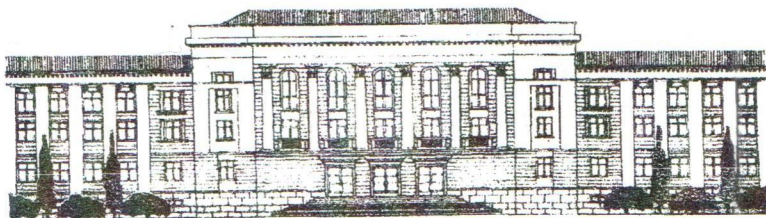


საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი



რ. შვანია

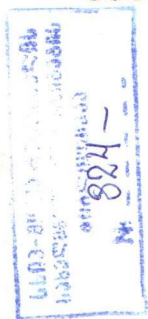
## გამოყენებითი გეტროლოგია

დამხმარე სახელმძღვანელო

დამტკიცებულია სტუ-ს  
სასწავლო-მეთოდური  
საბჭოს მიერ



ტექნიკური უნივერსიტეტი  
“ინფორმატიზაციის ცენტრი“  
თბილისი 1998



რ. ჯვანია. გამოყენებითი მეტროლოგია. დამხმარე სა-  
ხელმძღვანელო. ტექნიკური უნივერსიტეტი - „ინფორმატი-  
ზაციის ცენტრი“. თბილისი, 1998 გვ.142.

ქ 673 წინამდებარე დამხმარე სახელმძღვანელოში  
განხილულია საკითხები, რომლებიც გამოყენებითი  
მეტროლოგიის სფეროს მიეკუთვნება. აქცენტი გა-  
კეთებულია ისეთ საკითხებზე, რომლებიც დღემდე  
პრაქტიკულად არ არის გაშუქებული ქართულ  
სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში.

კურსის ათვისებისათვის საჭიროა სტუ-  
დენტს გავლილი და შესწავლილი ჰქონდეს  
უმაღლესი მათემატიკის, თეორიული მეტროლო-  
გიის და მეტროლოგიისა და სტანდარტიზაციის  
მათემატიკური საფუძვლების ელემენტები.

ISBN 99928-18-03-4

რეკონზენტები:

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, ს. როგავა

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, თ. ჩხეიძე

ISBN 99928-18-03-4

© ტექნიკური უნივერსიტეტი-  
„ინფორმატიზაციის ცენტრი“

სიტყვა “მეტროლოგია” წარმოიშვა ორი ბერძნული სიტყვის სინთეზის შედეგად: მეტრონ - საზომი (ზომა) და ლოგოს - მოძღვრება. ამრიგად, სიტყვასიტყვით “მეტროლოგია” ნიშნავს მოძღვრებას საზომების შესახებ. სადღეისოდ მეტროლოგია განიმარტება შემდეგნაირად: *მეტროლოგია* არის მეცნიერება გაზომვების, მათი ერთიანობის უზრუნველყოფის მეთოდებისა და საშუალებების და მოთხოვნილი სიზუსტის მიღწევის ხერხების შესახებ.

*გაზომვის ერთიანობა* გულისხმობს ისეთ მდგომარეობას, როცა გაზომვის შედეგები გამოსახულია დაკანონებულ ერთეულებში, ხოლო გაზომვათა ცდომილებები ცნობილია მოცემული ალბათობით. გაზომვის ერთიანობა აუცილებელია იმისათვის, რომ შესაძლებელი იყოს სხვადასხვა დროსა და სხვადასხვა ადგილებში გაზომვების სხვადასხვა მეთოდებისა და საშუალებების გამოყენებით შესრულებული გაზომვის შედეგების ურთიერთშედარება [ 1 ].

*გაზომვის სიზუსტე* გვიჩვენებს, რამდენად ახლოსაა მათი ჩატარების შედეგად მიღებული მნიშვნელობები გასაზომი სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან.

ამრიგად, მეტროლოგიის საგანია გაზომვის ერთიანობის უზრუნველყოფის თეორიასა და პრაქტიკასთან დაკავშირებული საკითხების გამოკვლევა და შესწავლა. მეტროლოგია, რომელიც დღეისათვის ჩამოყალიბდა როგორც დამოუკიდებელი და სერიოზული მეცნიერული დისციპლინა, პირობითად შეიძლება დაყვით სამ შემადგენელ ნაწილად: თეორიული, გამოყენებითი და საკანონმდებლო მეტროლოგია. *თეორიული მეტროლოგია* (რომლის საფუძვლებს წინამდებარე სახემძღვანელოს შესწავლა-დამუშავების მომენტისათვის სტუდენტი უკვე უნდა იცნობდეს) შეიცავს საზომი ტექნიკის თეორიულ საფუძველს. მისი ძირითადი ამოცანებია [2] :

ფიზიკური სიდიდეების ერთეულთა რაციონალური ნომენკლატურის დადგენა;

ერთეულთა ზომების აღწარმოების, შენახვისა და გადაცემის სისტემების შექმნა და სრულყოფა;

გაზომვების შედეგების სიზუსტის მაჩვენებლებისა და გაზომვების საშუალებათა მეტროლოგიური მახასიათებლების ნომენკლატურის, ნორმირების, შეფასებისა და კონტროლის მეთოდების დადგენა;

გაზომვების შედეგების დამუშავების ოპტიმალური პრინციპების ხერხებისა და წესების შექმნა.

გარდა ამ წმინდა თეორიული საკითხებისა, მეტროლოგია გულისხმობს ზოგიერთი სამართლებრივი საკითხის გადაწყვეტასაც. კერძოდ, მრავალ ქვეყანაში (მათ შორის ჩვენს ქვეყანაშიც) გაზომვის ერთიანობის უზრუნველყოფისათვის მიმართული ღონისძიებანი ( გასაზომ ფიზიკურ სიდიდეთა ერთეულების დაკანონება, გაზომვის საშუალებათა პერიოდული დამოწმება, ახლად შექმნილ საშუალებათა გამოცდები ) დადგენილია კანონის სახით და მათი შესრულების კონტროლის ფუნქცია სახელმწიფოს ეკისრება. ამდენად, მეტროლოგიის შესაბამის ნაწილს, რომელიც მოიცავს ურთიერთდაკავშირებული და ურთიერთგანპირობებული ზოგადი წესების, მოთხოვნებისა და ნორმების კომპლექსს, აგრეთვე სხვა საკითხებს, რომლებიც მოითხოვენ რეგლამენტაციას და კონტროლს სახელმწიფოს მხრიდან, *საკანონმდებლო მეტროლოგია* ეწოდება [1].

წინამდებარე დამხმარე სახელმძღვანელო ეძღვნება *გამოყენებითი მეტროლოგიის* სფეროში შემაგალი საკითხების განხილვას. ზემოთ ჩამოთვლილი საკითხების გარდა, რომლებიც შესაბამისად თეორიული და საკანონმდებლო მეტროლოგიის კომპეტენციას განეკუთნებიან, არსებობს მეტროლოგიის პრაქტიკულ გამოყენებასთან დაკავშირებული საკითხები, კერძოდ: გაზომვათა მდგომარეობის ანალიზი, მათი შესრულების მეთოდისა და საშუალებების არჩე-

ვა. ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციის მეტროლოგიური კლასიფიკაცია, გაზომვის საშუალებათა დამოწმება, მათი სახელმწიფო გამოცდები, პროდუქციის სახელმწიფო მიღება, სახალხო მეურნეობის მეტროლოგიური უზრუნველყოფა, პრაქტიკული მეტროლოგიური საქმიანობა საწარმოებში, მეტროლოგიური სამსახური. საკითხთა სწორედ ეს ნუსხა წარმოადგენს გამოყენებითი მეტროლოგიის საგანს [ 2, 6, 9 ].

წინამდებარე დამხმარე სახელმძღვანელოში მეტნაკლები სიღრმითაა გაშუქებული ყველა ის საკითხი, რომელიც გამოყენებითი მეტროლოგიის სფეროს განეკუთვნება, ამასთან, მეტი სიღრმით და უფრო დაწვრილებით გადმოცემულია საკითხები, რომლებიც არაა დაკავშირებული ქვეყნის სამეურნეო მექანიზმის მოწყობის თავისებურებებთან ( აგებულია თუ არა მეურნეობა საბაზრო ეკონომიკის თუ რაიმე სხვა პრინციპებზე ) და ამ სფეროში მოსალოდნელ ცვლილებებთან. კერძოდ, შედარებით ზედაპირულადაა გაშუქებული გამოყენებითი მეტროლოგიის ორგანიზაციულ-სამართლებრივი საფუძვლები. სახელმძღვანელო შედგენილია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინფორმაციო-საზომი ტექნიკის კათედრაზე მიღებული და დამტკიცებული სასწავლო პროგრამის შესაბამისად კურსში “გამოყენებითი მეტროლოგია”, რომელიც ეკითხება სპეციალობების - “საინფორმაციო-საზომი ტექნიკა” და “მეტროლოგია, სტანდარტიზაცია და ხარისხის მართვა”-სტრუქტურებს. სახელმძღვანელო პირობით შეიძლება დაყვით ორ ნაწილად: ზოგადი ნაწილი, სადაც გადმოცემულია პრაქტიკული მეტროლოგიური მოღვაწეობის შესწავლისათვის აუცილებელი და მასთან ორგანულად დაკავშირებული ზოგადმეტროლოგიური საკითხების სავარაუდო მინიმუმი და, სპეციალური ნაწილი, რომელიც ეყრდნობა რა ზოგადი ნაწილის ტერმინოლოგიასა და აღნიშვნებს, წარმოადგენს საკუთრივ გამოყენებითი მეტროლოგიის საკითხების მიმოხილვას, ამასთან დაწვრილებითაა განხილული ის საკით-

ხები, რომლებიც ჯერ-ჯერობით არ არის ასახული ქართულ ტექნიკურ ლიტერატურაში.

## თავი 1. ბაზოზის საშუალებები

### 1.1 გაზომვის საშუალებები, ძირითადი ცნებები და კლასიფიკაცია

*გაზომვის საშუალება* ეწოდება ტექნიკურ მოწყობილობას, რომელიც გამოიყენება გაზომვის პროცესში და აქვს ნორმირებული მეტროლოგიური მახასიათებლები. ტექნიკური საშუალება ითვლება გაზომვის საშუალებად მხოლოდ მას შემდეგ, როდესაც ის გაივლის სახელმწიფო გამოცდას და შეტანილი იქნება საქსტანდარტის გაზომვების საშუალებების სახელმწიფო რეესტრში ან მეტროლოგიური ატესტაციის შედეგად დარეგისტრირდება მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოს მიერ [ 10 ].

არსებობს გაზომვის საშუალებათა კლასიფიკაციის მრავალი პრინციპი, რომლებსაც საფუძვლად უდევს გაზომვის საშუალებათა სხვადასხვა ნიშან-თვისება. ამ ნიშან-თვისებათა შორის ძირითად საკლასიფიკაციოდ შეიძლება მივიჩნიოთ ტიპი, სახეობა და მეტროლოგიური დანიშნულება [ 2 ].

*ტიპი* წარმოადგენს გაზომვის საშუალებათა ერთობლიობას, რომელსაც აქვს მოქმედების ერთნაირი პრინციპი, კონსტრუქცია და მზადდება ერთი და იგივე ტექნიკური პირობების მიხედვით;

*სახეობა* არის გაზომვის საშუალებათა ერთობლიობა, რომლის დანიშნულებაც ერთი რომელიმე ფიზიკური სიდიდის გაზომვა;

*მეტროლოგიური დანიშნულების* ( მეტროლოგიური თანადაქვემდებარების ) მიხედვით გაზომვის საშუალებ-

ბუბი შეიძლება დავეყთ სანიმუშო და მუშა საშუალებებად. გაზომვის *სანიმუშო საშუალებების* დანიშნულებაა გაზომვის სხვა (მუშა) საშუალებების *დამოწმება* ( სიზუსტის ფაქტობრივი მაჩვენებლების საპასპორტო მონაცემებთან შესატყვისობის დადგენა ). გაზომვის *მუშა საშუალებები* გამოიყენება ნებისმიერი გაზომვის დროს, გარდა იმ გაზომვისა, რომელიც დაკავშირებულია დამოწმებასთან.

ტიპის, ანუ მოქმედების პრინციპისა და კონსტრუქციული თავისებურებების მიხედვით გაზომვის საშუალებები შეიძლება დავეყთ ოთხ ძირითად ჯგუფად: საზომები, საზომი გარდამქმნელები, საზომი ხელსაწყოები და საზომი სისტემები.

*საზომი* განიმარტება როგორც გაზომვის საშუალება, რომლის დანიშნულებაა მოცემული ( ერთი ან რამდენიმე ) ზომის ფიზიკური სიდიდის აღწარმოება ( მაგ., 2კგ მასის საწონი, 1 კომი წინაღობის კოჭა და სხვ.). განასხვავებენ ცალსახა, მრავალსახა საზომებსა და საზომთა ნაკრებს. *ცალსახა* ეწოდება საზომს, რომლითაც ხდება ერთი მოცემული ზომის ფიზიკური სიდიდის აღწარმოება. *მრავალსახა* საზომით შესაძლებელია ერთსახელა ფიზიკური სიდიდეების რიგის აღწარმოება ( მაგ. დანაყოფებიანი სახაზავი, ინდუქციურობის ვარიომეტრი ). არაიშვიათად გამოიყენება საზომთა სპეციალურად შერჩეული კომპლექტი, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ არა მარტო ცალცალკე, არამედ სხვადასხვა ურთიერთშეხამებითაც ( კომბინაციებით ). ასეთ შემთხვევებში გვექნება *საზომთა ნაკრები*. როცა საზომთა ნაკრები კონსტრუქციულად ერთ მთელს წარმოადგენს და აღჭურვილია ასათვლელ მოწყობილობებთან დაკავშირებული სპეციალური გადამრთველებით, გვექნება ე.წ. *საზომთა მალაზია* ( მაგ. წინაღობათა მალაზია ).

საზომებს შეიძლება მივაკუთვნოთ სტანდარტული ნიმუშები (CO) და სანიმუშო ნივთიერებები (OB). სტან-

დარტული ნიმუში ( ნივთიერებათა და მასალების თვისებების ან შედგენილობის ) წარმოადგენს გაზომვის საშუალებას გარკვეული ნივთიერების ( ან მასალის ) სახით, რომლის თვისებები ან შედგენილობა მეტროლოგიური ატესტაციის შედეგადაა დადგენილი. *სანიმუშო ნივთიერება* წარმოადგენს გარკვეული და მკაცრად რეგლამენტირებული შედგენილობის ნივთიერების სინჯს, რომლის ერთ-ერთი თვისება წინასწარ ცნობილი სიდიდეა ( დადგენილია გარკვეულ პირობებში მეტროლოგიური ატესტაციის შედეგად). ტექნიკური ინფორმაცია სტანდარტული ნიმუშებისა და სტანდარტული ნივთიერებების შესახებ საკმარისად ვრცლადაა წარმოდგენილი [10]-ში.

*საზომი გარდამქმნელი* წარმოადგენს გაზომვის საშუალებას, რომლის დანიშნულებაა საზომი ინფორმაციის სიგნალის გამომუშავება ისეთი ფორმით, რომელიც მოსახერხებელია შემდგომი გარდაქმნის, გადაცემისა და (ან) დამუშავებისათვის, მაგრამ არ ექვემდებარება დამკვირვებლის მიერ უშუალო აღქმას. როგორც წესი, საზომი გარდამქმნელი დამოუკიდებლად არ გამოიყენება. იგი გვევლინება როგორც საზომი მოწყობილობების შემადგენელი ნაწილი. გარდასაქმნელ სიდიდეს საზომი გარდამქმნელის შესასვლელი სიდიდე ეწოდება, ხოლო გარდაქმნის შედეგს - გამოსასვლელი სიდიდე. ფუნქციას, რომელიც აღწერს გამოსასვლელი სიდიდის დამოკიდებულებას შესასვლელ სიდიდეზე, გარდამქმნელის *გარდაქმნის ფუნქცია* ეწოდება ( სტატიკური მახასიათებელი ). როცა გარდაქმნის შედეგად სიდიდის ფიზიკური ბუნება არ იცვლება, გარდამქმნელს *მასშტაბური* ან *მაძლიერებელი* ეწოდება. საზომ ტექნიკაში მასშტაბური გარდამქმნელები ფართოდაა გავრცელებული (შუნტები, დამატებითი წინაღობები, დენისა და ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორები, რელუქტორები, ბერკეტები და ა.შ.). საზომი გარდამქმნელები შესასვლელი და გამოსასვლელი სიგნალების სახის მიხედვით შეიძლება

შივაკუთხედით ერთ-ერთს შექმდევი ჯგუფებიდან: ა) ანალო-  
 გური საზომი გარდამქმნელები, რომლებსაც შესას-  
 ვლელზეც და გამოსასვლელზეც ანალოგური სიგნალები  
 აქვთ; ბ) ანალოგურ-ციფრული საზომი გარდამქმნელები,  
 რომელთა შესასვლელზე სიგნალი ანალოგური ფორ-  
 მითაა წარმოდგენილი, ხოლო გამოსასვლელზე გვაქვს სიგ-  
 ნალი კოდური ფორმით; გ) ციფრულ-ანალოგური საზომი  
 გარდამქმნელები, რომელთა შესასვლელზე გვაქვს კოდი-  
 რებული სიგნალი, ხოლო გამოსასვლელზე — ანალოგური  
 (უწყვეტი) სიგნალი; დ) კოდური გარდამქმნელი ( გარ-  
 დამქმნელი “კოდი-კოდი” ), როცა შესასვლელი და გამო-  
 სასვლელი სიგნალები კოდებს წარმოადგენენ (უკანასკნელი  
 ჯგუფი გვევლინება შუალედური გარდამქმნელის სახით,  
 როცა გვაქვს საზომ-გამოთვლითი კომპლექსები ). თუ შე-  
 სასვლელი და გამოსასვლელი სიგნალების ფიზიკურ ბუ-  
 ნებას დავყოფთ იმის მიხედვით, ელექტრულია თუ არა ესა  
 თუ ის სიგნალი, მაშინ ასევე გვექნება გარდამქმნელთა ოთხი  
 საკლასიფიკაციო ჯგუფი ( სიმოკლისათვის გამოვტოვებთ  
 სიტყვებს “ საზომი გარდამქმნელი” და “სიდიდე” ) : 1)  
 “ არაელექტრული-არაელექტრული” ( რედუქტორები, კბი-  
 ლანები, დრეკადი მექანიკური ელემენტები ); 2) “ელექ-  
 ტრული-არაელექტრული” ( ძრავები, ნათურები, სახურებ-  
 ლები ); 3) “ელექტრული-ელექტრული” ( შუნტები, ტრანს-  
 ფორმატორები, ელექტრონული მძღიერებლები ); 4) “არა-  
 ელექტრული-ელექტრული” ( რეოსტატები, ტენზორეზის-  
 ტორები, თერმოწყვილები, პიეზოელექტრიკები და ა.შ. ). სა-  
 ზომ ტექნიკაში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მე-4  
 საკლასიფიკაციო ჯგუფში შემავალ საზომ გარდამ-  
 ქმნელებს, რადგან მათი საშუალებით შესაძლებელი ხდება  
 არაელექტრული სიდიდეების გაზომვის დაყვანა ელექტრუ-  
 ლი სიდიდეების გაზომვაზე, რაც ხელსაყრელია ელექტრუ-  
 ლი მეთოდებით გაზომვების ცნობილი უპირატესობების  
 გამო. საზომ ტექნიკაში შეიმჩნევა სწორედ აღნიშნული მი-

მართულებით უპირატესი განვითარების ტენდენცია.

საზომი გარდამქმნელების მრავალნაირი კლასიფიკაცია არსებობს, მაგრამ აქ დავასახელებთ კიდევ ერთს — კლასიფიკაციას გარდაქმნათა წრედში დაკავებული ადგილის მიხედვით: ა) *პირველადი საზომი გარდამქმნელები*, რომლებიც განლაგებულია გარდაქმნათა წრედში პირველ ადგილებზე. მათ *მგრძობიარე ელემენტებსაც* უწოდებენ. თუ ერთი ან რამდენიმე გარდამქმნელი, რომლებიც დაყენებულია უშუალოდ გაზომვის ობიექტზე და გაფორმებულია დამოუკიდებელი კონსტრუქციული კვანძის სახით, მაშინ ასეთ კვანძს *გადამწოდი ეწოდება*. ბ) *შუალედური* საზომი გარდამქმნელები; გ) *გამოსასვლელი* საზომი გარდამქმნელი. *შუალედურია* გარდამქმნელი, რომელიც განლაგებულია წრედში პირველადი საზომი გარდამქმნელების შემდეგ. რაც შეეხება *გამოსასვლელ* ანუ *გადამცემ საზომ გარდამქმნელს*, მის გამოსასვლელზე ფორმირებული სიდიდე უნდა იყოს მოსახერხებელი რეგისტრაციისათვის ან მანძილზე გადაცემისათვის.

*საზომი ხელსაწყო* ეწოდება გაზომვის საშუალებას, რომლის დანიშნულებაცაა საზომი ინფორმაციის სიგნალის გამომუშავება დამკვირვებლის ( ოპერატორის ) მიერ უშუალო აღქმისათვის ხელმისაწვდომი ( მოსახერხებელი ) ფორმით. საზომ ხელსაწყოს ეწოდება *ანალოგური*, როცა მისი ჩვენებები გასაზომი სიდიდის ცვლილებათა უწყვეტ ფუნქციას წარმოადგენს. ანალოგური ხელსაწყოს თავისებურებაა ანალოგური ასათვლელი მოწყობილობა, რომელიც სკალისა და მაჩვენებლისაგან შედგება. ისევე, როგორც ყველა საზომ ხელსაწყოში, ანალოგურ ხელსაწყოებშიც რეალიზდება შედარების ოპერაცია - გასაზომი სიდიდე შეედარება საზომის მიერ აღწარმოებულ წინასწარ ცნობილ სიდიდეს. ამ ცნობილ სიდიდეთა რიგი მოიცემა სკალის დანაყოფების საშუალებით (ე.ი. საზომი მონაწილეობდა არაპირდაპირ - სკალის დაგრაფირების პროცესში), ხოლო ჩვე-

ნება შეიძლება გავაიგივოთ ( გარკვეული ცდომილებით ) გასაზომი სიდიდის საძიებელ მნიშვნელობასთან. რაც შეეხება შედარების მოწყობილობას, მის როლს ანალოგური ხელსაწყოების შემთხვევაში ასრულებს ოპერატორის თვალი ( სწორედ ამიტომ გააჩნიათ ანალოგურ ხელსაწყოებს ე.წ. ათვლის ცდომილება, რომელიც სუბიექტურია - კონკრეტული ოპერატორის ინდივიდუალურ თვისებებზეა დამოკიდებული ). უნდა აღინიშნოს, რომ ანალოგურ საზომ ხელსაწყოთა უმრავლესობა შეიცავს მოძრავ მექანიკურ ნაწილებს, რაც დაკავშირებულია ისეთ არასასურველ მოვლენებთან, როგორიცაა ხახუნის და ინერციულობა. პირველი მათგანი ზღუდავს მგრძობიარობას, ხოლო მეორე - სწრაფქმედებას. მოძრავი ნაწილების არსებობა უარყოფითად მოქმედებს საიმედოობაზე, ხოლო ოპერატორის მონაწილეობის აუცილებლობა ჩვენებების მოხსნის პროცესში იწვევს საგრძნობ ათვლის ცდომილებას. მიუხედავად აღნიშნული ნაკლოვანებებისა, ანალოგური საზომი ხელსაწყოები საზომი ხელსაწყოების უმეტეს ნაწილს შეადგენს. ეს განპირობებულია მათი შედარებითი სიმარტივით, სიაფით, ანალოგური გამოსასვლელის მაღალი ინფორმატულობით. უკანასკნელ ხანებში შემუშავებულია და ათვისებულია ანალოგური საზომი ხელსაწყოები მოძრავი ნაწილების გარეშე, სპეციალური ოპტოელექტრონული ასათვლელი მოწყობილობებით, რაც მნიშვნელოვნად ამალღებს შესაბამისი ხელსაწყოების სიზუსტეს [ 10, 14 ].

საზომ ხელსაწყოს, რომელიც ავტომატურად გამოიმუშავებს საზომი ინფორმაციის დისკრეტულ ( კოდირებულ ) სიგნალს და იძლევა ჩვენებას ციფრული ფორმით, *ციფრული საზომი ხელსაწყო* ეწოდება [11]. ციფრული საზომი ხელსაწყოების უპირატესობაა მათი მაღალი სწრაფქმედება ( რამდენიმე მილიონი გაზომვა წამში ), სიზუსტე, სუბიექტური ცდომილების არარსებობა, ცდომილების ავტომატური კორექციის შესაძლებლობა, გამომთვლელ და მმართველ

ელექტრონულ მანქანებთან შეუღლების მოხერხებულობა, ჩვენებათა რეგისტრაციისა და დამახსოვრების სიმარტივე. ციფრული საზომი ხელსაწყოების ძირითად ნაკლს წარმოადგენს შედარებითი სირთულე და სიძვირე.

ანალოგური და ციფრული საზომი ხელსაწყოები თავის მხრივ შეიძლება დავეყთ *მაჩვენებელ* და *მარეგისტრირებელ* ხელსაწყოებად. პირველ შემთხვევაში ხელსაწყოს ჩვენების ათვლა შესაძლებელია ოპერატორის მიერ, ხოლო მეორე შემთხვევაში გათვალისწინებულია ხელსაწყოს ჩვენების რეგისტრირება. მარეგისტრირებელი ხელსაწყოები ხანგრძლივი მეხსიერების ხელსაწყოებს წარმოადგენს და საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ ადრე ჩატარებული გაზომვების შედეგები. რეგისტრაციის ფორმის მიხედვით განასხვავებენ *თვითმწერ* საზომ ხელსაწყოებს, რომლებშიც ხელსაწყოს ჩვენება უწყვეტი დიაგრამის სახით იწერება სპეციალურ ქაღალდზე, და *მბეჭდავ* საზომ ხელსაწყოებს, რომლებშიც გათვალისწინებულია ხელსაწყოს ჩვენებების ბეჭდვა ციფრული ფორმით [ 10 ].

საზომი ხელსაწყოები მეტად მრავალგვარია. ცხადია, მრავალგვარია მათი საკლასიფიკაციო ჯგუფებად დაყოფის პრინციპებიც [ 11, 12 ], მაგრამ წინამდებარე ნაშრომში მხოლოდ ზემოთ მოყვანილი კლასიფიკაციებით შემოვიფარგლებით.

*საზომი საინფორმაციო სისტემა* წარმოადგენს საზომი, გამოთვლითი და სხვა დამხმარე ტექნიკური საშუალებების ფუნქციურად გაერთიანებულ ერთობლიობებს, რომელთა დანიშნულებაა საზომი ინფორმაციის მიღება და დამუშავება მომხმარებლისათვის მისაწოდებლად მოთხოვნილი სახით ან კონტროლის ლოგიკური ფუნქციების, დიაგნოსტიკების, იდენტიფიკაციის ( სახების ამოცნობის ) ავტომატური განხორციელება [ 11 ]. ეს სისტემები განკუთვნილია საზომი ინფორმაციის სიგნალის გამოსამუშავებლად არა მარტო ოპერატორის მიერ უშუალო აღქმისათვის მოსახერ-

ხეული ფორმით, არამედ ისეთი ფორმებითაც, რომლებიც ხელსაყრელია გაზომვების შედეგების ავტომატური დამუშავების, მანძილებზე გადაცემისა და მართვის ავტომატიზებულ სისტემებში გამოყენებისათვის. გაზომვების ცალკეული საშუალებები, რომლებიც შედიან საზომი სისტემის შემადგენლობაში, შეიძლება გაბნეული იყვნენ ერთი ობიექტის სხვადასხვა წერტილებში ან სხვადასხვა ობიექტებში, დაშორებული იყვნენ ერთმანეთისაგან საგრძნობი მანძილებით (ათეული, ასეული და მილიონი კილომეტრითაც კი). ნებისმიერ შემთხვევაში აღნიშნული გაზომვების საშუალებები ერთმანეთს უერთდება კავშირის არხებით (უმადეთულო ან მადეთულიანი).

უკანასკნელ წლებში სულ უფრო ფართოდ ინერგება საზომ-გამოთვლითი კომპლექსები (ИВК), რომლებიც წარმოადგენენ გაზომვებისა და საზომი ინფორმაციის დამუშავების ავტომატიზებულ საშუალებებს. მათი განმასხვავებელი ნიშანია კომპლექსში თავისუფლად პროგრამირებადი ემმ-ის არსებობა, რომელიც გამოიყენება არა მარტო გაზომვის შედეგების დამუშავებისათვის, არამედ თვით გაზომვის პროცესის მართვისათვის და აგრეთვე (აუცილებლობის შემთხვევაში), გაზომვის ობიექტზე ზემოქმედებისათვის. საზომ-გამოთვლითი კომპლექსი საზომი საინფორმაციო სისტემების ნაირსახეობას წარმოადგენს.

როგორც ჩვენთან, ასევე საზღვარგარეთ შესამჩნევი ხდება გაზომვის ისეთი საშუალებების გამოშვების ტენდენცია, რომელთა გამოყენება შეიძლება არა მარტო ავტონომიურად, არამედ სისტემების შემადგენლობაშიც. გაზომვის ასეთ საშუალებებს უწოდებენ *სისტემური გამოყენების გაზომვის საშუალებებს*. ამ საშუალებებში ფართოდ გამოიყენება გამოთვლითი ტექნიკის მოწყობილობები. საზომ-გამოთვლითი კომპლექსები და გაზომვების სხვა საშუალებანი, რომლებით შეიცავენ გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებებს, ქმნიან საზომ-გამოთვლითი (პროცესორული) სა-

შუალეების ჯგუფს [11].

უნდა აღვნიშნოთ, რომ ხშირად ლიტერატურაში [ 1, 10, 11, 12 ] ტიპების მიხედვით კლასიფიკაციისას ცალკე ჯგუფად გამოყოფენ *საზომ დანადგარს*. ის წარმოადგენს ფუნქციურად და კონსტრუქციულად გაერთიანებული გაზომვის საშუალებებისა და დამხმარე მოწყობილობების ერთობლიობას, რომელის დანიშნულებაა საზომი ინფორმაციის სიგნალის გამომუშავება დამკვირვებლის მიერ უშუალო აღქმისათვის მოსახერხებელი ფორმით. როგორც წესი, დანადგარის შემადგენელი ნაწილები განლაგებულია ერთ ადგილზე და გადატან-გადმოტანას არ ექვემდებარება. საზომი დანადგარი გათვალისწინებულია მასობრივი ტექნოლოგიური გაზომვების რაციონალური ორგანიზაციისათვის. საზომ დანადგარს, რომელიც აღჭურვილია გაზომვის სანიმუშო საშუალებებით და განკუთვნილია გაზომვის სხვა საშუალებების დამოწმებისათვის, *დამოწმებითი* (სამოწმებელი) დანადგარი ეწოდება.

## 1.2 ფიზიკურ სიდიდეთა ერთეულების ეტალონები. ძირითადი ცნებები და კლასიფიკაცია

გაზომვების ერთიანობის უზრუნველყოფის აუცილებელი პირობაა იმ ერთეულთა აბსოლუტური იგივობა (იდენტურობა), რომლებშიც დაგრაღულირებულია ერთი და იგივე ფიზიკური სიდიდის გაზომვისათვის განკუთვნილი ყველა ტექნიკური საშუალება. ეს მიიღწევა ფიზიკური სიდიდეების დადგენილი ერთეულების ზუსტი აღწარმოებით და შენახვით, მათი ზომების გადაცემით გაზომვების გამოსაყენებელ საშუალებებზე [1]. ფიზიკური სიდიდეების ერთეულების აღწარმოება, შენახვა და გადაცემა ხდება ეტალონებითა და გაზომვის სანიმუშო საშუალებებით. *ფიზიკური სიდიდის ერთეულის ეტალონი* წარმოადგენს გაზომვის სა-

შუალეხას (ან გაზომვის საშუალებათა კომპლექსს), რომე-  
ლიც უზრუნველყოფს ერთეულის აღწარმოებასა და (ან) შე-  
ნახვას გაზომვის მუშა საშუალებებზე. ერთეულის ზომის  
გადაცემის მიზნით [11]. ერთეულის ზომის გადაცემა გაზომ-  
ვის მუშა საშუალებებზე ხდება არა უშუალოდ, არამედ  
საფეხურობრივად, ე.წ. *დამოწმებითი სქემების* მეშვეობით  
(იხ.1.3). უნდა აღვნიშნოთ, რომ გაზომვის სანიმუშო საშუა-  
ლება მხოლოდ მაშინაა ეტალონი, როცა იგი ასეთად დამტკი-  
ცებულია დადგენილი წესის მიხედვით კომპეტენტური მეტ-  
როლოგიური ორგანოს მიერ.

ამჟამად მოქმედი ეტალონების რიცხვი საკმაოდ  
დიდია. მარტო ყოფილ სსრ კავშირში მოქმედებდა 130-მდე  
ეტალონი. ცხადია, არსებობს ეტალონების კლასიფიკაციის  
მრავალი პრინციპიც. თვით ფიზიკური სიდიდეების დაყოფის  
შესაბამისად არჩევენ *ძირითადი* და *წარმოებული ერთე-  
ულების ეტალონებს*. მეტროლოგიური დანიშნულების მი-  
ხედვით (აღწარმოების სიზუსტისა და თანადაქვემდებარ-  
ების მიხედვით) გვაქვს *პირველადი* და *მეორეული ეტა-  
ლონები*. პირველადია ეტალონი, რომელიც ერთეულის  
ზომას მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების დონის შე-  
საბამისი უმაღლესი სიზუსტით აღწარმოებს. ძირითადი  
ერთეულების პირველადი ეტალონები ერთეულის ზომას  
აღწარმოებენ მისი განსაზღვრის შესაბამისად. მაგალითი-  
სათვის შეიძლება დავასახელოთ გაზომვის საშუალებათა  
კომპლექსი მასის ერთეულის — კილოგრამის აღწარმოები-  
სათვის, რომლის ძირითადი კომპონენტებია პლატინა-  
ირიდიუმის შენადნობისაგან დამზადებული სპეციალური  
ცილინდრი (პროტოტიპი) და ეტალონური სასწორი.

განსაკუთრებულ შემთხვევებში, როცა პირველადი  
ეტალონიდან ერთეულის ზომის პირდაპირი გადაცემა მო-  
თხოვნილი სიზუსტით ტექნიკურად განუხორციელებადია  
(მაღზე დაბალი ტემპერატურის, მაღალი სიხშირის, ენერ-  
გიის, წნევის, ნივთიერების განსაკუთრებული მდგომარეო-

ბების პირობებში), ქმნიან და ამტკიცებენ სპეციალურ ეტალონებს. *სპეციალური ეტალონის* დანიშნულებაა განსაკუთრებულ პირობებში ფიზიკური სიდიდის ერთეულის ზომის აღწარმოება და ამ პირობებში პირველადი ეტალონის შეცვლა.

პირველადს ან სპეციალურ ეტალონს, რომელიც დამტკიცებულია კომპეტენტური ორგანოს მიერ (ყოფილ სსრ კავშირში მტკიცდებოდა სახსტანდარტის მიერ) ქვეყნისათვის ამოსავალ ეტალონად, *სახელმწიფო ეტალონი ეწოდება*. თითოეულ ასეთ ეტალონზე დადგენილი წესით მტკიცდება სახელმწიფო სტანდარტი.

პირველადი ეტალონები მოითხოვს ძალზე ფაქიზ მოპყრობას და შენახვის განსაკუთრებული პირობების შექმნას მათი დაცულობის (შენარჩუნებადობის) უზრუნველსაყოფად. ამ მიზნით და მიმდინარე მეტროლოგიური სამუშაოების შესასრულებლად იქმნება *მეორეული ეტალონები*. ამ ეტალონების მნიშვნელობები დგინდება პირველადი ეტალონების მიხედვით. მეორეული ეტალონები წარმოადგენს იმ დაქვემდებარებული საშუალებების ნაწილს, რომელთა დანიშნულებაა ერთეულთა შენახვა და მათი ზომების გადაცემა. მეორეული ეტალონები, რომელთა დამტკიცება ასევე ხდება დადგენილი წესით, გამოიყენება დამოწმებითი სამუშაოების ჩატარებისას პირველადი ეტალონების ნაცვლად, რითაც მკვეთრად მცირდება ამ უკანასკნელთა პრაქტიკული გამოყენების შემთხვევები და მაშასადამე, გარანტირებულია მათი შენარჩუნებადობა და მინიმალური ცვეთა.

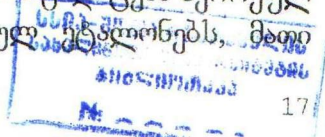
მეტროლოგიური დანიშნულების მიხედვით მეორეული ეტალონები შეიძლება დაეყოს შემდეგ ჯგუფებად: ეტალონი-ასლები, შედარების ეტალონები და მუშა ეტალონები [2; 10; 11]. ზოგჯერ ცალკე ჯგუფად გამოყოფენ ეტალონ-მოწმეებს [1]. როგორც სახელწოდება მიუთითებს, *ეტალონი-ასლი* გამოიყენება სახელმწიფო ეტალონის ნაცვლად ერთეულთა შენახვისა და მათი ზომების მუშა ეტალონებზე

დაცემისათვის. დასაშვებია ისეთი ეტალონი-ასლის გამოყენება, რომელიც არ წარმოადგენს სახელმწიფო ეტალონის ფიზიკურ ასლს, მაგრამ არის ასლი მეტროლოგიური დანიშნულების მიხედვით (აღწარმოებს ერთეულის ზომას მოთხოვნილი სიზუსტით). შედარების ეტალონი არის მეორეული ეტალონი, რომელიც გამოიყენება ისეთი ეტალონების შეპირისპირებისათვის, რომლებიც ამა თუ იმ მიზეზით არ ამკმდებარება უშუალო ურთიერთშეპირისპირებას (მაგალითად, როცა ეტალონები განლაგებულია სხვადასხვა ადგილას და მათი ტრანსპორტირება შეუძლებელია).

მუშა ეტალონი არის მეორეული ეტალონი, რომელიც გამოიყენება ერთეულის შენახვისა და მისი ზომის უმაღლესი სიზუსტის გაზომვის სანიმუშო საშუალებებზე დადაცემისათვის. ზოგჯერ, აუცილებლობის შემთხვევაში მუშა ეტალონი შეიძლება გამოყენებულ იქნას გაზომვების ძალზე ზუსტი მუშა საშუალებების დასამოწმებლად. მეორეულ ეტალონებს შორის მუშა ეტალონების ჯგუფი ყველაზე უფრო მრავალრიცხოვანია [10].

ეტალონი-მოწმე წარმოადგენს მეორეულ ეტალონს, რომელიც გამოიყენება სახელმწიფო ეტალონის დაცულობის შესამოწმებლად და მის შესაცვლელად გაფუჭების ან დაკარგვის შემთხვევაში. ეტალონი-მოწმე გამოიყენება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა სახელმწიფო ეტალონით ერთეულის აღწარმოება შეუძლებელია.

ეტალონების ტექნიკური რეალიზაცია შეიძლება ხდებოდეს სხვადასხვანაირად იმის მიხედვით, სახელმწიფო ეტალონთან გვაქვს საქმე, თუ მეორეულთან. კერძოდ, სახელმწიფო ეტალონები უკლებლივ ყველა შემთხვევაში გვევლინება გაზომვის საშუალებებისა და დამხმარე მოწყობილობების კომპლექსის სახით, რომელთა დანიშნულებაა ერთეულის აღწარმოება და აუცილებელ შემთხვევებში მისი შენახვა, აგრეთვე, ერთეულის ზომის დადაცემა მეორეულ ეტალონებზე. რაც შეეხება მეორეულ ეტალონებს, მათი



რეალიზება შესაძლებელია შემდეგი სახით: ა) გაზომვების საშუალებათა კომპლექსი, ბ) ცალმაგი ეტალონები, გ) ჯგუფური ეტალონები, დ) ეტალონური ნაკრებები.

*ცალმაგი ეტალონი* შედგება ერთი საზომის, ერთი საზომი ხელსაწყოს ან ერთი საზომი დანადგარისაგან, რომლებიც უზრუნველყოფენ ერთეულის აღწარმოებას ან შენახვას დამოუკიდებლად იგივე ტიპის გაზომვების სხვა საშუალებათა მონაწილეობის გარეშე (მაგალითად, მასის ერთეულის – კილოგრამის მეორეული ეტალონები საწონების სახით).

*ჯგუფური ეტალონი* შედგება ერთი ტიპის საზომების, საზომი ხელსაწყოების ან გაზომვის სხვა საშუალებებისაგან, რომლებიც აღწარმოებენ ერთეულის ზომას მათგან თითოეულის მიერ აღწარმოების საშუალო არითმეტიკულის სახით. ეტალონის შემადგენლობაში შემავალი გაზომვის ერთტიპური საშუალებები გამოიყენება როგორც ერთი მთლიანი – ერთეულის შენახვის საიმედოობის ამაღლების მიზნით, თუმცა ზოგიერთ შემთხვევაში დასაშვებია მათი ცალ-ცალკე გამოყენება, როგორც ცალმაგი ეტალონებისა. ჯგუფური ეტალონები შეიძლება იყოს მუდმივი ან ცვლადი შედგენილობის. ცვლადი შედგენილობის ჯგუფურ ეტალონებში შემავალი საზომები და საზომი ხელსაწყოები პერიოდულად იცვლება ახლით.

*ეტალონური ნაკრები* წარმოადგენს ისეთი საზომების ან საზომი ხელსაწყოების ნაკრებს, რომლებიც განკუთვნილია გასაზომი სიდიდის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის ან სხვადასხვა არეებისათვის (ღიაპაზონებისათვის), მათ შეუძლიათ ერთეულის ზომის აღწარმოება და შენახვა ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობათა გარკვეულ ღიაპაზონში. აღნიშნული ღიაპაზონის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის დაგრადუირებულ საზომების საშუალებებს ეტალონური ნაკრების მეშვეობით გაცილებით უფრო მოხერხებულად შეიძლება გადაეცეს ერთეულის ზომა. ეტალო-

ნური ნაკრების მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ სითხეების სიმკვრივის მუშა ეტალონი *დენსიმეტრების* (სიმკვრივის საზომი ხელსაწყო) ნაკრების სახით, რომელთა დანიშნულებაა სითხეების სიმკვრივის განსაზღვრა დიაპაზონის სხვადასხვა უბნებში, ისევე, როგორც ჯგუფური ეტალონები, ეტალონური ნაკრებიც შეიძლება იყოს მუდმივი ან ცვლადი შედგენილობის.

ერთეულთა აღწარმოების წესი ორნაირია: *ცენტრალიზებული* და *დეცენტრალიზებული*. კერძოდ, ერთეულთა საერთაშორისო სისტემის (SI) ერთეულების აღწარმოება ხდება, როგორც წესი, სახელმწიფო ეტალონის დახმარებით, ანუ, სხვა სიტყვებით, ცენტრალიზებულად. დამატებით, წარმოებული და, აუცილებლობის შემთხვევაში, სისტემგარეშე ერთეულების აღწარმოება შეიძლება ხდებოდეს როგორც ცენტრალიზებულად (მთელი ქვეყნისათვის ერთიანი სახელმწიფო ეტალონის საშუალებით), ასევე დეცენტრალიზებულად (როცა პრაქტიკისათვის საჭირო სიზუსტის უზრუნველყოფა შეიძლება მეტროლოგიურ ორგანოებში გაზომვის სანიმუშო საშუალებებით ირიბი (არაპირდაპირი) გაზომვის საფუძველზე). ამ დროს ერთეულის აღწარმოების წესის შერჩევის საფუძველია ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობა.

დასასრულ, ვახსენოთ საერთაშორისო ეტალონები. ეროვნული ეტალონისგან განსხვავებით *საერთაშორისო ეტალონი* ერთდროულად ეკუთვნის ორი ან მეტი ქვეყნისაგან შემდგარ ჯგუფს. ასეთი ეტალონების დანიშნულებაა გაზომვის ერთიანობის უზრუნველყოფა საერთაშორისო მასშტაბით, რისთვისაც აუცილებელია ეროვნული ეტალონების პერიოდული შეპირისპირება საერთაშორისოებთან და ურთიერთშორის.

საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია ეტალონების შექმნასთან, შენახვასა და გამოყენებასთან, აგრეთვე მათ დანერგვასთან და ეხება ერთეულთა საერთაშორისო სისტე-

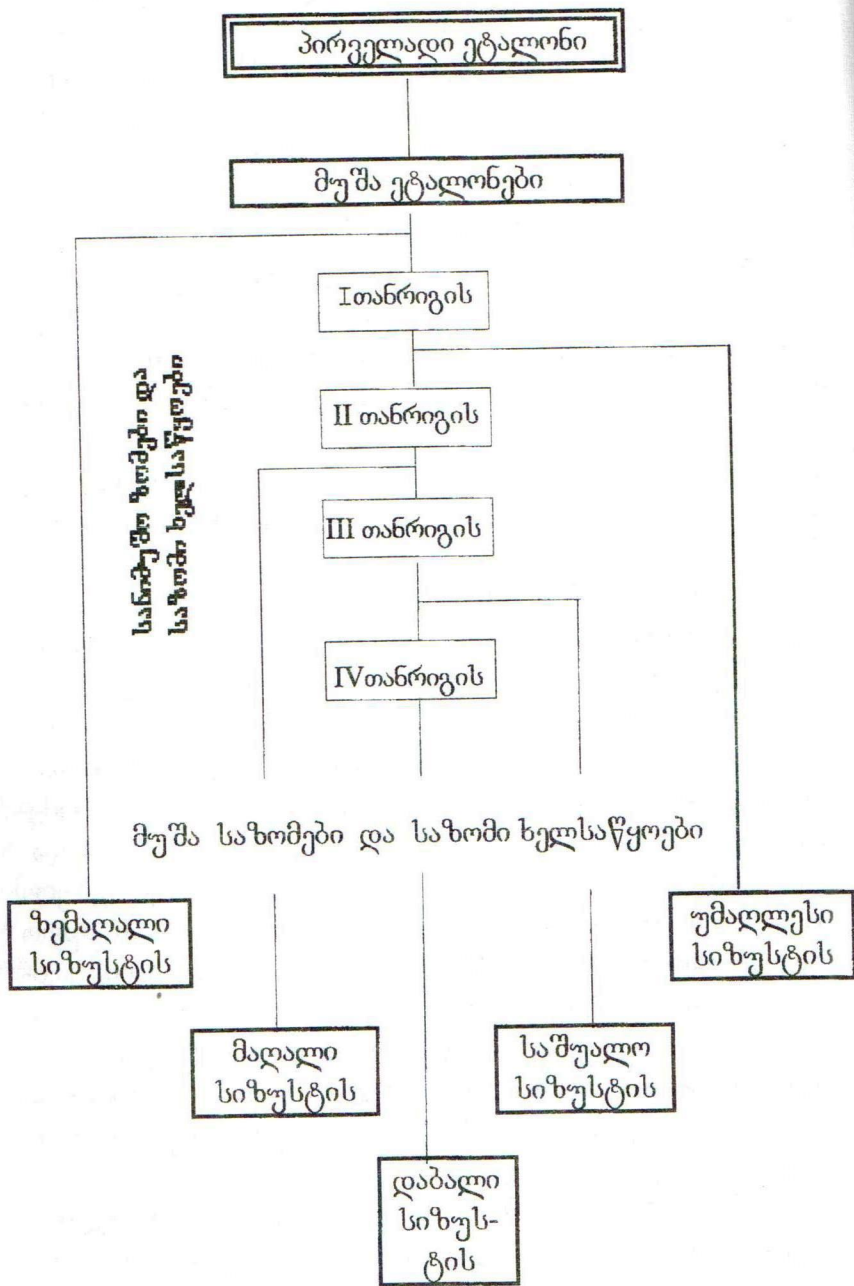
მის ძირითად ერთეულთა ეტალონების აღწერას, საკმაო სისრულითაა მოცემული [10]-ში. ამავე საკითხებს ეხება სახელმწიფო სტანდარტები 8.057-80 და 8.372-80 [20].

### 1.3. გაზომვის საშუალებათა დაყოფა მეტროლოგიური დანიშნულების მიხედვით. დამოწმებითი სქემები

მეტროლოგიური დანიშნულების მიხედვით გაზომვათა საშუალებებს შორის არსებობს გარკვეული ურთიერთანადაქვემდებარება (იერარქია), რომლის მიხედვითაც გაზომვის საშუალებანი შეიძლება დაეყოს მუშა და სანიმუშო საშუალებებად. ერთეულთა ზომის გადაცემა ეტალონებიდან მუშა საშუალებებზე ხდება სწორედ გაზომვის სანიმუშო საშუალებების მეშვეობით. *სანიმუშო* ეწოდება გაზომვის საშუალებებიდან (საზომებიდან, საზომები გარდამქმნელებიდან, საზომი ხელსაწყოებიდან, საზომი დანადგარებიდან) ისეთებს, რომელთა დანიშნულებაა გაზომვათა სხვა (მუშა) საშუალებების დამოწმება და გრადუირება (ან ატესტაცია) და რომლებიც დამტკიცებულია სანიმუშოებად დადგენილი წესის მიხედვით. ისინი გამოირჩევა მაღალი სიზუსტითა და საიმედოობით, მისადაგებულია მუშა საშუალებების ეფექტური და მაღალმწარმოებული შემოწმებისათვის. გაზომვათა სანიმუშო საშუალებები ინახება და გამოიყენება სახელმწიფო მეტროლოგიური სამსახურისა და დარგობრივი (საუწყებო) მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოების მიერ. დაუშვებელია მათი გამოყენება პრაქტიკული (საწარმოო) გაზომვებისათვის. მათგან განსხვავებით, *გაზომვის მუშა საშუალებები* ეწოდება გაზომვების პრაქტიკული მიზნებისათვის (არა წმინდა მეტროლოგიური ხასიათის) გამიზნულ საშუალებებს, რომელთა საშუალებით ხდება რაოდენობრივი ინფორმაციის მიღება გასაზომი ფიზიკური სიდიდის შესახებ. ისინი წარმოადგენენ იმ ერთადერთ ტექნიკურ ხელ-

საწყოს, რომელიც საშუალებას გვაძლევს უშუალოდ შევა-  
დართოთ გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობა ამ უკანას-  
კნულისათვის მიღებული ერთეულის ზომას (სხვა სიტყვე-  
ბით, მოვახდინოთ გაზომვა). ნათელია, რომ ამისათვის აუცი-  
ლებელია საზომ საშუალებაში წინასწარ იყოს “ჩადებული”  
გასაზომი სიდიდის ერთეული, მისი ჯერადი და წილადი  
მნიშვნელობები, რაც ხორციელდება სწორედ ხელსაწყოს  
დაგრაღუირების დროს [2]. დაგრაღუირება კი, როგორც  
უკვე აღვნიშნეთ, უნდა მოხდეს მხოლოდ სანიმუშო საშუა-  
ლებების გამოყენებით. გაზომვათა სანიმუშო საშუალებები  
ქნიან ერთგვარ მეტროლოგიურ “ჯაჭვს”, რომლის მიხედვი-  
თაც ხდება ერთეულთა ზომების გადაცემა პირველადი  
ეტალონებიდან (ზედა რგოლი ჯაჭვისა) მუშა ეტალონებზე,  
მათგან კი მუშა საზომებსა და საზომ ხელსაწყოებზე  
(ნახ.1.1).

როგორც სქემიდან ჩანს, ზოგიერთი ზემადალი სი-  
ზუსტის მუშა საზომი და საზომი ხელსაწყო შეიძლება  
დამოწმებული (შემოწმებული) იქნას მუშა ეტალონების  
მიხედვით; უმაღლესი სიზუსტის გაზომვის საშუალებები -  
I თანრიგის სანიმუშო საზომებისა და ხელსაწყოების მიხედ-  
ვით, მაღალი სიზუსტისა - II თანრიგის სანიმუშო საზომე-  
ბით და ხელსაწყოებით და ა.შ. გაზომვის საშუალებების და-  
მტკიცება სანიმუშო საშუალებად ხდება მეტროლოგიური  
სამსახურის ორგანოების მიერ, რომლებსაც გააჩნიათ უფრო  
მაღალი თანრიგის სანიმუშო გაზომვის საშუალებები, ვიდ-  
რე მათთვის საატესტაციოდ წარდგენილები. ამრიგად, წარ-  
მოდგენილი “ჯაჭვის” ყოველი რგოლი ინფორმაციის ერ-  
თეულის ზომის შესახებ იღებს ზედა (წინა) რგოლისაგან  
და თავის მხრივ, გადასცემს ამ ინფორმაციას უფრო დაბალ  
საფეხურზე განლაგებულ (მომდევნო) რგოლს. რგოლების,  
ანუ საფეხურების რაციონალური რიცხვი, რომელსაც  
შეუძლია მოიცვას მოცემულ დარგში არსებული გაზომვის



ნახ. 1.1

საშუალებების მთელი პარკი, დგინდება დამოწმებითი (სამოწმებელი) სქემებით.

*დამოწმებითი სქემა* წარმოადგენს დადგენილი წესით დამტკიცებულ ამოსავალ დოკუმენტს, რომელიც ადგენს ერთეულთა ზომების გადაცემის საშუალებებს, მეთოდებსა და სიზუსტეს ეტალონიდან გაზომვის მუშა საშუალებებზე. დამოწმებითი (სამოწმებელი) სქემები შეიძლება დაეყოს სახელმწიფო, საუწყებო და ლოკალურ სქემებად. *სახელმწიფო დამოწმებითი სქემა* ვრცელდება მოცემული ფიზიკური სიდიდის გაზომვის ყველა საშუალებაზე, რომელიც გამოიყენება ქვეყანაში. სახელმწიფო დამოწმებითი სქემა უნდა წარმოადგენდეს საუწყებო და ლოკალური სქემების შედგენის საფუძველს, იგი მტკიცდება სახელმწიფო სტანდარტის სახით. *საუწყებო დამოწმებითი სქემა* ვრცელდება გაზომვის იმ საშუალებებზე, რომლებიც დამოწმებას ექვემდებარება მოცემული უწყების ფარგლებში. ეს სქემა მუშავდება საუწყებო მეტროლოგიური სამსახურების მიერ (ყოფილ სსრ კავშირში სახსტანდარტთან შეთანხმებით). რაც შეეხება *ლოკალურ დამოწმებით სქემას*, იგი ვრცელდება მოცემული სახელმწიფო ან საუწყებო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოში დასამოწმებელ გაზომვის საშუალებებზე. იგი მუშავდება მეტროლოგიური სამსახურის იმ ქვედანაყოფების მიერ, რომლებიც ახდენენ გაზომვის საშუალებების დამოწმებას, ხოლო მტკიცდება საწარმოს ხელმძღვანელის მიერ სახელმწიფო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოებთან შეთანხმებით [2, 20].

დამოწმებითი სქემა მუშავდება გაზომვის თითოეული სფეროსათვის ამ სფეროში შემავალი საზომი ხელსაწყოების ტიპებითურთ. იგი წარმოადგენს მეტროლოგიური სამსახურის ერთ-ერთ სახელმძღვანელო ნორმატიულ დოკუმენტს. უნდა აღვნიშნოთ, რომ დასაშვებია გაზომვის საშუალებების ერთი და იგივე ტიპის გამოყენება სხვადასხვა დამოწმებით სქემაში. ამ დროს ერთმანეთისაგან უნდა

გავარჩიოთ ამოსავალი და დაქვემდებარებული სანიმუშო ხელსაწყოები. ამოსავალია გაზომვის ის სანიმუშო საშუალებები, რომლებიც შეესაბამებიან მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოს დამოწმებითი სქემის უმაღლეს საფეხურს, სხვა სანიმუშო საშუალებები მიეკუთვნება დაქვემდებარებულებს. სახელმწიფო დამოწმებითი სქემების უმაღლესი საფეხურია (ანუ ქვეყნისათვის ამოსავალი სანიმუშო საშუალებაა) სახელმწიფო ეტალონები. გარკვეულ შემთხვევებში (კერძოდ, განვითარებად და ახალ სფეროებში) დამოწმებითი სქემის უმაღლესი საფეხური შეიძლება იყოს უმაღლესი სიზუსტის საზომი (ან საზომი დანადგარი) [2].

დამოწმებითი სქემის გაფორმება უნდა მოხდეს მკაცრად სტანდარტის შესაბამისად. ბრსტ 8. 061-80 შეიცავს წესებისა და ნორმების რეგლამენტაციას, რომლებიც დაცული უნდა იყოს დამოწმებითი სქემების შედგენა-გაფორმებისას. იქვეა მოცემული სამივე დონის (სახელმწიფო, საუწყებო და ლოკალური) სქემის გაფორმების მაგალითები სპეციალური დანართის სახით [20].

## თავი 2. ბაზოზის საშუალებების ბამოყენების უზრუნველყოფა

### 2.1 საზომი ექსპერიმენტის დაგეგმვის ცნება

ნებისმიერი საზომი ამოცანის გადაწყვეტის პროცესი ბუნებრივად იყოფა სამ ეტაპად [9]:

1. გაზომვის მომზადება - საზომი ექსპერიმენტის დაგეგმვა და ყველა აუცილებელი წანამძღვრის შექმნა იმ ექსპერიმენტისათვის, რომელიც გამიზნულია საზომი ინფორმაციის მისაღებად;

2. გაზომვის ჩატარება - დაკვირვებათა შედეგების ექსპერიმენტული განსაზღვრა;

3. საზომი ინფორმაციის დამუშავება გაზომვის შედეგების მიღების მიზნით.

აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ გაზომვის საშუალებების ეფექტური გამოყენების აუცილებელ წინაპირობას წარმოადგენს ჩასატარებელ გაზომვათა დროული და ხარისხიანი დაგეგმვა. განვიხილოთ [9]-ში მოტანილი მაგალითი, რომელიც ნათლად გვიჩვენებს რაციონალურად დამუშავებული გეგმის გამოყენების ეფექტურობას. მხოლოდ სწორად შერჩეული გეგმის ხარჯზე, სხვა უცვლელ პირობებში, შეიძლება მივაღწიოთ გაზომვის ცდომილების მინიმალურ შედეგებს (გაზომვის საშუალებების გამოყენების ეფექტურობა მეტროლოგიაში ძირითადად სწორედ ცდომილების შემცირების კუთხით განიხილება). ვთქვათ, სასწორის საშუალებით უნდა განისაზღვროს სამი სხვადასხვა (a, b, c) მასა –  $M_a$ ,  $M_b$  და  $M_c$ . ჩვეულებრივ, ერთი შეხედვით ბუნებრივი საზომი გეგმის თანახმად, რომელიც მოცემულია 2.1 ცხრილში, გაზომვათა რაოდენობაა 4. ცხრილში ნებისმიერი ობიექტის შესაბამის სვეტში პლუსი უჩვენებს, რომ სასწორის თევშზე სწორედ ეს ობიექტი იყო (მოხდა მისი მასის განსაზღვრა - აწონვა), ხოლო მინუსი - თევშზე ობიექტი არ იყო.

ცხრილი 2.1

ობიექტი \ ცდის N	a	b	c	აწონვის შედეგი
1	-	-	-	$X_0$
2	+	-	-	$X_1$
3	-	+	-	$X_2$
4	-	-	+	$X_3$

აწონვის შედეგი  $X_0$  შეესაბამება ე.წ. “უქმ” აწონვას - ამ დროს თევშზე არცერთი ობიექტი არ იმყოფება (სტრიქონ-

ში 1 ყველა ობიექტს უწერია ნიშანი მინუსი). უქმი აწონვის მიზანია განისაზღვროს სასწორის “წულის” წანაცვლება (მისი ადიტიური ცდომილება).  $X_1$ ,  $X_2$  და  $X_3$  სიდიდეები გვიჩვენებს შესაბამისად  $a$ ,  $b$  და  $c$  ობიექტების აწონვების შედეგებს. აშკარაა, რომ გასაზომი მასები უნდა განისაზღვროს შემდეგი ტოლობების საფუძველზე:

$$M_A = X_1 - X_0; \quad M_B = X_2 - X_0; \quad M_C = X_3 - X_0.$$

დაეუშვათ, რომ გაზომებიდან გამორიცხულია სისტემატური ცდომილებები, ხოლო შემთხვევითი ცდომილებები არაკორელირებულია (უკანასკნელი დაშვება პრაქტიკულად უმრავლეს შემთხვევაში სინამდვილეს შეესაბამება). აღვნიშნოთ ერთჯერადი გაზომვის დისპერსია  $D_0$ -ით (ცხადია, უნდა ვივარაუდოთ, რომ თითოეული ერთჯერადი გაზომვის დისპერსიები ერთნაირია - ყველა გაზომვა ტარდება უცვლელ გარეშე პირობებში). მაშინ საძიებელი მასების განსაზღვრის დისპერსიებისათვის გვექნება

$$D[M_A] = D[M_B] = D[M_C],$$

მაგრამ

$$D[M_A] = D[X_1 - X_0] = D[X_1] + D[X_0] = 2D_0,$$

ე.ი.

$$D[M_A] = D[M_B] = D[M_C] = 2D_0. \quad (2.ა)$$

ამის შემდეგ ხელახლა ჩავატაროთ საზომი ექსპერიმენტი, ამჯერად 2.2 ცხრილში მოტანილი გეგმის მიხედვით გვაქვს - პირველ სამ ცდაზე რიგრიგობით აწონოთ  $a$ ,  $b$  და  $c$  ობიექტები, ხოლო მეოთხე ცდაზე - სამივე ერთად. ძნელი არ არის დავრწმუნდეთ, რომ საძიებელი (გასაზომი) მასებისათვის გვექნება შემდეგი ტოლობები:

$$M_A = (Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4) / 2; \quad M_B = (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4) / 2;$$

$$M_C = (-Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4) / 2.$$

გაზომვის პირობების მიმართ გაკეთებული დაშვებების იგივე ხასიათისას აწონვის (მასის განსაზღვრის) დისპერსიისათვის გვექნება:

$$D[M_A] = D[M_B] = D[M_C],$$

ობიექტი ცდის N	a	b	c	აწონვის შედგები
1	+	-	-	Y <sub>1</sub>
2	-	+	-	Y <sub>2</sub>
3	-	-	+	Y <sub>3</sub>
4	+	+	+	Y <sub>4</sub>

მაგრამ

$$D[M_A] = D[(Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4)/2] = (1/2) \{D[Y_1] + D[Y_2] + D[Y_3] + D[Y_4]\} = 1/4 \cdot 4 D_0 = D_0,$$

$$\text{ანუ } D[M_A] = D[M_B] = D[M_C] = D_0. \quad (2.ბ)$$

თუ ერთმანეთს შევადარებთ (2.ა) და (2.ბ) შედეგებს, უნახავთ, რომ მეორე შემთხვევაში გასაზომი მასების განსაზღვრის დისპერსია 2-ჯერ შემცირდა წინა შემთხვევასთან შედარებით. ამასთან, ორივე შემთხვევაში საჭირო გახდა გაზომვის 4 ცდის ჩატარება, ე.ი. ცდომილების ორჯერ შემცირება მოხდა მხოლოდ საზომი ექსპერიმენტის რაციონალური დაგეგმვის წყალობით. განხილული მაგალითი იმის ნათელი ილუსტრაციაა, თუ რა მნიშვნელოვანი შედეგები შეიძლება მივიღოთ ცდომილების შემცირების (გაზომვის საშუალებების გამოყენების ეფექტურობის ამაღლების) კუთხით საზომი ექსპერიმენტის ოპტიმალური დაგეგმვის შედეგად. სწორედ ამიტომაც აუცილებელი ობიექტური მეთოდების გამოყენება, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში შევარჩიოთ საზომი ექსპერიმენტის ჩატარების ოპტიმალური გეგმა.

ნებისმიერი გაზომვის ამოცანა მდგომარეობს გასაზომი სიდიდის რაოდენობრივი მახასიათებლების შესახებ ინფორმაციის (საზომი ინფორმაციის) მიღებაში. მიუხედა-

ვად იმისა, რომ გაზომვა მრავალგვარია, მისი დასაბუთებუ-  
ლი და რაციონალური მეთოდებითა და საშუალებებით ჩატა-  
რება ჩვეულებრივ გარკვეული ოპერაციებისაგან შედგება.  
პირველ რიგში საჭიროა გაზომვის ამოცანის დასმა, მისი  
მკაფიო ფორმულირება. ამისათვის ატარებენ გაზომვის სა-  
ბოლოო მიზნის ანალიზს, რაც განსაზღვრავს გაზომვის  
დანიშნულებას, საზომი ინფორმაციის მიღების პირობებსა  
და მისი გამოყენების ხერხებს. მხოლოდ ამ ანალიზის ჩატა-  
რების შემდეგ იგეგმება საკუთრივ გაზომვის ჩატარების  
პროცედურა, რომელიც შეიცავს ქვემოთ ჩამოთვლილ კომ-  
პონენტებს:

- ა) გაზომვის ობიექტის მოდელის აგება ან არჩევა;
- ბ) გაზომვის ექსპერიმენტის ჩატარების საუკეთესო  
გეგმის შემუშავება;
- გ) გაზომვის სახის (პირდაპირი, ირიბი, ერთობლივი  
ან თავსებადი) არჩევა;
- დ) გაზომვის საშუალების არჩევა;
- ე) იმ პირობების გათვალისწინება, რომლებშიც უნდა  
შესრულდეს გაზომვა;
- ვ) გაზომვის ობიექტისა და გაზომვის საშუალებების  
ურთიერთქმედების გათვალისწინება.

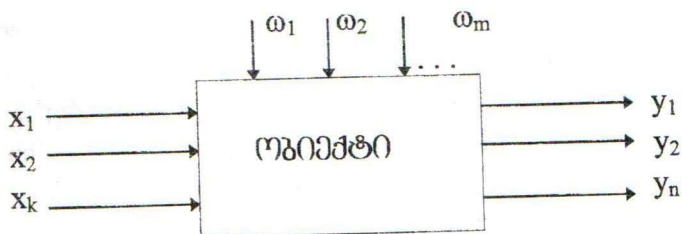
გაზომვა ყოველთვის ეფუძნება აპრიორულ ინფორმა-  
ციას, რომლის საფუძველზეც აგებენ ან ირჩევენ გაზომვის  
ობიექტის ფიზიკურ ან მათემატიკურ მოდელს. გაზომვის  
ორგანიზების ეს საწყისი ეტაპი ერთ-ერთი ყველაზე უფრო  
საპასუხისმგებლოა, რამეთუ ამ ეტაპზე დაშვებული უზუს-  
ტობების ან შეცდომების მომდევნო ეტაპებზე გამოსწორება  
შეუძლებელია - გაზომვის პროცესში ობიექტის მოდელი  
მხოლოდ წინასწარი გაზომვის საფუძველზე შეიძლება და-  
ზუსტდეს. თუ შერჩეულ მოდელსა და ობიექტს შორის არ-  
სებობს შეუსაბამობა, ეს, როგორც წესი, ხდება ცდომი-  
ლების წყარო. ამ ცდომილებებს ლიტერატურაში კლასიფი-  
კაციის ცდომილებებს უწოდებენ და მიაკუთვნებენ გაზომვა-

საერთო მეთოდური ცდომილების შემდგენებსაც. ცხადია, აღნიშნული ცდომილებები მით უფრო საგრძნობია, რაც მეტად განსხვავება რეალურ ობიექტსა და მისთვის მიკუთვნებულ მოდელს შორის. კლასიფიკაციის ცდომილება პრაქტიკულად მეტ-ნაკლებად ყოველთვის არსებობს, რადგან შეუძლებელია ავირჩიოთ ან შევქმნათ მოდელი, რომელიც გაზომვის ობიექტის ზუსტად აღეკვატური იქნება.

მოდელის აგებისას თავიდან ეყრდნობიან ლოგიკურად დასაბუთებულ წინამძღვრებს, რის საფუძველზეც ობიექტის ყოფაქცევას აღწერენ დიფერენციალური განტოლების მეშვეობით. შემდგომში ამ განტოლებების ამონახსნებს ადარებენ გაზომვის შედეგებს, მაგრამ ხსენებული ლოგიკური წინამძღვრების ფორმულირება ხშირ შემთხვევებში ძალზე ძნელია და შეუძლებელიც კი, განსაკუთრებით მაშინ, როცა გაზომვის ობიექტად გვევლინება რთული ფიზიკური სისტემა. ამ დროს ობიექტს წარმოიდგენენ ე.წ. “შავი ყუთის” სახით, ე.ი. ისეთი სისტემის სახით, რომლის შინაგანი სისტემა დამკვირვებლისათვის უცნობია (დაფარულია მისგან). დასკვნა ასეთი ობიექტის ფუნქციონის შესახებ აკეთებენ ობიექტზე გარე ზემოქმედებების  $X_1, X_2 \dots X_k$  და მათზე ობიექტის რეაქციის  $Y_1, Y_2 \dots Y_n$  ანალიზის საფუძველზე. ნახაზზე 2.1 სქემატურად გამოსახულია ობიექტი (“შავი ყუთი”), გარე ზემოქმედებები, რეაქცია და შემამფოთებელი ზემოქმედებები  $W_1, W_2 \dots W_m$ .

შემამფოთებელ ზემოქმედებებად ითვლება სიდიდეები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ობიექტის რეაქციაზე, მაგრამ ბუნებრივი შესასვლელი სიდიდეებისაგან (გარე ზემოქმედებებისაგან) განსხვავებით წარმოადგენენ ხელშემშლელ ფაქტორებს (დაბრკოლებებს). ბუნებრივი შესასვლელი სიდიდის ზემოქმედება ობიექტის მიერ აღიქმება გაცილებით უფრო მძაფრად ხელშემშლელი ფაქტორების ზემოქმედებების ფონზე (მაგ., რეოსტატული გარდამქმნელისათვის, რომელიც მექანიკურ გადაადგილებას გარდაქმნის

ელექტრულ წინაღობად, ცოცხას მექანიკური გადაადგილება წარმოადგენს გარე (შესასვლელ) ზემოქმედებას, წინაღობის ცვლილება - რეაქციას, ხოლო გარემოს ტემპერატურა, ატმოსფერული წნევა, ტენიანობა და ა.შ. - შემამფოთებელი ზემოქმედებებია, რომლებიც, მართალია, ასევე იწვევენ გარდამქმნელის წინაღობის ცვლილებას, მაგრამ მათ ფონზე ცოცხას მექანიკური გადაადგილება რეოსტატული გარდამქმნელის მიერ გაცილებით უფრო საგრძნობლად აღიქმება. შემამფოთებელი ზემოქმედებები ზოგად შემთხვევაში კონტროლს არ ექვემდებარება და წარმოგვიდგება



ნახ. 2.1

როგორც შემთხვევითი სიდიდეები ან დროის შემთხვევითი ფუნქციები. ამრიგად, გაზომვის დაგეგმვის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა ობიექტის შესასვლელ და გამოსასვლელ პარამეტრებს შორის ურთიერთკავშირის დადგენა - ამ ურთიერთკავშირის წარმოდგენა რაოდენობრივი ფორმით მათემატიკური მოდელის სახით [9].

შესასვლელ ზემოქმედებებს, რომლებიც გაზომვას ექვემდებარებიან, ფაქტორებს უწოდებენ. ანალიზის დროს უნდა დადგინდეს ყველა არსებითი ფაქტორი, რადგან, თუ რომელიმე ასეთი ფაქტორი გაუთვალისწინებელი დარჩა, ეს ცდომილებების საგრძნობ გაზრდას გამოიწვევს. მეორეს მხრივ, ფაქტორთა რიცხვის გაზრდა დაკავშირებულია აუცილებელი ექსპერიმენტების რიცხვის მნიშვნელოვან ზრდას-

ამ ამიტომ მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ შედარებით ნაკლებად მნიშვნელოვანი ფაქტორების განთესვის მეთოდები.

მას შემდეგ, რაც შეირჩევა ობიექტის პარამეტრები და მახასიათებლები, საჭიროა არჩეული იქნას მათი გაზომვის სახეები იმის მიხედვით, თუ რა სიზუსტეა მოთხოვნილი და რამდენად შესაძლებელია გაზომვის არჩეული სახის პრაქტიკული რეალიზაცია: არ უნდა დაგვაფიწყდეს, რომ გაზომვის პროცესში ობიექტი და გაზომვის საშუალება ერთმანეთზე ურთიერთქმედებენ, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ობიექტის პარამეტრების გაზომვამდე არსებული სიდიდეებისა და გაზომვის საშუალების ჩვენების ცვლილება. სწორედ ამიტომაც აუცილებელი ხსენებული ურთიერთქმედების მინიმუმამდე დაყვანა გაზომვის საშუალების სათანადო არჩევით ან აღნიშნულ ცვლილებათა შემცირებისკენ მიმართული საკომპენსაციო ღონისძიებების გატარება. გაზომვის პრაქტიკულ ამოცანათა საკმაოდ ფართო კლასისათვის არსებობს დამუშავებული ე.წ. გაზომვის სტანდარტული მეთოდები, რომლებიც ითვალისწინებენ ცდომილებათა უკვე შესაძლო წყაროს. ამ მეთოდებში მკაცრად არეგლამენტირებული ოპერატორის მოქმედებები და მათი თანამიმდევრობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ცდომილების მინიმალურ სიდიდეს. აქედან გამომდინარეობს გაზომვის სტანდარტული მეთოდის სათანადო შერჩევის მიზანშეწონილობა. თუ ჩასატარებელი გაზომვისათვის არ არსებობს სტანდარტული მეთოდები, მაშინ საჭიროა შემუშავებული ახალი მეთოდის ატესტაცია, რომლის დროსაც ჯერ განსაზღვრავენ ცდომილების ცალკეულ შემდგენებს, ხოლო შემდეგ გამოთვლიან ჯამური ცდომილების სიდიდეს. სწორედ ამ უკანასკნელის მნიშვნელობა უნდა მიეწიროს ახლად შემუშავებულ გაზომვის მეთოდიკას.

## 2.2 გაზომვის საშუალებების სიზუსტის მაჩვენებლების არჩევის პრინციპები პროდუქციის ხარისხის კონტროლის დროს. ვარგისობის პირობა. კონტროლის შეცდომების აღბათობები

პროდუქციის ხარისხის დადგენა ძალზე ხშირად ხდება პარამეტრების კონტროლის საფუძველზე. ყველაზე მეტად ეს ეხება მანქანათმშენებლობისა და ხელსაწყოთმშენებლობის პროდუქციას, რომლის ხარისხის კონტროლი გულისხმობს ერთი ან რამდენიმე პარამეტრის ნორმებით დაწესებულ შუალედში ყოფნის შემოწმებას. კონტროლი ემყარება შესაბამისი გაზომვის ჩატარების შედეგად მიღებულ საზომი ინფორმაციის ანალიზს. კონტროლის პროცესის ხარისხის მაჩვენებელს წარმოადგენს უტყუარობის მაჩვენებლები ან კონტროლის შეცდომების აღბათობები. საქმე ისაა, რომ იდეალური კონტროლი გულისხმობს ყველა ნაკეთობის გაკონტროლების შედეგად სარეალიზაციოდ მხოლოდ იმ ნაკეთობათა გატარებას, რომელთა პარამეტრები შეესაბამება დადგენილ ნორმებს და ყველა იმ ნაკეთობის დაწუნებას, რომელთა საკონტროლო პარამეტრები არ პასუხობს აღნიშნულ ნორმებს. ამგვარი იდეალური, უშეცდომო კონტროლის განხორციელება შეუძლებელია რიგი სუბიექტური თუ ობიექტური მიზეზების გამო. სუბიექტურ მიზეზებს მიეკუთვნება ის, რომ მთლიანი კონტროლის (ე.ი. ისეთი კონტროლის, რომელიც მოიცავს ყველა ნაკეთობას) ნაცვლად მიმართავენ ე.წ. შერჩევით კონტროლს, როცა დასკვნა ნაკეთობათა პარტიის ვარგისობის (ან დაწუნების) შესახებ გამოაქვთ ნაკეთობათა შემთხვევითი ამონარჩევის გაკონტროლების საფუძველზე. ამის მიზეზი ისაა, რომ მსხვილსერიული და მასობრივი წარმოების პირობებში მთლიანი კონტროლის ჩატარება დროისა და ფინანსების გაუმართლებლად დიდ დანახარჯებთანაა დაკავშირებული. ამორჩევითი კონტროლი კი პრინციპულად შეუძლებელია ჩატარ-

ამი შეცდომების გარეშე. სუბიექტურ მიზეზებსვე მიეკუთვნება ოპერატორის შეცდომები, ობიექტური მიზეზების რიცხვს მიეკუთვნება საკონტროლო საზომი აპარატურის ცდომილებები, გაზომვის პირობების ცვალებადობა ან უცვლელი პირობების აღწარმოების უზუსტობა. აღნიშნული მიზეზების გამო კონტროლის ჩატარებას თან ახლავს ორი გვარის შეცდომა: I გვარის შეცდომა, ანუ დამამზადებლისათვის საზიანო არასწორი გადაწყვეტილება, როცა სინამდვილეში ვარგისი პროდუქცია კონტროლის შედეგად კლასიფიცირებული იქნება, როგორც წუნი ("ცრუ განგაში"); II გვარის შეცდომა, ანუ მომხმარებლისათვის არახელსაყრელი, არასწორი გადაწყვეტილება, როცა სინამდვილეში დასაწუნებელი პროდუქცია კონტროლის შედეგად კლასიფიცირებული იქნება, როგორც ვარგისი. კონტროლის პროცესის ხარისხიანობის საყოველთაოდ აღიარებულ კრიტერიუმებს სწორედ ხსენებული შეცდომების აღბათობები წარმოადგენს. როგორც ვხედავთ, კონტროლისათვის საჭირო გაზომვის საშუალებების სიზუსტის მახასიათებლების არჩევა ერთ-ერთი უმთავრესია პროდუქციის ხარისხის კონტროლის ჩატარებისას. კონტროლის ჩატარების წინ მოცემული უნდა იყოს I და II გვარის შეცდომების აღბათობების დასაშვები მნიშვნელობები. საკონტროლო აპარატურა ისე უნდა შეირჩეს, რომ მისი გამოყენების შედეგად მიღებულმა რეალურმა აღბათობებმა არ გადააჭარბოს წინასწარ მოცემულ დასაშვებ მნიშვნელობებს. სხვა სიტყვებით, უნდა შესრულდეს უტოლობები  $\alpha < p_{1p}$ ;  $\beta < p_{2p}$ , სადაც  $p_{1p}$  და  $p_{2p}$  შესაბამისად I და II გვარის შეცდომების აღბათობების დასაშვები მნიშვნელობებია, ხოლო  $\alpha$  და  $\beta$  - იგივე აღბათობების ფაქტობრივი მნიშვნელობები, რასაც მივიღებთ შერჩეული საზომი აპარატურის საშუალებით კონტროლის ჩატარების შედეგად.

კონტროლის ცდომილების ერთადერთ წყაროდ შემდგომში ჩაითვალოს საკონტროლო - საზომ საშუალებათა

ინსტრუმენტული ცდომილებები, ე. ი. ვიგულისხმოთ, რომ  $\alpha$  და  $\beta$  ალბათობები მთლიანად განპირობებულია კონტროლის საშუალებათა ცდომილებებით. კონტროლისათვის საჭირო გაზომვის საშუალებების სიზუსტის მახასიათებლების არჩევა მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული თვით საკონტროლო ობიექტებზე და კონტროლის ტექნიკურ შინაარსზე. მართლაც, როცა ტარდება მასობრივი პროდუქციის მთლიანი ან შერჩევითი კონტროლი, მაშინ  $\alpha$  და  $\beta$  ალბათობები ახასიათებს არასწორად დაწუნებული და ასევე არასწორად ვარგისად მიჩნეული ნაკეთობების საშუალო წილს მთელ საკონტროლო ერთობლიობაში. ამ დროს, როგორც წესი, თითქმის არ აინტერესებთ ცალკეული კონკრეტული ნაკეთობის კონტროლის შეცდომების ალბათობები. სხვაგვარადაა საქმე, როცა კონტროლი უნდა ჩატარდეს უნიკალურ, საპასუხისმგებლო ნაკეთობას. ცხადია, ამ დროს მნიშვნელოვანია არა კონტროლის შეცდომების ალბათობები საშუალოდ, არამედ ყოველი ინდივიდუალური ნაკეთობისათვის [2]. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა  $\alpha$  და  $\beta$  ალბათობები ნორმირდება საშუალოდ მთელი საკონტროლო ერთობლიობისათვის.

დავუშვათ, რომ  $X$  წარმოადგენს ნაკეთობის საკონტროლო პარამეტრის ნამდვილ მნიშვნელობას, ხოლო  $X_H$  - მის ნომინალურ მნიშვნელობას. ყოველი პარამეტრისათვის არსებობს ტექნოლოგიური დაშვების ველი, ანუ ინტერვალი, რომელშიც  $X$  სიდიდის მოხვედრისას ნაკეთობა ითვლება ვარგისად ამ პარამეტრის მიხედვით. აღვნიშნოთ  $\Delta_H$  და  $\Delta_B$ -თი შესაბამისად ტექნოლოგიური (ანუ ნაკეთობის ხარისხის გამოსასვლელ პარამეტრზე საწარმოო დაშვების) გადახრის ქვედა და ზედა საზღვრები. მაშინ უტოლობა

$$X_H + \Delta_H \leq X \leq X_H + \Delta_B \quad (2.1)$$

წარმოადგენს ნაკეთობის ვარგისობის პირობას (სიმეტრიული დაშვებისას  $\Delta_B = -\Delta_H$ ). თუ აღვნიშნავთ

$A = X_H + \Delta_H$ ;  $B = X_H + \Delta_B$ , მაშინ (2.1) პირობა სხვა ფორმითაც შეიძლება ჩაიწეროს:

$$\alpha \leq X \leq b, \quad (2.2)$$

სადაც  $\alpha$  და  $b$  დაშვების ველის ქვედა და ზედა საზღვრებია. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $X - X_H = \Delta_T$ , სადაც  $\Delta_T$  არის საკონტროლო პარამეტრის ტექნოლოგიური გადახრა ნომინალური მნიშვნელობიდან, მაშინ (2.1) ასეც შეიძლება ჩაიწეროს:

$$\Delta_H \leq \Delta_T \leq \Delta_B. \quad (2.3)$$

საში უკანასკნელი უტოლობა ნაკეთობის ვარგისობის პირობაა. ინდივიდუალური (კონკრეტული) ნაკეთობისათვის  $\Delta_T$  გარკვეული მუდმივი რიცხვია, ხოლო საკონტროლო ერთობლიობისათვის - შემთხვევითი რიცხვი. ამიტომ შეიძლება განსახილველი შემთხვევისათვის ვილაპარაკოთ  $\Delta_T$  სიდიდის განაწილების კანონზე. აღვნიშნოთ  $\varphi_1(\Delta_T)$  - თი  $\Delta_T$ -ს განაწილების სიმკვრივე,  $A$  - თი აღვნიშნოთ ხდომილობა, რომ კონტროლზე აღმოჩნდება ვარგისი ნაკეთობა,  $\bar{A}$  - თი - კონტროლზე აღმოჩნდება წუნი. მაშინ  $A$  ხდომილობის ალბათობისათვის გვექნება

$$p(A) = \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) d\Delta_T. \quad (2.4)$$

უნდა აღვნიშნოთ, რომ (3.4) ხშირად [9; 21; 22] სხვა ფორმითაც იწერება. რადგან  $X = X_H + \Delta_T$ , სადაც  $X_H = \text{const}$ , ამიტომ  $X$ -ის განაწილების კანონი იგივე იქნება, რაც  $\Delta_T$  სიდიდისათვის გვაქვს (განსხვავებაა მხოლოდ მათემატიკურ ლოდინში -  $M[X] = M[\Delta_T] + X_H$ ). (2.2)-ის საფუძველზე კონტროლზე ვარგისი ნაკეთობის ( $X$  საკონტროლო პარამეტრის მიხედვით) გამოჩენის ალბათობა იქნება

$$p(A) = \int_{\alpha}^b \varphi_1(x) dx. \quad (2.5)$$

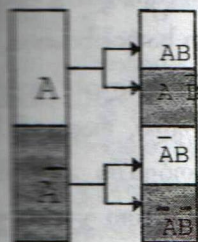
$\varphi_1(\Delta_T)$  ფუნქციის სახე, აგრეთვე, მისი პარამეტრების - მათე-  
მატიკური ლოდინისა  $M[\Delta_T]$  და დისპერსიის  $D[\Delta_T]$  მნიშვნე-  
ლობები განისაზღვრება საკონტროლო ნაკეთობების წარმო-  
ების ხასიათით, ტექნოლოგიური ოპერაციების სიზუსტითა  
და სტაბილურობით და ა.შ. მაგალითად, როცა ოპერატორი  
(ან ავტომატი) ცდილობს როგორმე “ჩაატოს”  $X$  პარამეტრი  
[ $a, b$ ] ინტერვალში ისე, რომ არ არჩევს რომელიღაც  
უპირატეს მნიშვნელობას ამ ინტერვალიდან, მაშინ  $X$ -სათვის  
(ანუ  $\Delta_T$  თვის) გვექნება განაწილების თანაბარი კანონი. თუ  
საწარმოო პროცესი ისეა აგებული, რომ ცდილობენ  $X$   
“მოარგონ” ნომინალურ მნიშვნელობას, მაშინ  $\Delta_T$  სიდიდე  
განაწილებული აღმოჩნდება წაკვეთილი ნორმალური კანონ-  
ით. შესაძლებელია განაწილების სხვა კანონებიც. აპრიორ-  
ული უკმარისობის შემთხვევაში  $\Delta_T$  სიდიდისათვის უნდა  
მივიღოთ თანაბარი განაწილების კანონი, რომელიც განა-  
წილების სხვა კანონებთან შედარებით გვაძლევს სიზუსტის  
მხრივ გარკვეულ მარაგს (ამ დროს ცდომილების დის-  
პერსიას ყველა სხვა კანონთან შედარებით აქვს უდიდესი  
მნიშვნელობა - ინფორმაციის არცოდნისათვის ვიხდით სა-  
ფასურს სიზუსტის მარაგის სახით). ამრიგად,  $\varphi_1(\Delta_T)$  ფუნქ-  
ციისა და განაწილების სხვა ფუნქციებისთვისაც, რომლებიც  
ქვემოთ შეგვხვდება, ვიგულისხმებთ, რომ ცნობილია მათი  
ანალიზური გამოსახულება.

აღბათობა იმისა, რომ კონტროლზე “შემოვა” წუნნი,  
გამოსახება ფორმულით

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A) = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \varphi_1(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \varphi_1(\Delta_T) d\Delta_T. \quad (2.6)$$

(2.5) და (2.6) დაწერილია იმ დაშვებით, რომ  $X$ -ის  
( $\Delta_T$ -ს) განსაზღვრაში ცდომილება არ გვაქვს. სინამდვილე-  
ში გაზომვის შედეგად გვაქვს  $Z = X + \Delta_k$  სიდიდე, სადაც  
 $\Delta_k$  არის კონტროლისათვის გამოყენებული გაზომვის სა-

**შედეგების ცდომილება.**



ნახ. 2.2.

გადაწყვეტილება ნაკეთობის ვარგისად ჩათვლის თუ დაწუნების თაობაზე ჩვენ გამოგვაქვს გაზომვის შედეგების მიხედვით, აღენიშნოთ B-თი ხდომილობა, რომ გაზომვის შედეგად პარამეტრი (უფრო სწორად, ნაკეთობა საკონტროლო პარამეტრის მიხედვით) კლასიფიცირდება, როგორც ვარგისი, ხოლო  $\bar{B}$ -თი -

შეცდომის საპირისპირო ხდომილობა.  $\Delta_K$  ცდომილების მოქმედება იწვევს იმას, რომ A და  $\bar{A}$  ხდომილობების ნაცვლად, გაზომვის შედეგის მიხედვით გვაქვს შემდეგი დამოუკიდებელი და ერთადერთი შესაძლებელი ხდომილობები:

$AB$  - საკონტროლო პარამეტრი X (ტექნოლოგიური გადახრა  $\Delta_T$ ) დაშვების ფარგლებშია და გაზომვის შედეგების მიხედვით ფასდება, როგორც ვარგისი;

$A\bar{B}$  - საკონტროლო პარამეტრი დაშვების ფარგლებშია მაგრამ გაზომვის შედეგების მიხედვით ფასდება როგორც წუნი;

$A\bar{\bar{B}}$  - საკონტროლო პარამეტრი დაშვების ველის გარეთაა, მაგრამ გაზომვის შედეგების მიხედვით ფასდება როგორც ვარგისი;

$A\bar{B}$  - საკონტროლო პარამეტრი დაშვების ველის გარეთაა და გაზომვის შედეგებით ფასდება როგორც წუნი;

ეს ხდომილობები, რომლებიც სიცხადისათვის 2.2 ნახაზე სქემატურადაა გამოსახული, ქმნიან ხდომილობათა სრულ ჯგუფს, ამიტომ:

$$P(AB) + P(A\bar{B}) + P(\bar{A}B) + P(\bar{A}\bar{B}) = 1 \quad (2.7)$$

მხელი არ არის შეენიშნოთ, რომ  $P(A\bar{B}) = \alpha$  და  $P(\bar{A}B) = \beta$ . სწორი გადაწყვეტილების ალბათობისათვის გვაქვს:

$$D = P(AB) + P(\overline{AB}) = 1 - \alpha - \beta \quad (2.8)$$

D სიდიდეს ხშირად მიიჩნევენ კონტროლის უტყუარობის მაჩვენებლად. კონტროლი მით უფრო ხარისხიანია, რაც მეტია D. მაგრამ ზოგჯერ D-ს მიჩნევა კონტროლის ეფექტურობის მაჩვენებლად არ არის გამართლებული, რადგან მისი მაქსიმალურობის მოთხოვნა თანაბარ პირობებში აყენებს  $\alpha$  და  $\beta$  ალბათობებს - ისინი (უფრო სწორად, მათი ჯამი) უნდა იყოს მინიმალური. მოსალოდნელი შედეგების მიხედვით კი  $\alpha$  და  $\beta$  სიდიდეები არ არის ტოლფასი. ამიტომ პრაქტიკაში არა-იშვიათად ცალ-ცალკე აფასებენ ნდობის ხარისხს შემდეგი გადაწყვეტილებების მიმართ:

$$D_r = \frac{P(AB)}{P(AB) + P(\overline{AB})} \quad (2.9)$$

$$D_{HF} = \frac{P(\overline{AB})}{P(\overline{AB}) + P(\overline{\overline{AB}})} \quad (2.10)$$

(2.9) -ში  $D_r$  გვაჩვენებს ვარგისად სწორად მიჩნეულ ნაკეთობათა წილს საერთოდ ვარგის ნაკეთობათა შორის, ხოლო (2.10) -ში  $D_{HF}$  - სწორად დაწუნებულ ნაკეთობათა წილს წუნდებულ ნაკეთობათა საერთო რიცხვში. (2.8), (2.9) და (2.10) კრიტერიუმებს შეიძლება მივცეთ სხვა განმარტებაც. ამისათვის ჩაეწეროთ  $AB$ ,  $\overline{AB}$ ,  $\overline{AB}$  და  $\overline{\overline{AB}}$  რთული ხდომილობების ალბათობები ალბათობათა გამრავლების თეორემის მიხედვით:

$$\begin{aligned} P(\overline{AB}) &= P(A) P(\overline{B/A}) \\ P(\overline{AB}) &= P(A) P(B/A) \\ P(\overline{\overline{AB}}) &= P(\overline{A}) P(B/\overline{A}) \\ P(\overline{AB}) &= P(\overline{A}) P(\overline{B/\overline{A}}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

ამ ფორმულებში:

$P(B/A)$  - გაზომვის შედეგების მიხედვით საკონტროლო პარამეტრის დაშვების ველში მოხვედრის პირობითი ალბათობა;

$P(B/\bar{A})$  - გაზომვის შედეგების თანახმად საკონტროლო პარამეტრის დაშვების ველის გარეთ მოხვედრის პირობითი ალბათობა, როცა სინამდვილეში იგი დაშვების ველშია. სხვა სიტყვებით, ესაა I გვარის შეცდომის პირობითი ალბათობა,  $\alpha_{პი}$ .

$P(\bar{B}/A)$  - გაზომვის შედეგების საფუძველზე საკონტროლო პარამეტრის მოხვედრის პირობითი ალბათობა დაშვების ველში, როცა სინამდვილეში იგი ამ ველის გარეთ იმყოფება, II გვარის შეცდომის პირობითი ალბათობა  $\beta_{პი}$ .

$P(\bar{B}/\bar{A})$  - გაზომვის შედეგების მიხედვით საკონტროლო პარამეტრის დაშვების ველის გარეთ აღმოჩენის პირობითი ალბათობა, როცა იგი სინამდვილეში არ არის დაშვების ველში.

ცხადია, რომ

$$\begin{cases} P(B/A) + P(\bar{B}/A) = 1 \\ P(B/\bar{A}) + P(\bar{B}/\bar{A}) = 1 \\ P(A) + P(\bar{A}) = 1 \end{cases} \quad (2.12)$$

(2.7) და (2.12) ტოლობები გვიჩვენებს, რომ აქამდე შემოღებული ალბათობებიდან მხოლოდ სამი მათგანია დამოუკიდებელი, რომელთა არჩევა სხვადასხვანაირად შეიძლება. წინამდებარე ნაშრომში არსებითად მივიჩნევთ  $P(A)$ ,  $\alpha$  და  $\beta$  ალბათობებს, ვიგულისხმებთ რა, რომ მათი მნიშვნელობები წინასწარ ცნობილია. ახლა დაეუბრუნდეთ (2.9) და (2.10) ფორმულებს:

$$D_r = \frac{P(AB)}{P(AB) + P(\bar{A}\bar{B})} = \frac{P(AB)}{P(A)} = P(B/A)$$

$$D_{Hf} = \frac{P(\bar{A}\bar{B})}{P(AB) + P(\bar{A}\bar{B})} = \frac{P(\bar{A}\bar{B})}{P(A)} = P(\bar{B}/\bar{A})$$

გარდაქმნები შესრულებულია (2.11) ტოლობებიდან პირველი და მეოთხე ტოლობების საფუძველზე. ამრიგად,  $D_T$  და  $D_{HT}$  შესაბამისად გამოსადეგად და წუნად სწორად მიჩნევის პირობითი ალბათობებია.

ახლა ჩამოვაყალიბოთ  $X$  პარამეტრის მიხედვით საკონტროლო ნაკეთობის მიღების (ვარგისად ჩათვლის) პირობა. ცხადია, ეს პირობაა შემდეგი უტოლობის შესრულება:

$$X_H + \Delta_H \leq Z \leq X_H + \Delta_B \quad (2.13)$$

სადაც  $Z$  არის  $X$  პარამეტრის გაზომვის შედეგი. რადგან  $Z = X + \Delta_K$ , ხოლო  $X - X_H = \Delta_T$ , ამიტომ (2.13) - დან მიღების პირობა შემდეგი სახით ჩამოყალიბდება:

$$\Delta_H \leq \Delta_T + \Delta_K \leq \Delta_B \quad (2.14)$$

ე.ი. საკონტროლო პარამეტრის ტექნოლოგიური გადახრისა და ამ პარამეტრის გაზომვის ცდომილებების ჯამი უნდა თავსდებოდეს ტექნოლოგიური დაშვების საზღვრების ფარგლებში უკანასკნელი უტოლობის თანახმად.

### 2.3 კონტროლის უტყუარობის კავშირი საკონტროლო-საზომი საშუალებების სიზუსტის მაჩვენებლებთან

წინა პარაგრაფში მიღებული უტოლობა (2.15) გვაძლევს ინტერვალს, რომელშიც საზომი აპარატურის  $\Delta_K$  ცდომილების მოხვედრა მოასწავებს იმ ფაქტს, რომ კონტროლის შედეგად ნაკეთობა კლასიფიცირებულ იქნება, როგორც ვარგისი. აღენიშნოთ  $S$ -ით შესაბამისი ხდომილობა, ხოლო  $S$ -ით - საპირისპირო ხდომილობა. აშკარაა, რომ  $A$  და  $S$  ხდომილობები არ არის დამოუკიდებელი (თუნდაც იმიტომ, რომ მათს განმსაზღვრე უტოლობებში (2.3) და (2.15) შედის ერთიდაიგივე სიდიდე  $\Delta_T$ ). იმისათვის, რომ მივიღოთ  $S$  ხდო-

მდონისა და შეცდომის აღბათობების გამოსახულებები, მაკტაროთ შემდეგი მსჯელობა: ვთქვათ,  $\varphi_2(\Delta_K)$  არის ცდომილებების განაწილების სიმკვრივე. ამასთან, ვიგუ-  
 ლისხმით, რომ ეს ცდომილებები შემთხვევითია (სისტემა-  
 ტური შემდგენი გამორიცხულია). საესებით ბუნებრივია და-  
 ვუშვათ, რომ  $\varphi_1(\Delta_T)$  და  $\varphi_2(\Delta_K)$  დამოუკიდებელია ( ეს პრაქ-  
 ტიკულად თითქმის ყოველთვის ასეცაა), მაშინ გამოსა-  
 ხულება

$$\psi_1(\Delta_T) = \varphi_1(\Delta_T) \int_{-\infty}^{\Delta_H - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_K) d(\Delta_K) \quad (2.16)$$

წარმოადგენს ისეთი  $\Delta_T$  ტექნოლოგიური გადახრების განაწილების კანონს, რომელთა მქონე ნაკეთობები გაზომ-  
 ვის შედეგად დასაშვებ მნიშვნელობათა არის (ღმბ) ქვედა  
 საზღვრის ქვემოთ მოხვედრილად ჩაითვლება.

$$\psi_2(\Delta_T) = \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\Delta_H - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_K) d(\Delta_K) \quad (2.17)$$

გამოსახულება წარმოადგენს ისეთი  $\Delta_T$ -ების განა-  
 წილების სიმკვრივეს, რომლებიც გაზომვების შედეგად ჩაი-  
 თვლება ღმბ-ში მოხვედრილად, ე.ი. მიღებულ (ვარგისად  
 კლასიფიცირებულ) ნაკეთობათა  $\Delta_T$  სიდიდეების განაწილე-  
 ბის კანონს.

$$\psi_3(\Delta_T) = \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d(\Delta_K) \quad (2.18)$$

გამოსახულება (2.18) არის იმ  $\Delta_T$ -ების განაწილების  
 სიმკვრივე, რომლებიც გაზომვის შედეგად კლასიფიცირ-  
 დებიან, როგორც ღმბ-დან ზემოდან გასულები. 2.3. ა,ბ ნახ.-  
 ზე ნაჩვენებია  $\psi_1(\Delta_T)$ ,  $\psi_2(\Delta_T)$ , და  $\psi_3(\Delta_T)$  ფუნქციების გრა-  
 ფიკები, რომლებსაც საკმარისი სიცხადე შეაქვთ როგორც  
 ქვემოთ-მოყვანილ ფორმულებში, ასევე შეცდომების წარმო-

შობის არსში. კერძოდ, ა) ნახაზიდან აღვიღაღ დაკადგენთ, რომ

$$P(AB) = \int_{\Delta_B} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T = \int_{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_H} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K d\Delta_T \quad (2.19)$$

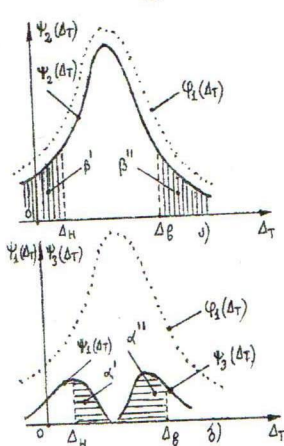
ასევე I გვარის შეცვლომის აღბათობისათვის ვწერთ:

$$\alpha = P(\overline{AB}) = \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \psi_1(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T = \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \int_{-\infty}^{\Delta_H - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K \times$$

$$\times d\Delta_T + \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_H - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K d\Delta_T \quad (2.20)$$

მეორე გვარის შეცვლომის აღბათობა

$$\beta = P(\overline{AB}) = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T$$



ნახ. 2.3

$$\times d\Delta_T = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_H - \Delta_T}^{\Delta_B - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_H - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K d\Delta_T \right] d\Delta_T \quad (2.21)$$

ნაკეთობის სწორად დაწუნების აღბათობა

$$P(\overline{AB}) = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \psi_1(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \psi_1(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{-\infty}^{\Delta_H} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T \quad (2.22)$$

(2.22) ფორმულა ბოლომდე არ არის მიყვანილი, თუმცა ამის საჭიროება არც არის, რადგან უფრო მარტივად იგი მიიღება  $P(AB) = 1 - P(A)$  -ს ფორმულის საფუძველზე, სადაც  $P(A)$  მოიცემა (2.4) ტოლობით, ხოლო  $\beta$  - (2.21) ტოლობით (ასევე არ იყო სავალდებულო  $P(AB)$  -ს გამოსახვა, რადგან, როგორც აღვიღაღ მივიღებთ,  $P(AB) = P(A) - \alpha$ ).

2.3 - ნახაზიდან [ და (2.20), (2.21) ფორმულების გამოყენებით ] ჩანს, რომ I გვარის შეცდომის ალბათობა  $P(A) = \int_{\Delta_H} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_H} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T$ , ხოლო მეორე გვარს შეცდომის ალბათობა  $P(\bar{A}) = \int_{\Delta_B} [\psi_1(\Delta_T) + \psi_2(\Delta_T) + \psi_3(\Delta_T)] d\Delta_T$ . I გვარის ცდომილებების ზონა ბ) ნახაზზე ვერტიკული ხაზებითაა დაშტრიხული, ხოლო II გვარის ცდომილების ზონა ა) ნახაზზე - ჰორიზონტალური ხაზებით (ნახ. 2.3).

აღსანიშნავია, რომ  $P(A)$  და  $P(\bar{A})$  ალბათობები ჩვენს მიერ შემოღებული  $\psi$  ფუნქციის მეშვეობით შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$P(A) = P(AB) + P(\bar{A}B) = \int_{\Delta_H} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_H} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T = \int_{\Delta_H} [\psi_2(\Delta_T) + \psi_3(\Delta_T)] d\Delta_T,$$

$$P(\bar{A}) = P(\bar{A}\bar{B}) + P(\bar{A}B) = \int_{\Delta_B} [\psi_1(\Delta_T) + \psi_2(\Delta_T) + \psi_3(\Delta_T)] d\Delta_T + \int_{\Delta_B} [\psi_1(\Delta_T) + \psi_2(\Delta_T) + \psi_3(\Delta_T)] d\Delta_T,$$

საიდანაც  $P(A) + P(\bar{A}) = 1$  ტოლობის გათვალისწინებით გამოდინარეობს აშკარა თანაფარდობა

$$\int_{\Delta_H} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T = 1$$

გამოვსახოთ B ხდომილობის ალბათობა, ანუ ალბათობა იმისა, რომ კონტროლის შედეგად ნაკეთობა მიჩნეული იქნება ვარგისად:

$$P(B) = P(AB) + P(\bar{A}B) = P(AB) + \beta = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T, \quad (2.23)$$

ანალოგიურად, ალბათობა იმისა, რომ კონტროლის შედეგად ნაკეთობა დაწუნებული იქნება

$$P(\bar{B}) = P(\bar{A}\bar{B}) + P(\bar{A}B) = P(\bar{A}\bar{B}) + \alpha = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_1(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{-\infty}^{\infty} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T$$

(2.24). (2.23) და (2.24) ფორმულების სისწორე ადვილად მოწმდება (2.19) - (2.22) ფორმულებთან მათი შედარებითაც. ბოლო ორი ფორმულა იმ ხდომილობათა აპრიორული აღბათობებია, რამლებიც საბოლოო ანგარიშით აინტერესებს ოპერატორს (მიუხედავად იმისა, რომ კონტროლის შედეგად გვაქვს, როგორც უკვე ვახსენეთ, ორი სხვადასხვა ხდომილობა). ზოგჯერ კონტროლის ხარისხის შესაფასებლად სარგებლობენ შეცდომების პირობითი აღბათობებით, რომლებსთვისაც გვაქვს:

$$\alpha_{პირ.} = P(\bar{B}/A) = \frac{P(A\bar{B})}{P(A)} = \frac{\alpha}{P(A)} = \frac{P(A\bar{B})}{P(AB) + P(A\bar{B})} = \alpha^* \quad (2.25)$$

$$\beta_{პირ.} = P(B/\bar{A}) = \frac{P(\bar{A}B)}{P(\bar{A})} = \frac{\beta}{P(\bar{A})} = \frac{P(\bar{A}B)}{P(\bar{A}\bar{B}) + P(\bar{A}B)} = \beta^* \quad (2.26)$$

$\alpha_{პირ.}$  აღბათობა გვიჩვენებს არასწორად დაწუნებულ ნაკეთობათა კუთრ წონას (წილს) ვარგის ნაკეთობათა საერთო რიცხვში, ხოლო  $\beta_{პირ.}$  - ვარგისად არასწორად მიჩნეულ ნაკეთობათა წილს უვარგისთა შორის [22]. არაიშვიათია შემთხვევები, როცა კონტროლის ხარისხიანობა ფასდება  $\alpha$  და  $\beta$  სიდიდეებთან დაკავშირებული კიდევ ორი სხვა მაჩვენებლით, რომლებსაც კონტროლის პრაქტიკაში “დამამზადებლის რისკს” და “დამკვეთის (მომხმარებლის) რისკს” უწოდებენ [2]. აღენიშნოთ ეს აღბათობები შესაბამისად  $R_{დ}$  და  $R_{გ}$ -თი. გვაქვს:

$$R_{დ} = \frac{\alpha}{\alpha + P(AB)} = \frac{P(A\bar{B})}{P(A\bar{B}) + P(\bar{A}\bar{B})} = \frac{P(A\bar{B})}{P(\bar{B})} = P(A/\bar{B}), \quad (2.27)$$

$$R_{გ} = \frac{\beta}{\beta + P(AB)} = \frac{P(\bar{A}B)}{P(\bar{A}B) + P(AB)} = \frac{P(\bar{A}B)}{P(B)} = P(\bar{A}/B). \quad (2.28)$$

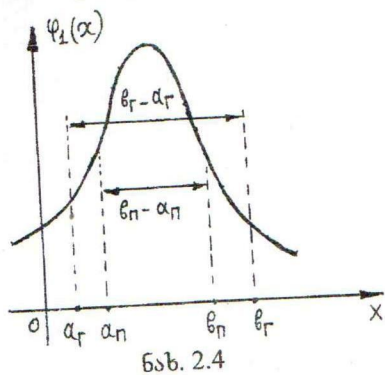
მუდო არ არის დავრწმუნდეთ, რომ  $R_{\Sigma}$  გეჩივენებს  
 არასწორად დაწუნებულ ნაკეთობათა წილს იმ ნაკეთობათა  
 შორის, რომლებიც კონტროლის შედეგად მიჩნეულია წუნად  
 არ იქნება "გატარებული" კონტროლის შედეგების მიხედ-  
 ვით, ხოლო  $R_{\Sigma}$  - ვარგისად არასწორად მიჩნეულ ("გაპა-  
 რულ") ნაკეთობათა წილს ვარგისად კლასიფიცირებულ ნა-  
 კეთობათა შორის. სხვა სიტყვებით,  $R_{\Sigma}$  და  $R_{\Sigma}$  შესაბამისად I  
 და II გვარის შეცდომების პირობითი აპოსტერიორული ალ-  
 ბათობებია.

## 2.4. წინმსწრები დაშვებები. კონტროლის პროცესის ოპერატიული მახასიათებელი

როგორც ვიცით, წარმოების პირობებში დამზადებუ-  
 ლ ნაკეთობის ნაბისმიერ საკონტროლო პარამეტრზე არსე-  
 პობს გარკვეული ინტერვალი, რომელშიც მოხვედრისას  
 ნაკეთობა ამ პარამეტრის მიხედვით ითვლება ვარგისად. ამ  
 ინტერვალს დაშვების ველი ეწოდება. იგი მოიცემა ამ ინ-  
 ტერვალის საზღვრების დასახელებით. უნდა გავარჩიოთ  
 საექსპლუატაციო, ანუ გარანტირებული დაშვებები (რომლე-  
 ბიც მოიცემა საექსპლუატაციოდ გამზადებული ნაკეთობის  
 ტექნიკურ პასპორტში) და საწარმოო, ანუ წინმსწრები და-  
 შვებები. იმისათვის, რომ თავი დაიზღვიონ ყოველგვარი შემ-  
 თხვევითობისაგან და ჰქონდეთ გარკვეული მარაგი გარან-  
 ტიის თვალსაზრისით, როგორც წესი, საწარმოო დაშვების  
 ინტერვალს უფრო ვიწროს იღებენ, ვიდრე საექსპლუატაციო  
 დაშვების ინტერვალს. 2.4. ნახაზზე სწორედ ეს ფაქტია  
 გამოსახული:  $\alpha_I$  და  $B_I$  X პარამეტრზე დაშვების ველის გა-  
 რანტირებული დაშვებების საზღვრებია, ხოლო  $\alpha_{II}$  და  $B_{II}$  -  
 საწარმოო. ცხადია, მსგავსი სურათი გვექნება  $\Delta_T$  ტექნოლო-  
 გიური გადახრის საზღვრებისთვისაც (იხ. ნახ. 2.4.).

წინმსწრები დაშვებების შემოღება მიზნად ისახავს  
 შეამციროს II გვარის შეცდომის ალბათობა, რომელიც

მოსალოდნელი შედეგების მიხედვით უფრო საშიშია (განსაკუთრებით მაშინ, როცა ნაკეთობის ვარგისობაზე დამოკიდებული ადამიანის სიცოცხლე და ჯანმრთელობა, ძვირადღირებული მანქანა-კომპლექსების თუ ტექნოლოგიური ხაზების გამართული მუშაობა და ა. შ. 2.5. ბ და 2.5 გ ნახაზებზე შესაბამისად გამოსახულია I და II გვარის შეცდომების ალბათობების ზონები წინმსწრები დაშვებების შემოღებამდე და მათი შემოღების შემდეგ.  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  და  $\psi_3$  განაწილების ფუნქციების ორდინატების გამოსახული ცვლილებები იმით აიხსნება, რომ შესაბამის ინტეგრალებში (იხ. 2.16-2.18) იცვლება ინტეგრირების საზღვრები. კერძოდ,  $\psi_1$  და  $\psi_3$  ფუნქციებისათვის იგი უფრო ფართო ხდება, ხოლო უფრო ვიწრო-  $\psi_2$  ფუნქციისათვის, სწორედ ამიტომ აქვს  $\psi_1$  და  $\psi_3$  ფუნქციებს არგუმენტების ძველი მნიშვნელობებისათვის მეტი სიდიდის ორდინატები, ხოლო  $\psi_2$  ფუნქციას - ნაკლები (ნახ. 2.5.ბ,გ). ეს, ბუნებრივია, იწვევს  $\alpha$  და  $\beta$  სიდიდეების გადანაწილებას, კერძოდ,  $\beta$  მცირდება, ხოლო  $\alpha$  იზრდება, რაც თვალსაჩინოდ არის გამოსახული 2.5. ნახაზზე. აქ  $\Delta_H^*$  და  $\Delta_B^*$  - თი



ნახ. 2.4

შესაბამისად აღნიშნულია წინმსწრები დაშვებების ქვედა და ზედა საზღვრები  $\Delta_T$  ტექნოლოგიური გადახრისათვის. კერტიკალური შტრიხებით დაფარული ფართობი შეესაბამება  $\alpha$  ალბათობას, ხოლო ჰორიზონტალური შტრიხებით დაფარული -  $\beta$  ალბათობას. ცხადია, (2.19) და (2.22)

ფორმულებში წინმსწრები დაშვებების შემოღება ცვლის მხოლოდ ინტეგრირების საზღვრებს - ყველგან  $\Delta_B$  ნაცვლად ჩასმული უნდა იქნეს  $\Delta_B^*$ , ხოლო  $\Delta_H$ -ის ნაცვლად -  $\Delta_H^*$ . 2.5. ბ

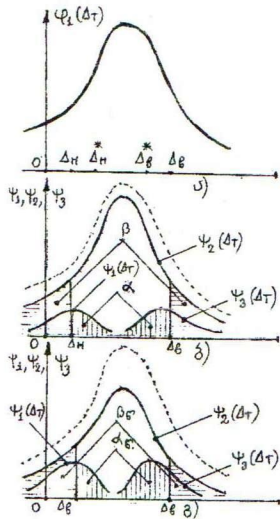
ნახაზზე  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  და  $\psi_3$  ფუნქციები მოცემულია (2.16), (2.17) და (2.18) ფორმულების მიხედვით (იმ დაშვებით, რომ  $\varphi_1(\Delta_T)$  ფუნქციას აქვს 2.5 ა ნახაზზე მოცემული სახე). 2.5 გ ნახაზზე იგივე ფუნქციებია გამოსახული, ოღონდ წინმსწრები დაშვების შემოღების შემთხვევაში (ე.ი. როცა  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  და  $\psi_3$  ფუნქციების განმსაზღვრელ ტოლობებში (2.16), (2.17) და (2.18) მოხდენილია შეცვლა  $\Delta_H \rightarrow \Delta_H^*$ ,  $\Delta_B \rightarrow \Delta_B^*$ ). ამ ფუნქციებისათვის გვაქვს:

$$\psi_1^*(\Delta_T) = \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_H^* - \Delta_T}^{\Delta_H^*} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K; \quad (2.29)$$

$$\psi_2^*(\Delta_T) = \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_H - \Delta_T}^{\Delta_B^* - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K; \quad (2.30)$$

$$\psi_3^*(\Delta_T) = \varphi_1(\Delta_T) \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K; \quad (2.30^1)$$

სწორედ განაწილების ჩამოთვლილ ფუნქციებში მომხდარი ცვლილებები აისახება I და II გვარის ალბათობების შესაბამის ფორმულებში, რომლებიც დაწერილია წინმსწრები დაშვების შემოღების გათვალისწინებით



ნახ. 2.5

$$\alpha_T = \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \psi_1(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T = \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_H^* - \Delta_T}^{\Delta_H^*} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K \right] d\Delta_T + \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K \right] d\Delta_T \quad (2.31)$$

$$\beta_T = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \psi_2(\Delta_T) d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \psi_3(\Delta_T) d\Delta_T = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_H^* - \Delta_T}^{\Delta_H^*} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K \right] d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_H - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K \right] d\Delta_T \quad (2.32)$$

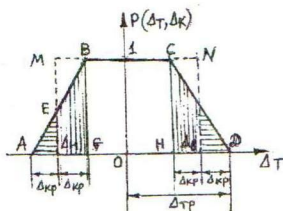
ხელთ გვექნება რა (2.31) და (2.32) ფორმულები, ყოველი საკონტროლო ობიექტისათვის შესაძლებელი იქნება შედარდეს ის დანახარჯები (ზარალი), რაც შეიძლება მოჰყვეს I და II გვარის შეცდომების დაშვებას და ამ შედა-

რების საფუძველზე დავასაბუთოთ  $\Delta_H^*$  და  $\Delta_B^*$  წინმსწრები დაშვებების სიდიდეების არჩევა.

კონტროლის შეცდომების აღბათობის ფორმულებში (2.31) და (2.32) კვადრატულ ფორნილებში მოთავსებული ინტეგრალი

$$P(\Delta_T, \Delta_K) = \int \Phi_2^{\Delta_B - \Delta_T}(\Delta_K) d\Delta_K \quad (\text{ან } P(\Delta_T, \Delta_K) = \int \Phi_2^{\Delta_B - \Delta_T}(\Delta_K) d\Delta_K)$$

წარმოადგენს კონტროლის პროცესის ოპერატიულ მახასიათებელს. იგი გვიჩვენებს ნაკეთობის ვარგისად მიჩნევის აღბათობის დამოკიდებულებას  $\Delta_T$  ცდომილების მნიშვნელობებზე ( $\Delta_K$  ცდომილების განაწილების მოცემული სიმკვრივისა და მოცემული მომენტების დროს  $M[\Delta_K]$ ,  $D[\Delta_K]$ ). ოპერატიული მახასიათებლის ტიპური სახე მოცემულია 2.6 ნახაზზე იმ შემთხვევისათვის, როცა  $\Delta_K$  განაწილებულია თანაბარი კანონით, მათემატიკური ლოდინით  $M[\Delta_K] = 0$  და დისპერსიით  $D[\Delta_K] = \Delta_{KP}^2 / 3$ , სადაც  $\Delta_{KP}$  არის  $\Delta_K$  ცდომილების ზღვრული სიდიდე. მახასიათებელს აქვს ABCD ტრაპეციის სახე, რომ არ იყოს გაზომვის ცდომილებები, მაშინ



ნახ. 2.6

მახასიათებელს ექნებოდა  $\Delta_H M N \Delta_B$  მართკუთხედის სახე - იდეალური ოპერატიული მახასიათებელი. ამ დროს 1-ის ტოლი აღბათობით ვარგისად ჩაითვლებოდა ყველა ის ნაკეთობა, რომლისთვისაც  $\Delta_T$  ტექნოლოგიური გადახრა მოთავსებულია დაშვების ველში (შესრულებდა (2.3) უტოლობა) ხოლო იმ ნაკეთობებისათვის, რომლებისთვისაც  $\Delta_T$  გადაის დაშვების ველიდან, ვარგისად ჩათვლის აღბათობა იქნებოდა ნულის ტოლი.  $\Delta_{TP}$ -თი გამოსახულია ტექნოლოგიური გადახრის ზღვრული სიდიდე, რომლის გადაჭარბების შემთხვევაში ნაკეთობა ასეთი გადახრით 1-ის ტოლი აღბათობით იქნება დაწუნებული კონტროლის შედეგად.

ოპერატიული მახასიათებლის ცნების გამოყენებით (2.20) და (2.21) ფორმულები, რომლებიც შეცდომების აღბა-

ობებს გამოსახავს, შეგვიძლია სხვა ფორმითაც ჩავწეროთ, კერძოდ:

$$\alpha = \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{-\infty}^{\Delta_T - \Delta_K} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K + \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_K) d\Delta_K \right] d\Delta_T =$$

$$= \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) [1 - P(\Delta_T, \Delta_K)] d\Delta_T ;$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{\Delta_H} \varphi_1(\Delta_T) P(\Delta_T, \Delta_K) d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \varphi_1(\Delta_T) P(\Delta_T, \Delta_K) d\Delta_T .$$

ბოლო ფორმულების მეშვეობით შესაძლებელია მოვძებნოთ მოცემული  $\Delta_H$ ,  $\Delta_B$ ,  $M[\Delta_T]$ , და  $D[\Delta_T]$  სიდიდეების შემთხვევაში  $M[\Delta_K]$ , და  $D[\Delta_K]$  მნიშვნელობები (ან უშუალოდ  $\Delta_{KP}$  სიდიდე), რომლისთვისაც უზრუნველყოფილია კონტროლის ხარისხანობის განმსაზღვრელი  $\alpha < P_{2P}$  და  $\beta < P_{2P}$  უტოლობების შესრულება.

დასასრულ შევნიშნოთ, რომ როცა კონტროლი უტარდება არა პროდუქციის მთელ მასას, არამედ ინდივიდუალურად ცალკეულ ნაკეთობას (განსაკუთრებით პასუხსაგები და უნიკალური ნაკეთობების წარმოების შემთხვევა), მაშინ კონტროლის უტყუარობა მთლიანად აიწერება ოპერატიული მახასიათებლით. შესაბამის პროცედურას, როგორც შედარებით იშვიათს მასობრივი და მსხვილსერიული წარმოების პირობებში, აქ არ განვიხილავთ, ხოლო დაინტერესებულ მკითხველს მივუთითებთ ლიტერატურას [ 2 ], სადაც ხსენებული პროცედურა საკმაოდ დეტალურადაა აღწერილი.

## 2.5. კონტროლის უტყუარობის ამაღლების მაჟორიტარული მოდელი

კონტროლის უტყუარობის ამაღლება ნიშნავს შეცდომების აღბათობების შემცირებას, ანუ სწორი გადაწყვეტილების მიღების აღბათობის გაზრდას (იხ. 2.8). შესაძლებელია კონტროლის ისეთი სისტემის აგება, რომელიც

გარკვეული სიჭარბის ხარჯზე საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ კონტროლის უტყუარობა. დავარქვათ სიჭარბე ისეთი ზღვრული ღონის დადგენას, მაგალითად  $k$ , როცა ერთი და იგივე პარამეტრის  $n$  გაზომვისას სისტემის მიერ არანაკლებ  $k$ -ჯერ ვარგისად იქნება მიჩნეული პროდუქცია ამ პარამეტრის მიხედვით, საერთო გადაწყვეტილება იქნება - "ვარგისია". სიჭარბე აქ იმით გამოიხატება, რომ ერთი გაზომვის ნაცვლად ატარებენ  $n > 1$  გაზომვას (ცხადია, გაზომვის პირობები უნდა იყოს უცვლელი). რადგან საერთო გადაწყვეტილების მიღება გარკვეულწილად გვაგონებს არჩევნების დროს ხმის მიცემის მაჟორიტარულ სისტემას, ამიტომ განსახილველ მოდელს მაჟორიტარული ("ხმის მიცემის") მოდელი ეწოდება. ბუნებრივია, მოვითხოვთ ისეთი  $k$ -ს შერჩევა, რომელსაც შეცდომების აღბათობების მინიმუმი შეესაბამება ( $1 \leq k \leq n$ ). მაჟორიტარული მოდელი, რომელსაც  $k$  რიცხვის შერჩევისადმი მსგავსი მიდგომა უდევს საფუძვლად, განხილულია ნაშრომებში [22, 23].

ეთქვათ, გასაკონტროლებელია პროდუქცია რომელიღაც  $X_i$  პარამეტრის მიხედვით. ისევე როგორც წინა პარაგრაფებში გვქონდა, აღვნიშნოთ  $A_i$  -ით ხდომილობა, რომ კონტროლზე შემოვა ვარგისი ნაკეთობა, ხოლო  $B_i$  -ით ხდომილობა, რომ კონტროლის შედეგად ნაკეთობა კლასიფიცირებული იქნება როგორც ვარგისი. მაშინ აღბათობა იმისა, რომ  $n$  გაზომვის შედეგად სულ მცირე  $k$ -ჯერ სინამდვილეში ვარგისი ნაკეთობა ვარგისადვე იქნება კლასიფიცირებული, ტოლია

$$P_{(k,n)}(A_i | B_i) = P(A_i) \sum_{j=k}^n C_n^j P^j(B_i/A_i) P^{n-j}(\bar{B}_i/A_i), \quad (2.33)$$

ხოლო წუნის სწორად დაწუნების აღბათობა იქნება

$$P_{(k,n)}(\bar{A}_i \bar{B}_i) = P(\bar{A}_i) \sum_{j=0}^{k-1} (C_n^j P^j B_i/\bar{A}_i) P^{n-j} (\bar{B}_i/\bar{A}_i) \quad (2.34)$$

(1) და (2) ფორმულებში  $A_i$  და  $B_i$  ხდომილობებია, რომლებიც შესაბამისად კონტროლზე წუნის გამოჩენას და კონტროლის შედეგად ნაკეთობის წუნად მიჩნევას გამოხატავს. (2.34) გეიჩვენებს ალბათობას, რომ გაზომვის  $n$  ცდაში არაუმეტეს  $(k-1)$ -ჯერ მიღებული იქნება კერძო გადაწყვეტილება "ნაკეთობა ვარგისია" იმ პირობით, რომ სინამდვილეში ნაკეთობა წუნია (საერთო გადაწყვეტილება ამ დროს, ცხადია, იქნება "ნაკეთობა წუნია"). კონტროლის უტყუარობა (2.8) -ის თანახმად იქნება  $(i)$  -ური პარამეტრის კონტროლი-სას).

$$P_{(k,n)i} = P_{(k,n)}(A_i B_i) + P_{(k,n)}(\bar{A}_i \bar{B}_i) = P(A_i) \sum_{j=k}^n (C_n^j P^j B_i/A_i) P^{n-j} \times \\ \times (\bar{B}_i/A_i) + P(\bar{A}_i) \sum_{j=0}^{k-1} (C_n^j P^j B_i/\bar{A}_i) P^{n-j} (\bar{B}_i/\bar{A}_i) \quad (2.35)$$

თუ უკანასკნელ გამოსახულებაში  $k = k_{\text{კვტ.}}$ , სადაც  $k_{\text{კვტ.}}$  არის  $k$  რიცხვის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც შეესაბამება უტყუარობის მაქსიმუმი, მაშინ  $D_{(k+1,n)i}$  უტყუარობა არ უნდა აღემატებოდეს  $D_{(k,n)i}$  უტყუარობას. სხვა სიტყვებით,  $k_{\text{კვტ.}}$ -ის მნიშვნელობა შეიძლება ვიპოვოთ შემდეგი განტოლების ამოხსნით:

$$\Delta D = D_{(k+1,n)i} - D_{(k,n)i} = 0 \quad (2.36)$$

$D_{(k+1,n)i}$  -სთვის გამოსახულება შეიძლება მივიღოთ (2.35) -ის საფუძველზე, თუ I შესაკრებში ჯამის სიმბოლოში  $J = k$  ჩანაწერს შევცვლით  $J = k + 1$  ჩანაწერით, ხოლო II შესაკრებში - ასევე  $k - 1$  -ის ნაცვლად ჩავსვათ  $k$  -ს. ძნელი არ არის დაგრწმუნდეთ, რომ (2.36) მიიღებს სახეს

$$\Delta D = C_n^k [ p(A_i) p^k(B_i/A_i) p^{n-k}(\bar{B}_i/A_i) - p(\bar{A}_i) p^k(B_i/\bar{A}_i) \times \\ \times p^{n-k}(\bar{B}_i/\bar{A}_i) ] = 0 \quad (2.37)$$

ამ განტოლების ამონახსნია

$$K^1 = \frac{\log [ p (A_i) p^n (\bar{B}_i/A_i) ] - \log [ p (\bar{A}_i) p^n (\bar{B}_i/\bar{A}_i) ]}{\log [ p (\bar{B}_i/A_i) p (B_i/\bar{A}_i) ] - \log [ p (B_i/A_i) p (\bar{B}_i/\bar{A}_i) ]} \quad (2.38)$$

(2.38) -ის მიხედვით გამოთვლილი  $K^1$  იშვიათად თუ იქნება მთელი რიცხვი (გამოთვლების მიღებული სიზუსტით), ამიტომ მიღებული პასუხი დამრგვალებას საჭიროებს. ვიდრე დამრგვალების წესს განვიხილავდეთ, გავანალიზოთ (2.37) გამოსახულება. ცხადია,  $\Delta D(k^1) = 0$ . დაუშვათ, რომ  $P(B/A) \gg P(B/\bar{A})$  (პრაქტიკულად ეს ყოველთვის ასეცაა), მაშინ შეიძლება ვუჩვენოთ, რომ  $\Delta D(k^1) < 0$ , როცა  $k > k^1$  და  $\Delta D(k) > 0$ , როცა  $k < k^1$ . ეს იმას მოასწავებს, რომ  $D_{(k,n)}$  იზრდება  $k < k^1$  დროს და მცირდება  $k > k^1$  დროს. ამრიგად, თუ  $k^1$  მთელია, მაშინ  $k^1$  და  $k^1 + 1$  რიცხვები იძლევა  $D_{(k,n)}$  გამოსახულების მაქსიმუმს, მაგრამ გადაწყვეტილება მიიღება  $k^1$ -ის მიხედვით. ე. ი. ამ დროს  $k_{\text{ობგ}} = k^1$ . როცა  $k^1$  არ არის მთელი რიცხვი, მაშინ  $k_{\text{ობგ}}$  უნდა შეირჩეს შემდეგი წესის თანახმად:

$$k_{\text{ობგ}} = \begin{cases} n, & \text{როცა } [k^1] \geq n \\ [k^1] + 1, & \text{როცა } 1 \leq [k^1] \leq n \\ 1, & \text{როცა } [k^1] < 1 \end{cases}$$

უკანასკნელ გამოსახულებაში  $[k^1]$  აღნიშნავს უდიდეს მთელ რიცხვს, რომელიც არ აღემატება  $k^1$ , ანუ  $k^1$ -ის მთელ ნაწილს, შეიძლება ვუჩვენოთ, რომ (2.35) -ში  $k = k_{\text{ობგ}}$  ჩასმის შედეგად მიღებული  $D_{(k,n)}$  უტყუარობა ყოველთვის მეტია, ვიდრე (2.8) -ით გამოთვლილი  $D$  უტყუარობა.

## 2.1. საკონტროლო პარამეტრების ნომენკლატურის რაციონალური შერჩევის პრინციპები

ნაკეთობის ხარისხის განსაზღვრისას კონტროლს უმჯობესა ვუჭვმდებარებოდეს არა ერთი, არამედ ერთდროულად რამდენიმე პარამეტრი, რომლებიც განაპირობებს საკონტროლო პარამეტრის ხარისხს. საკონტროლო პარამეტრების რიცხვის ზრდა, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევია მთელი ნაკეთობის ხარისხის განსაზღვრისას, იწვევს კონტროლის ნატარებისთვის საჭირო დროისა და მატერიალური სახსრების საგრძნობ გადიდებას. ამიტომ ბუნებრივია მიმწარაუბა საკონტროლო პარამეტრების რიცხვის შემცირებისაკენ კონტროლის ხარისხიანობის და უტყუარობის გაზარტვების გარეშე. როგორც პრაქტიკული გამოცდილება უჩვენებს, ასეთი რამ სავსებით შესაძლებელია, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საკონტროლო პარამეტრებს შორის არსებობს ღრმა კორელაციური კავშირი. საკონტროლო პარამეტრის ნომენკლატურის (რიცხვის) რაციონალური შერჩევა გულისხმობს სწორედ მათი რაოდენობის დაყვანას დასაბუთებულ მინიმუმამდე. დასახელებული ამოცანის გადაწყვეტისათვის ზოგადად საჭიროა ხელთ გვექონდეს შემდეგი ინფორმაცია [2].

1. დაშვების ველების საზღვრები  $[X_{\text{HI}} ; X_{\text{BI}}]$  უწყველი საკონტროლო პარამეტრისათვის;
2. დაშვებების მოცემულ ფარგლებში საკონტროლო პარამეტრების განაწილების რიცხვითი მახასიათებლები - მათემატიკური ლოდინები  $m_i$  და საშუალო კვადრატული გადახრები  $n_i$  (სერიული წარმოების დროს);
3. პარამეტრების მნიშვნელობათა განაწილების კანონების სახეები;
4. მონაცემები საკონტროლო პარამეტრებს შორის კორელაციური კავშირის შესახებ და წყვილ-წყვილი კორელაციის კოეფიციენტების სიდიდეები  $\rho_{ij}$ ;

5. კონტროლის შეცდომების ალბათობების დასაშვები მნიშვნელობები  $P_{1p}, P_{2p}$ .

ცხადია, ნაკეთობის დაპროექტების სტადიაზე ამგვარი ამომწურავი ინფორმაცია არ გაგვაჩნია. კერძოდ, შეუძლებელია გექონდეს მონაცემები პარამეტრების განაწილების კანონების სახეებისა და რიცხვითი მახასიათებლების შესახებ, რომელთა მოპოვება შეიძლება მხოლოდ ნაკეთობის დამზადების მომდევნო ეტაპზე და რომლებიც დამოკიდებულია შესაბამისი ტექნოლოგიური პროცესების თავისებურებებზე. ასევე, არ გაგვაჩნია მონაცემები პარამეტრებს შორის კორელაციური კავშირის შესახებ. ბუნებრივია, ნათქვამიდან გამომდინარე დაპროექტების სტადიაზე შესაძლებელია მხოლოდ მიახლოებითი გაანგარიშების ჩატარება (ნაკეთობის პარამეტრული მოდელისა და გამამარტივებული დაშვების გაკეთების საფუძველზე), რომელიც სტატისტიკური მონაცემების დაგროვების კვალობაზე უნდა დაზუსტდეს.

უმარტივესი რეალური ამოცანა, რომლის გადაწყვეტა აუცილებელია საკონტროლო პარამეტრების ნომინკლატურის რაციონალური შერჩევისათვის (ჭარბი პარამეტრების გამორიცხვის მიზნით ნორმატიული დოკუმენტების შემუშავებისა და ექსპლუატაციის დროს), მდგომარეობს შემდეგში: უნდა განისაზღვროს ალბათობა იმისა, რომ  $X_1(X_2)$  პარამეტრის გაზომილი მნიშვნელობების მოხვედრისას დაშვების ველში  $X_2(X_1)$  პარამეტრის მნიშვნელობაც მოხვედება თავის დაშვების ველში. ის ხდომილობები, რომლებიც შეესაბამება ამ ალბათობის მინიმალურ მნიშვნელობას, განისაზღვრება უტოლობებით:

$$\begin{cases} X_{H2}(X_{H1}) \leq X_2(X_1) \leq X_{B2}(X_{B1}) / X_1(X_2) = X_{H1}(X_{H2}) & (2.40) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{H2}(X_{H1}) \leq X_2(X_1) \leq X_{B2}(X_{B1}) / X_1(X_2) = X_{B1}(X_{B2}) & (2.41) \end{cases}$$

ეს ჩანაწერები ასე გაიშიფრება:  $X_2$  (ან  $X_1$ ) იმყოფება მოცემული დაშვების ფარგლებში  $[X_{H2}; X_{B2}]$  ან  $([X_{H1}; X_{B1}])$  იმ

პირობით (როცა), რომ მეორე პარამეტრი  $X_1$  (ან  $X_2$ ) იმყოფება თავისი დაშვების ველის ქვედა (2.40) ან ზედა (2.41) საზღვარზე. ამრიგად, უნდა გამოვთვალოთ შემდეგი ალბათობები:

$$P_{11}(X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{H1});$$

$$P_{12}(X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1});$$

$$P_{21}(X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{H2});$$

$$P_{22}(X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{B2}).$$

თუ პირობითი ალბათობების მიღებული მნიშვნელობები  $P_{11}$  და  $P_{12}$  არ არის ნაკლები რაღაც დასაშვებ  $P_{\text{დ}}$  მნიშვნელობაზე, მაშინ მიზანშეწონილია კონტროლი ჩაუტარდეს მხოლოდ  $X_1$  პარამეტრს, ხოლო  $X_2$  გამოირიცხოს საკონტროლო პარამეტრების ნომენკლატურიდან. ანალოგიურად, თუ სრულდება  $P_{21} \geq P_{\text{დ}}$  და  $P_{22} \geq P_{\text{დ}}$  უტოლობები, მაშინ უნდა განხორციელდეს მხოლოდ  $X_2$  პარამეტრის კონტროლი, ხოლო  $X_1$  -ის გაკონტროლება აღარ იქნება საჭირო.  $P_{\text{დ}}$  ალბათობის არჩევისათვის სარგებლობენ  $P_{\text{დ}} = 1 - P_{2p}$  ტოლობით, სადაც  $P_{2p}$  ადრე მიღებული შეთანხმების თანახმად აღნიშნავს კონტროლის II გვარის შეცდომის დასაშვებ ალბათობას საკონტროლო პარამეტრების ნომენკლატურიდან გამორიცხული პარამეტრებისათვის. ეს მოასწავებს იმას, რომ წუნის გაპარვის ალბათობა  $\beta$ , განპირობებული გამორიცხული პარამეტრის გასვლით დასაშვებ ფარგლებს გარეთ, არ იქნება იმ  $P_{2p}$  მნიშვნელობაზე მეტი, რაც კონტროლით უნდა იყოს უზრუნველყოფილი. რაც შეეხება გამორიცხული პარამეტრის კონტროლის I გვარის შეცდომის ალბათობას, იგი საერთოდ შეიძლება არ გავითვალისწინოთ, რადგან საკონტროლოდ დარჩენილი პარამეტრის გასვლისას დაშვების ველიდან ნაკუთობა უკვე დაწუნებული იქნება ამ პარამეტრის მიხედვით.

დავუშვათ, რომ  $X_1$  და  $X_2$  პარამეტრების ერთობლივი განაწილების კანონი ნორმალურია და მისი სიმკვრივეა

$$\varphi(X_1, X_2) = \frac{1}{2\pi \sigma_1 \sigma_2 \sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[ \frac{(X_1 - m_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{2\rho(X_1 - m_1)(X_2 - m_2)}{\sigma_1 \sigma_2} + \frac{(X_2 - m_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\} \quad (2.42)$$

სადაც  $\rho = \rho_{12}$  არის  $X_1$  და  $X_2$  პარამეტრებს შორის კორელაციის ნორმირებული კოეფიციენტი.  $X_1$  და  $X_2$  განაწილების პირობითი სიმკვრივეებისათვის გვექნება:

$$\varphi_1(x_2/x_1) = \frac{\varphi_1(x_2, x_1)}{\varphi_1(x_1)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi \sigma_2 \sqrt{1-\rho^2}}}$$

$$\cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} - \rho \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right)^2 \right\} \quad (2.43)$$

$$\varphi_2(x_1/x_2) = \frac{\varphi_1(x_1, x_2)}{\varphi_1(x_2)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi \sigma_1 \sqrt{1-\rho^2}}}$$

$$\cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} - \rho \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right)^2 \right\}$$

დაშვება  $X_1$  და  $X_2$  პარამეტრების გაზომილ მნიშვნელობათა ერთობლივი განაწილების კანონის ნორმალურობის შესახებ სინამდვილესთან მით უფრო ახლოს იქნება, რაც მეტი იქნება უცვლელ გარემო პირობებში ამ პარამეტრების გაზომვათა საერთო რიცხვი - ეს დასკვნა გამომდინარეობს ალბათობათა თეორიის ცენტრალური ზღვრული თეორემიდან.

იმის გასარკვევად, განსახილველ შემთხვევაში შესაძლებელია თუ არა რომელიმე ერთ-ერთი პარამეტრის გამოკრძევა, საჭიროა გამოეთვალათ შემდეგი ალბათობები:

დადებითი კორელაციის დროს, როცა  $\rho > 0$ ,

$$P_{11}^+ = P ( X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{H1} ) \approx P ( X_{H2} \leq X_2 / X_1 = X_{H1} ) = \\ = 1 - \int_{-\infty}^{X_{H2}} \Phi_1(X_2 / X_{H1}) dX_2 = 1 - \Phi \left[ \frac{X_{H2} - m_2 - \rho (b_2 / b_1) (X_{H1} - m_1)}{b_2 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]; \quad (2.44)$$

$$P_{12}^+ = P ( X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1} ) \approx P ( X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1} ) = \\ = \int_{-\infty}^{X_{H2}} \Phi_1(X_2 / X_{H1}) dX_2 = \Phi \left[ \frac{X_{B2} - m_2 - \rho (b_2 / b_1) (X_{B1} - m_1)}{b_2 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]. \quad (2.45)$$

(2.44) -ში  $P ( X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1} ) \approx P ( X_{H2} \leq X_2 / X_1 = X_{H1} )$  მიახლოებითი ტოლობა) საკმაო სიზუსტით სრულდება, რადგან  $X_2 > X_{B2}$  უტოლობის შესრულების ალბათობა, როცა  $X_1 = X_{H1}$ , დადებითი კორელაციისას  $X_1$  და  $X_2$  პარამეტრებს შორის ძალზე მცირეა (სწორედ ამიტომაც გამოტოვებული მიახლოებითი ტოლობის მარჯვენა ნაწილში  $X_2 \leq X_{B2}$ ). ანალოგიურად, (2.45) -ში მსგავსი მოსაზრების საფუძველზე უგულებელყოფილი  $X_{H2} \leq X_2$  უტოლობა - როცა  $X_1 = X_{B1}$ , მაშინ  $\rho > 0$  პირობებში  $X_2 \leq X_{H2}$  უტოლობის შესრულების ალბათობა პრაქტიკულად ნულის ტოლია. იგივე ხასიათის მოსაზრებები უდევს საფუძველად მიახლოებით გადასვლებს დანარჩენ ფორმულებშიც (2.46...2.51). გწერთ:

$$P_{21}^+ = P ( X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{H2} ) \approx P ( X_{H1} \leq X_1 / X_2 = X_{H2} ) =$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^{X_{H1}} \phi_2(X_1 / X_{H2}) dX_1 = 1 - \Phi \left[ \frac{X_{H1} - m_1 - \rho (b_1 / b_2) (X_{H2} - m_2)}{b_1 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]; \quad (2.46)$$

$$P_{22}^+ = P ( X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{B2} ) \approx P ( X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{B2} ) = \\ = \int_{-\infty}^{X_{B1}} \phi_2(X_1 / X_{B1}) dX_1 = \Phi \left[ \frac{X_{B1} - m_1 - \rho (b_1 / b_2) (X_{B2} - m_1)}{b_1 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]. \quad (2.47)$$

თუ  $X_1$  და  $X_2$  პარამეტრებს შორის უარყოფითი კორელაციაა ( $\rho < 0$ ), მაშინ

$$P_{11}^- = P ( X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{H1} ) \approx P ( X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{H1} ) = \\ = \int_{-\infty}^{X_{H2}} \phi_1(X_2 / X_{H1}) dX_2 = \Phi \left[ \frac{X_{B2} - m_2 - \rho (b_2 / b_1) (X_{H1} - m_1)}{b_2 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]; \quad (2.48)$$

$$P_{11}^- = P ( X_{H2} \leq X_2 \leq X_{B2} / X_1 = X_{B1} ) \approx P ( X_{H2} \leq X_2 / X_1 = X_{B1} ) = \\ = 1 - \int_{-\infty}^{X_{H2}} \phi_1(X_2 / X_{B1}) dX_2 = 1 - \Phi \left[ \frac{X_{H2} - m_2 - \rho (b_2 / b_1) (X_{B1} - m_1)}{b_2 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]; \quad (2.49)$$

$$P_{21}^- = P ( X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{H2} ) \approx P ( X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{H2} ) = \\ = \int_{-\infty}^{X_{B1}} \phi_2(X_1 / X_{H2}) dX_1 = \Phi \left[ \frac{X_{B1} - m_1 - \rho (b_1 / b_2) (X_{H2} - m_2)}{b_1 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]; \quad (2.50)$$

$$P_{22}^- = P ( X_{H1} \leq X_1 \leq X_{B1} / X_2 = X_{B2} ) \approx P ( X_{H1} \leq X_1 / X_2 = X_{B2} ) = \\ = 1 - \int_{-\infty}^{X_{H1}} \phi_2(X_1 / X_{B2}) dX_1 = 1 - \Phi \left[ \frac{X_{H1} - m_1 - \rho (b_1 / b_2) (X_{B2} - m_2)}{b_1 \sqrt{1 - \rho^2}} \right]. \quad (2.51)$$

(2.44...2.51) ფორმულებში ყველგან

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

არის ლაპლასის ნორმირებული ფუნქცია. პრაქტიკული გამოთვლების დროს ზოგჯერ შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს დასახელებული ფუნქციის შემდეგი თვისების -  $\Phi(-X) = 1 - \Phi(X)$  გამოყენება.

მაშასადამე,  $\rho > 0$  შემთხვევაში დაეკმაყოფილდებით  $P_{11}^+$ ,  $P_{12}^+$ ,  $P_{21}^+$  და  $P_{22}^+$  ალბათობების გამოთვლით, ხოლო როცა  $\rho < 0$ , გამოთვლით  $P_{11}^-$ ,  $P_{12}^-$ ,  $P_{21}^-$  და  $P_{22}^-$  ალბათობებს. ამის შემდეგ გამოთვლილ ალბათობებს ვადარებთ  $P_{\mathcal{L}}$  სიდიდეს, თუ აღმოჩნდება, რომ  $P_{11}$  და  $P_{12}$  ერთდროულად მეტია  $P_{\mathcal{L}}$  -ზე, მაშინ  $X_2$  პარამეტრი უნდა გამოირიცხოს საკონტროლო პარამეტრების ნომენკლატურიდან - ამ დროს რომ ჩაგვეტარებინა კიდევ კონტროლი  $X_2$  პარამეტრის მიხედვით, ნაკეთობა ჩაითვლებოდა  $P_{\mathcal{L}}$  -ზე მეტი ალბათობით ვარგისად იმ პირობით, რომ იგი ვარგისია  $X_1$  პარამეტრის მიხედვით. ასევე, თუ ერთდროულად  $P_{21}$  და  $P_{22}$  ალბათობები აღმოჩნდება  $P_{\mathcal{L}}$  -ზე მეტი, კონტროლის ხარისხის გაუარესების გარეშე კონტროლიდან შეიძლება გამოვირიცხოთ  $X_1$  პარამეტრი.

შესაძლებელია ისეთი შემთხვევაც, როცა ოთხივე გამოთვლილი ალბათობა მეტია  $P_{\mathcal{L}}$  -ზე. ამ დროს სურვილისამებრ შეგვიძლია გამოვირიცხოთ ან  $X_1$  ან  $X_2$  პარამეტრი. ცხადია, ეს სურვილი უნდა ემყარებოდეს ტექნიკურ-ეკონომიკურ მოსაზრებებს - რამდენად ხელსაყრელია ამა თუ იმ პარამეტრის დატოვება საკონტროლოდ კონტროლის ტექნი-

კური რეალიზაციისა და შესაბამისი დანახარჯების ოპტიმალურობის თვალსაზრისით.

## 2.7. გაზომვის საშუალებების არჩევის ამოცანა

გაზომვის საშუალებების არჩევის ამოცანა თვით ყველაზე ტრივიალურ შემთხვევაშიც კი არც ისე იოლი გადასაწყვეტია, როგორც ეს ერთი შეხედვით ჩანს. ცხადია, სწორად არჩეული გაზომვის საშუალებების სიზუსტე არ უნდა იყოს მოთხოვნილზე ნაკლები, მაგრამ ამ უკანასკნელის გადაფარვაც დიდი სიჭარბით არ არის რეკომენდებული, რადგან მხედველობაში უნდა მივიღოთ საკითხის ეკონომიკური მხარე - მაღალი სიზუსტის გაზომვის საშუალებების ექსპლუატაცია ძვირი ღირს და მაშასადამე, მოთხოვნილზე ბევრად მეტი სიზუსტის უზრუნველყოფა გაუმართლებელ ფუფუნებად შეიძლება ჩაითვალოს. ძირითადი მოთხოვნა გაზომვის საშუალებების სწორი არჩევის ამოცანისადმი არის ტექნიკური მოწყობილობების გასაზომი პარამეტრების გაზომვის მოთხოვნილი სიზუსტის უზრუნველყოფა ამპლიტუდურ და სიხშირულ დიაპაზონში მინიმალური მატერიალური დანახარჯებით. იმავდროულად საჭიროა იმ პირობების გათვალისწინება, რომლებშიც ჩატარდება გაზომვა და აგრეთვე, გაზომვის დასაშვები ხანგრძლივობა. აღნიშნული პირობების ანალიზის დროს განსაზღვრავენ [ 9 ]:

1. გაზომვის საშუალებებზე მექანიკური ზემოქმედებების (ვიბრაციის, რყევის, დარტყმის, აჩქარების და ა.შ.) დონეებს;

2. კლიმატური ფაქტორების (ტემპერატურა, ატმოსფერული წნევა, ტენიანობა) მნიშვნელობებს;

3. იმ აგრესიული, დამანგრეველი გარემოს არსებობას, რომლის ზემოქმედებისათვის არ არის გათვალისწინებული გაზომვის საშუალება;

4. გარე ელექტრული, მაგნიტური, რადიაციული და სხვა ველების არსებობას, რომელთა დეზინფორმაციული მოქმედებისაგან საჭიროა გაზომვის საშუალების დაცვა.

მარტივი საზომი ამოცანის პირობებში, როცა საჭიროა ტექნიკური მოწყობილობის პარამეტრების გაზომვა, გაზომვის საშუალებების არჩევის საკითხი არაიშვიათად წყდება ევრისტიკულ დონეზე, პრაქტიკული გამოცდილების საფუძველზე. ასეთ შემთხვევებში რეკომენდაციები გაზომვის საშუალებების არჩევისათვის ზოგადი ხასიათისაა, რაც პრაქტიკულად ზემოთ უკვე იყო ჩამოყალიბებული - სწორად არჩეულმა გაზომვის საშუალებებმა უნდა უზრუნველყოს მოწყობილობათა პარამეტრების გაზომვა მოცემულ დიაპაზონში აუცილებელი სიზუსტით, სწრაფქმედებით გარემოს განსაზღვრულ პირობებში. არჩეული საშუალებები უნდა იყოს მისაღები ღირებულების მიხედვით, შესაფერისი ერგონომიკული, მასაგაბარიტული და სხვა მახასიათებლების მიხედვით.

ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე, როცა შეიმჩნევა ტექნიკური მოწყობილობების გართულების, ავტომატიზაციის დონის ამაღლების ტენდენცია და ამასთან დაკავშირებით არსებობს ერთდროულად რამდენიმე ათასი პარამეტრის ზუსტი განსაზღვრის აუცილებლობა, ნათელი ხდება ფრიად გაზრდილი პასუხისმგებლობა მოპოვებული საზომი ინფორმაციის საფუძველზე გადაწყვეტილებების მიღებაზე. რთული კომპლექსებისა და სისტემების ექსპლუატაციის მეტროლოგიური უზრუნველყოფის ამოცანის გადაჭრაში სულ უფრო მზარდი როლი და მნიშვნელობა ენიჭება გაზომვათა საშუალებების სწორ არჩევას. ამ პირობებში გაზომვათა საშუალებების რაციონალური არჩევა ევრისტიკულ დონეზე პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან გარდა უკვე დასახელებული გარემოებებისა, გასათვალისწინებელია ასარჩევი საშუალებების საიმედოობა, მათი პე-

რიოდული დამოწმების სიხშირე და ღირებულება, მდგრადობა გარე ფაქტორების მიმართ და სხვა. ამიტომ გაზომვათა საშუალებებს ირჩევენ ექსპლუატაციაში მყოფი ტექნიკური მოწყობილობის საიმედოობაზე მათი გავლენის გათვალისწინებით. ამრიგად, მას შემდეგ, რაც აირჩევა გაზომვათა საშუალებების შესაფერისი (ფუნქციური დანიშნულების მიხედვით) ტიპი, არჩევანი ტიპის შიგნით უნდა შეჩერდეს იმ ხელსაწყოებზე, რომელთა დიაპაზონი გადაფარავს საკონტროლო (საზომი) პარამეტრების დიაპაზონს, ექნება მდგრადობა გარე ზემოქმედებებისადმი, მასაგაბარიტული მონაცემებით შესაფერისი იქნება ჩატარებული გაზომვისათვის და ამავე დროს ექნება მინიმალური სიჭარბე სიზუსტის მახასიათებლების მიხედვით. როგორც სადღეისოდ მიღებულია [2, 9], სიზუსტის მიხედვით გაზომვის საშუალებათა არჩევის ამოცანისადმი მიდგომა ეფუძნება ამ საშუალებათა გამოყენების ორი სხვადასხვა შემთხვევის განხილვას:

1. მოწყობილობათა პარამეტრების გაზომვა;
2. პარამეტრების კონტროლი.

პირველ შემთხვევაში არჩევის ამოცანა დაიყვანება  $\Delta_{\beta} \leq \Delta_{\beta}$  უტოლობის შესრულებაზე, სადაც  $\Delta_{\beta}$  არის გაზომვათა არჩეული საშუალების ფაქტობრივი ჯამური ცდომილების ზედა ზღვარი, ხოლო  $\Delta_{\beta}$  - მოთხოვნილი მაქსიმალურად დასაშვები ცდომილების სიდიდე, რომელიც მოცემული უნდა იყოს მოწყობილობის ტექნიკურ პირობებში ან ტექნიკურ დავალებაში. მეორე შემთხვევაში, რომლისადმი მიდგომა დაწერილებითაა განხილული წინამდებარე სახელმძღვანელოს 2.2 და 2.3 პარაგრაფებში, მოითხოვება შემდეგი პირობების დაცვა:

$$\alpha \leq P_{1\beta}; \quad \beta \leq P_{2\beta} \quad (2.52)$$

ეს უტოლობები თითქმის არ განსხვავდება 2.2 -ში მოტანილი მსგავსი უტოლობებისაგან (2.2 -ში საუბარი იყო კონტრო-

ლის შეცდომების I და II გვარის უპირობო ალბათობებზე  $\alpha$  და  $\beta$ , შესაბამისად  $P_{1\alpha}$  და  $P_{2\alpha}$  წარმოადგენდა დასაშვებ მნიშვნელობებს ამ ალბათობებისათვის). (2.52) -ის მიხედვით იზღუდება I და II გვარის შეცდომების ალბათობების სიდიდეები, ოღონდ აქ ნაგულისხმევაა პირობითი ალბათობები და შესაბამისად დასაშვები მნიშვნელობები მათთვის. თუ მხედველობაში მივიღებთ წინმსწრებ დაშვებებსაც, მაშინ  $\alpha^*$  და  $\beta^*$  ალბათობებისათვის (2.31) და (2.32) -ის საფუძველზე გვექნება

$$\alpha^* = \alpha^*_{\bar{A}} = \frac{P(B/A)}{P(A)} = \frac{\int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\infty}^{\Delta_B - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_k) d\Delta_k + \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_k) d\Delta_k \right] d\Delta_T}{\int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) d\Delta_T} \quad (2.53)$$

$$\beta^* = \beta^*_{\bar{A}} = \frac{P(B/\bar{A})}{P(\bar{A})} = \frac{\int_{\infty}^{\Delta_H} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_B}^{\Delta_B - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_k) d\Delta_k + \int_{\Delta_B - \Delta_T}^{\infty} \varphi_2(\Delta_k) d\Delta_k \right] d\Delta_T + \int_{\Delta_B}^{\infty} \varphi_1(\Delta_T) \left[ \int_{\Delta_H}^{\Delta_B - \Delta_T} \varphi_2(\Delta_k) d\Delta_k \right] d\Delta_T}{1 - \int_{\Delta_H}^{\Delta_B} \varphi_1(\Delta_T) d\Delta_T} \quad (2.54)$$

გავიხსენოთ, რომ  $\varphi_1(\Delta_T)$  არის საკონტროლო X პარამეტრის ტექნოლოგიური  $\Delta_T$  გადახრის განაწილების კანონი,  $\varphi_2(\Delta_k)$  - გაზომვის საშუალების  $\Delta_k$  ცდომილების განაწილების კანონი,  $\Delta_H$  და  $\Delta_B$  - გარანტირებული დაშვებები  $\Delta_T$  ტექნოლოგიური გადახრისათვის,  $\Delta_H^*$  და  $\Delta_B^*$  - წინმსწრები (საწარმო) დაშვებები იგივე გადახრისათვის. ზოგჯერ [9], როცა წინმსწრები დაშვებები სიმეტრიულია, ე.ი.  $\Delta_B - \Delta_B^* = \Delta_H^* -$

$-\Delta_H = \varepsilon$ , სადაც  $\varepsilon$  დაშვების ველის შევიწროების გარანტირებული აბსოლუტური სიდიდეა, (2.53) და (2.54) -ში აკეთებენ ჩასმებს:  $\Delta_B^* = \Delta_B - \varepsilon$  და  $\Delta_H^* = \Delta_H - \varepsilon$  და უკანასკნელ ტოლობებს შესაბამისი ფორმით წარმოადგენენ, მაგრამ აქ წარმოდგენილი (2.53) და (2.54) განტოლებები უფრო ზოგადი ხასიათისაა, რამეთუ არ არის აუცილებელი დაშვების ველის წინასწარ სიმეტრიულად შევიწროება. საქმე ისაა, რომ დაშვების ველის შევიწროება ანუ წინმსწრები დაშვებების შემოღება, როგორც უკვე ვიცით, იწვევს  $\alpha$  და  $\beta$  ალბათობების გადაანაწილებას (კერძოდ, მცირდება  $\beta$  და იზრდება  $\alpha$ ), მაგრამ ეს გადაანაწილება არასიმეტრიულია დაშვების ველის ორმხრივი სიმეტრიული შევიწროების დროსაც. ამიტომ შეცდომების ალბათობების სასურველი გადაანაწილებისათვის უფრო მოქნილი შეიძლება აღმოჩნდეს არასიმეტრიული შევიწროება. სწორედ ამიტომაც წარმოდგენილი წინამდებარე ნაშრომში (2.53) და (2.54) თანაფარდობები ზოგადი სახით.

ამრიგად, დავუშვებთ რა პირობითი ალბათობების მნიშვნელობებს: ცრუ და აღმოუჩენელი მტყუნებებისათვის (ცრუ განგაში, წუნის გაპარვა), შეეძლებოდა დავადგინოთ უკანასკნელი ტოლობების საფუძველზე მოთხოვნები პარამეტრების გაზომვების ცდომილებებისადმი და ე.ი. შევარჩიოთ სიზუსტის მიხედვით შესაფერისი გაზომვათა საშუალებები.

ის ამოსავალი მონაცემები, რომლებიც აუცილებელია სიზუსტის მიხედვით გაზომვის საშუალებების არჩევისას, შემდეგია:

მოწყობილობის გასაზომი და საკონტროლო პარამეტრების შედგენილობა;

საკონტროლო პარამეტრების გადახრებზე დაშვებების მნიშვნელობები და გასაზომი პარამეტრების განსაზღვრის დასაშვები ჯამური ცდომილებები;

ცრუ და აღმოუჩენელი მტყუნებების პირობითი აღ-  
 ბათობების დასაშვები მნიშვნელობები თითოეული საკონ-  
 ტროლო პარამეტრისათვის;

საკონტროლო პარამეტრების მათივე ნომინალური  
 მნიშვნელობებიდან გადახრის განაწილების კანონები.

პარამეტრების საკონტროლო გაზომვის საშუალებე-  
 ბის არჩევისას საჭიროა გამოეთვალათ გაზომვის ჯამური  
 ცდომილების დასაშვები სიდიდე

$$\Delta_8 = |\sigma_3| R \quad (2.55)$$

სადაც  $|\sigma_3|$  არის საკონტროლო პარამეტრის გაზომვის  
 შედეგზე დაშვების ველის სიგანის აბსოლუტური მნიშვნე-  
 ლობა,  $R$ - შეფარდების “ გაზომვის ცდომილება / საკონტრო-  
 ლო პარამეტრის გადახრა ნომინალიდან”- დასაშვები მნიშ-  
 ვნელობა.  $R$  სიდიდის მნიშვნელობა ცალ-ცალკე უნდა გა-  
 ნისაზღვროს შეცდომების პირობითი აღბათობების დასა-  
 შვები მნიშვნელობების მიხედვით. ამასთან მხედველობაში  
 უნდა იყოს მიღებული საკონტროლო პარამეტრისა და მისი  
 გაზომვის ცდომილებების განაწილების კანონი.

პრაქტიკაში ყოველთვის როდია ცნობილი ამოსავალი  
 მონაცემები, რომლებიც აუცილებელია გაზომვის საშუა-  
 ლებების სწორი არჩევისათვის სიზუსტის მიხედვით - ხში-  
 რად არ გვაქვს მონაცემები ხსენებული განაწილების კა-  
 ნონის შესახებ, ვიცით მხოლოდ დაშვების ველის სიგანე სა-  
 კონტროლო პარამეტრისათვის. ასეთ შემთხვევებში გაზომ-  
 ვის საშუალებებს ირჩევენ სიზუსტის კოეფიციენტის  $K_n$  მი-  
 ხედვით. იგი უჩვენებს საკონტროლო პარამეტრისათვის და-  
 შვების ველის სიგანის  $\sigma_3$  შეფარდებას გაზომვათა ჯამური  
 ცდომილების ზღვრულ მნიშვნელობასთან

$$K_n = K_n / \Delta_8 \quad (2.56)$$

გაზომვის საშუალებას ამ დროს ისე ირჩევენ, რომ  
 $K_n$  კოეფიციენტი გამოვიდეს მინიმალურად დასაშვებზე

მეტი, ხოლო ეს უკანასკნელი აირჩევა ( $2 \div 10$ ) ინტერვალიდან და მიენიჭება მით უფრო მეტი სიდიდე, რაც უფრო მნიშვნელოვანი და პასუხსაგებია ესა თუ ის პარამეტრი.

უმჯობესია პარამეტრების კონტროლის დროს ავირჩიოთ შესაბამისი ფიზიკური სიდიდის გაზომვის სტანდარტიზებული ან ატესტირებული გაზომვის მეთოდის, რადგან ასეთი მეთოდის აპრობირებულია და ამდენად საიმედოცაა მისი მრავალჯერადი პრაქტიკული გამოყენების შედეგად მიღებული გამოცდილებისა და მონაცემების საფუძველზე. შესაფერისი მეთოდის არარსებობისას საჭიროა გაზომვის საშუალების არჩევა იმ ჩამონათვალიდან, რომელიც შეიცავს გასაზომი სიდიდისათვის ექსპლუატაციაში დაშვებული ან რეკომენდებული ხელსაწყოების ნუსხას.

### თავი 3. გაზომვის საშუალებების დაგროვება

3.1. გაზომვის სანიმუშო საშუალებები და მათი განვითარების პერსპექტივები. მეტროლოგიური ატესტაციისა და დამოწმების ამოცანები. დამოწმებათა მეთოდები და კლასიფიკაცია

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გაზომვის სანიმუშო საშუალებებით ძირითადად ხდება სხვა საშუალებათა დამოწმება და დაგრადუირება. გაზომვის მუშა საშუალებათა პარკის გაფართოება და სრულყოფა, რაც საერთოდ ტექნიკის განვითარების თანმდევი პროცესია, განაპირობებს დამოწმებითი აპარატურისა და სანიმუშო საზომი საშუალებებისადმი წაყენებული მოთხოვნების გამკაცრებასა და ამალლებას. გაზომვის თანამედროვე სანიმუშო საშუალება უნ-

და უზრუნველყოფდეს დასამოწმებელი ხელსაწყოების მეტროლოგიური მახასიათებლების სწრაფ, ოპერატიულ კონტროლს. ამასთან კონტროლის ჩატარება შესაძლებელი უნდა იყოს უშუალოდ ხელსაწყოთა ექსპლუატაციის ადგილებზე, იმ პირობებში, რომლებშიც მათ უხდებათ მუშაობა, ცხადია, ცდომილებები ამ დროს უნდა იყოს მინიმალური. მოთხოვნათა ეს ჯგუფი მთლიანად იქნება დაკმაყოფილებული, თუ გაზომვის სანიმუშო საშუალება იქნება: *ინვარიანტული* გაზომვების პირობებისა და გასაზომი ობიექტის თვისებების მიმართ (არ შეიცვლის თავის მახასიათებლებს გაზომვის პირობების ცვალებადობისა და ერთი ობიექტიდან მეორეზე გადატანის შემთხვევებში), *მობილური* (შესაძლებელი იქნება ტრანსპორტირება განსაკუთრებული პირობების დაცვის გარეშე), *საიმედო* (ექნება უნარი შეინარჩუნოს მეტროლოგიური მახასიათებლები საკმარისად დიდი დროის მანძილზე). გარდა ამისა, გაზომვების სანიმუშო საშუალება უნდა უზრუნველყოფდეს დამოწმებითი სამუშაოების ჩატარების *ავტომატიზაციის* შესაძლებლობას [2, 9].

გაზომვის სანიმუშო საშუალებები საზომი ტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონეზე მეტად მრავალგვარია. ამიტომ, ცხადია, მათთვის ზემოთ ჩამოთვლილი თვისებების მინიჭება ხდება კონკრეტული სახეობის, ტიპის, სპეციფიკის, დამოწმებითი სამუშაოების მოცულობისა და შინაარსის გათვალისწინებით და ამდენად, ინდივიდუალურია. მაგრამ არსებობს გაზომვის სანიმუშო საშუალებათა თვისებრივი სრულყოფის ზოგადი მეთოდებიც. ასე მაგალითად, ინვარიანტულობის თვისებების მინიჭება შეიძლება ხდებოდეს კომპენსაციური სქემების გამოყენებით, ცდომილებების კორექციის მეთოდების საშუალებით, მახასიათებელთა სტაბილიზაციის მეთოდის გამოყენებით, ფილტრაციის საშუალებით. შეიძლება, აგრეთვე, განხორციელდეს გასაზომი სიდი-

დის მნიშვნელობათა აღწარმოების აბსოლუტური მეთოდების მეშვეობით სანიმუშო ხელსაწყოთა არაპირდაპირი დაგრაფირება (ფიზიკური კონსტანტებისა და სტანდარტული საცნობარო მონაცემების გამოყენებით). უნდა დავასახელოთ ისეთი კონსტრუქციული მეთოდებიც, როგორცაა დაეკრანება და დამიწება [14].

გაზომვის სანიმუშო საშუალებების აღჭურვა მობილურობის თვისებით მიიღწევა სპეციალიზებული ან უნივერსალური გადასატანი დამოწმებითი ლაბორატორიების შექმნით, დასამოწმებელ მუშა ხელსაწყობამდე გაზომვის სანიმუშო საშუალებების მიტანის (ტრანსპორტირების) სპეციალური საშუალებების დამუშავებითა და დანერგვით, შემადგენლობისა და თვისებების სპეციალური სტანდარტული ნიმუშებისა და პორტატული საზომების შექმნით. სპეციალურ შემთხვევებში, როცა შეუძლებელია (ან არასასურველი) მუშა ხელსაწყობის დემონტაჟი და მათი დამოწმება უნდა მოხდეს გაზომვის ობიექტთან ერთად, გამოიყენება “სერვისული” ჩაშენებული დამოწმებითი სისტემები, კალიბრატორები [2].

გაზომვის სანიმუშო საშუალებების მთავარი დანიშნულება - *დამოწმება* ასე განიმარტება: დამოწმება (შემოწმება) ეწოდება მეტროლოგიური მახასიათებლების ნორმებთან შესაბამისობის შემოწმებას და ამ საფუძველზე გაზომვების საშუალებათა გამოსადეგობის დადგენას გამოყენებისათვის [6]. დამოწმების შედეგად სათანადო მოწმობაში მითითებული იქნება მხოლოდ *რეალური* მახასიათებლების შესაბამისობა *ნომინალურ* მახასიათებლებთან. დამოწმება უნდა განვასხვაოთ *მეტროლოგიური ატესტაციისაგან*. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს გაზომვის საშუალებათა მეტროლოგიური მახასიათებლების გამოკვლევას მათი ნამდვილი მნიშვნელობების დადგენის მიზნით. შესა-

ბამის მოწმობაში ამ დროს მოჰყავთ გაზომვის საშუალების  
ნამდვილი პარამეტრები და მათი განსაზღვრის ცდომი-  
ლებები (ატესტაციის ცდომილებები). უკანასკნელი ორი  
განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ საჭიროა გავარჩიოთ  
*ნომინალური* და *ნამდვილი* (რეალური) მახასიათებლები.  
ნომინალური მეტროლოგიური მახასიათებელია ის, რომე-  
ლიც მიეწერება გაზომვის მოცემულ საშუალებას, როგორც  
ტიპს (მოიცემა მის პასპორტში). ნომინალური პარამეტრები  
ნორმირდება გაზომვის საშუალებათა ტიპებისათვის და მო-  
ცემული ტიპის გაზომვის საშუალებათა ყველა ეგზემპლარს  
აქვს ერთნაირი პარამეტრები. ვინაიდან არ არსებობს აბსო-  
ლუტურად ზუსტად ერთნაირი ორი ნაკეთობა ზოგადად და  
კერძოდ, ორი ერთნაირი გაზომვის საშუალება, ამიტომ  
თითოეულ ეგზემპლარს აქვს თავისი ინდივიდუალური ნამ-  
დვილი მახასიათებლები. არსებითაა, რომ ნამდვილი მახასია-  
თებლები მოთავსებულია ნომინალური მახასიათებლების და-  
შვებების ეკლის საზღვრებში (მეტროლოგიური თვალსაზ-  
რისით ვარგისი ეგზემპლარისათვის). აქვე განუმარტოთ, რომ  
გაზომვის საშუალების *მეტროლოგიური მახასიათებელი*  
ეწოდება იმ მახასიათებლებს, რომლებიც გაველენას ახდენენ  
გაზომვის შედეგებსა და ცდომილებებზე. ამ განმარტებების  
მოტანის შემდეგ დავძინოთ, რომ მეტროლოგიური ატესტა-  
ცია და დამოწმება შეიძლება განვიხილოთ, როგორც პრაქტი-  
კული მეტროლოგიური მოღვაწეობის ორი სხვადასხვა სახე.

მეტროლოგიურ პრაქტიკაში არაიშვიათია შემთხვე-  
ვები, როცა გაზომვის კონკრეტული ამოცანის გადაწყვე-  
ტისას შესაბამისი გაზომვის საშუალების შერჩევა ხელსაწ-  
ყოთა არსებული პარკიდან რთულია ან შეუძლებელიც კი -  
დამაბრკოლებულ ფაქტორად შეიძლება წარმოგვიდგეს  
მეტროლოგიური მახასიათებლები, მასა ან ვაბარიტები, შეუ-  
ფერებელი პირობები ექსპლუატაციის დროს და ა.შ. მნიშვნე-

მეტროლოგიური ატესტაციის ჩატარების უფლება აქვთ კომპეტენტურ მეტროლოგიურ ორგანოებს, რომლებიც დადებითი შედეგების შემთხვევაში გაზომვის ყოველი საშუალებისათვის აფორმებენ მეტროლოგიური ატესტაციის მოწმობას (სერტიფიკატს).

გაზომვის არასტანდარტიზებული საშუალებების მდგომარეობასა და გამოყენებაზე ქვეყანაში უნდა ხორციელდებოდეს სახელმწიფო ზედამხედველობა, რომლის ჩატარების ყველა თავისებურება და ნიუანსი რეგლამენტირებული უნდა იყოს საკანონმდებლო მეტროლოგიისა და მეტროლოგიური სამსახურის სათანადო დებულებებით, მკაფიოდ უნდა იყოს გამიჯნული სახელმწიფო ზედამხედველობის ან საუწყებო კონტროლის ობიექტები და ამოცანები. ყველა შემთხვევისათვის, როცა სახელმწიფო ზედამხედველობის ან საუწყებო კონტროლის პროცესში დაგინდა გაზომვის არასტანდარტიზებული საშუალებები, რომლებსაც მეტროლოგიური ატესტაცია არ გაუვლია და დამზადებულია სტანდარტის მოთხოვნების დარღვევით, მოქმედ კანონმდებლობაში ასახული უნდა იყოს დამრღვევი ორგანიზაციების ან პირების მიმართ გამოსაყენებელი სამართლებრივი (ადმინისტრაციული ან სისხლის სამართლის) ზომები.

ამრიგად, გარდა ობიექტებისა, მეტროლოგიური ატესტაცია და დამოწმება იმითაც განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რომ შესაბამისი სამუშაოების ჩატარების შემდეგ საბოლოო აქტში ატესტაციის შედეგად შეაქვთ მეტროლოგიური მახასიათებლების ნამდვილი მნიშვნელობები, ხოლო დამოწმების შედეგად - მხოლოდ დასკვნა დამოწმებული გაზომვის საშუალების ვარგისობის შესახებ. დამოწმების დადებითი შედეგისას იგულისხმება, რომ გაზომვის საშუალების ნორმირებული მეტროლოგიური მახასიათებლები ამ საშუალებისათვის ტექნიკური პირობებით დადგენილი ნორმების ფარგლებშია.

დამოწმების ჩატარების აუცილებლობა გამომდინარეობს იმ ფაქტიდან, რომ გაზომვის საშუალებათა ნამდვილ მეტროლოგიურ მახასიათებლებს აქვთ დროითი არასტაბილურობა, დამოკიდებული არიან მათი დამზადების ხარისხზე, ტექნოლოგიურ პროცესზე, მასალებისა და ნივთიერებების (რომლებსგანაც დამზადებულია მოცემული გაზომვების საშუალება) ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. სადღეისოდ ღს(0) ქვეყნებისათვის მოქმედებაშია დამოწმების ძირითადი დებულებები, რომელთა მიხედვითაც:

1. დამოწმებით მოცული უნდა იყოს გაზომვის ყველა ის საშუალება, რომელიც გამოდის წარმოებიდან ან რემონტიდან, იმყოფება ექსპლუატაციაში, შემოიტანება ქვეყანაში საზღვარგარეთიდან. ამასთან დამოწმებას ექვემდებარება როგორც სერიული, ასევე არასტანდარტიზებული გაზომვის საშუალებები უგამონაკლისოდ;

2. ექსპლუატაციაში დაიშვება გაზომვის მხოლოდ ის საშუალებები, რომლებიც მიჩნეულია ვარგისად გამოყენებისათვის დამოწმების (ან მეტროლოგიური ატესტაციის გაელის) საფუძველზე;

3. დამოწმებათა პერიოდულობა დამოკიდებულია მეტროლოგიური მახასიათებლების დროითს არასტაბილურობაზე (მეტროლოგიურ საიმედოობაზე, ექსპლუატაციის ინტენსიურობასა და მოცემული გაზომვის საშუალებით მიღებული შედეგების მნიშვნელოვნებაზე).

გაზომვის საშუალებების დამოწმებას ახორციელებენ სახელმწიფო და საუწყებო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოები და, შესაბამისად, მათ *სახელმწიფო* ან *უწყებრივი დამოწმებები* ეწოდება. უნდა აღინიშნოს, რომ გაზომვის ზოგიერთი საშუალების დამოწმება აუცილებლად სახელმწიფო დამოწმებელი ორგანოს მიერ უნდა განხორციელდეს. ეს ის საშუალებებია, რომელთა მეშვეობით

ხდება პრაქტიკული მეტროლოგიური მოღვაწეობისას დამოწმებისა და გაზომვების უმნიშვნელოვანესი ამოცანების გადაწყვეტა: სახელმწიფო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოებში გამოსაყენებელი ხელსაწყოები, ამოსავალი სანიმუშო საშუალებები საუწყებო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოებში, ახლად გამოშვებული გაზომვის საშუალებების დაგრაღირებისას გამოსაყენებელი სანიმუშო საშუალებები, აგრეთვე ის სანიმუშო საშუალებები, რომლებიც გამოიყენება სახელმწიფო არბიტრაჟის ორგანოების მიერ ექსპერტიზების ჩატარებისას, გაზომვის საშუალებების სახელმწიფო გამოცდების ჩატარებისას, გაზომვებისათვის ოფიციალური ეროვნული და საერთაშორისო სპორტული რეკორდების რეგისტრაციის დროს. გაზომვის საშუალებათა ამავე ნომენკლატურას მიეკუთვნება გაზომვის მუშა საშუალებები, რომლებიც ასეთებად გამოიყენება მატერიალური ფასეულობების აღრიცხვისას ვაჭრობისა და ურთიერთ ანგარიშსწორების დროს, ჯანმრთელობასა და შრომის დაცვასთან დაკავშირებული გაზომვის დროს, გაზომვის დანარჩენი საშუალებები ექვემდებარება აუცილებელ საუწყებო დამოწმებას [10, 19].

უკანასკნელ პერიოდში შეიმჩნევა სახელმწიფო სამსახურების მიერ დასამოწმებელი გაზომვის საშუალებების გადაცემის ტენდენცია საუწყებო დამოწმებელი ორგანოებისადმი. იმავედროულად, თუ საუწყებო მეტროლოგიურ სამსახურს არ შეუძლია საწარმოს კუთვნილი გაზომვის საშუალებების დამოწმება ან დამოწმების ორგანიზება ზოგიერთი გაზომვის საშუალებისათვის საწარმოში მიზანშეწონილი არ არის, მაშინ ასეთი საშუალებები დასამოწმებლად შეიძლება გადაეცეს სახელმწიფო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოებს ან სხვა საწარმოს საუწყებო მეტროლოგიურ სამსახურს, რომელსაც აქვს ამგვარი შემოწმების უფლება.

ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია, დამოწმება ჩატარდეს სტაციონარულ დამოწმებით ლაბორატორიებში, რომლებიც აღჭურვილია მაღალმწარმოებლური სამოწმებელი აპარატურით და რომელთა სათავეებში შექმნილია ნორმალური კლიმატური (ტემპერატურისა და ტენიანობის მიხედვით) და მექანიკური (ვიბრაციების არარსებობის მიხედვით) პირობები, გათვალისწინებულია სანიმუშო და დასამოწმებელი საშუალებების დაცვა გარე ელექტრული და მაგნიტური ველებისაგან, მაიონიზებული გამოსხივებებისაგან და ა.შ. დამოწმება შეიძლება ორგანიზებული იყოს, აგრეთვე, მოძრაე დამოწმებითს ლაბორატორიებში, უშუალოდ სამრეწველო საწარმოებში, ხელსაწყოთმშენებელი საწარმოების საკონტროლო - დამოწმებითს პუნქტებში. ასეთ შემთხვევებში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ პირობების შექმნას, რომლებიც რეგლამენტირებულია გაზომვის სანიმუშო და მუშა საშუალებების გამოყენებისათვის [6].

ჩატარების ვადების, მიზეზებისა და სამართლებრივი საფუძვლების მიხედვით არსებობს დამოწმებათა შემდეგი დაყოფა: *პირველადი, პერიოდული, რიგგარეშე, საინსპექციო და საექსპერტო.*

*პირველადი* დამოწმება უტარდება წარმოებიდან ან რემონტიდან ახლადგამოსულ გაზომვის საშუალებებს, რომლებსაც აქეთ მიმოქცევაში გაშვების ნებართვა, აგრეთვე, საზღვარგარეთიდან შემოტანილ საშუალებებს. პირველადი დამოწმება შეიძლება იყოს სახელმწიფო ან საუწყებო. ამ სახის დამოწმებისას, როგორც წესი, მოწმდება თითოეული ეგზემპლარი. ცალკეულ შემთხვევებში დასაშვებია ამორჩევითი დამოწმების ჩატარება. პირველადი დამოწმება შეიძლება ჩატარდეს გაზომვის საშუალებების დამზადების ადგილზე, მათი ექსპლუატაციის ადგილზე ან ნაწილობრივ დამზადების ადგილზე, ნაწილობრივ ექსპლუ-

ატაციის ადვილზე. უკანასკნელი შემთხვევა დამახასიათებელია გაზომვის მსხვილგაბარიტებიანი საშუალებებისათვის, რომელთა ტრანსპორტირება ხდება ცალკეულ ნაწილებად, ბლოკებად. პირველადი დამოწმება, როგორც წესი, ტარდება მას შემდეგ, რაც გაზომვის საშუალება გაივლის (მიღებული იქნება) ტექნიკური კონტროლის განყოფილებას, თუმცა რემონტის შემდეგ დამოწმება შეიძლება ჩატარდეს დასახელებული განყოფილების მონაწილეობის გარეშეც.

*პერიოდული* დამოწმება ტარდება გარკვეული დამოწმებათა შორის ინტერვალის გავლის შემდეგ, რომელიც უზრუნველყოფს მეტროლოგიური მახასიათებლების შენარჩუნებას მათთვის დადგენილი ნორმების ფარგლებში მორიგ დამოწმებებს შორის. პერიოდული დამოწმება ხორციელდება სახსტანდარტის (ყოფილ სსრ კავშირში) ან მსგავსი უფლებამოსილების მქონე სახელმწიფო ორგანოს (საქართველოს რესპუბლიკაში ჩამოყალიბების სტადიაშია) მიერ დამტკიცებული გრაფიკების მიხედვით. ეს საშუალებას იძლევა შემცირდეს დამოწმებაში ყოფნის ვადა დასამოწმებელი გაზომვის საშუალებებისათვის დადგენილ 15 დღემდე. პერიოდული დამოწმებისას დამოწმებათა შორისი მაქსიმალური ინტერვალები განისაზღვრება დადგენილი წესის თანახმად დამოწმებაზე პასუხისმგებელი ორგანიზაციების მიერ. დადგენილი მაქსიმალური ინტერვალების კორექტირება დასაშვებია და უფრო მეტიც, სასურველიც კი, თუ კი ეს ღონისძიება ტექნიკურ - ეკონომიკურ ეფექტებს გამოიწვევს [2, 9].

*რიგგარეშე* დამოწმება ტარდება: გაზომვის საშუალებების გამოსადგობის დადასტურების აუცილებლობის შემთხვევაში (მიუხედავად პერიოდული დამოწმების ვადებისა); მაკომპლექტებელ ნაკეთობათა გაზომვის საშუალებ-

ბების გამოყენებისას, როცა გასულია პერიოდული დამოწმების მორიგი ინტერვალის ნახევარი; დამლის დაზიანების ან დამოწმების შესახებ მოწმობის დაკარგვისას; ხანგრძლივი კონსერვაციის შემდეგ (რომლის ვადის განმავლობაში ვერ მოხერხდა პერიოდული დამოწმების ჩატარება) გაზომვის საშუალებების ექსპლუატაციაში გადაცემისას; გაზომვის საშუალებების გაგზავნისას მომხმარებლისათვის დამოწმებათა შორის ინტერვალის ნახევრის გავლის შემდეგ.

*საინსპექციო* დამოწმება ტარდება შერჩევით, როცა ხორციელდება სახელმწიფო ზედამხედველობა და საუწყებო კონტროლი გაზომვის საშუალებების მდგომარეობასა და გამოყენებაზე. ამ დროს ადგენენ გაზომვის საშუალებების უკანასკნელი დამოწმების შედეგების სისწორეს და ადგენილი დამოწმებათა შორის ინტერვალის შესაბამისობას ექსპლუატაციის პირობებთან. იმ საშუალებებზე, რომლებიც ვერ გაივლიან საინსპექციო დამოწმებას, უქმდება დამლა და დამოწმების დამადასტურებელი დოკუმენტები. საინსპექციო დამოწმების ჩატარება შესაძლებელია სახელმწიფო ან საუწყებო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოს მიერ არასრული მოცულობით, თუ კი ეს გათვალისწინებულია დამოწმების ნორმატიულ - ტექნიკური დოკუმენტით.

*საექსპერტო* დამოწმება ტარდება მაშინ, როცა წარმოიშობა აზრთა სხვადასხვაობა გაზომვის საშუალებების ვარგისობის, გამართულობის ან მეტროლოგიური მახასიათებლების შესახებ. როგორც წესი, დამოწმების ეს სახე ტარდება დასაბუთებული დასკვნის მიღების მიზნით გაზომვის საშუალებების ვარგისობაზე გამოყენებისათვის სასამართლო - საგამომძიებლო ორგანოების, სახელმწიფო არბიტრაჟის მოთხოვნით.

დამოწმების შედეგები ფორმდება *ოქმით*, დამოწმების შესახებ *მოწმობის* გაცემით, *დადაღვით* ან *შეტყობით*.

*ბინებით* იმის თაობაზე, რომ გაზომვის მოცემული საშუალება გამოუსადეგარია. პირველადი და პერიოდული დამოწმებების შედეგები შეტანილი უნდა იყოს, აგრეთვე, გაზომვის საშუალებების პასპორტში ან ფორმულარში. ოქმი მიზანშეწონილია შედგეს ყველა სახის დამოწმების ჩატარებისას, მაგრამ როცა დამოწმება ავტომატიზებულია, ოქმის შედგენა სავალდებულო არ არის. მოწმობა დამოწმების შესახებ, როგორც წესი, გამოიწერება გაზომვის სანიმუშო საშუალებებზე. მოწმობის მეორე მხარეზე ჩაიწერება დამოწმებისას მიღებული მეტროლოგიური მახასიათებლების რიცხვითი მნიშვნელობები, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მათი დროითი არასტაბილურობა მორიგი დამოწმებისას. უარყოფითი შედეგების მიღებისას, როგორც აღვნიშნეთ, გამოწერილ შეტყობინებაში მითითებული უნდა იყოს გაზომვის საშუალების უვარგისად მიჩნევის კონკრეტული მიზეზი დამოწმების დროს მიღებული მეტროლოგიური მახასიათებლების მნიშვნელობების ჩვენებით.

*დამლა* წარმოადგენს დამოწმების დადებითი შედეგების მაჩვენებელ მოწმობას. დამლის ანაბეჭდს - ლუქის ან ტყვიისგან დამზადებულ ან ლითონის (პლასტმასის) პლომბს ისეთნაირად აყენებენ, რომ გამოირიცხოს დამლის დაზიანების გარეშე გაზომვის საშუალებების გახსნის შესაძლებლობა. ზოგჯერ მოწმობის ნაცვლად გაზომვის საშუალებებზე აყენებენ რეზინის დამლის ანაბეჭდს მღებავ საფუძველზე. ასეთი ანაბეჭდი დამცავ ფუნქციებს არ ასრულებს.

დამოწმების ჩატარების უფლება და შესაბამისად დამლები აქვთ სახელმწიფო და საუწყებო მეტროლოგიური სამსახურების დამოწმებითი განყოფილებების მუშაკებს, რომლებსაც გავლილი აქვთ სპეციალური სწავლების კურსები და მინიჭებული აქვთ სახელმწიფო ან საუწყებო დამ-

მოწმებლის კვალიფიკაცია. დამღები გაპიროვნებული უნდა იყოს თითოეულ დამმოწმებელზე ინდივიდუალურად [ 6 ].

### 3.2. დამოწმებათა უტყუარობა

ქვეყანაში გაზომვის ერთიანობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მეტროლოგიური ზედამხედველობა, რომლის ფუნქციასაც, როგორც წესი, სახელმწიფო იღებს თავის თავზე. მეტროლოგიური ზედამხედველობის სისტემის ეფექტურობა ბევრადაა დამოკიდებული დამოწმების ხარისხზე. ამ უკანასკნელის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს წარმოადგენს უტყუარობა, რომელიც ფაქტობრივად განსაზღვრავს ნდობის ხარისხს დამოწმებითი სამუშაოების ჩატარების შედეგად მიღებული მონაცემებისადმი. ყველაზე არსებითი ნდობის ხარისხის განსაზღვრაში არის საზომი კონტროლის სიზუსტე.

ერთპარამეტრიანი კონტროლის დროს დამოწმების უტყუარობა განისაზღვრება როგორც სწორი გადაწყვეტილების მიღების ალბათობა (ისევე, როგორც პროდუქციის ხარისხის კონტროლის დროს - იხ. 2.8).

$$D = 1 - \alpha - \beta = 1 - P(A)_{\alpha_{\text{პორ}}} - P(\bar{A})_{\beta_{\text{პორ}}} \quad (3.1)$$

სადაც  $\alpha$  და  $\beta$  შესაბამისად I და II გვარის შეცდომების უპირობო ალბათობებია,  $P(A)$  და  $P(\bar{A})$  - საკონტროლო პარამეტრის დაშვების ველში და მის გარეთ მოხვედრის ალბათობებია,  $\alpha_{\text{პორ}}$  და  $\beta_{\text{პორ}}$  - I და II გვარის შეცდომების პირობითი აპრიორული ალბათობები. ისევე როგორც (2.25) და (2.26) -ში, შემდგომში ვისარგებლოთ აღნიშვნებით  $\alpha_{\text{პორ}} = \alpha^*$ ;  $\beta_{\text{პორ}} = \beta^*$ . აღვნიშნოთ საკონტროლო პარამეტრი  $X$ -ით, ხოლო მისი დაშვების ველის ქვედა და

ზედა საზღვრები შესაბამისად  $\alpha$  და  $\beta$  ასოებით. X პარამეტრის განაწილების სიმკვრივე იყოს  $f(x)$ , ხოლო მისი გაზომვის ცდომილების განაწილებისა -  $\varphi(z)$ . მაშინ (2.20) და (2.21) ფორმულების ანალოგიით (2.25) და (2.26) ტოლობების გამოყენებით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$P(\overline{AB}) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(z) dz \right] dx + \int_{\alpha}^{\beta} f(x) \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(z) dz \right] dx$$

$$\alpha^* = P(\overline{B/A}) = \frac{P(\overline{AB})}{P(A)} = \frac{\int_{\alpha}^{\beta} f(x) \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(z) dz \right] dx}{\int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx} \quad (3.2)$$

$$P(\overline{AB}) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(z) dz \right] dx + \int_{\alpha}^{\beta} f(x) \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(z) dz \right] dx$$

$$\beta^* = P(B/\overline{A}) = \frac{P(\overline{AB})}{P(\overline{A})} = \frac{\int_{\alpha}^{\beta} f(x) \left[ \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(z) dz \right] dx}{1 - \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx} \quad (3.3)$$

უკანასკნელ ტოლობებში B -თი აღნიშნულია ხდომილობა, რომელიც აღნიშნავს დამოწმების დადებით შედეგს - დასამოწმებელი გაზომვის საშუალება საკონტროლო X პარამეტრის მიხედვით ვარგისია, ხოლო B -თი -საპირისპირო ხდომილობა. როგორც ვიცით, დამოწმების შედეგად გამოგვაქვს დასკვნა, რომელიც ორ ალტერნატივას შეიცავს - “ვარგისია” ან “უვარგისია” (“წუნია”). მათგან პირველი ახასიათებს ხელსაწყოს, რომლის ყველა საკონტროლო პარამეტრი ნორმის ფარგლებშია, ხოლო მეორე - ხელსაწყოს მდგომარეობას, როცა საკონტროლო პარამეტრიდან ერთ-ერთი მაინც გადის დაშვების ველიდან.

დამოწმებების მეთოდის დამუშავებისას და აგრეთვე, ხელსაწყოთა მეტროლოგიური ატესტაციისა და გამოცდების დროს აუცილებელია წინასწარ იყოს მოცემული და კონტროლდებოდეს აღნიშნული მეთოდით უზრუნველ-

ყოფილი უტყუარობის მაჩვენებლები, ე.ი. საჭიროა წინასწარ შეირჩეს  $\alpha^*$  და  $\beta^*$  სიდიდეები. ეს კი ზოგჯერ გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. საქმე ისაა, რომ გაზომვის საშუალებების დამუშავების (შექმნის) ეტაპზე, როგორც წესი, არ გაგვაჩნია აპრიორული მონაცემები პარამეტრების განაწილების კანონების შესახებ და ასევე, პერიოდული დამოწმებების მონაცემები.

განვიხილოთ პირველადი დამოწმების უტყუარობის მაჩვენებელთა განსაზღვრის ერთ-ერთი მეთოდი, რომელიც აღწერილია [ 9 ] -ში. გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის მაჩვენებლად მივიჩნით  $C$  რიცხვი, რომელიც გვიჩვენებს იმ დეფექტურ გაზომვის საშუალებათა მაქსიმალურად დასაშვებ წილს, რომლებიც დამოწმების შედეგად შეცდომით მიიჩნევა ვარგისად (ამის მიზეზია საზომ - საკონტროლო აპარატურის ცდომილებები).  $C = n / N$ , სადაც  $N$  დასამოწმებელ ხელსაწყოთა საერთო რაოდენობაა, ხოლო  $n$  - დამოწმების შედეგად შეცდომით "გაპარულ" ხელსაწყოთა რიცხვი. ცხადია  $C = P(A/B)$  - ე.ი.  $C$  არის  $\Pi$  გვარის შეცდომის აპოსტერიორული ალბათობა. აღვნიშნოთ  $Q$  -თი დეფექტურ გაზომვის საშუალებათა ფარდობითი რიცხვი გამოშვებულ გაზომვის საშუალებათა საერთო რაოდენობაში  $M$ . თუ დეფექტური ნაკეთობების რიცხვია  $m$ , მაშინ  $Q = m / M = P(A)$ .  $Q$  რიცხვი ახასიათებს საამწყობო საამქროებიდან გამოსული გაზომვის საშუალებების ხარისხის მაჩვენებელს. ცხადია, ამ დროს დეფექტურობას განსაზღვრავენ მხოლოდ მეტროლოგიური მახასიათებლების მიმართ. შემოვიღოთ კიდევ ერთი რიცხვი  $\alpha$ , რომელიც უჩვენებს პირველადი დამოწმების დროს დაწუნებულ გაზომვის საშუალებების ფარდობით რიცხვს  $\alpha = n^1 / N^1$ , სადაც  $n^1$  დამოწმებით უვარგისად მიჩნეულ ხელსაწყოების რაოდენობაა. ცხადია,  $\alpha = P(B)$ . სრული ალბათობის ფორმულის თანახმად

$$\alpha = P(\bar{B}) = P(\bar{B}/A) P(A) + P(\bar{B}/\bar{A}) P(\bar{A}) = \alpha^* (1-Q) + (1-\beta^*) Q \quad (3.4)$$

ბაიესის ფორმულის გამოყენებით ადვილად მივიღებთ

$$C = P(\bar{A}/B) = \frac{P(B/\bar{A}) P(\bar{A})}{P(B)} = \frac{\beta^* Q}{1-P(B)} = \frac{\beta^* Q}{1-\alpha} \quad (3.5)$$

მწელი არაა დაერწმუნდეთ, რომ (3.4) -ში  $\alpha$   $(1-Q)$  არის შეცდომით დაწუნებულ გაზომვის საშუალებების ფარდობითი რიცხვი, ხოლო  $(1-\beta)$   $\alpha$  -სწორად დაწუნებულ ნაკეთობათა ფარდობითი რიცხვი.

ჩვენს მიერ შემოღებულ  $C$ ,  $Q$  და  $\alpha$  რიცხვები ახასიათებენ როგორც წარმოების დონეს ხარისხის მიხედვით, ასევე გარკვეულწილად დამოწმების პროცესის ეფექტურობასაც. ამიტომ მიზანშეწონილია ამ რიცხვებისათვის შემოვიღოთ  $C_0$ ,  $Q_0$  და  $\alpha_0$  მნიშვნელობები, რომლებიც “დამაგრებენ” ხარისხის მისაღებ დონეს და მათი საშუალებით გამოეთვალათ დასაშვები სიდიდეები  $\alpha^*$  და  $\beta^*$  ალბათობებისათვის (3.4) და (3.5) -ის ერთობლივი ამოხსნით, კერძოდ (3.5) -დან ვწერთ

$$\beta^* = \frac{C_0(1-\alpha_0)}{Q_0} \quad (3.6)$$

ამ მნიშვნელობების ჩასმით (3.4) -დან მივიღებთ

$$\alpha^* = \frac{\alpha_0 - Q_0 + C_0(1-\alpha_0)}{1-Q_0} \quad (3.7)$$

ამრიგად, დამოწმების უტყუარობის სასურველი მნიშვნელობა გარანტირებული იქნება, თუ რეალური სიდიდეები  $\alpha^*$  და  $\beta^*$  ალბათობებისათვის არ გადააჭარბებს (3.6) და (3.7) -ით მოცემულ დასაშვებ სიდიდეებს  $\beta^*_d$  და  $\alpha^*_d$ .

### 3.3. დამოწმების ექსპრეს - მეთოდის ცნება. დამოწმების გრაფიკულ - ანალიზური მეთოდი

სადღეისოდ დამოწმებითი სამუშაოების ჩატარება პრაქტიკულად მეტროლოგიური მოღვაწეობის სხვა სახეებთან შედარებით ყველაზე უფრო სრულადაა უზრუნველყოფილი სამეცნიერო - მეთოდური ბაზით. კერძოდ, დამუშავებულია დამოწმებისათვის საჭირო სანიმუშო საზომი აპარატურის სიზუსტის შერჩევის პრინციპები, შესამოწმებელი ნიშნულების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენის ხერხები, დამოწმებათაშორისი ინტერვალების რაციონალური განსაზღვრის მეთოდები, დამოწმებითი სანიმუშო დაგეგმვისათვის საჭირო დასაბუთებული რეკომენდაციები, შექმნილია და ვითარდება ავტომატური დამოწმების პრინციპები და აპარატურა. ამავე დროს შედარებით ნაკლებადაა გამოკვლეული დასამოწმებელი გაზომვის საშუალებების შესახებ აპრიორული ინფორმაციის სრულად და ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობები. ბოლო წლებში შეიმჩნევა გარკვეული პროგრესი ამ მიმართულებითაც - მუშავდება ე.წ. დამოწმების ექსპრეს - მეთოდები, რომლებიც დასამოწმებელი ხელსაწყოების თვისებებისა და მათ შესახებ ზოგიერთი აპრიორული ინფორმაციის გამოყენების საფუძველზე საშუალებას იძლევა მინიმუმამდე დავიყვანოთ დამოწმებელი ნიშნულების რიცხვი დამოწმების ხარისხის შენარჩუნებით, ე.ი. მკვეთრად შევამციროთ დამოწმებითი სამუშაოების მოცულობა, მნიშვნელოვნად გავამარტივოთ დამოწმების პროცესი. ამრიგად, დამოწმების ექსპრეს - მეთოდების ძირითადი დამახასიათებელი ნიშან - თვისებებია დამოწმებითი სამუშაოების მწარმოებლურობის საგრძნობი ამაღლება დასამოწმებელი ხელსაწყოების შესახებ აპრიორული ინფორმაციის გამოყენების ხარჯზე.

განვიხილოთ დამოწმების ექსპრეს - მეთოდი, რომელსაც გრაფიკულ - ანალიზურ მეთოდსაც უწოდებენ. მისი სახელწოდების ეტიმოლოგია ნათელი გახდება მეთოდის არსის განხილვის შემდეგ. დაეუშვათ, რომ დასამოწმებელი ხელსაწყოს გარდაქმნის ფუნქცია არსებითად წრფივია - წრფივობიდან შესაძლო მცირე გადახრები განპირობებულია არა ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპით, არამედ შემთხვევითი დაბრკოლებების გავლენით, რომელთა გაფილტვრის შემდეგ მახასიათებელი პრაქტიკულად წრფივია. ასეთი ხელსაწყოების დამოწმების მრავალწლიანმა პრაქტიკამ და შესაბამისმა სტატისტიკურმა მასალამ დაადასტურა, რომ მათი ძირითადი ცდომილება ნებისმიერი დამოწმების მომენტისათვის აიწერება წრფივი დამოკიდებულებით

$$\Delta = \alpha_0 + \alpha_1 X \quad (3.8)$$

სადაც  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  მუდმივი კოეფიციენტებია (დამოწმების მომენტისათვის) გაზომვის საშუალების მოცემული ეგზემპლარისათვის, მაგრამ შემთხვევითაა განაწილებული (გარკვეულ ფარგლებში) მათი ერთობლიობისათვის.  $\alpha_0$  კოეფიციენტი ახასიათებს მახასიათებლის წანაცვლებას (თავისი თავის პარალელურად), ხოლო  $\alpha_1$  - მისი დახრის კუთხის შესაძლო ცვლილებას. იგულისხმება, რომ დამოწმებათა შორის ინტერვალის განმავლობაში დასამოწმებელი გაზომვათა საშუალება ინარჩუნებს გარდაქმნის ფუნქციის წრფივობას (ოღონდ არა პარამეტრების მუდმივობას). ეს დაშვება სავსებით გამართლებულია, რადგან არსებითად წრფივი გარდაქმნის ფუნქციის მქონე გაზომვის საშუალების შესაბამისი მახასიათებლის წრფივობიდან გადახრა მოასწავებს მის “კატასტროფულ მტყუნებას” (ამ დროს ირღვევა თვით ის ფიზიკური პრინციპი, რომელიც საფუძვლად უდევს ხელსაწყოს მოქმედებას), ასეთი სახის მტყუნება კი, როგორც წესი, უპრობლემოდ ვლინდება ხელსაწყოს ექსპლუატაციის პრო-

ცესში [ 2 ]. მიუხედავად ამისა, საექვო შემთხვევაში კატას-  
წროფული მტყუნების ფაქტი საჭიროებს შესაბამის დადას-  
ტურებას ხელსაწყოს გამოცდის ან პერიოდული დამოწმე-  
ბის შედეგებით.

ამრიგად, გვაქვს (3.8) სახის ძირითადი ცდომილების  
მქონე გაზომვის საშუალება და ამ პირობებში უნდა დამუ-  
შავდეს მისი დამოწმების ექპრეს - მეთოდი. ნათელია, რომ  
დამოწმებისათვის საჭიროა შემოწმდეს ხელსაწყოს მუშა  
დიაპაზონში შემდეგი უტოლობის მართებულობა:

$$|\Delta_{\max}| \leq |\Delta_{\text{დ}}| \quad (3.9)$$

სადაც  $\Delta_{\text{დ}}$  დასამოწმებელი ხელსაწყოს მაქსიმალური ცდო-  
მილებაა აბსოლუტური მნიშვნელობით, ხოლო  $\Delta_{\text{დ}}$  - მოცემუ-  
ლი ხელსაწყოსათვის ნორმატიული დოკუმენტებით (სი-  
ზუსტის კლასით) განსაზღვრული დასაშვები ცდომილება.

(3.8) -ის მიხედვით  $\Delta$  სიდიდემ აბსოლუტური მნიშვნელობით  
შეიძლება მიიღოს უდიდესი მნიშვნელობა ორ შემთხვევაში:

1) თუ  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  კოეფიციენტები ერთი ნიშნისაა, მაშინ (3.8)  
 $\Delta$  სიდიდისათვის უდიდეს მნიშვნელობას აბსოლუტური მნი-  
შვნელობით მოგვცემს  $X = X_B$  მნიშვნელობისათვის, სადაც  
 $X_B$  გასაზომი სიდიდის უდიდესი მნიშვნელობაა (გაზომვის  
ზედა საზღვარი) ხელსაწყოს გაზომვის დიაპაზონიდან, ე.ი.

$$|\Delta_{\max}| = |\alpha_0 + \alpha_1 X_B| \quad (3.10)$$

2) თუ  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  კოეფიციენტები სხვადასხვა ნიშნისაა, მაშინ  
(3.10) -ით განსაზღვრული მნიშვნელობის მაგივრად შეი-  
ძლება ცდომილების უდიდესი მნიშვნელობა აბსოლუტური  
მნიშვნელობით მივიღოთ  $X = 0$  წერტილში:

$$|\Delta_{\max}| = |\alpha_0| \quad (3.11)$$

ამრიგად, დამოწმების განხორციელებისათვის საჭიროა მხო-  
ლოდ ორი მნიშვნელობის ჩასმა (3.9) -ში და უტოლობის სის-  
წორის შემოწმება. ამისათვის აუცილებელია  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  კოე-

ფიციენტების სიდიდეების ცოდნა,  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  ადვილად შეიძლება განესაზღვროთ (3.8) -დან, თუ მასში რიგრიგობით ჩავსვამთ შესასვლელი სიგნალის რაღაც ორ მნიშვნელობას  $X_1$  და  $X_2$ . გარკვეულობისათვის დაეუშვათ, რომ  $X_2 > X_1$ . გააქვს:

$$\begin{cases} \Delta_1 = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 \\ \Delta_2 = \alpha_0 + \alpha_1 X_2 \end{cases}$$

უკანასკნელი სისტემიდან ადვილად ვიპოვით  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  კოეფიციენტებს:

$$\alpha_0 = \frac{\Delta_1 X_2 - \Delta_2 X_1}{X_2 - X_1}, \quad (3.12)$$

$$\alpha_1 = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{X_2 - X_1}, \quad (3.13)$$

ჩავსვათ ნაპოვნი მნიშვნელობები ჯერ (3.10) და (3.11) ტოლობებში, ხოლო შემდეგ (3.9) უტოლობაში. მივიღებთ შემდეგ უტოლობათა სისტემას:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{\Delta_1 X_2 - \Delta_1 X_1}{X_2 - X_1} + \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{X_2 - X_1} X_B \right| \leq |\Delta_p|; \quad (3.14) \\ \left| \frac{\Delta_1 X_2 - \Delta_1 X_2}{X_2 - X_1} \right| \leq |\Delta_p|. \quad (3.15) \end{array} \right.$$

უკანასკნელ უტოლობებს შეიძლება მივცეთ უნიფიცირებული სახე ფარდობით სიდიდეებზე გადასვლით, რისთვისაც შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$K_{\max} = \frac{X_B}{X_2}; \quad K = \frac{X_1}{X_2}; \quad \Delta_1^1 = \frac{\Delta_1}{|\Delta_p|}; \quad \Delta_2^1 = \frac{\Delta_2}{|\Delta_p|}$$

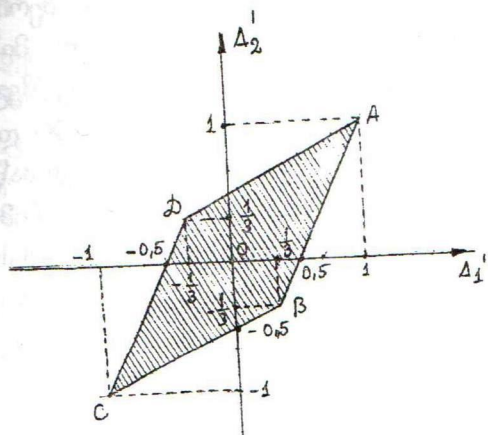
ამ აღნიშვნების გამოყენებით (3.14) და (3.15) ასე გადაიწერება:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{(K_{\max} - K) \Delta_2^1 - (K_{\max} - 1) \Delta_1^1}{1 - K} \right| \leq 1 \quad (3.16) \\ \left| \frac{\Delta_1^1 - K \Delta_2^1}{1 - K} \right| \leq 1 \quad (3.17) \end{array} \right.$$

აეგოთ მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა სიბრტყეზე  $\Delta_1^1$  და  $\Delta_2^1$  კოორდინატებში. ამ სისტემაში (3.16) და (3.17) უტოლობების ამონახსნი წარმოადგენს პარალელოგრამს, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი არეებით:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_2^1 \leq \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_1^1 + \frac{1 - K}{K_{\max} - K} \\ \Delta_2^1 \geq \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_1^1 - \frac{1 - K}{K_{\max} - K} \\ \Delta_2^1 \leq \frac{1}{K} \Delta_1^1 + \frac{1 - K}{K} \\ \Delta_2^1 \geq \frac{1}{K} \Delta_1^1 + \frac{1 - K}{K} \end{array} \right.$$

თუ უკანასკნელ ოთხ უტოლობაში უტოლობის ნიშნის ნაცვლად დავსვამთ ტოლობის ნიშანს, მივიღებთ  $(\Delta_1^1, \Delta_2^1)$  სისტემაში ოთხი წრფის განტოლებებს, რომლებიც შემოსაზღვრავენ ხსენებულ პარალელოგრამს (ნახ. 3.1)



ნახ. 3.1

ნახაზის აგებისას მიღებულია  $K = 0,5$ ;  $K_{\max} = 1,5$ . ABCD პარალელოგრამს მიღების არე ეწოდება. მისი განმსაზღვრელი წრფეების განტოლებებია:

$$\begin{cases}
 \Delta_2^1 = \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_1^1 + \frac{1 - K}{K_{\max} - K} & (\text{AD წრფე}) \\
 \Delta_2^1 = \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_1^1 - \frac{1 - K}{K_{\max} - K} & (\text{CB წრფე}) \\
 \Delta_2^1 = \frac{1}{K} \Delta_1^1 + \frac{1 - K}{K} & (\text{CD წრფე}) \\
 \Delta_2^1 = \frac{1}{K} \Delta_1^1 + \frac{1 - K}{K} & (\text{AB წრფე})
 \end{cases}$$

ამ წრფეების (ე.ი. მიღების არის) ასაგებად საკმარისია ვიცოდეთ  $X_1$ ,  $X_2$  და  $X_B$  სიდიდეები.  $X_B$  ყოველთვის ვიცით, რადგან იგი წარმოადგენს დასამოწმებელი ხელსაწყოს გა-

ზომების ზედა საზღვარს, რაც შეეხება  $X_1$  და  $X_2$  შერჩევას, მათთვის არსებობს რეკომენდაცია [ 2 ], რომლის მიხედვითაც ჯერ კიდევ თვით დამოწმების დაწყებამდე შეგვიძლია ავაგოთ მიღების არე. ამის შემდეგ შერჩეულ  $X_1$  და  $X_2$  ნიშნულებში განვსაზღვროთ დასამოწმებელი ხელსაწყო ცდომილებები  $\Delta_1$  და  $\Delta_2$  (ცხადია, ეს მოხდება სანიმუშო ხელსაწყო გამოყენებით - სანიმუშო ხელსაწყო შესაბამისი ჩვენებები მიიჩნევა  $X_1$  და  $X_2$  სიდიდეების ნამდვილ მნიშვნელობებად). განსაზღვრული  $\Delta_1$  და  $\Delta_2$  სიდიდეების მიხედვით ვიპოვოთ

$$\Delta_{1M} = \frac{\Delta_1}{|\Delta_p|} \quad \text{და} \quad \Delta_{2M} = \frac{\Delta_2}{|\Delta_p|}$$

სიდიდეები, რომლებიც საკონტროლო  $M$  წერტილის კოორდინატებია -  $M(\Delta_{1M}, \Delta_{2M})$ . დასასრულ,  $M$  წერტილი უნდა დავიტანოთ წინასწარ აგებულ არეზე. თუ იგი მოხვდა მიღების არეში, ეს იმის მომასწავებელი იქნება, რომ დასამოწმებელი ხელსაწყო ვარგისია. წინააღმდეგ შემთხვევაში გამოგვაქვს დასკვნა, რომ დასამოწმებელი ხელსაწყო ცდომილება გადის დასაშვები ფარგლებიდან, ე.ი. ხელსაწყო უვარგისად მიიჩნევა. როგორც ვხედავთ, განხილული ექსპრეს - მეთოდი მოითხოვს საკონტროლო გაზომვის ჩატარებას მხოლოდ ორ ნიშნულში და შემდგომ წინასწარ აგებული გრაფიკით სარგებლობას. სწორედ ამიტომ ეწოდება მას გრაფიკულ - ანალიზური მეთოდი. დამოწმების პროცედურა ფრიად მარტივია და იგი მიესადაგება ნებისმიერი ტიპის ხელსაწყო (განყენებული სიდიდეების გამოყენების წყალობით) ერთადერთი შეზღუდვით - დასამოწმებელი ხელსაწყო გარდაქმნის ფუნქცია გაზომვის მთელ დიაპაზონში არსებითად წრფივი უნდა იყოს, რათა არსებობდეს (3.8) დამოკიდებულების სამართლიანობის გარანტია.

მიღების პარალელოგრამის აგება კიდევ უფრო მარტივდება, თუ ვიპოვით მისი წვეროების კოორდინატებს. A წვეროს კოორდინატებს ვიპოვით, თუ ერთროულად (როგორც განტოლებათა სისტემას) ამოვხსნით AD და AB წრფის განტოლებებს, D წვეროსას - თუ ამოვხსნით AD და CD წრფეების განტოლებებს და ა.შ. ძნელი არაა დავერწმუნდეთ, რომ საძიებელი კოორდინატები ასე გამოისახება:

$$B \left( \frac{K_{\max} - 2K}{K_{\max}} ; \frac{K_{\max} - 2}{K_{\max}} \right); \quad D \left( \frac{2K - K_{\max}}{K_{\max}} ; \frac{2 - K_{\max}}{K_{\max}} \right)$$

$$A(1;1); \quad C(-1;-1).$$

განხილული ექსპრეს - მეთოდი კიდევ ერთი მოხერხებულობით ხასიათდება - იგი საშუალებას გვაძლევს დამოწმების უარყოფითი შედეგის მიღების შემთხვევაში გამოვიტანოთ დასკვნა დაწუნებული ხელსაწყოს ცდომილების დასაშვებ ფარგლებს გარეთ გასვლის სავარაუდო მიზეზის შესახებ, ე.ი. დავსვათ დიაგნოზი. ამასთან დიაგნოზის დასმის პროცესიც გრაფიკულად ხდება. მართლაც, თუ ცნობილია საერთო ცდომილების ცალკეული შემდგენების წარმოშობისა და ფორმირების მიზეზები ( $\alpha_0$  და  $\alpha_1 X$  შემდგენები), მაშინ სამოწმებელ გრაფიკზე შეიძლება გამოვსახოთ არეები, სადაც ჭარბობს ესა თუ ის შემდგენი, სხვა სიტყვებით, უნდა ამოვხსნათ უტოლობები

$$|\alpha_0| > |\alpha_1 X_B| \quad \text{ან} \quad |\alpha_0| < |\alpha_1 X_B| \quad (3.18)$$

და მიღებული არეები გამოვსახოთ ( $\Delta_1^1, \Delta_2^1$ ) საკოორდინატო სიბრტყეზე. აშკარაა, რომ საკმარისია (3.18) უტოლობებიდან ერთ-ერთის ამოხსნა, რადგან ამ უტოლობების ამოხსნით მიღებული არეების გაერთიანებამ მთელი საკოორდინატო სიბრტყე უნდა შეავსოს. ამიტომ ზოგადობის შეუზღუდავად

ამოვხსნათ პირველი უტოლობა. უკვე შემოღებული აღნიშვნების გამოყენებით მივიღებთ

$$\left| \frac{\Delta_1^1 - K \Delta_2^1}{1 - K} \right| > \left| \frac{\Delta_2^1 - \Delta_1^1}{1 - K} K_{\max} \right|.$$

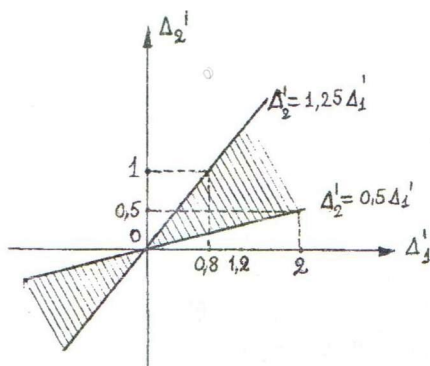
$\Delta_2^1$  სიდიდის მიმართ ამონახსნები შემდეგაა:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_2^1 < \frac{K_{\max} + 1}{K_{\max} + K} \Delta_1^1 \\ \Delta_2^1 > \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_1^1 \end{array} \right. \quad \text{და} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta_2^1 > \frac{K_{\max} + 1}{K_{\max} + K} \Delta_1^1 \\ \Delta_2^1 < \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_1^1 \end{array} \right.$$

თუ უტოლობათა ამ ერთობლიობის რომელიმე სისტემაში უტოლობის ნაცვლად ტოლობის ნიშნებს ავიღებთ, მივიღებთ ე.წ. სადიაგნოსტიკო წრფეების განტოლებებს, რომლებიც შემოსაზღვრავენ სწორედ საძიებელ არეს (სადაც  $\alpha_0 > \alpha_1 X_B$ ). თვალსაჩინოებისათვის ეს წრფეები ნახაზზეა გამოსახული, ხოლო არე, რომელშიც საკონტროლო წერტილის მოხვედრა მოასწავებს ადითიური შემდგენის სიჭარბეს მულტიპლიკაციურთან შედარებით, დაშტრიხულია (ნახ.3.2). დაუშტრიხავი არე შეესაბამება შემთხვევას, როცა მულტიპლიკაციური შემდგენია მეტი ადითიურ შემდგენთან შედარებით. ცხადია, პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელია ამ წრფეებისა და ე.ი. შესაბამისი არეების გამოსახვა იგივე ნახაზზე, რომელზეც იგება მიღების პარალელოგრამი (ნახ.3.1), მაგრამ ეს აქ, როგორც აღვნიშნეთ, თვალსაჩინოების მიზნით გაკეთდა. ამრიგად, სადიაგნოსტიკო წრფეების განტოლებებია:

$$\Delta_2^1 = \frac{K_{\max} + 1}{K_{\max} + K} \Delta_1^1; \quad \Delta_2^1 = \frac{K_{\max} - 1}{K_{\max} - K} \Delta_2^1. \quad (3.19)$$

ცხადია,  $\Delta_1^1$  ი  $\Delta_2^1$  სისტემაში ეს წრფეები ყოველთვის კორდინატთა სათავეზე გადის



ნახ. 3.2.

განსახილველი დარჩა საკითხი იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა ავირჩიოთ  $X_1$  და  $X_2$  ნიშნულები, რომლებშიც უნდა ჩატარდეს საკონტროლო გაზომვა. როგორც პრაქტიკული დამოწმებითი სამუშაოების სტატისტიკური მასალის ანალიზი უჩვენებს, ყველაზე რაციონალურად მიიჩნევა შემდეგი პირობებით არჩეული  $X_1$  და  $X_2$  მნიშვნელობები:  $X_2$  უნდა იყოს ხელსაწყოს ზედა საზღვრის შესაბამისი, ე. ი.  $X_2 = X_B$ . ამ პირობებში, ცხადია,  $K_{\max} = 1$ . რაც შეეხება  $X_1$  - ს, იგი ისე უნდა შეირჩეს, რომ სრულდებოდეს  $K = X_1 / X_B < 0,3$  უტოლობა. ადვილი შესამჩნევია, რომ  $K_{\max} = 1$  პირობის დაცვისას მიღების პარალელელოგრამის AD და CB გვერდების შემცველი წრფეები (ნახ.3.1) იქნება აბსცისათა ღერძის პარალელური, შესაბამისად D წვეროს ორდინატა იქნება +1, B წვეროსი კი - 1, ხოლო (3.19) სადიაგნოსტიკო წრფეებიდან

მეორე დაემთხვევა აბსციისათა ღერძს  $\Delta_1^1$ . რაც შეეხება დამოწმებისათვის საჭირო გაზომვის სანიმუშო საშუალების სიზუსტის მაჩვენებლების არჩევას, აქ რეკომენდაციები იგივე ხასიათისაა, რაც ზოგადად ჩამოყალიბებულია [19] -ში.

### 3.4. დამოწმებითი სამუშაოების ავტომატიზაცია

გაზომვის სანიმუშო საშუალებების განხილვისას დადგენილი იყო, რომ “იდეალური” საშუალება სხვა მოთხოვნებთან ერთად უნდა უშვებდეს ავტომატიზაციის შესაძლებლობას. ავტომატიზებული სანიმუშო საშუალებების შექმნის პრობლემა სხვადასხვაგვარად წყდება დამოწმების დისკრეტული და უწყვეტი მეთოდებისათვის.

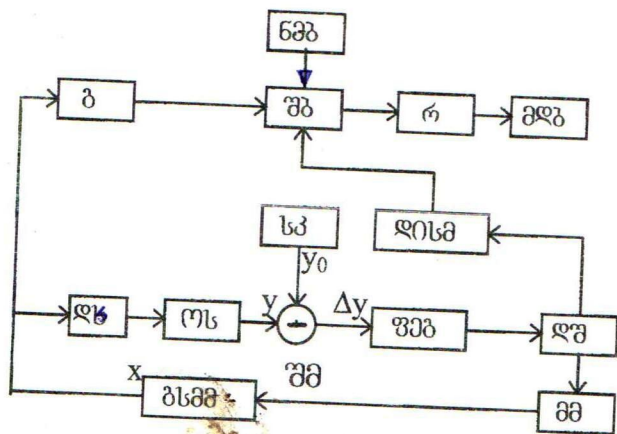
დამოწმების დისკრეტული მეთოდების დროს ხელსაწყოს დამოწმებას ატარებენ გასაზომი სიდიდის (შესასვლელი სიგნალის) დისკრეტული მნიშვნელობების რიგისათვის. დისკრეტული მეთოდები ძირითადად გამოიყენება სკალიანი ხელსაწყოებისა და დისკრეტული გამოსასვლელი სიგნალისა და გარდაქმნის ინდივიდუალური ფუნქციის მქონე საზომი გარდამქმნელების დამოწმებისას. არსებობს დამოწმების დისკრეტული მეთოდების ხუთი სახესხვაობა:

1. უშუალო შეპირისპირება ხელსაწყოთა სანიმუშო ხელსაწყოებთან ან საზომისა სანიმუშო საზომებთან;
2. დასამოწმებელი საზომის მიერ აღწარმოებული სიდიდის გაზომვა სანიმუშო ხელსაწყოთი;
3. სანიმუშო საზომის მიერ აღწარმოებული სიდიდის პირდაპირი გაზომვა დასამოწმებელი ხელსაწყოთი;
4. სანიმუშო და დასამოწმებელი საზომების შეპირისპირება მაკომპენსირებელი ხელსაწყოთა საშუალებით;
5. დამოწმება ირიბი გაზომვის გამოყენებით.

სამუშაოთა ავტომატიზაციის თვალსაზრისით დასა-  
მოწმებელი ხელსაწყოს უშუალო შეპირისპირება სანიმუშო  
ხელსაწყოსთან პერსპექტიული არ არის, რადგან მოითხოვს  
გაუმართლებლად რთულ ტექნიკურ რეალიზაციას. მაგალი-  
თად, როცა დასამოწმებელი და სანიმუშო ხელსაწყოები  
სკალიანია, დამოწმების ავტომატიზაციისათვის საჭიროა  
ორი მოწყობილობა ჩვენებების ასათვლელად, ორი გარდა-  
მქმნელი და რთული შედარების სისტემა. გარდა იმისა, რომ  
ჩამოთვლილი მოწყობილობების შექმნა ტექნიკური თვალსა-  
ზრისით ძალიან რთულია, საგრძნობლად დიდია ავტომა-  
ტური დამოწმებითი აპარატურის მუშაობისათვის მომზადე-  
ბის დროც. ასევე რთულია საზომთა ავტომატური დამოწმე-  
ბის განხორციელება სანიმუშო ხელსაწყოების საშუალებით.  
ამრიგად, მაჩვენებელი ხელსაწყოებისა და დისკრეტული გა-  
მოსასვლელი სიგნალების მქონე საზომი გარდამქმნელების  
(გარდაქმნის ინდივიდუალური ფუნქციით) ავტომატური  
დამოწმებითი დანადგარების ტექნიკური რეალიზაციისათვის  
ყველაზე უფრო ხელსაყრელია გამოვიყენოთ სანიმუშო  
საზომთან შეპირისპირების მეთოდი, ხოლო საზომების და-  
მოწმებისათვის - შეპირისპირების მეთოდები მაკომპარირებუ-  
ლი მოწყობილობების მეშვეობით. შესაბამის ავტომატურ და-  
ნადგარს ამ დროს უნდა გააჩნდეს (როცა დასამოწმებელი  
ხელსაწყოები და მრავალნიშნა საზომები აღჭურვილია ასა-  
თვლელი სკალებით):

1. გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობათა მიმწოდებელი მო-  
წყობილობა, რომელიც განახორციელებს ამ მიზნით სანი-  
მუშო საზომთა ნაკრების თანამიმდევრულ მიერთებას დასა-  
მოწმებელ ხელსაწყოზე;
2. დამოწმების შედეგების დამუშავებისა და ჩაწერის მო-  
წყობილობა;
3. მართვის მოწყობილობა.

ავტომატური დამოწმებითი დანადგარის მითითებული სტრუქტურით ნაგარაუდებია, რომ ოპერატორის (დამმოწმებლის) მონაწილეობა ამოიწურება მხოლოდ დანადგარისა და ხელსაწყოს მომზადებით დამოწმებისათვის. დისკრეტული დამოწმების პროცესის სრული ავტომატიზაციის უზრუნველყოფი დანადგარის საერთო სტრუქტურული სქემა



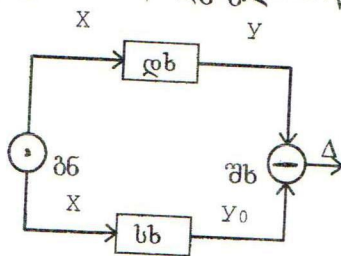
ნახ.3.3

წარმოდგენილია ნახ.3.3-ზე. სქემა შემდეგნაირად მუშაობს: დასამოწმებელი ხელსაწყო ღს თავსდება ოპტიკური სისტემის ოს “ხედვის არეში”. ინფორმაცია ღს -ს ჩვენების შესახებ მიეწოდება შედარების ელემენტს შპ, რომლის მეორე შესასვლელზე საყრდენი კოორდინატის მიმწოდებელი მოწყობილობიდან სპ მიეწოდება  $y_0$  სიდიდე. ე.ი. შპ ერთმანეთს ადარებს საყრდენი კოორდინატის შესაბამის  $y_0$  სიდიდეს და ხელსაწყოს ჩვენების შესაბამის  $y$  სიდიდეს, შპ-ს გამოსასვლელზე ფორმირდება სხვაობითი სიგნალი  $\Delta y = y - y_0$ , რომელიც შედის ფოტოელექტრულ გარდამქმნელში შპბ. დეშიფრატორიდან ღშ დეშიფრაციის შემდეგ გარდაქმნილი სხვაობითი სიგნალი მიეწოდება მართვის მოწყობილობას მმ და დასამოწმებელი ინტერვალების საინ-

დიკაციო მოწყობილობას ღისმ. მმ მართავს გასაზომი სი-  
დიდეების მიწოდების მოწყობილობას ბსმმ. ეს უკანასკნელი  
აღაწარმოებს (გამოიმუშავებს) შესასვლელ (გასაზომ) X სი-  
დიდეების რიგს, უფრო სწორად, მათ შესაბამის სიგნალებს.  
ეს სიგნალები ერთდროულად მიეწოდება დასამოწმებელ  
ხელსაწყოს და დარდამქმნელს ბ. გარდამქმნელი მიწოდე-  
ბულ სიგნალებს გარდაქმნის ისეთ ფორმაში, რომელიც მო-  
სახერხებელია ნომინალურ მნიშვნელობებთან შედარები-  
სათვის. იმ სიდიდეების ნომინალური მნიშვნელობები, რომ-  
ლებიც შეესაბამება დასამოწმებელ ნიშნულებს ხელსაწყოს  
სკალაზე, გამოიმუშავება ნომინალური მნიშვნელობების  
ბლოკის ნმბ მიერ და შეიყვანება შედარების ბლოკში შბ. ამ-  
რიგად, შედარების ბლოკში ერთმანეთს ედარება ხელსაწ-  
ყოს ჩვენების შესაბამისი და ნომინალური მნიშვნელობები  
გასაზომი სიდიდისა. შედარება ხდება იმ მომენტში, როცა  
ბსმმ-დან დასამოწმებელ ხელსაწყოზე მიწოდებული სი-  
დიდე მიაღწევს მნიშვნელობას, რომლის დროსაც გაუთან-  
ხმოების სიგნალი  $\Delta y$  ნულის ტოლი ხდება. ამ დროს დასა-  
მოწმებელი ინტერვალების საზღვრების ინდიკატორი ღისმ  
გამოიმუშავებს იმპულსს, რომელიც “ნებას რთავს” შედარე-  
ბის ბლოკს შბ “გაატაროს” რ რეგისტრაციის მოწყობილო-  
ბისკენ სხვაობა დასამოწმებელი ხელსაწყოს სკალის ნიშ-  
ნულის შესაბამის გასაზომ სიდიდესა და ამ უკანასკნელის  
ნომინალურ მნიშვნელობას შორის, ანუ, სხვა სიტყვებით, სა-  
ძიებელი ცდომილება. მეხსიერებისა და დამუშავების ბლოკ-  
ში მზბ ხდება მიღებული შედეგების დამუშავება და შენა-  
ხვა. მართვის სისტემა მს საზომი ციკლის მრავალჯერადი  
გამეორების საშუალებას იძლევა. მას აქვს, აგრეთვე, შესას-  
ვლელი მისაწოდებელი სიგნალების რევერსირების საშუა-  
ლებაც, რაც საჭიროა ხელსაწყოს ვარიაციების კონტროლი-  
სათვის.

აღწერილი განზოგადებული სტრუქტურული სქემის ცდომილებათა ანალიზი აჩვენებს, რომ დამოწმების მაჯამებელ ცდომილებაზე სქემის ელემენტები სხვადასხვანაირად მოქმედებს. კერძოდ, არსებით გააღვანას ცდომილების სიდიდეზე ახდენენ: გარდამქმნელი ბ, საყრდენი კოორდინატის მიმწოდებელი მოწყობილობა სპ, ოპტიკური სისტემა ოს. გაცილებით მცირეა ცდომილების ფორმირებაში ისეთი კვანძების "წვლილი", როგორცაა შპ, ბსმმ, ღისმ (რადგან მცირეა დასამოწმებელი ინტერვალების საზღვრების შეფარდება გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობებთან). მაღალი სიზუსტის ნმბ -ს შემთხვევაში მცირეა შპ -ს ცდომილებებიც [2, 6].

განხილული სტრუქტურული სქემის მარეალიზებული დამოწმების ტექნიკური საშუალებების შესაქმნელად აუცილებელია საკმაო უნივერსალობის მქონე ჩვენებათა ამთვლელი მოწყობილობების, მართვის სისტემების, საყრდენი სიგნალების მიმწოდებელი მოწყობილობების, შედარების სქემების და აგრეთვე, გარე



ნახ. 3.4

ზემოქმედებების მაკორექტირებელი მოწყობილობების დამუშავება. დასახელებული ამოცანა საკმაოდ რთულია და შედარებით მარტივად იგი მხოლოდ ზოგიერთ კერძო შემთხვევებში, მაგალითად, სიგრძის საზომების დამოწმებისას, წყდება. პერსპექტიულ მიმართულებად ამ მხრივ შეიძლება მივიჩნიოთ აქტიური საზომ - მიმწოდებლებისა და კალიბრატორების გამოყენება. ზოგიერთი კალიბრატორი აღჭურვილია სპეციალური მოწყობილობებით, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ყოველგვარი საშუალოდ ოპერაციის ჩატარების გარეშე უშუალოდ ავითვალოთ ცდომილებების

მთხვევებში, მაგალითად, სიგრძის საზომების დამოწმებისას, წყდება. პერსპექტიულ მიმართულებად ამ მხრივ შეიძლება მივიჩნიოთ აქტიური საზომ - მიმწოდებლებისა და კალიბრატორების გამოყენება. ზოგიერთი კალიბრატორი აღჭურვილია სპეციალური მოწყობილობებით, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ყოველგვარი საშუალოდ ოპერაციის ჩატარების გარეშე უშუალოდ ავითვალოთ ცდომილებების

მნიშვნელობები. აქვე უნდა მივუთითოთ, რომ არსებითად მარტივდება ავტომატური დამოწმებითი დანადგარების შექმნა მაქსიმიზირებელი საზომი გარდამქმნელების დამოწმებისათვის (როცა საზომი გარდამქმნელის გამოსასვლელი სიდიდეა დენი, ძაბვა, სიხშირე, წნევა ამ სიდიდეებისათვის უდგენილ ღიაპაზონებში).

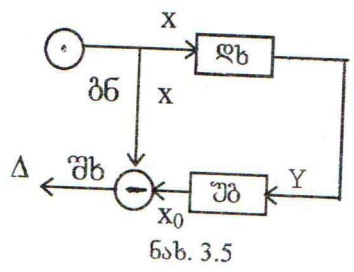
უწყვეტი დამოწმების ჩატარების ავტომატიზაცია დისკრეტულთან შედარებით უფრო იოლი მისაღწევია. პრაქტიკულად იყენებენ ორ მეთოდს, რომელთაგან პირველი მდგომარეობს დასამოწმებელი და სანიმუშო საშუალებების გამოსასვლელი სიგნალების შედარებაში, რომლებიც შეესაბამებინ შესასვლელი სიდიდის ერთსა და იგივე მნიშვნელობას. 3.4 ნახაზზე წარმოდგენილია ამ მეთოდის მარეალიზებული უმარტივესი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა. გენერატორი ბნ გამოიმუშავებს გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობებს X, რომლებიც ერთდროულად მიეწოდება დასამოწმებელ ხელსაწყოს ღზ და სანიმუშო ხელსაწყოს სხ. ამ ხელსაწყოების გამოსასვლელი სიგნალები y და y<sub>0</sub> ერთმანეთს ედარება შედარების ხელსაწყოში შხ, რომლის გამოსასვლელზე ფორმირდება Δ = y - y<sub>0</sub> სხვაობა, ანუ ღზ -ს ცდომილება. ამ დროს არ მოითხოვება X -ის რომელიმე ფიქსირებული მნიშვნელობის ზუსტი მიწოდება. შესასვლელი სიდიდის მდოერე ცვლილებისას, ანუ კვაზისტატიკურ რეჟიმში, რაც გენერატორის მეშვეობით ხორციელდება, ინფორმაცია ღზ -ს ცდომილებების შესახებ შეიძლება მიღებული იქნას Δ<sub>i</sub> = y<sub>i</sub> - y<sub>0i</sub> მნიშვნელობების უწყვეტი ჩანაწერის სახით. შედარების ხელსაწყოს მიერ შეტანილი ცდომილება

$$\delta = \gamma_{\text{შ}} \frac{(y - y_0) \max}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad (3.20)$$

სადაც  $\gamma_{\text{შ}}$  არის შხ -ს ცდომილება;  $(y - y_0) \max$  - ღზ -ს ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა მისი გამოსას-

ვლელი სიგნალის ცვლილების დიაპაზონში  $y_{\max} - y_{\min}$ . (3.20) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ შხ -ს როლში დასაშვებია მცირე სმზუსტის ხელსაწყო გამოყენება, როდგან მისი წვლილი ( $\delta$ ) საერთო ცდომილებაში (3.20) -ის თანახმად უმნიშვნელოა. მართლაც თუ  $\gamma_a = 20\%$ ,  $(y - y_0)_{\max} / (y_{\max} - y_{\min}) = 1\%$ , მაშინ  $\delta = 0,2\%$ . განხილული მეთოდით სარგებლობისას თუ გამოვიყენებთ ორ ჩამწერ ხელსაწყოს, მაშინ შესაძლებელი გახდება მივიღოთ  $\Delta = y - y_0 = f(y)$  ფუნქციის ცხრილები.

მეორე მეთოდი პირველისგან განსხვავდება იმით, რომ სანიმუშო ხელსაწყოს როლში გამოიყენება უკუგარდამქმნელი, რომლის გარდაქმნის ფუნქცია დასამოწმებელი ხელსაწყოს გარდაქმნის ნომინალური ფუნქციის შებრუნებულია. 3.5 ნახაზზე მოცემულია ამ მეთოდის მარეალიზებული ტექნიკური მოწყობილობის ბლოკ - სქემა, საიდანაც აშკარაა მისი მუშაობის პრინციპი.



წინა სქემისაგან პრინციპული

განსხვავება ისაა, რომ აქ ერთმანეთს ედარება არა გამოსასვლელი, არამედ შესასვლელი სიდიდეები. ორივე მეთოდის ღირსებად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ არსებობს იმ მიზეზების დიაგნოსტიკების საშუალება (ცდომილებათა ჩანაწერის ხასიათის მიხედვით), რამაც განაპირობა ღხ -ს მეტროლოგიური უვარგისობა (თუ დამოწმების შედეგად იგი დაწუნებული იქნა).

დამოწმებითი სამუშაოების ავტომატიზაციის განხილული მეთოდები და საშუალებები, როგორც ჩანს, წარმოადგენს საკითხის გადაწყვეტისადმი ერთ-ერთ მიდგომას, კერძოდ, ავტომატიზაციას სპეციალიზებული მოწყობილო-

ბების შექმნის გზით. ბოლო წლებში გამოჩნდა საკითხის გადაწყვეტისადმი მეორე, და, უნდა ითქვას, უფრო პერსპექტიული მიდგომა - ესაა გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებათა დანერგვა დამოწმების პრაქტიკაში. საკითხისადმი მსგავსი მიდგომების დროს მიზანშეწონილია დასამოწმებელ საშუალებათა დაყოფა ჯგუფებად უკვე სხვა ნიშნის მიხედვით, კერძოდ: გაზომვის საშუალებები ელექტრული გამოსასვლელით და მის გარეშე. ელექტრული გამოსასვლელის არსებობაზე დამოკიდებული დამოწმების ავტომატიზაციის ეფექტურობა და, გარდა ამისა, დამოწმების პროცესისადმი მეთოდური მიდგომა [ 9 ].

თუ გაზომვის საშუალებას აქვს ელექტრული გამოსასვლელი, მაშინ დამოწმების ავტომატიზაციისას შესაძლებელი ხდება ხელით შრომის წილის არსებითი შეცვლა (რაც მნიშვნელოვნად ზრდის დამოწმებითი სამუშაოების მწარმოებლურობას), პროგრამულად მართვადი სანიმუშო საშუალებების გამოყენება (რაც არა მარტო ხელს უწყობს დამოწმების ავტომატიზაციის დონის ამაღლებას, არამედ წარმოადგენს დამოწმების შედეგების სტატისტიკური დამუშავების ერთ - ერთ პირობას), დამოწმების ეფექტურობის საგრძნობი ამაღლება.

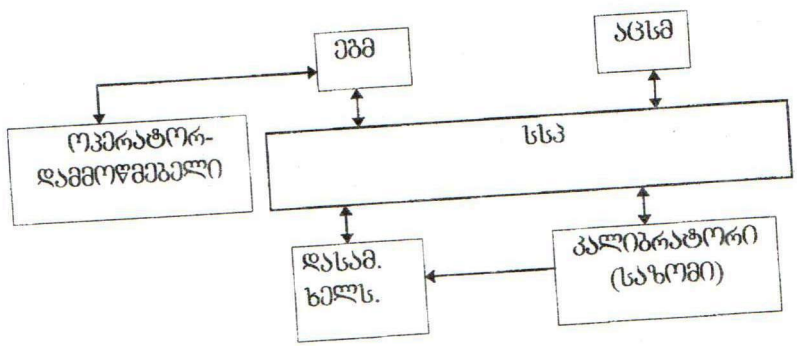
გაზომვის იმ საშუალებათა ავტომატიზებული დამოწმება, რომელთაც არ გააჩნიათ ელექტრული გამოსასვლელი (ისრიანი ხელსაწყოები, ელექტრონული და ციფრული ხელსაწყოები გამოსასვლელით მხოლოდ ვიზუალურ ინდიკატორულ მოწყობილობაზე), შედარებით ნაკლებადაა აღნიშნულ ღირსებათა მქონე, რადგან დასამოწმებელი ხელსაწყოები სპეციალური მოწყობილობების გამოყენების გარეშე საშუალებას არ იძლევა ავიღოთ ანათვლები და შევიყვანოთ ისინი ეგმ -ში. თუმცა ამ დროს შრომის ეფექტურობა უფრო მაღალია, ვიდრე ხელით დამოწმებისას, მაგრამ ავტომატიზაციის დონე და ე.ი. დამოწმების ეფექტურობაც უფრო

დაბალია, ვიდრე ელექტრული გამოსასვლელის მქონე ხელსაწყოების ავტომატური დამოწმებისას.

უკანასკნელი მიღწევები საზომი და გამოთვლითი ტექნიკის სფეროებში დაკავშირებულია ისეთი გაზომვის საშუალებების შექმნასთან, რომლებსაც აქვთ შესაძლებლობა იმუშაონ ავტომატურ რეჟიმში. მათი მართვა ხორციელდება გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებებით *საერთო სარგებლობის არხებში* (სსა). ავტომატური დამოწმების პროცესის განხორციელება ამ დროს შესაძლებელია ორი სხვადასხვა გზით, პირველი გზა გულისხმობს ავტომატიზებული სამუშაო ადგილების შექმნას გაზომვის კონკრეტულ საშუალებათა დამოწმებისათვის. ამ დროს ეს ავტომატიზებული სამუშაო ადგილი აღიჭურვება დასამოწმებელი მოწყობილობითა და ხელსაწყოებით, რომლებიც იმართება პერსონალური ეგმ-ის საშუალებით. დამოწმების სამუშაოთა ძირითადი მოცულობა უნდა შესრულდეს მოცემულ სამუშაო ადგილზე. მეორე გზა მდგომარეობს გაზომვის საშუალებათა დამოწმების სისტემის ავტომატიზებული კომპლექსების შექმნაში, რომელთა შემადგენლობაში შედის რამდენიმე ავტომატიზებული სამუშაო ადგილი დასამოწმებელი ხელსაწყოების ცალკეული ტექნიკური პარამეტრების საზომი კონტროლისათვის. ავტომატიზებული კომპლექსის მართვას ახორციელებს ყველა ავტომატიზებული სამუშაო ადგილისათვის საერთო ეგმ. ამგვარი კომპლექსები ყველაზე უფრო ეფექტურია დამოწმებითი ლაბორატორიებისათვის, რომლებიც ემსახურებიან გაზომვის საშუალებათა ტიპების ფართონომენკლატურას მათი შედარებით შეზღუდული რიცხვისას. ამიტომ ავტომატიზებული კომპლექსებით აღჭურვილი უნდა იქნას პერსპექტიული მოძრავი ლაბორატორიები.

დღეისათვის გაზომვის საშუალებათა ავტომატიზებული დამოწმებისას იყენებენ სანიმუშო სიგნალებისა და

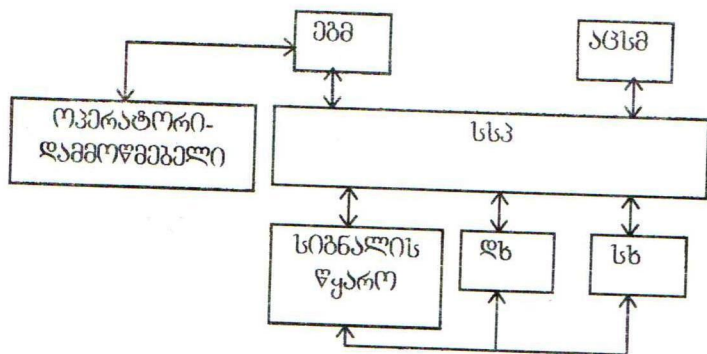
სანიმუშო ხელსაწყოების მეთოდებს. სანიმუშო სიგნალების მეთოდი ხასიათდება იმით, რომ დამოწმების ობიექტს მიეწოდება სანიმუშო ტიპური სიგნალი პროგრამულად მართული სიგნალების წყაროდან (კალიბრატორიდან). 3.6. ნახაზზე მოცემულია შესაბამისი სტრუქტურული სქემა. აქ სსა -დან ემ -ს მიეწოდება სანიმუშო სიგნალისა და დასამოწმებელი ხელსაწყოს ამ სიგნალზე რეაქციის შესაბამისი ციფრული კოდები ურთიერთშედარებისათვის, განისაზღვრება ცდომილება, რომელსაც აღარებენ მოცემულ დაშვებას. მსგავსი პროცედურა მეორდება დასამოწმებელი ხელსაწყოს გაზომვის დიაპაზონის დადგენილ ნიშნულებში.



ნახ.3.6

სანიმუშო ხელსაწყოების მეთოდი, რომლის ტექნიკური რეალიზაცია სტრუქტურული სქემის სახით მოტანილია 3.7 ნახაზზე, განსხვავდება სანიმუშო სიგნალების მეთოდი-საგან - კერძოდ, დასამოწმებელ ხელსაწყოს ამ დროს მიეწოდება დაუკალიბრებელი სიგნალი, რომელიც უნდა შეესა-ბამებოდეს სკალის ციფრულ ნიშნულებს ან სამოწმებელ წერტილებში ინფორმაციული სიგნალის იმ მნიშვნელობებს, რომლებიც მითითებულია დასამოწმებელი ციფრული ხელ-საწყოს ნორმატიულ - ტექნიკურ დოკუმენტებში. ეს დაუკა-

ლიბრებელი სიგნალი გამომუშავდება რა ავტომატურად სსპ -ს მიერ, ან ხელით ოპერატორის მიერ, მიეწოდება ერთდროულად დასამოწმებელ და სანიმუშო ხელსაწყოებს.

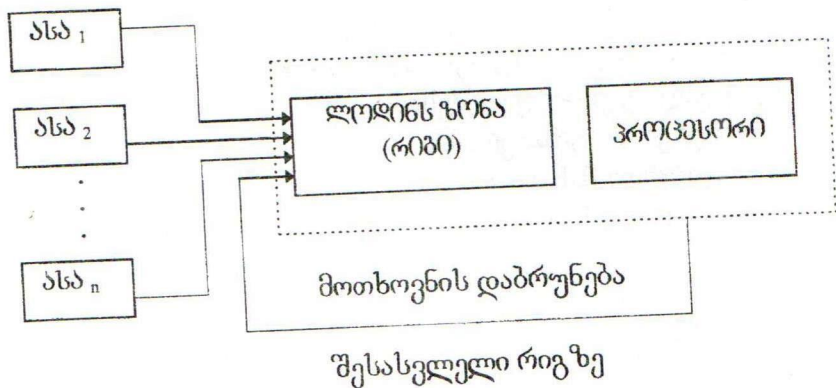


ნახ. 3.7

დამოწმების ეფექტურობა მნიშვნელოვნად იზრდება, როცა ხდება დამოწმების შედეგების ავტომატური დოკუმენტირება. სწორედ ამ მიზნითაა ორივე უკანასკნელ სქემაში გათვალისწინებული ალფაბეტურ - ციფრული საბუჯდი მოწყობილობა (აღსმ). დოკუმენტებს, რომლებიც გაიცემა დამოწმების ავტომატიზებული სისტემის მიერ, აქვთ საკმარისი სისრულე და უტყუარობა, რათა გაკეთდეს დასკვნა გაზომვის დასამოწმებელ საშუალებათა ვარგისობის ან დაწუნების შესახებ. დამოწმების მაღალ უტყუარობას უზრუნველყოფს როგორც ოპერატორის (დამმოწმებლის) სუბიექტური შეცდომების გამორიცხვის, ასევე ცდომილების მრავალჯერადი შეფასების შესაძლებლობა.

3.8. ნახაზზე გამოსახულია გაზომვის საშუალებათა დამოწმების სისტემის ავტომატიზებული კომპლექსი, რომელიც შექმნილია, როგორც მასობრივი მომსახურების სისტემა ავტომატიზებული სამუშაო ადგილებით (აღსმ).

მმართველი მინი - ებმ ახდენს ასა - ების წრიულ (თანამიმდევრულ) გამოკითხვას, შესასვლელი მოთხოვნები მოსახურებაზე განლაგდება ლოდინის ზონაში. დროის მორიგი კვანტის მიღების შემდეგ ეს მოთხოვნები წინ წაიწევს ლოდინის ზონის დასაწყისისკენ. გამოყენებული ებმ - ის მწარმოებლურობა ისეთი უნდა იყოს, რომ გადაფაროს ასს - ებზე მიწოდებული ხელსაწყობების ტიპებით, მიწოდებათა ინტენსიურობით, გამოთვლითი ოპერატორების საშუალო მოცულობითა და საჭირო პროგრამების ბრძანებებით განსაზღვრული სამუშაოების კუთრი (დროის ერთეულის შესატყვისი) მოცულობა.



ნახ. 3.8

განხილული სქემები მხოლოდ ზოგად წარმოდგენას გვაძლევს დამოწმებითი სამუშაოების ავტომატიზაციის პერსპექტიულ მიმართულებებზე და სრულებით არ ამოწურავს ამ სფეროში დღეისათვის მიღწეულ შედეგებს. ამ უკანასკნელთა დაწვრილებით გაცნობა შეიძლება [ 9 ] -ში მოყვანილი ბიბლიოგრაფიული წყაროების საშუალებით.

## თავი 4. ბაზომების მუშა საშუალებების სიზუსტის ამაღლების პრაქტიკული მეთოდები

### 4.1 გასაზომი მუშა საშუალებების განვითარების პრობლემები. ცდომილებათა შემცირების მეთოდების კლასიფიკაცია

ბაზომების მუშა საშუალებები ის ხელმისაწვდომი ტექნიკური მოწყობილობებია, რომლებიც გამოიყენება საწარმოო თუ საყოფაცხოვრებო ბაზომების პრაქტიკაში. საზომი ტექნიკის განვითარებასთან ერთად შეიმჩნევა ამ საშუალებების ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებისადმი გაზრდილი მოთხოვნების წაყენების ტენდენცია. კერძოდ, მოითხოვება მაღალი სიზუსტე, სწრაფქმედება, საიმედოობა, მომატებული ფუნქციური შესაძლებლობები. როგორც წესი, ეს მოთხოვნები ურთიერთსაწინააღმდეგო ხასიათისაა და ხშირად ერთი მახასიათებლის გაუმჯობესება ხდება მეორის გაუარესების, ან უკეთეს შემთხვევაში, იგივე დონეზე დატოვების ხარჯზე, ასე, მაგალითად, ფუნქციური შესაძლებლობების გაზრდა იწვევს მოწყობილობის გართულებას, რაც თავის მხრივ, განაპირობებს საიმედოობის შემცირებას, სწრაფქმედების ზრდა იწვევს ნელა ცვლადი გავლენის მომხდენი პარამეტრებით გამოწვეული ცდომილებების ავტომატური კომპენსაციის ეფექტურობის შემცირებას და ა.შ. ამიტომ არსებული ხელსაწყოების გაუმჯობესების ან ახლის შექმნის პროცესში ყოველთვის საჭიროა გონივრული კომპრომისის მონახვა ხელსაწყოების ტექნიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებით მიღწეულ ეფექტსა და ეკონომიკურ მიზანშეწონილობას შორის, თვით ხელსაწყო სხვადასხვა მახასიათებლებსა და თვისებებს შორის. არ უნდა დაგვაუვიწყდეს, რომ არსებობის უფლება აქვთ შედარებით “უხეშ”,

ნაკლებად ზუსტ, მაგრამ იაფ და სიამედო მუშა ხელსაწყო-  
ოებსაც, რადგან ყოველთვის არსებობს პრაქტიკული ამოცა-  
ნების კლასი, რომლისთვისაც ეს ხელსაწყოები ზედგამოჭ-  
რილია.

დღეისათვის გაზომვის მუშა საშუალებების განვი-  
თარება მიმდინარეობს საშუალო სიზუსტის ამადლების,  
სტანდარტიზაციისა და უნიფიკაციის დონის გაზრდის, მრავალფუნქციური საზომი საინფორმაციო სისტემებისა და კომპლექსების შექმნისა და დანერგვის, მიკროპროცესორულ ტექნიკის ფართო გამოყენების, კვანტურ ფიზიკურ ეფექტებზე დაფუძნებული რადიოელექტრონული და ციფრული საზომი ტექნიკის უპირატესი დამუშავების ნიშნით. ეს საშუალებები, რომლებშიც უპირატესობა ენიჭება უკონტაქტო და დისტანციურ ტექნიკურ მოწყობილობებს, ფართოდ გამოიყენება მეცნიერული კვლევებისას, პროდუქციის გამოცდისა და ხარისხის კონტროლის დროს, ტექნოლოგიური პროცესების მართვის მიზნებისათვის ობიექტური და მრავალმხრივი საზომი ინფორმაციის დროის რეალურ მასშტაბში მიღების საფუძველზე. ძირითადი ამოსავალი მომენტი, რომელიც განაპირობებს ამ საშუალებათა განუწყვეტელ სრულყოფას, არის ეტალონური ბაზის განუხრედი გაუმჯობესება.

მიუხედავად ჩამოთვლილი ამოცანების და პრობლემების მრავალმხრივობისა და მასშტაბურობისა, მთავარ მეტროლოგიურ პრობლემად გაზომვის მუშა საშუალებების განვითარებაში ყოველთვის იყო და არის მათი სიზუსტის გეგმაზომიერი ამადლება [2, 14, 15]. სიზუსტის ზრდის პრობლემა შედგება სამი დამოუკიდებელი ამოცანისაგან:

1. გაზომვის საშუალებათა გარდაქმნის ნომინალური ფუნქციების განსაზღვრის სიზუსტის ამადლება;
2. შიგა ხმაურის, დაბრკოლებისა და მათი ელემენტების მახასიათებლების დროითი ცვლილებების შემცირება;

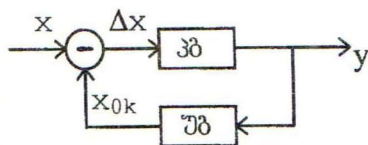
3. გაზომვის პირობების, გასაზომი ობიექტების თვისებების და გასაზომი სიდიდეების არაინფორმაციული პარამეტრების გაკლენის შემცირება გაზომვის საშუალებათა მეტროლოგიურ მახასიათებლებზე.

თითოეულ ამ ამოცანას აქვს გადაწყვეტის საკუთარი, მისთვის დამახასიათებელი ხერხები [2]. მაგალითად, ნომინალური გარდაქმნის ფუნქციების განსაზღვრის სიზუსტის ამაღლებისათვის საჭიროა გრადუირების პრეციზიული სანიმუშო საშუალებების გამოყენება, საგრადუირებელი მონაცემების დამუშავების სპეციალური ალგორითმებით სარგებლობა. ასევე, მეორე ამოცანის გადაწყვეტას ხელს უწყობს გაზომვის საშუალებათა ელემენტური ბაზის, კონსტრუქციებისა და დამზადების ტექნოლოგიის სრულყოფა. გადასაწყვეტად ყველაზე რთული მესამე ამოცანა არსებითად გულისხმობს გამოსასვლელი სიგნალების ინვარიანტულობის უზრუნველყოფის ხერხების მოძებნას, გარდაქმნის ფუნქციების გარე შემაშფოთებელ ფაქტორებზე დამოუკიდებლობის მიღწევას.

ცდომილებების შემცირების ხერხების მრავალნაირი კლასიფიკაცია არსებობს. შეიძლება გამოეყოთ: კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური ხერხები, სტრუქტურული სტაბილიზაცია (გარდაქმნის მახასიათებლის), კომპენსაცია, კორექცია, კომპლექსირება, ცდომილებებისა და დაბრკოლებების ფილტრაცია.

ცდომილებების შემცირების კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური ხერხები გულისხმობს ისეთი მასალების გამოყენებას, რომლებიც ხასიათდებიან მაღალი სტაბილურობით, თერმოსტატირებას, გაზომვის საშუალებათა ან მათი ელემენტების დაცვას გარე ელექტრული და მაგნიტური ველებისაგან (დაეკრანებას, დამიწებას). უნდა აღინიშნოს, რომ ჩამოთვლილი ხერხები, მიუხედავად მათი ფართო გავრცელებისა, არ გამოირჩევიან მაღალი ეფექტურობით.

უფრო პერსპექტიულია გარდაქმნის ნომინალური მახასიათებლის სტრუქტურული სტაბილიზაციის ხერხები, რომლებსაც მიეკუთვნება უარყოფითი უკუკავშირის გამოყენება და შედგენილი პარამეტრების ხერხი. განვიხილოთ უარყოფითი უკუკავშირის შემოღების ხერხი. 4.1 ნახაზზე წარმოდგენილია გაზომვის საშუალება, რომლის სტრუქტურული სქემა შეიცავს უარყოფითი უკუკავშირის წრედს უბ უკუგარდამქმნელით. აქ კბ -თი აღნიშნულია პირდაპირი გარდაქმნის წრედში შემავალი გარდამქმნელების ერთობლიობა. შუ ულემენტი აფორმირებს  $\Delta X = X - X_{OK}$  გაუწონასწორებელ სხვაობას, რომელიც შემდეგ კბ -თი ძლიერდება. ძნელი არ არის ვუჩვენოთ, რომ



ნახ. 4.1.

$$S = \frac{K}{1 + K\beta} = \frac{1}{1 / K + \beta}, \quad (4.1)$$

სადაც  $K = y / \Delta X$  არის პირდაპირი გარდაქმნის წრედის გადაცემის (გაძლიერების) კოეფიციენტი;  $\beta = X_{OK} / y$  - უკუგარდაქმნის წრედის გადაცემის კოეფიციენტი,  $S = y / X$  - ხელსაწყოს რეზულტატური გადაცემის (გარდაქმნის) კოეფიციენტი. როგორც (4.1) ფორმულიდან ჩანს,  $K\beta \gg 1$  დროს  $S$  კოეფიციენტი თითქმის არაა დამოკიდებული  $K$  -ზე. ე.ი. ის მიზეზები, რომლებიც იწვევენ  $K$  -ს ცვლილებას (გაველენას ახდენენ კბ წრედში შემავალი გარდამქმნელების მახასიათებლებზე), სქემის მიერ პრაქტიკულად არ აღიქმება. მაშასადამე, უარყოფითი უკუკავშირის შემოღება იწვევს  $S$  კოეფიციენტის სტაბილიზაციას და კბ -ში არსებული ნებისმიერი დაბრკოლების (მათ შორის არაწრფივობის ცდომილებისაც) ჩახშობას. უარყოფითი უკუკავშირი თითქმის ყოველთვის გამოიყენება მაღალი სიზუსტის საზომ ხელსაწყოებში,

მაგრამ მისი გამოყენება პანაცეა არ არის. ჯერ ერთი, საჭიროა არსებობდეს გარკვეული სიჭარბე  $K$  სიდიდის (პირდაპირი გარდაქმნის წრედის მგრძობიარობა) მიხედვით, რადგან  $S$  სიდიდე, ანუ საერთო მგრძობიარობა, უკუკავშირის შემოღების შემდეგ  $K$ -სთან შედარებით  $(1+K\beta)$  -ჯერ მცირდება. გარდა ამისა, ამ ხერხით შეუძლებელია  $\beta$  წრედზე მოქმედი დაბრკოლებების ჩახშობა, ე.ი. უბ -ში შემავალი გარდამქმნელები (ან უკუგარდამქმნელთა ერთობლიობა) უნდა იყოს გარდაქმნის მაღალსტაბილური კოეფიციენტის მქონე და ამავე დროს უნდა ჰქონდეს მინიმალური მგრძობიარობის ზღურბლი (სხვა სიტყვებით, უბ წრედის მულტიპლიკაციური და ადიტიური შემდგენები უნდა იყოს მინიმალური, რადგან უარყოფითი უკუკავშირით ისინი არ კომპენსირდება). ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებასაც, რომ  $K\beta \gg 1$  პირობის შესრულება შეზღუდულია სისტემაში ავტორხვევების აღძვრის საშიშროების გამო.  $K\beta \gg 1$  პირობის შესრულებამ ( $K\beta$  -ს დიდი მნიშვნელობების დროს) შეიძლება გამოიწვიოს აგრეთვე, ხელსაწყოს ამპლიტუდურ - სიხშირული მახასიათებლის “ზრდა” სიხშირეთა მუშა დიაპაზონში, ე.ი. სიხუსტის ამაღლებას მოთხოვნა წინააღმდეგობაში მოდის ხელსაწყოს ფართოხოლიანობის მოთხოვნასთან. მიუხედავად აღნიშნული ნაკლოვანებისა, უარყოფითი უკუკავშირის ხერხი ფართოდ გამოიყენება, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საჭიროა უარყოფითი (მიმდევრობითი) უკუკავშირი ძაბვის მიხედვით. უკუკავშირის ეს სახეობა მოითხოვს უკუგარდაქმნის წრედში მინიმალური რაოდენობის სტაბილურ ელემენტებს, უზრუნველყოფს გარდაქმნის მაღალ სიხუსტეს, დიდ შესასვლელ და მცირე გამოსასვლელ წინაღობებს.

## 4.2. ცდომილებათა კომპენსაცია

გაზომვის ანალოგურ საშუალებებში ფართოდ გამოიყენება სტრუქტურული სტაბილიზაციის სახეობა - კომპენსაცია. კომპენსაციის გამოყენების დროს ყოველი გაველენის მომხდენი სიდიდის მოქმედების შესასუსტებლად საჭიროა ცალკე ელემენტი, რომელიც შეამცირებს მხოლოდ ამ კონკრეტული ფაქტორის გაველენას გაზომვის საშუალების მუშაობაზე. განვიხილოთ კომპენსაციის არსი ზოგადად ერთი გაველენის მომხდენი ფაქტორის მაგალითზე. დავუშვათ, რომ  $\xi$  ფაქტორი იწვევს  $\Delta\xi$  ცდომილებას  $M[\Delta\xi]$  მათემატიკური ლოდინით და  $\sigma^2[\Delta\xi]$  დისპერსიით. განვიხილოთ  $n[\Delta\xi]$  ცდომილების შემთხვევითი შემდგენის კომპენსაციის პროცესი. ამ ხერხის მიხედვით ხელსაწყოს სქემაში უნდა ჩაერთოს ელემენტი, რომლის პარამეტრი (პარამეტრები) დაახლოებით ისეთნაირად უნდა იცვლებოდეს, როგორც იცვლება  $\xi$  სიდიდის გაველენით ხელსაწყოს ძირითადი ელემენტების პარამეტრები, ოღონდ დამატებითი ელემენტის პარამეტრმა ხელსაწყოს გარდაქმნის ფუნქციაზე უნდა მოახდინოს საპირისპირო ნიშნის გაველენა ("ორარხიანობის" პრინციპი). ამ დამატებითი ელემენტის  $\Delta\kappa(\xi)$  ცდომილება კორელირებული უნდა იყოს  $\Delta\xi$  ცდომილებასთან და ჰქონდეს დაახლოებით ისეთივე განაწილების სიმკვრივე, როგორც აქვს  $\Delta\xi$  ცდომილებას. ამრიგად, მაკომპენსირებელი ელემენტის მოქმედების შედეგად ნარჩენი ცდომილების სიდიდე

$$\Delta_0(\xi) = \Delta\xi - \Delta\kappa(\xi),$$

აქედან ნარჩენი ცდომილების დისპერსია

$$D[\Delta_0(\xi)] = D[\Delta\xi] + D[\Delta\kappa(\xi)] - 2\rho\sqrt{D[\Delta\xi]D[\Delta\kappa(\xi)]}, \quad (4.2)$$

სადაც  $\rho$  არის კორელაციის ნორმირებული კოეფიციენტი  $\Delta\xi$  და  $\Delta\kappa(\xi)$  ცდომილებებს შორის. უკანასკნელი ტოლობიდან შეიძლება ვიპოვოთ  $\Delta\kappa(\xi)$  სიდიდის დისპერსიის ოპტი-

$\Delta\kappa(\xi)$

მაღური მნიშვნელობა, რომლისთვისაც  $D[\Delta_0(\xi)]$  მინიმალურია. ამისათვის საჭიროა  $D[\Delta_0(\xi)]$  -ის გაწარმოება და მიღებული გამოსახულების ნულთან გატოლება. აღვიღებ შეგვიძლია დაგვრწმუნდეთ, რომ საძიებელი მნიშვნელობა

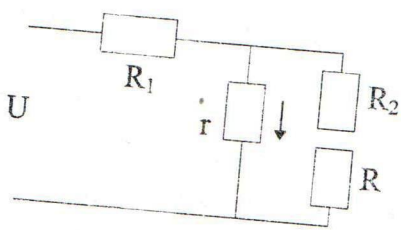
$$D[\Delta_k(\xi)] = \rho^2 D[\Delta\xi],$$

რომლის ჩასმა (1.3) -ში გვაძლევს:

$$\min D[\Delta_0(\xi)] = (1 - \rho^2) D[\Delta\xi]. \quad (4.3)$$

(4.3) -დან გამომდინარეობს, რომ სრული კომპენსაცია გეშენება იმ შემთხვევაში, როცა  $\Delta\xi$  და  $\Delta(\xi_k)$  სიდიდეებს შორის არსებობს ხისტი ფუნქციური კავშირი, ე.ი.  $\rho = \pm 1$ . სწორედ ამის მიღწევას ცდილობენ ცდომილებათა პარამეტრული კომპენსაციის დროს. მთავარი დაბრკოლება კომპენსაციის მეთოდით გაზომვის საშუალებათა სიზუსტის ამალეებისას არის ის, რომ შეუძლებელია შეირჩეს ძირითადი და დამატებითი ელემენტების (არხების) გავლენის ერთნაირი პარამეტრები  $\xi$  ფაქტორის ცვლილების მთელი დიაპაზონისათვის. განსაკუთრებით რთულია ამ ამოცანის გადაწყვეტა დინამიკური ცდომილებების კომპენსაციის დროს, რადგან ამ დროს, როგორც წესი, გავლენის მომხდენი ფაქტორების ცვლილების სიხშირული დიაპაზონი საკმაოდ ფართოა.

ახლა განვიხილოთ ცდომილებათა კომპენსაციის რამდენიმე პრაქტიკული მაგალითი, რომლებშიც რეალიზდება ინვარიანტულობის პრინციპი.



ნახ. 4.2

4.2. ნახაზზე გამოსახულია ტემპერატურული ცდომილების კომპენსაციის სქემა, სადაც  $R$  არის საკომპენსაციო წინაღობა (მაგალითად, გალვანომეტრის ჩარჩოს წინაღობა).  $R_1$  და  $R_2$

წინააღმდეგობები მანგანინისაა, რომელსაც აქვს ძალზე მცირე წინააღმდეგობის ტემპერატურული კოეფიციენტი - შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ  $\theta$  ტემპერატურის პირობებში მათი სიდიდე არ იცვლება. ტემპერატურის ცვლილებას შეიგრძნობს  $r$  წინააღმდეგობაც, რომელიც ქმნის სწორედ მეორე არხს, რომლის დანიშნულებაა  $R$  წინააღმდეგობის ცვლილების კომპენსაცია. ვიპოვოთ  $I$  დენი მუშა  $R$  წინააღმდეგობაში (ყველაზე უფრო მარტივად ეს შეიძლება ეკვივალენტური გენერატორის მეთოდით). გვაქვს:

$$I = \frac{ur}{(R_1+r)[R_1r/(R_1+r) + R_2 + R]} = \frac{u}{R + R_1 + R_2 + R_1R_2/r + R_1R/r}$$

დავუშვათ, რომ  $r$  და  $R$  ერთი და იგივე მასალის რეზისტორებია, მაშინ  $r = r_0(1 + \alpha\theta)$ ;  $R = R_0(1 + \alpha\theta)$ , სადაც  $r_0$  და  $R_0$  შესაბამისად ძირითადი და მაკომპენსირებელი წინააღმდეგობის მნიშვნელობებია  $0^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე. თუ დენის გამოსახულებაში ჩავსვამთ ამ სიდიდეებს და გამოვიყენებთ მიახლოებით თანაფარდობას  $1/(1+\beta) \approx 1 - \beta$ , სადაც  $\beta \approx 0$  (როგორც წესი  $\alpha$  მცირეა, ამავე დროს იგულისხმება, რომ  $\theta$  არ არის ძალიან დიდი, რის გამოც  $d\theta$  სიდიდე მცირეა), მაშინ მივიღებთ:

$$I \approx \frac{U}{R_0 + R_1 + R_2 + R_1R_2/r_0 + d\theta(R_0 - R_1R_2/r_0)} \quad (4.4)$$

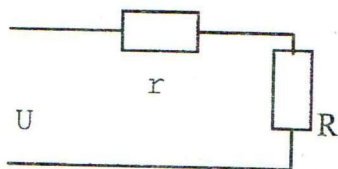
თუ დავიცავთ  $R_0 = R_1R_2/r_0$  პირობას, მაშინ (4.4) -დან გამომდინარეობს, რომ დენი არ არის დამოკიდებული  $\theta$ -ზე, ე.ი. სქემა ინვარიანტულია გარემოს ტემპერატურისადმი  $\theta$ . როგორც ვხედავთ, შემაშფოთებელი სიდიდის (ამ შემთხვევაში ტემპერატურის) ბუნებრივი შესასვლელია (არხია)  $R$  წინააღმდეგობა, ხოლო დამატებითი შესასვლელი (საკომპენსაციო

არხი) -  $r$  წინაღობა. (4.4) ტოლობა ზუსტი არ არის, ე.ი. სრული კომპენსაცია ამ გზით ვერ მიიღწევა. გარდა ამისა, კომპენსაცია ხდება მგრძნობიარობის შემცირების ხარჯზე - დენი უფრო მცირეა იმასთან შედარებით, რაც გვექნებოდა მხოლოდ  $R$  წინაღობის არსებობისას. თუ თერმოკომპენსაციისათვის გამოვიყენებთ არა ლითონის, არამედ ნახევარგამტარულ თერმისტორს, რომელსაც აქვს წინააღობის უარყოფითი ტემპერატურული კოეფიციენტი  $\alpha_0$ , მაშინ სქემა კიდევ უფრო მარტივი გამოდის (ნახ.4.3). თერმისტორის წინაღობა  $r = r_0 (1 - \alpha_0 \theta)$ , ხოლო მუშა წინაღობა  $R = R_0 (1 + \alpha_0 \theta)$ . საერთო წინაღობისათვის გვაქვს

$$R+r = (R_0+r_0) [1 + (\alpha R_0 - \alpha_0 r_0) \theta / R_0+r_0].$$

თუ სქემის პარამეტრებს ისე შევარჩევთ, რომ შესრულდეს  $\alpha R_0 = \alpha_0 r_0$  პირობა, მაშინ საერთო წინაღობა და, მაშასადამე,

მუშა წინაღობაში გამავალი დენი აღარ იქნება დამოკიდებული გარემოს ტემპერატურაზე. რადგან  $\alpha \gg \alpha_0$ , ამიტომ  $r \ll R$  და ამრიგად, მაკომპენსირებული  $r$  წინაღობის

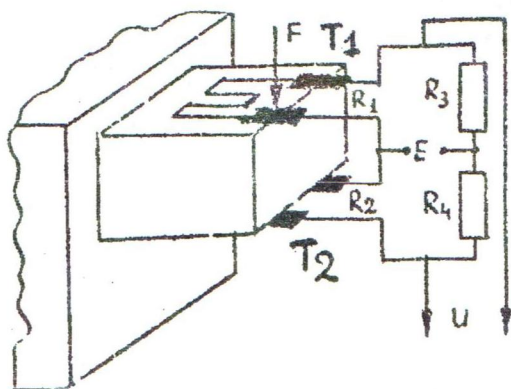


ნახ. 4.3.

ჩართვის შედეგად მგრძნობიარობის დანაკარგი წინა შემთხვევასთან შედარებით უმნიშვნელოა.

ზემოთ აღწერილი სქემის მოქმედების ანალოგიურია ტემპერატურული ცდომილების ავტომატური კორექციის ქვემოთ მოყვანილი სქემების მოქმედებაც. 4.4 ნახაზზე ნაჩვენებია ტენზორეზისტორული გარდამქმნელების დიფერენციალური ჩართვა. ძირითად და დამატებით არხებად დაყოფა აქ პირობითია, რადგან ორივე ტენზორეზისტორი გამოიყენება როგორც საზომი ინფორმაციის სიგნალის შესაქმნელად, ასევე ცდომილების კომპენსაციისათვის. ოთხმხრიანი უწონოსწორო ბოგირის  $R_1$  და  $R_2$  მხრები შექმნილია

$T_1$  და  $T_2$  ტენზორეზისტორებით (დიფერენციალური ჩართვა).

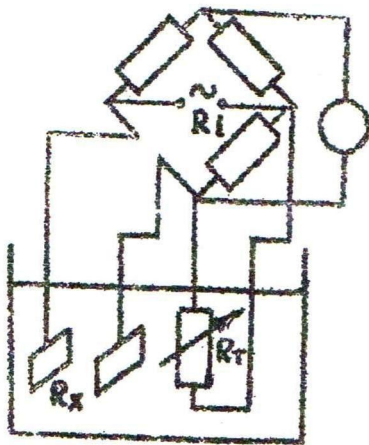


ნახ. 4.4

$F_x$  გასაზომი ძალის მოქმედება იწვევს  $T_1$  ტენზორეზისტორის წინაღობის ზრდას და ამავე დროს  $T_2$  ტენზორეზისტორის წინაღობის შემცირებას. ამის გამო ბოგირი, რომელიც თავიდან გაწონასწორებული იყო, ორმაგად “აიშლება”, ვიდრე ეს მოხდებოდა ერთი მუშა რეზისტორის შემთხვევაში. ტემპერატურის ცვლილება კი რეზისტორების წინაღობებს ცვლის ერთნაირი ნიშნით და სიდიდით, რასაც ბოგირი ვერ “შეიგრძნობს”; ე.ი. თუ ტენზორეზისტორები იდეალურია და ტემპერატურა მათზე ერთნაირად მოქმედებს (რაც უმრავლეს შემთხვევაში ასეცაა), მაშინ აღწერილი სქემა ინვარიანტული იქნება გარემოს ტემპერატურის ცვლილების მიმართ. სამწუხაროდ, ყოველთვის ვერ ხერხდება გარდამქმნელების დიფერენციალური ჩართვის რეალიზება.

4.5 ნახაზზე გამოსახულია ავტომატური კომპენსაციის სქემა კონცენტრაციის საზომი კონდუქტომეტრული გარდამქმნელების ტემპერატურული ცდომილებისათვის. ცნობილია, რომ კუთრი ელექტროგამტარობა ტემპერატურის ცვლილებასთან ერთად იცვლება, რაც კონდუქტომეტრების

ცდომილების ძირითად წყაროს წარმოადგენს (კონდუქტომეტრებში გასაზომი კონცენტრაციის შესახებ ინფორმაციას იღებენ ხსნარის ელექტროგამტარობის გაზომვის საფუძველზე) [13]. აქ  $R_x$  წინაღობის საზომი წრედი უწონოსწორ ბოგირია, რომლის  $R_1$  მხარი სწორედ  $R_x$  წინაღობითაა



ნახ. 4.5

რული კოეფიციენტი მეტია ხსნარის წინაღობის ტემპერატურულ კოეფიციენტზე, ამიტომ  $R_x$  და  $R_1$  მოქმედობის ერთნაირებლად  $R_0$ -ს რთავენ მანგანინის  $R_2$  წინაღობასთან პარალელურად, რომელიც სიდიდით საკმაოდ მცირე უნდა იყოს. სრული კომპენსაცია, როგორც პრაქტიკა უჩვენებს, მიიღწევა მხოლოდ  $\theta$  ტემპერატურის ვიწრო დიაპაზონში.

ტემპერატურული და სხვა ფიზიკური ბუნების ცდომილებათა კომპენსაციის მაგალითები საკმაო სისრულითაა წარმოდგენილი ნაშრომებში [9, 11, 14, 15, 16, 17].

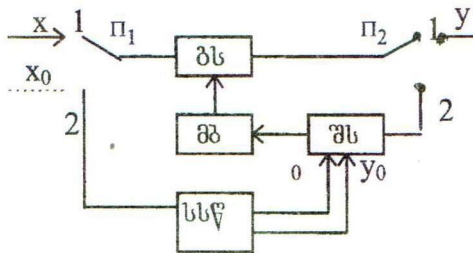
შექმნილი ხსნარის  $\theta$  ტემპერატურის მომატებისას  $R_x$  წინაღობა მცირდება, რამაც ბოგირის წონასწორობაზე გავლენა არ უნდა იქონიოს. ამ მიზნით შექმნილია მეორე არხი - ნახევარგამტარული თერმისტორი  $R_0$ , რომლის წინაღობაც ასევე მცირდება ტემპერატურის გაზრდისას. იმის გამო, რომ თერმისტორის წინაღობის ტემპერატუ-

### 4.3 ცდომილებათა კორექციის მეთოდები.

#### დაკალიბრება, ადიტიური და მულტიპლიკაციური კორექცია

გაზომვის საშუალებათა ცდომილების შემცირება კორექციის მეთოდით მოითხოვს გაზომვის პროცესში დამხმარე ოპერაციების შესრულებას, ეს კი შესაძლებელია მაშინ, როცა გვაქვს სიჭარბე სწრაფქმედების მიხედვით. კორექცია შეიძლება განხორციელდეს როგორც ხელით, ასევე ავტომატურად. განვიხილოთ კორექციის რამდენიმე ფართოდ გავრცელებული სახეობა.

**დაკალიბრება.** ვთქვათ, გაზომვის საშუალების გარდაქმნის ნომინალური ფუნქციაა  $y = \alpha x$ . ადიტიური  $\Delta_1$  და მულტიპლიკაციური  $\Delta_2$  ცდომილებების არსებობის გამო რეალური გარდაქმნის ფუნქცია იქნება  $y = (\alpha + \Delta_2)x + \Delta_1 = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x$ . დაკალიბრების განსახორციელებლად აუცილებელია გვექონდეს სანიმუშო სიგნალების წყარო (სსწ) 4.6 ნახაზზე მზ წარმოადგენს მართვის ბლოკს, ხოლო შს - შედარების სქემას.  $\Pi_1$  და  $\Pi_2$  გადამრთველებია. როცა ორივე



ნახ.4.6.

გადამრთველი იმყოფება მდგომარეობაში 2, მაშინ ხდება დაკალიბრება. ამ დროს გაზომვის დასაკალიბრებელ საშუალებას ბს მიეწოდება ნულოვანი სიგნალი, რომელიც ასევე მოქმედებს შს შესასველზე. ამი-

ტომ ბს გამოიმუშავებს  $y = \alpha \cdot 0 + \Delta_1 + \Delta_2 \cdot 0 = \Delta_1$  სიგნალს. თუ ადიტიური ცდომილება  $\Delta_1$  არსებობს, მაშინ მართვის

ბლოკი ისე “გადააწყობს” გს-ს პარამეტრებს, რომ გამოსასვლელი სიგნალი გახდეს ნულის ტოლი, ე.ი. ისპობა ადიტიური ცდომილება და გს-ს გარდაქმნის ფუნქცია მიიღებს სახეს

$$y = \alpha x + \Delta_2 x \quad (4.5)$$

ამის შემდეგ ბს და სსწ შესასვლელებს ერთდროულად მიეწოდება გარკვეული სიგნალი, რომლის სსწ გამოსასვლელზე შეესაბამება “ზუსტი”  $y_0 = \alpha x_0$  სიგნალი, სადაც ბს გამოსასვლელზე (1.6)-ის თანახმად გვექნება  $y = \alpha x_0 + \Delta_2 x_0$ . შს რეაგირებს  $y - y_0$  სხვაობით სიგნალზე და ჩართავს მბლოკს. ეს უკანასკნელი კიდევ ერთხელ “გადააწყობს” ბს-ს პარამეტრებს ისე, რომ მისი გარდაქმნის კოეფიციენტი გახდეს  $\alpha^1 = (\alpha - \Delta_2)$  -ის ტოლი. ეს მიიღწევა ბს გამოსასვლელზე  $y_0$ -ის მიღებით (სანამ შს გამოსასვლელზე  $y - y_0$  სიგნალი არ გახდება ნულის ტოლი). ამით დაკალიბრების პროცესი მთავრდება და სქემა მზადაა ნებისმიერი  $x$  სიდიდის გასაზომად გაზომვის დიაპაზონიდან. ცხადია, ორივე გადამრთველი ამისათვის გადაყვანილი უნდა იქნას მდგომარეობაში 1.  $x$ -ის გაზომვის შედეგი იქნება

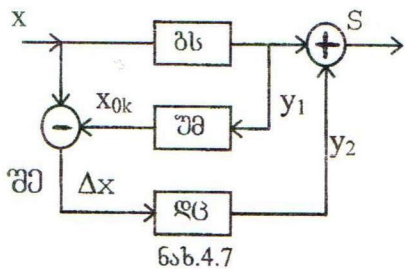
$$y = \alpha^1 x + \Delta_2 x = (\alpha - \Delta_2)x + \Delta_2 x = \alpha x,$$

ე.ი. თავიდანაა აცილებული როგორც ადიტიური, ასევე მულტიპლიკაციური ცდომილებები - ბს -ს გამოსასვლელი სიგნალი იდეალური ხელსაწყოს გამოსასვლელი სიგნალის ტოლია დაკალიბრების ცდომილების სიზუსტით, რომელიც ძირითად ცდომილებებთან შედარებით საკმაოდ მცირეა.

### ადიტიური კორექცია.

ამ ტიპის კორექციის დროს აუცილებელია გვექონდეს სანიმუშო უკუგარდამქმნელი (შბ). 4.7 ნახაზზე. გამოსახულია ადიტიური კორექციის სქემური რეალიზაციის ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი. სქემაში შბ-ს გარდა გვაქვს დამხმარე არხი ღა, რომლის დანიშნულებაა გააძლიეროს  $\Delta x = x - x_0 k$  სხვაობითი სიგნალი, სადაც  $x_0 k$

შპ-ს გამოსასვლელი სიგნალია.  $\Delta x$  სიგნალის გამომუშავება ეკისრება შედარების ელემენტს შპ. დამხმარე არხის გამოსასვლელი სიგნალი



$y_2$  გამოიყენება შესწორების შესაყვანად, რაც ხორციელდება  $S$  ამჯამავის მეშვეობით. დაეუშვათ, რომ ბს -ს გააჩნია ცდომილების როგორც ადიტიური, ასევე მულტიპლიკატიური შემდეგნები. მაშინ,

როგორც უკვე ვიცით, მისი რეალური გარდაქმნის ფუნქცია იქნება  $y = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x$ . უკუგარდამქმნელს უნდა ჰქონდეს შემდეგი სახის გარდაქმნის გახტოლება:  $x_{0k} = \frac{y_1}{\alpha}$ . მაშინ  $x_{0k} = \frac{\alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x}{\alpha} = x + \frac{\Delta_1 + \Delta_2 x}{\alpha}$ ;  $\Delta x = x - x_{0k} = \frac{\Delta_1 - \Delta_2 x}{\alpha}$ . (4.6)

დაეუშვათ, რომ დამხმარე არხებსაც ძირითადის მსგავსი გარდაქმნის განტოლება ახასიათებს. მაშინ  $y_2 = \alpha^1 \Delta x + \Delta_1^1 + \Delta_2^1 \Delta x$ . აქ (4.6) -ის ჩასმა გვაძლევს

$$y_2 = \frac{\alpha^1}{\alpha} \Delta_1 - \frac{\alpha^1}{\alpha} \Delta_2 x + \Delta_1^1 - \Delta_2^1 \left( \frac{\Delta_1 - \Delta_2 x}{\alpha} \right).$$

“შესწორებული” სიგნალისათვის მივიღებთ

$$y = y_1 + y_2 = \alpha x + \Delta_1 \left( 1 - \frac{\alpha^1}{\alpha} \right) + \Delta_2 x \left( 1 - \frac{\alpha^1}{\alpha} \right) + \Delta_1^1 - (\Delta_1 + \Delta_2 x). \quad (4.7)$$

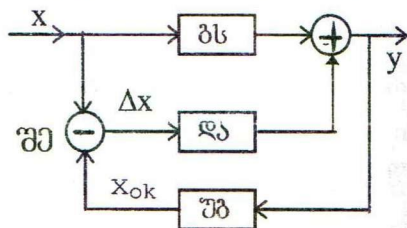
(4.7) -დან ჩანს, რომ თუ  $\alpha^1 = \alpha$ , რაც დამხმარე არხის პარამეტრების სათანადო შერჩევით მიიღწევა და  $\Delta_2^1 \ll \alpha$ , რაც პრაქტიკულად ყოველთვის სრულდება, მაშინ

$$y \approx \alpha x + \Delta_1^1.$$

ე.ი. რომ მივიღოთ იდეალური კორექცია, საჭიროა  $\Delta_1^1 = 0$ . მაშასადამე, ღბ სქემას უნდა ჰქონდეს ძალზე მცირე ადიტიური ცდომილება. (4.7) -დან ჩანს, რომ ზოგადად კორექციის

“სიზუსტე” დამოკიდებულია  $x$  სიდიდეზე, რის გამოც იდეალური კორექცია მიიღწევა სკალის ერთ წერტილში. ამიტომ განხილული ტიპის კორექცია მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ მაშინ, როცა საერთო ცდომილების შემადგენლობაში ჭარბობს ადიტიური შემდგენი. უნდა აღინიშნოს, რომ სქემაში არ გვაქვს შეკრული კონტურები, რის წყალობითაც გამორიცხებულია ავტორხევეების აღძვრის საშიშროება და შესაძლებელია მიღწეულ იქნას მაღალი საერთო მგრძობიარობა.

არსებობს ადიტიური კორექციის მეთოდის რეალიზაციის ვარიანტი, სადაც გვაქვს შეკრული კონტური, რომელიც შეიცავს დამატებით არხს (ნახ.4.8). სქემაში იგივე ბლოკებია, რაც



ნახ.4.8.

1.14 ნახ -ზე გამოსახულ ვარიანტში. გვაქვს:

$$y_1 = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x; \quad x_{0k} = y/\alpha;$$

$$y_2 = \alpha^1 \Delta x + \Delta_1^1 + \Delta_2^1 x;$$

$$\Delta x = x - x_{0k}.$$

ვწერთ:

$$y_2 = y - y_1 = (\alpha^1 + \Delta_2^1) (x - x_{0k}) + \Delta_1^1 = (\alpha^1 + \Delta_2^1) (x - y/\alpha) + \Delta_1^1 \Rightarrow \alpha y - \alpha y_1 = (\alpha^1 + \Delta_2^1) (\alpha x - y) + \alpha \Delta_1^1. \text{ ამრიგად, } y \text{-ის შემცველი წევრების დაჯგუფებისა და } y_1 \text{-ის მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:}$$

$$y = \frac{\alpha x (\alpha + \alpha^1) + \alpha x (\Delta_2 + \Delta_2^1) + \alpha (\Delta_1 + \Delta_1^1)}{\alpha + \alpha^1 + \Delta_2^1}.$$

რადგან ყოველთვის  $\Delta_2^1 = \alpha$ , ამიტომ

$$y \approx \alpha x + \frac{(\Delta_1 + \Delta_2^1) \alpha}{\alpha + \alpha^1} + \frac{(\Delta_2 + \Delta_2^1) \alpha x}{\alpha + \alpha^1}. \quad (4.8)$$

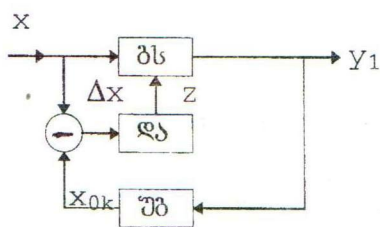
თუ შევასრულებთ პირობას  $\alpha^1 \rightarrow \infty$ , მაშინ (4.8) -დან გვექნება

$$y = \alpha x,$$

ე.ი. მოხდება ცდომილებების სრული კომპენსაცია. თუმცა შეკრული კონტურის არსებობა ზღუდავს  $\alpha^1$  სიდიდის ზრდას მდგრადობის მოსაზრებებიდან გამომდინარე, მაგრამ არსებობს ერთი შემამსუბუქებელი გარემოება - ცდომილების პროცესი უფრო ნელია, ვიდრე თვით  $x$  სიდიდისა, ამიტომ ზღ შეიძლება იყოს საკმარისად ვიწროზოლიანი.

**მულტიპლიკაციური კორექცია.** ამ სახის კორექციის დროს ხდება მულტიპლიკაციური ცდომილების გამოყოფა და მისი საშუალებით გაზომვის საშუალების გარდაქმნის კოეფიციენტის რეგულირება ცდომილების მინიმიზაციის მიზნით. მულტიპლიკაციური კორექცია შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც ადიტიური, ასევე მულტიპლიკაციური ცდომილების საკორექციოდ, მაგრამ როცა ჭარბობს ადიტიური შემდგენი, სრული კორექცია შესაძლებელია სკალის მხოლოდ ერთ წერტილში. მიზანშეწონილია ამ სახის კორექციის გამოყენება, როცა საერთო ცდომილების შედგენილობაში ჭარბობს მულტიპლიკაციური შემდგენი. დაეუშვათ, რომ გაზომვის საშუალების (ბს) გარდაქმნის ნომინალური ფუნქციაა  $y = \alpha x$ . რეალური ფუნქცია შეიძლება წარმოვადგინოთ  $y_1 = (\alpha_1 + kz) x + \Delta_1$  სახით. საჭმე ისაა, რომ ბს -ს აქვს

დამატებითი შესასვლელი, საიდანაც მას დამატებითი არხიდან (ღა) მიეწოდება  $Z$  სიდიდე, რომელიც ბს -ს მიერ აღქმული იქნება, როგორც  $KZ$  სიდიდე (ნახ. 4.9). ეს  $KZ$  სიდიდე ემატება მის მოქმედებამდე არსებულ



ნახ. 4.9

გარდაქმნის კოეფიციენტს  $\alpha_1$  (იგულისხმება, რომ  $\alpha_1$  თავის თავში შეიცავს აბსოლუტურ მულტიპლიკაციურ ცდომილებას  $\Delta_2$ ). ამრიგად, რეზულტიური გამოსახულებული ცდომილებების სიდიდეზე შეიძლება ვიმსჯელოთ  $\Delta y = y_1 - y = (\alpha_1 - \alpha + kz)x + \Delta_1$  სიდიდით. სქემაში წარმოდგენილ უკუგარდაქმნელს (შბ) უნდა გააჩნდეს გარდაქმნის მაღალსტაბილური კოეფიციენტი. მისი გარდაქმნის ფუნქციაა

$$x_{0k} = \frac{y_1}{\alpha} = \frac{(\alpha_1 + kz)x}{\alpha} + \frac{\Delta_1}{\alpha}$$

შედარების სქემის მიერ გამომუშავებული სხვაობითი სიგნალი

$$\Delta x = x - x_{0k} = x - \frac{(\alpha_1 + kz)x}{\alpha} - \frac{\Delta_1}{\alpha}$$

დამხმარე არხი (დბ) იგივე "სტილის" უნდა იყოს, როგორცაა ბს. მაშინ მისი გარდაქმნის ფუნქცია

$$Z = S\Delta x + \Delta_1^1 + \Delta_2^1 x, \quad (4.9)$$

სადაც  $S$  არის დბ -ის გარდაქმნის ნომინალური კოეფიციენტი, ხოლო  $\Delta_1^1$  და  $\Delta_2^1$  - შესაბამისად მისი ადიტიური და მულტიპლიკაციური ცდომილებები. (4.9) -ში  $\Delta x$  ის გამოსახულების ჩასმით მივიღებთ

$$Z = (S + \Delta_2^1) \frac{(\alpha - \alpha_1 - kz)x - \Delta_1}{\alpha} + \Delta_1^1,$$

საიდანაც

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(\alpha - \alpha_1)(S + \Delta_2^1)x - \Delta_1(S + \Delta_2^1) + \alpha_1 \Delta_1^1}{\alpha + KxS + Kx \Delta_2^1} = \\ &= \frac{(\alpha - \alpha_1)x(1 + \Delta_2^1/S) - \Delta_1(1 + \Delta_2^1/S) + \alpha \Delta_1^1/S}{\alpha/S + Kx + Kx \Delta_2^1/S} \end{aligned}$$

ამ გამოსახულების  $\Delta y$  -ში ჩასმით გვექნება

$$\Delta y = (\alpha - \alpha_1)x + Kx \frac{(\alpha - \alpha_1)x(1 + \Delta_2^1/S) - \Delta_1(1 + \Delta_2^1/S) + \alpha \Delta_1^1/S}{\alpha/S + Kx + Kx \Delta_2^1/S} + \Delta_1. \quad (4.10)$$

სრული კორექციის მისაღწევად საჭიროა  $S \rightarrow \infty$  პირობის შესრულება. ამ დროს  $\Delta y$  -ის გამოსახულებაში II შესაკრებში (წილადური გამოსახულება) მნიშვნელში რჩება  $Kx$  წევრი, რომელიც იკვეცება მრიცხველის  $Kx$  -თან, ნულისაკენ მიისწრაფვიან  $\Delta_2^1/S$  და  $\Delta_1^1/S$  სიდიდეები, რის გამოც გვერდება

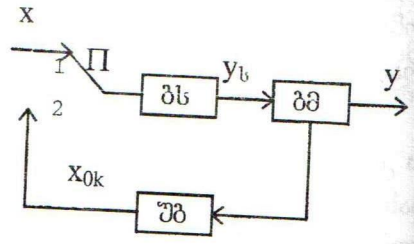
$$\Delta y = (\alpha_1 - \alpha) + (\alpha - \alpha_1) x - \Delta_1 + \Delta_1 = 0,$$

ეს კი სრულ კორექციას მოასწავებს. ზოგადად  $\Delta y$  სიდიდე დამოკიდებულია  $x$  -ის მნიშვნელობაზე, ამიტომ  $S \rightarrow \infty$  პირობა უნდა სრულდებოდეს  $x$  -ის ცვლილების მთელ სიხშირულ დიაპაზონში. თუ გვექნება მხოლოდ მულტიპლიკაციური შემდგენი ( $\Delta_1=0$ ), მაშინ შესაძლებელია  $\Delta x=0$  ტოლობის მიღწევა, ე.ი. გვექნება ასტატიკური (სრული) გაწონასწორება ღბ და შბ -ს შემცველ შეკრულ კონტურში. ასეთ შემთხვევებში სქემაში აუცილებელია დამხსომებელი (მაინტეგრირებელი) რგოლი. სტატისტიკური გაწონასწორებისას მოთხოვნები დამატებითი არხის სწრაფქმედებისდმი ნაკლებად მკაცრია.

#### 4.4. იტერაციის მეთოდები. ტესტური კორექცია

სიზუსტის ამაღლების იტერაციის ხერხი შეიძლება გამოვიყენოთ კორელირებული ცდომილებების კორექციისათვის. მისი გამოყენება მოითხოვს სწრაფქმედების სიჭარბეს, ხოლო ტექნიკური რეალიზაცია - სტრუქტურულ სიჭარბესაც. შესაძლებელია მეთოდის გამოყენების ორი განსხვავებული ვარიანტი - დროითი და სივრცული გაყოფით. არხების დროითი გაყოფისას (განცალკევებისას) მოწყობილობის სირუქტურულ სქემას აქვს 4.10. ნახაზზე ნიშვნები სახე. გარდა თვით საკორექტირებელი გაზომვის საშუალებებისა

სქემაში გვაქვს გამოძიებული მოწყობილობა ბმ, სანიმუშო უკუგარდამქმნელი შბ და რეჟიმების გადამრთველი Π. ამ უკანასკნელის მდგომარეობაში 1 ყოფნისას ხდება X შესასვლელი სიდიდის გაზომვა, ხოლო მდგომარეობაში 2 - შბ-ს გამოსასვლელი  $x_{ok}$  სიგნალისა. ბმ -ს შესასვლელზე მიწოდებული საანგარიშო სიგნალისათვის გვაქვს  $y_s = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x$ , ე.ი. გვაქ-



ნახ. 4.10

ვს ადიტიური  $\Delta_1$  და მულტიპლიკაციური  $\Delta_2$  შემდეგნები. შბ -ს გარდაქმნის ფუნქციაა  $x_{ok} = y/\alpha$ . x სიდიდის მდგომარეობით I გაზომვის შედეგად მიღებული გამოსასვლელი სიდიდე  $y_0 = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x$ , ამის შემდეგ Π გადაირთვება მდგომარეობაში 2 და შბ -ს გამოსასვლელზე მივიღებთ

$$x_{ok1} = \frac{y_0}{\alpha} = x + \frac{\Delta_1 + \Delta_2 x}{\alpha}$$

ეს სიდიდე მიეწოდება ბს -ს, რომელიც მას გარდაქმნის  $y_1$  სიდიდედ:

$$y_1 = \alpha x_{ok1} + \Delta_1 + \Delta_2 x_{ok1} = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x + \Delta_1 + \Delta_2 / \alpha (\Delta_1 + \Delta_2 x)$$

$y_1$  სიდიდე ბმ -ში გამოაკლდება ადრე დამახსოვრებულ  $y_0$  სიდიდეს - ფორმირდება I შესწორება  $\Delta y_1$ :

$$\Delta y_1 = y_0 - y_1 = -\Delta_1 - \Delta_2 x - \Delta_2 / \alpha (\Delta_1 + \Delta_2 x)$$

ეს შესწორება ჩაიწერება ბმ -ს მეხსიერებაში. ამის შემდეგ Π გადაჰყავთ მდგომარეობაში 1, რითაც კვლავ ხორციელდება x -ის გაზომვა ბს -ს მიერ. აქ აუცილებელია დაშვება, რომ იტერაციის მთელი პროცესის განმავლობაში  $\Delta_1$  და  $\Delta_2$  სიდიდეები არ იცვლება (დაბალი სიხშირისაა). ცხადია არც x სიდიდე უნდა იცვლებოდეს. ამრიგად, მივიღებთ გაზომვის შედეგს  $y_{s2}$  (რომელიც x -ის მუდმივობის დაშვებ-

ბის პირობებში  $y_0$  -ის ტოლია), რომელსაც ბმ -ში დაემატება I შესწორება, შედეგად მიიღება  $y_2$  სიდიდე :

$$y_2 = y_0 - \Delta y_1 = \alpha x - \Delta_2 / \alpha (\Delta_1 + \Delta_2 x) . \quad (4.11)$$

$y_2$  -ის მიღების შემდეგ II ისევე ბრუნდება მდგომარეობაში 2. შბ -ს გამოსასვლელზე გვექნება

$$x_{0k2} = \frac{y_2}{\alpha} = x - \frac{\Delta_2}{\alpha^2} (\Delta_1 + \Delta_2 x) .$$

$x_{0k2}$  -ს გაზომვის შედეგად ბს -ს გამოსასვლელზე მივიღებთ

$$y_3 = \alpha x_{0k2} + \Delta_1 + \Delta_2 x_{0k2} = \alpha x - \frac{\Delta_2}{\alpha} (\Delta_1 + \Delta_2 x) + \Delta_1 + \Delta_2 x - \frac{\Delta_2^2}{\alpha^2} (\Delta_1 + \Delta_2 x) .$$

$y_3$  მიეწოდება მმ -ს, სადაც იგი გამოაკლდება აქ აღრე ჩაწერილ (დამახსოვრებულ)  $y_2$  სიდიდეს - მიიღება II შესწორება:

$$\Delta y_2 = y_2 - y_3 = -\Delta_1 - \Delta_2 x + \Delta_2^2 / \alpha^2 (\Delta_1 + \Delta_2 x) .$$

ეს შესწორება ისევე შეიყვანება გაზომვის შედეგში (იტერაციის მეორე ნაბიჯი) :

$$y_4 = y_0 - \Delta y_2 = \alpha x + \Delta_2^2 / \alpha^2 (\Delta_1 + \Delta_2 x) . \quad (4.12)$$

(4.11) და (4.12) -ის განზოგადების საფუძველზე ვწერთ:

$$y_{2n} = \alpha x + (-1)^n \left( \frac{\Delta_2}{\alpha} \right)^n (\Delta_1 + \Delta_2 x) . \quad (4.13)$$

რადგან  $\Delta_2 / \alpha < 1$ , ამიტომ (1.4) -დან გამომდინარეობს, რომ იტერაციის პროცესი კრებადია. თუ იტერაციის ბიჯების რაოდენობა  $n$  საკმარისად დიდია, მაშინ (4.13) -დან გვექნება  $y_{2n} \approx \alpha x$ , ე.ი. მიიღწევა იდეალური კორექცია. მაგრამ ეს ასეა მხოლოდ თეორიულად. პრაქტიკაში კი საბოლოო სიზუსტეზე გავლენას ახდენს ბმ -ში გამოკლებისა და დამახსოვრების ოპერაციების ცდომილებები. მხედველობაში მისაღებია ისიც, რომ შბ -ც არ არის იდეალური - თვით სანიმუშო გარდამქმნელსაც აქვს ნულიდან განსხვავებული ცდომი-



$$y_2^1 = \alpha \Delta x_1 + \Delta_1 + \Delta_2 \Delta x_1 = -\Delta_1 - \Delta_2 x + \Delta_1 - \Delta_2 / \alpha (\Delta_1 + \Delta_2 x)$$

$$y_2 = y_1 + y_2^1 = \alpha x + \Delta_1 - \Delta_2 / \alpha (\Delta_1 + \Delta_2 x) = \alpha x + \Delta_1 (1 - \Delta_2 / \alpha) - \Delta_2^2 x / \alpha^2 ;$$

$$x_2 = \frac{y_2}{\alpha} = x + \frac{\Delta_1}{\alpha} \left(1 - \frac{\Delta_2}{\alpha}\right) - \frac{\Delta_2^2 x}{\alpha^2} ;$$

$$\Delta x_2 = x - x_2 = -\frac{\Delta_1}{\alpha} \left(1 - \frac{\Delta_2}{\alpha}\right) + \frac{\Delta_2^2 x}{\alpha^2} ;$$

$$y_3^1 = \alpha \Delta x_2 + \Delta_1 + \Delta_2 \Delta x_1 = -\Delta_1 \left(1 - \frac{\Delta_2}{\alpha}\right) + \frac{\Delta_2^2 x}{\alpha} +$$

$$+ \Delta_1 - \frac{\Delta_1 \Delta_2}{\alpha} \left(1 - \frac{\Delta_2}{\alpha}\right) - \frac{\Delta_2^3 x}{\alpha^2} ;$$

$$y_3 = y_2 + y_3^1 = \alpha x + \Delta_1 \left(1 - \frac{\Delta_2}{\alpha} + \frac{\Delta_2^2}{\alpha^2}\right) - \frac{\Delta_2^3}{\alpha^2} x .$$

ასეთივე ფორმულებით მივიღებთ, რომ

$$y_4 = \alpha x + \Delta_1 \left(1 - \frac{\Delta_2}{\alpha} + \frac{\Delta_2^2}{\alpha^2} - \frac{\Delta_2^3}{\alpha^3}\right) + \frac{\Delta_2^4}{\alpha^3} x .$$

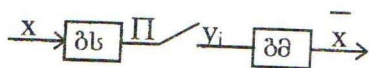
ზოგადად შეიძლება დავწეროთ

$$y_n = \alpha x + \Delta_1 \left[1 + \sum_{i=1}^n (-1)^i \left(\frac{\Delta_2}{\alpha}\right)^i\right] + \frac{\Delta_2^n}{\alpha^{n-1}} . \quad (4.14)$$

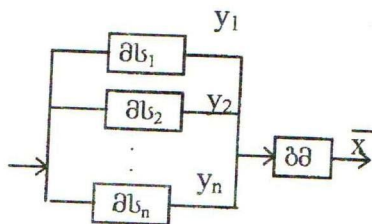
ვინაიდან  $\Delta_2 / \alpha < 1$ , ამიტომ (4.14) -დან ვასკენით, რომ იტერაციის პროცესი კრებადია. მულტიპლიკაციური შემდგენი პრაქტიკულად მთლიანად ისპობა, საგრძნობლად შესუსტებული საერთო ცდომილების შედგენილობაში შედის პირველ ადგილებზე განლაგებული კბ -ების ადგიტიური ცდომილებები, ხოლო უკანასკნელი კბ -ს ადგიტიური ცდომილება მთლიანად (1 -ის ტოლი წონით) შედის მასში. განხილული სქემის ღირსებად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ აქ ხდება  $x$  სიდიდის გამორთვა, რაც მიიღწევა საგრძნობი აპარატურული სიჭარბის ხარჯზე. ეს საშუალებას გვაძლევს გაფოზომოთ საკმაოდ სწრაფცვლადი სიდიდეები (ამისათვის თითოეული იტერაციული კონტური უნდა იყოს სწრაფ-

ქმედი). რეალიზაციის სირთულედ შეიძლება მივიჩნიოთ მკაცრი მოთხოვნები უკუგარდამქმნელების სიზუსტისა და სტაბილურობის მიმართ.

განხილული მეთოდების გამოყენება, როგორც აღნიშნული იყო, საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ კორელირებული ცდომილებები. არაკორელირებული ცდომილებები ამ დროს, როგორც წესი, იზრდება. თუ წინასწარ ცნობილია ცდომილებების არაკორელირებულობა, მაშინ მათი კორექცია შესაძლებელია *სტატისტიკური დამუშავების* მეთოდით. აქაც შესაძლებელია არხების დროითი ან სივრცული განცალკევება. დროითი განცალკევების დროს, რომლის გამოყენება მართებულია დროში ნელა ცვლადი სიდიდეების გაზომვისას, ერთი და იგივე  $x$  სიდიდე იზომება  $n$  -ჯერ. შემდეგ კი გამომთვლელში ხდება გაზომვების შედეგების საშუალო აირთმეტიკულის გამოანგარიშება. სივრცული განცალკევებისას იგივე სიდიდე გამოითვლება  $n$  სხვადასხვა, მაგრამ ერთნაირპარამეტრებიანი ხელსაწყოთი მიღებული გაზომვის შედეგებისათვის. სივრცული განცალკევების დროს შესასვლელი სიდიდის ცვლილების სირქარე შეიძლება მნიშვნელოვანიც იყოს. ორივე შემთხვევაში (დროითი ან სივრცული განცალკევება) უცვლელი რჩება კორელირებული ცდომილებები, ხოლო არაკორელირებული ცდომილებების საშუალო კვადრატული გადახრა  $\sqrt{n}$  -ჯერ მცირდება [15]. შესაბამისი სტრუქტურული სქემები გამოსახულია 4.12 და 4.13 ნახაზებზე.



ნახ. 4.12.

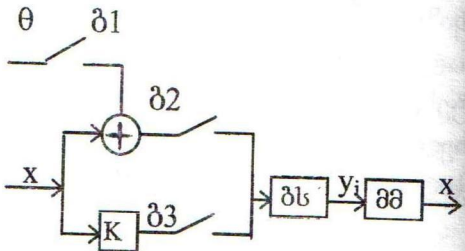


ნახ. 4.13.



ხოლო შემდეგ (4.16)-ის პირველ განტოლებაში მათი ჩასმით განვსაზღვროთ  $x$ . ყველა ეს ოპერაცია ხდება სპეციალურ გამოთვლელ მოწყობილობაში. ახლა ვუჩვენოთ ტესტური მეთოდის პრაქტიკული რეალიზების მაგალითები იმ შემთხვევისათვის, როცა (4.15) წრფივია. 4.14 ნახაზზე წარმოდგენილია სტრუქტურული სქემა, რომელშიც

რეალიზდება ტესტური მეთოდი. სქემა შეიცავს სამ გასაღებს (გადამრთველს) ბ1, ბ2, ბ3, ამჟამავ მოწყობილობას, თვით საკორექტირებელ გაზომვის საშუალებას



ნახ. 4.14

(ბს), გამოთვლელ მოწყობილობას (ბმ) და რგოლს გაცემის (გარდაქმნის) კოეფიციენტით K. გვაქვს, აგრეთვე ტესტური სიგნალის  $\theta$  მაგნიტირებული მოწყობილობა (ნახაზზე არ არის გამოსახული). გარდაქმნის განტოლება (გრადუირების მახასიათებელი) წრფივია, ე.ი. (4.16) -ის თანახმად  $n=1$ . ამიტომ აუცილებელია 2 ტესტი (ორივე ტესტს მოეთხოვება მაღალსტაბილურობა). გაზომვის ტაქტების რაოდენობაა  $n+2=3$ . გაზომვის I ტაქტზე ჩაკეტილია ბ2 კონტაქტი, ხოლო ბ2 და ბ3 განრთულია. ბს-ს გამოსასვლელზე გვექნება

$$y_0 = \alpha x + \Delta_1 + \Delta_2 x. \quad (4.17)$$

(4.17) გამოსახულება რომ მოვიყვანოთ (4.15) -თან შესაბამისობაში, ამისათვის შემოვიღოთ აღნიშვნები  $\alpha + \Delta_1 = \alpha_1$ ;  $\Delta_1 = \alpha_0$ . მაშინ (4.17) ასე ჩაიწერება:

$$y_0 = \alpha_0 + \alpha_1 x, \quad (4.18)$$

სადაც  $\alpha_0$ , ცხადია, ადიტიური ცდომილებაა, ხოლო  $\alpha_1$  კოეფიციენტი - გარდაქმნის რეალური კოეფიციენტი (ნომინა-

ლური კოეფიციენტისა და აბსოლუტური მულტიპლიკაციური ცდომილების ჯამი). გაზომვის II ტაქტზე ჩართულია ბ1 და ბ2, ხოლო ბ3 განრთულია. ხელსაწყოს გამოსასვლელზე მივიღებთ

$$y_1 = \alpha_0 + \alpha_1(x + \theta). \quad (4.19)$$

გაზომვის III ტაქტის ჩატარებისას გათიშულია ბ1 და ბ2, ხოლო ბ3 ჩართულია. ამიტომ გვექნება

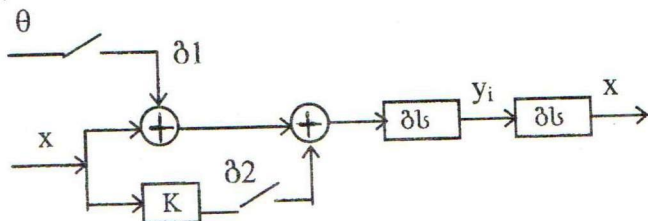
$$y_2 = \alpha_0 + kx_1\alpha_1. \quad (4.20)$$

(4.18), (4.19) და (4.20) განტოლებებიდან მივიღებთ ალგორითმს:

$$x = \frac{\theta (y_2 - y_0)}{(y_2 - y_0)(k - 1)}. \quad (4.21)$$

(4.21) ალგორითმი რეალიზდება გამომთვლელ მოწყობილობაში. როგორც ვხედავთ, (4.21) -ში არ გვაქვს  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  პარამეტრები, ე.ი. გამორიცხულია როგორც ადიტიური, ასევე მულტიპლიკაციური ცდომილებები (რისთვისაც დაგეგმირდა ადიტიური  $\theta$  და მულტიპლიკაციური  $k$  ტესტების გამოყენება.

4.15 ნახაზზე მოცემულია ტესტური კორექციის სქემა, რომელშიც სამის ნაცვლად გამოყენებულია მხოლოდ ორი გასაღები. სქემის დანარჩენი ელემენტები იგივეა, რაც გვექონდა 4.14 ნახაზზე გამოსახულ სქემაში, ოღონდ ერთის



ნახ.4.15

ნაცვლად გამოყენებულია ორი ამჟამაფი. გაზომვის სამი ტაქტის შედეგად, რომლებსაც ეთანადება შესაბამისა ბ1 და ბ2-ის განრთული მდგომარეობა, ბ1-ის ჩართული და ბ2-ის

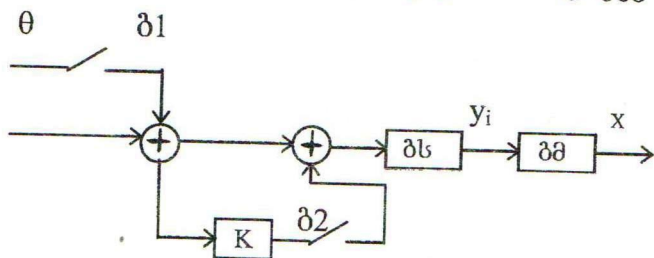
განრთული მდგომარეობა და, ბოლოს, ბ1-ის გამორთული და ბ2-ის ჩართული მდგომარეობა, მივიღებთ:

$$\begin{cases} y_0 = \alpha_0 + \alpha_1 x \\ y_1 = \alpha_0 + \alpha_1 (x + \theta) \\ y_2 = \alpha_0 + \alpha_1 (k + 1) x \end{cases} \quad (4.22)$$

ადვილად ვრწმუნდებით, რომ (4.22) სისტემის ამონახსნია

$$x = \frac{(y_2 - y_0) \theta}{k (y_1 - y_0)} \quad (4.23)$$

ერთი შეხედვით უმნიშვნელო ცვლილებების შეტანა ამ სქემაში საშუალებას გვაძლევს შევინარჩუნოთ მიღწეული უპირატესობა - ადიტიური და მულტიპლიკაციური ტესტების ცალ-ცალკე შეყვანის შესაძლებლობა და ამავე დროს მივიღოთ საბოლოო შედეგიდან  $k$  პარამეტრის გამორიცხვის შესაძლებლობაც ( ნახ. 4.16). მართლაც, ბ1 და ბ2 გასაღებების მდგომარეობების იგივე კომბინაციებით, რაც გვექონდა



ნახ.4.16

4.15 ნახ. - ზე გამოსახული სქემისათვის, მივიღებთ (4.16) სისტემას. გაზომვის მეოთხე ტაქტზე, რომელსაც შეესაბამება ორივე ბ1 და ბ2 გასაღების ჩართული მდგომარეობა, მივიღებთ მეოთხე განტოლებას:

$$y_3 = \alpha_1 (k + 1) (x + \theta) + \alpha_0 \quad (4.24)$$

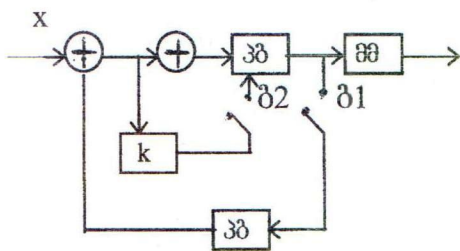
(4.24) განტოლებისა და (4.22) სისტემის ერთობლივი ამოხსნით მივიღებთ:

$$x = \frac{(y_2 - y_0) \theta}{y_3 - y_2 - (y_1 - y_0)} \quad (4.25)$$

(4.25) - ში აღარ მონაწილეობს  $k$  პარამეტრი, მაშასადამე, 4.16 ნახაზზე გამოსახულ სქემაში  $k$  ტესტის მაგენერირებელ მოწყობილობას სტაბილურობის მიხედვით შეღავათიანი მოთხოვნები წაყენება, რაც ამ სქემის უდავო ღირსებას წარმოადგენს. ძნელი არ არის დაერწმუნდეთ, რომ ამის მიღწევა წინა სქემაში შეუძლებელია - ბ1 და ბ2 გასაღებების ჩართვა, ცხადია, ამ შემთხვევაშიც გვაძლევს დამატებით განტოლებას, მაგრამ იგი, ადვილი საჩვენებელია, წარმოადგენს (4.22) სისტემაში მონაწილე განტოლებების შედეგს. დასასრულ აღვნიშნოთ, რომ ორი უკანასკნელი განხილული სქემის საერთო ღირსებაა ის, რომ გაზომვის მთელ პროცესში არ ხდება  $x$  სიდიდის გამორთვა გაზომვის საშუალებიდან.

შესაძლებელია ტესტური მეთოდის გამოყენება მაშინაც, როცა საკორექტირებელ ხელსაწყოში გამოყენებულია უკუკავშირი. შესაბამისი სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია 4.17 ნახაზზე. აქ

პბ აღნიშნავს პირდაპირ გარდაქმნის წრედს (ხელსაწყოს), უგ - უკუგარდამქმნელს.  $k$ -თი აღნიშნულია, ისევე როგორც ადრე გვექონდა, მულტიპლიკაციური ტესტის მიმწოდებელი მოწყობი-



ნახ. 4.17

ლობა  $k$  გარდაქმნის კოეფიციენტით. უკუგარდამქმნელი სქემაში ასრულებს (ბ1 - ის ჩართულ მდგომარეობაში) ტესტური სიგნალის მიმწოდებლის როლს. გაზომვის სამი ტაქტის შედეგად, (რომლებსაც შეესაბამება გამორთული ბ1

და ბ2, ჩართული ბ1 და გამორთული ბ2, გამორთული ბ1 და ჩართული ბ2) მივიღებთ სამ განტოლებას:

$$\begin{cases} y_0 = \alpha_0 + \alpha_1 x \\ y_1 = \alpha_0 + (x + \beta y_0) \alpha_1 \\ y_2 = \alpha_0 + (1 + k) x \alpha_1 \end{cases} \quad (4.26)$$

(4.26) სისტემის ამოხსნა გვაძლევს

$$x = \frac{(y_2 - y_0) \beta y_0}{(y_1 - y_0) k} \quad (4.27)$$

(4.27) ალგორითმი რეალიზდება გამოთვლულ მოწყობილობაში. თუ  $k$  ტესტის მიმწოდებელი არ ხასიათდება მაღალი სტაბილურობით და საჭიროა  $x$  გამოსახულებაში  $k$  პარამეტრის გამორიცხვა, მაშინ შეიძლება ჩავატაროთ გაზომვის მეოთხე ტაქტი, რომელსაც შეესაბამება ბ1 და ბ2 გასაღებების ჩართული მდგომარეობა. ამ დროს კბ-ს გამოსასვლელზე ფორმირდება სიდიდე

$$y_3 = \alpha_0 + (1+k) (x + \beta y_2) \alpha_1 \quad (4.28)$$

(4.26) და (4.28) განტოლებების ერთობლივი ამოხსნა გვაძლევს

$$x = \frac{(y_2 - y_0) \beta y_1 y_3}{y_0 y_3 - y_1 y_2} \quad (4.29)$$

(4.29)-ის მისაღებად საჭიროა  $y_3 - y_2$  სხვაობა გავეყოთ  $y_1 - y_0$ -ზე და მიღებული ტოლობიდან ვიპოვოთ

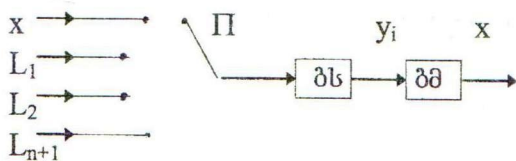
$$k = (y_0 y_3 - y_1 y_2) / y_2 (y_1 - y_0),$$

ეს უკანასკნელი კი ჩაესვათ (1.28) ტოლობაში. (1.30) -ში უკვე აღარ მონაწილეობს  $k$  პარამეტრი. ე.ი. თავიდანაა აცილებული  $k$ -ს არასტაბილურობით გამოწვეული შესაძლო ცდომილება.

ტესტური მეთოდები შეიძლება ავტომატიზებულ იქნას. ტაქტების გადართვა-გადმორთვის სისწრაფე უნდა შეესაბამებოდეს საზომ წრედებში გარდამავალი პროცესების დამყარების დროს. ეს მეთოდები ხასიათდება მაღალი ეფექტურობით [15].

#### 4.5. სანიმუშო საზომთა მეთოდი

ეს მეთოდი გარკვეულწილად ენათესაება ტესტურ მეთოდებს. დაეუშვათ, რომ გაზომვის საშუალების გრადუირების მახასიათებელი აიწერება  $n$  რიგის განტოლებით (4.16). ვიგულისხმობთ, რომ ცდომილებები ამ შემთხვევაშიც განპირობებულია  $\alpha_i$  კოეფიციენტების არასტაბილურობით. გაზომვის შედეგში ამ კოეფიციენტების მონაწილეობის გამორიცხვა ხდება ხელსაწყოს შესასვლელზე  $X$  გასაზომ სიდიდესთან ერთად სანიმუშო საზომებიდან მოხსნილი სანიმუშო სიგნალების  $L_i$  ( $i=1, 2, \dots, n+1$ ) მიწოდებით. 4.18 ნახაზზე მოცემულია განსახილველი მეთოდის სქემური რეალიზაცია სტრუქტურული სქემის დონეზე.  $\Pi$  გადამრთველი



ნახ. 4.18

(გასაღები) რიგრიგობით მიაწოდებს გაზომვის საშუალებას გასაზომ  $X$  სიდიდეს და  $L_i$  სიგნალებს, რის შედეგადაც მივიღებთ (4.16) -ის მსგავს განტოლებათა სისტემას:



აუცილებელი ტაქტების რაოდენობა 3-ის ტოლია. შეესაბამისად პირველ, მეორე და მესამე ტაქტებზე მივიღებთ:

$$y_0 = \alpha_0 + \alpha_1 x ;$$

$$y_1 = \alpha_0 + \alpha_1 L_1 ;$$

$$y_2 = \alpha_0 + \alpha_1 L_2 ;$$

საიდანაც ვწერთ

$$x = L_1 \frac{y_2 - y_0}{y_2 - y_1} + L_2 \frac{y_0 - y_1}{y_2 - y_1} . \quad (4.31)$$

(4.31) -ში არ მონაწილეობს  $\alpha_0$  და  $\alpha_1$  არასტაბილური პარამეტრები, არამედ გაზომვის შედეგები და სანიშნო  $L_1$  და  $L_2$  სიგნალები, რომლებიც მაღალი სიზუსტითაა ცნობილი.

(4.31) აღგორითში, ცხადია, წინასწარ უნდა იყოს “ჩადებული” გამომთვლელ მოწყობილობაში, რომლის გამოთვლების სიზუსტე უნდა შეესაბამებოდეს გაზომვის მოთხოვნილ სიზუსტეს.

## ლიტერატურა

1. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии: Учебн. пособие – М: Изд-во стандартов, 1985, 256 с.
2. Рейх Н.Н., Тупиченков А.А., Цейтлин В.Г. Метрологическое обеспечение производства; Учебн. пособие – М.: Изд-во стандартов, 1987, 248 с.
3. Тюрин Н.И. Введение в метрологию. – М.: Изд-во стандартов, 1985, 248 с.
4. Новицкий П.В., Зограф И.Л. Оценка погрешностей результатов измерений: – Л.: Энергоатомиздат, 1991, 304 с.
5. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений, ГОСТ 8.009-84: – М.: Изд-во стандартов.
6. Шишкин И.Ф. Прикладная метрология: Учебн. пособие – М.: Изд-во ВЗПИ, 1990, 177 с.
7. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества: Учебн. пособие – М.: Изд-во стандартов, 1988, 319 с.
8. Шабалин С.А. Прикладная метрология в вопросах и ответах. М.: Изд-во стандартов, 1986, 196 с.
9. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники - Богданов, Кузнецов и др. под редакцией В.А. Кузнецова – М.: Радио и связь, 1990, 240 с.
10. ბ. გიორგობიანი, შ. გლოველი, დ. ვარძელაშვილი. გაზომვათა ერთიანობის უზრუნველყოფის საფუძვლები, თბილისი, "განათლება", 1990, 330 გვ.
11. Основы метрологии и электрические измерения. – Под редакцией Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987, 470 с.
12. ი. ზედგინიძე, ხ. გოგიაშვილი. სტანდარტიზაცია და ხარისხის კონტროლის საფუძვლები - დამხ. სახელმძღვანელო, თბილისი, სპი-ს გამომც. 1975, 196 გვ.

13. რ. უვანია. პირველადი საზომი გარდამქმნელები – დამხ. სახელმძღვანელო, თბილისი, სპი-ს გამომც., 1985, 97 გვ.

14. Аналоговые электроизмерительные приборы. – Учебн. пособие, /Е.Г. Бишард, Е.А. Киселева, Г.П. Лебедев и др. – 2-е изд. М.: Высшая школа, 1991, 415 с.

15. Боднер В.А., Алферов А.В. Измерительные приборы - т.1. – М.: Издательство стандартов, 1986, 320 с.

16. Боднер В.А., Алферов А.В. Измерительные приборы-т.2. – М.: Издательство стандартов, 1986, 320 с.

17. Измерение электрических и неэлектрических величин. – Учебн. пособие, /Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт и др.; под редакцией Н.Н. Евтихьева, – М.: Энергоатомиздат, 1990, 352 с.

18. Проектирование датчиков для измерения механических величин: /Под редакцией Е.П. Осадчего – М.: Машиностроение, 1979, 480 с.

19. Любимов Л.И. Форсилова И.Д. Поверка средств электрических измерений – Справочная книга /Под редакцией Т.Б. Рождественской – Л.: Энергия, 1987, 206 с.

20. основополагающие стандарты в области метрологического обеспечения – М. Издательство стандартов, 1988, 246 с. (ГОСТ 8.061-80).

21. Кудрицкий В.Д., Сеница М.А., Чинаев П.И. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры. /Под редакцией П.И. Чинаева – М.: Сов. Радио, 1977, 256 с.

22. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем – М.: Высшая школа, 1976, 406 с.

*შესავალი*.....3

*თავი 1. გაზომვის საშუალებები*

1.1. გაზომვის საშუალებები, ძირითადი ცნებები და კლასიფიკაცია.....6

1.2. ფიზიკურ სიდიდეთა ერთეულების ეტალონები. ძირითადი ცნებები და კლასიფიკაცია.....14

1.3. გაზომვის საშუალებათა დაყოფა მეტროლოგიური დანიშნულების მიხედვით. დამოწმებითი სქემები.....20

*თავი 2. გაზომვის საშუალებების გამოყენების ეფექტურობა*

2.1. საზომი ექსპერიმენტის დაგეგმვის ცნება .....24

2.2. გაზომვის საშუალებების სიზუსტის მაჩვენებლების არჩევის პრინციპები პროდუქციის ხარისხის კონტროლის დროს. ვარგისობის პირობა. კონტროლის შეცდომების აღბათობები .....32

2.3. კონტროლის უტყუარობის კავშირი საკონტროლო-საზომი საშუალებების სიზუსტის მაჩვენებლებთან.....40

2.4. წინმსწრები დაშვებები. კონტროლის პროცესის ოპერატიული მახასიათებელი .....45

2.5. კონტროლის უტყუარობის ამაღლების მაჟორიტარული მოდელი.....49

2.6. საკონტროლო პარამეტრების ნომენკლატურის რაციონალური შერჩევის პრინციპები.....53

2.7. გაზომვის საშუალებების არჩევის ამოცანა.....60

*თავი 3. გაზომვის საშუალებების დამოწმება*

3.1 გაზომვის სანიმუშო საშუალებები და მათი განვითარების პერსპექტივები. მეტროლოგიური

ატესტაციისა და დამოწმების ამოცანები.	
დამოწმებათა მეთოდები და კლასიფიკაცია.....	66
3.2. დამოწმებათა უტყუარობა.....	78
3.3. დამოწმების ექსპრეს-მეთოდის ცნება. დამო- წმების გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდი.....	82
3.4. დამოწმებითი სამუშაოების ავტომატიზაცია .....	92

**თავი 4. გაზომვის მუშა საშუალებების**

**სიზუსტის ამაღლების პრაქტიკული მეთოდები.**

4.1. გასაზომი მუშა საშუალებების განვითარების პრობლემები. ცდომილებათა შემცირების მეთოდების კლასიფიკაცია.....	104
4.2. ცდომილებათა კომპენსაცია.....	109
4.3. ცდომილებათა კორექციის მეთოდები. დაკა- ლიბრება, ადიტიური და მულტიპლიკაციური კორექცია.....	115
4.4. იტერაციის მეთოდები. ტესტური კორექცია.....	121
4.5. სანიმუშო საზომთა მეთოდი.....	133

ლიტერატურა .....	136
------------------	-----





გამოყენებითი  
მეტროლოგია

Applied Metrology

Прикладная метрология

R.Zhvania. Applied Metrology. The helper textbook is published by G.T.U. Tbilisi, p.142.

In the offered helper textbook are examined some questions concerning the sphere Applied Metrology. The accent is made on the questions, which are not elucidated in Georgian Technical Literature till today. There are examined more deeply and in detail the questions which are not connected with peculiarities in organization economic mechanism of the countries and possible changes in this sphere. Particularly, superficially are examined the organization-lawful basis of Applied Metrology.

This course is teaching to the students of Georgian Technical University, specialization - "Metrology, Standardization and Control of quality". for mastering the course, the students must learn the Elements of High Mathematics, Theoretical Metrology and the Mathematical basis of Standardization.

Р. М. Жвания. Прикладная метрология. Учебное пособие. Изд-во Технический университет - "Центр информатизации", Тбилиси, 1998, 142 с.

В предлагаемом учебном пособии рассмотрены вопросы, относящиеся к области прикладной метрологии. Акцент сделан на вопросы, которые до сегодняшнего дня недостаточно освещены в грузинской технической литературе. Более глубоко и подробно рассмотрены вопросы, которые не связаны с особенностями устройства хозяйственного механизма страны (построен он по рыночной экономике или по другим принципам) и ожидаемыми изменениями в этой сфере. В частности, сравнительно поверхностно освещены организационно-правовые основы прикладной метрологии.

Курс преподается студентам ГТУ специальности "Метрология, стандартизация и контроль качества". Для освоения курса студентом должны быть пройдены и изучены элементы высшей математики, теоретической метрологии и математических основ стандартизации.

ჟენია რევაზ მიხეილის ძე

## ბამოყენებითი მეტროლოგია

რედაქტორი მ. ძიძგური  
ტექნიკური რედაქტორი მ. ბაღიაშვილი  
დამკაბადონებელი თ. მოდებაძე

გადაეკა წარმოებას 01.12.1998 წ. ხელმოწერილია დასაბუჭდად  
20.12.1998 წ. ქალაქის ზომა 60x84 1/16. გარნიტურა GEO AKADE-  
MIURI. ნაბეჭდი თაბახი 9. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 7,5.  
ტირაჟი 100 კვ. შიგნითა №98/2

ფასი სახელმეგრულებო

გამომცემლობა "ტექნიკური უნივერსიტეტი-ინფორმატიზაციის ცენტრი",  
თბილისი, მ. კოსტავას, 77

---

ორიგინალ-მაკეტი დამზადებულია და ტირაჟი დაბეჭდილია საქართვე-  
ლოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ინფორმატიზაციის ცენტრში“,  
თბილისი, მ. კოსტავას, 77