განათლება", თბ.,1977, გვ. 90-95.
101. ჩავიძე კ., დადუნაშვილი გ., დემეტრაშვილი ვ. ანალოგური საზომი ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდები // საქართველოს მეცნ. ეროვნული აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო რეფერირებული ჟურნალი "მეცნიერება და ტექნოლოგიები". – თბილისი, 2010. – № 4-6. – გვ.35-38.

102. ჩაფიძე კ., პაპიძე ზ. ანალოგური საზომი ხელსაწყოების დამოწმების დინამიკური რეჟიმი // საქართველოს მეცნ. ეროვნული აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო რეფერირებული ჟურნალი “მეცნიერება და ტექნოლოგიები”. – თბილისი, 2010. – № 4-6. – გვ.39-42.
103. ჩაფიძე კ., პაპიძე ზ., ჩაფიძე გ. - ელექტრული საზომი ხელსაწყოების სკალის გამოსახულების ამოკითხვის მეთოდები. აკ. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, 21-22 მაისი 2010 წ. მოხსენებების კრებული.
104. ჩაფიძე კ., ჩაფიძე გ., კობახიძე ზ., - ელექტრული საზომი ხელსაწყოების დამოწმების დინამიკური რეჟიმი. აკ. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, 21-22 მაისი 2010 წ. მოხსენებების კრებული.