

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო  
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

*ხელნაწერის უფლებით*

**თეიმურაზ ქოჩიაშვილი**

**ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის  
კონტროლის მეთოდები და საშუალებები  
მანქანათმშენებლობაში**

**ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის  
სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი**

**დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა**

სპეციალობა: 05.02.03 – *ამძრავთა სისტემები*

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: **წიქარიშვილი მალხაზი**

ტექნიკის მეცნიერებათა  
დოქტორი, სრული პროფესორი

**ყიფიანი გელა**

ტექნიკის მეცნიერებათა  
დოქტორი, სრული პროფესორი

**ქუთაისი 2006**

## ს ა რ ჩ ე ვ ი

### შესავალი.

თავი 1. თანამედროვე წარმოდგენების მიმოხილვა ტექნიკური სისტემების და ავარიის პროგნოზირებაზე.

1.1. პრობლემები და ამოცანები, რომლებიც წარმოიქმნება ტექნიკური სისტემების ექსპლოატაციისას.

1.2 ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები და მათი კლასიფიკაცია.

1.3 ტექნიკურ სისტემებში პირველი ბზარებისა და დაზიანებათა დაგროვების პროცესის აღმოჩენის თანამედროვე ექსპერიმენტული მეთოდები.

1.3.1 მიკროსკოპია და მიკროფოტოგრაფია.

1.3.2 რენტგენოსკოპია და რენტგენოგრაფია.

1.3.3 ფოტოდრეკადი მეთოდები მოდელები.

1.3.4 ვერცხლისწყლის პირომეტრიის მეთოდი.

1.3.5 თერმოდეფექტოსკოპია.

1.3.6 აკუსტიკური მეთოდები.

1.3.7 ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების გამოყენება ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკისათვის.

1.4 პირველი თავის დასკვნები.

თავი 2. ტექნიკური სისტემების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და რღვევის მექანიზმის ანალიზი.

2.1. ბზარების გავრცელება ხაზობრივ ბლანტდრეკად გარემოში ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას.

2.2 მასალების რღვევის ანალიზი დინამიკური დატვირთვებისას.

2.3 ბზარის ზრდის მექანიკა.

2.4 ბზარის ზრდის შეჩერების პრინციპები.

2.5 ლითონების დაღლილობისაგან რღვევის ზოგადი კანონზომიერებანი და დაღლილობისაგან ბზარების განვითარება.

2.6 ანალიზური მიდგომები დაღლილობითი ბზარების გავრცელების თეორიაში.

2.7 დაღლილობითი ბზარების ზრდის სიჩქარის კინეტიკური დამოკიდებულებები დამაბზულ დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრებზე.

2.8 მეორე თავის დასკვნები.

**თავი 3. ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელი და მუშაუნარიანობის კონტროლის მეთოდები.**

3.1 შესავალი.

3.2 ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები.

3.3 პარამეტრების შერჩევის პრინციპები.

3.4 დიაგნოსტიკის მაჩვენებელი.

3.5 ფიზიკური, პარამეტრული და ტესტების ოპტიმიზაციის მეთოდები.

3.6. მესამე თავის დასკვნები.

**თავი 4. კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების დამუშავება დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირებისათვის.**

4.1. კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების კლასიფიკაცია.

4.2. კონტროლის ლოგიკური მოწყობილობების სტრუქტურული სქემები.

4.3. ტექნიკური სისტემების ექსპლოატაციის პირობებში კონტროლის ავტომატური სისტემის უნიკალური სქემა.

4.4. ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების ბლოკ-სქემები.

4.5. კონტროლის სისტემის ხარისხის განსაზღვრა.

4.6. მეოთხე თავის დასკვნები.

**პირითადი დასკვნები.**

**ლიტერატურა.**

**დანართი.**

## შესავალი

ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და პროგნოზირება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ერთ-ერთი შედეგია გაანგარიშების მეთოდების სიზუსტის მიმართ. მანქანა-დანადგარებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების ექსპლოატაციისას ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის დაზიანებებს: ჩნდება ბზარები, კოროზიის შედეგად მცირდება მზიდი კვეთი და სხვა დეფექტები იწვევს კონსტრუქციის მუშაობის უნარის დაქვეითებას ან რღვევას კატასტროფული შედეგებით. აქედან გამომდინარე საჭიროა სწორი დიაგნოზის დასმა კონსტრუქციის ვარგისიანობაზე და ავარიის პროგნოზირება კონტროლის საშუალებით.

ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკის ცენტრი სენსორებიდან მიღებულ ინფორმაციას უკეთებს ანალიზს, რომელთაც რეგულარული კავშირი აქვთ შესამოწმებელ ობიექტებთან. როგორც ბოლო წლების სტატისტიკამ აჩვენა, მიუხედავად მიღებული საგანგებო ზომებისა, მაინც იმატა კონსტრუქციების მთლიანობის დაკარგვის გამო გამოწვეულმა კატასტროფულმა მოვლენებმა, როგორც ხმელეთზე, ასევე წყალსა და ჰაერში, რასაც უდიდეს მატერიალურ ზარალთან ერთად ყველაზე მძიმე, გამოუსწორებელი შედეგი, ათასობით ადამიანის მსხვერპლი მოჰყვა. ამით აიხსნება, რომ საკონტროლო სისტემებზე მოთხოვნილება ყოველწლიურად სწრაფი ტემპით მატულობს და ადამიანის გრძნობითი ორგანოების შეცვლა გადამწოდით (სენსორებით), კონსტრუქციებისა და ტექნოლოგიური ხაზების უზრუნველყოფა ამ ტექნიკური საშუალებით, ამჟამად განიხილება, როგორც მანქანა-

ენერგეტიკული და ინფორმაციულ-კომპიუტერული რევოლუციების შემდგომი ეტაპი.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და პროგნოზირება ავტომატური კონტროლის საშუალებით წარმოადგენს მეტად აქტუალურ პრობლემებს. სწორედ ამ პრობლემების გადაწყვეტასა და რიცხვით რეალიზაციას ტექნიკის სხვადასხვა ამოცანების შემთხვევაში ეხება წინამდებარე ნაშრომი.

**ნაშრომის მიზანია** ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის ეფექტური სისტემის დამუშავება

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:**

- განხილულია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები, რღვევის გამომწვევი მიზეზები და დეფექტების კლასიფიკაცია;
- გაანალიზებულია ტექნიკური სისტემების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და რღვევის მექანიზმი;
- დამუშავებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებები დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირებისათვის.

**კვლევის პრაქტიკული ღირებულება.** ჩატარებული კომპლექსური კვლევებით მიღებულია შედეგი, რაც იძლევა ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და რღვევის პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების შექმნის საშუალებას. ეს სისტემები ფართოდ შეიძლება იქნას გამოყენებული ავარიების პროგნოზირებისათვის მანქანა-დანადგარებში.

**ნაშრომის შედეგების რეალიზაცია.** დამუშავებული მეთოდიკა, ალგორითმი და პროგრამა მიღებულია სხვადასხვა ორგანიზაციების მიერ გამოყენებისათვის. შესაბამისი აქტები თან ერთვის სადისერტაციო ნაშრომს.

**ძირითადი შედეგების საიმედოობას** განსაზღვრავს დასაბუთებული ვარიანტები, რომლებიც საფუძვლად დაედო ალგორითმს და დასტურდება გამოთვლის შეფასების სიზუსტით, აგრეთვე სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული თეორიული და ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგებთან დამთხვევით.

**ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა:

- რესპუბლიკის დია სამეცნიერო კონფერენციაზე «მშენებლობა და ოცდამეერთე საუკუნე» (თბილისი, 2005 წ).

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კონსტრუქციების დაზიანების ტექნიკური დიაგნოსტიკის კათედრის სამეცნიერო სემინარებზე (თბილისი, 2000, 2005 წწ).

- ქუთაისის ნ. მუსხელიშვილის სახელობის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის გაფართოებულ სამეცნიერო სემინარზე (ქუთაისი, 2005 წ).

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატია და 4 თეზისი.

**ნაშრომის მოცულობა:** დისერტაცია შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურის სიის და დანართისაგან. იგი მოიცავს 155 გვერდს, მათ შორის 57 ნახაზს, 10 გვერდი დანართია. ლიტერატურის ჩამონათვალში 139 დასახელებაა.

**პირველ თავში** გაანალიზებულია ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის დიაგნოსტიკის და ავარიის პროგნოზირების პრობლემები და ამოცანები. განხილულია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები, რღვევის გამომწვევი მიზეზები. გაკეთებულია დეფექტების კლასიფიკაცია, არსებული დიაგნოსტიკისა და კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა. მოცემულია პირველი თავის დასკვნები.

**მეორე თავში** წარმოდგენილია ტექნიკური სისტემების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და რღვევის მექანიზმის ანალიზი. მასალებისა და კონსტრუქციის ელემენტის რღვევის პროცესი ყოველთვის მიმდინარეობს გარკვეული დროის განმავლობაში. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მასალების რეოლოგიური მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი დეფორმაციის სიჩქარეზე, თვით რღვევა კი შეიძლება მიმდინარეობდეს სიმტკიცის ზღვარზე ნაკლები დაძაბულობისას, როცა დატვირთვის ქმედება გაწელილია დროში. მითითებულ შემთხვევაში რღვევის ჩვეულებრივი კრიტერიუმები ერთჯერადი სტატიკური დატვირთვისათვის უკვე არაკორექტულია და ამიტომ მასალების რღვევის მოდელების ფორმულირებაში უნდა იქნას გათვალისწინებული პროცესის დროის ეფექტები. ამ თავში გადმოცემულია მასალების რღვევისა და სიმტკიცის მექანიკის საანგარიშო მოდელები, რომლებიც ითვალისწინებენ დატვირთვის

დამოკიდებულებას დროზე, აგრეთვე ამ შემთხვევაში ბზარების ჩასახვას და გავრცელების კინეტიკას. მოცემულია მეორე თავის დასკვნები.

**მესამე თავში** დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელი და მუშაუნარიანობის კონტროლის მეთოდები. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნებად მიჩნეულია ობიექტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ თვისებათა განსაზღვრა. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნები დამოკიდებული ფაქტიურ მნიშვნელობებთან შეიძლება იყოს: გამართულობა, შრომისუნარიანობა, გაუმართაობა, შრომისუუნარობა (მტყუნება), სწორი და არასწორი ფუნქციონირება. განხილულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის ორი სახე: ტექნიკური და ფუნქციონალური. პირველი ეს ისეთი დიაგნოსტიკაა, რომლის დროსაც ობიექტზე სისტემის კონტროლისათვის მიეწოდება სპეციალური ტესტური ზემოქმედებანი. ფუნქციონალური ტექნიკური დიაგნოსტიკა ხორციელდება დანიშნულების მიხედვით ობიექტზე კონტროლის უშუალო გამოყენების პროცესში, როცა მას მიეწოდება მუშა ზემოქმედება გათვალისწინებული ობიექტის ფუნქციონირების ალგორითმით. დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები, პარამეტრების შერჩევის პრინციპები და დიაგნოსტიკის მაჩვენებლები. მოცემულია მესამე თავის დასკვნები.

**მეოთხე თავში** დამუშავებულია კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირებისათვის. გაკეთებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების კლასიფიკაცია. ძირითადი ნიშნები, რომლითაც მოხდა კლასიფიკაცია, არის შემდეგი განლაგების ან დადგმის ადგილი, ტექნიკური სისტემის დანიშნულება ექსპლოატაციისას, გადასაჭრელი ამოცანების ხასიათი, ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის რეჟიმი, ინფორმაციის შეგროვებისა და გადამუშავების წესი, ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის წარდგენის წესი. განსაზღვრულია კონტროლის სისტემის ხარისხი და განხილულია კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემების გამოყენების მაგალითები. მოცემულია მეოთხე თავის დასკვნები.

**ძირითად დასკვნებში** გადმოცემულია სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგები.

**დანართში** მოცემულია პროგრამები კომპიუტერული რეალიზაციისთვის.

ავტორი გულწრფელ მადლიერებას გამოხატავს სამეცნიერო ხელმძღვანელების, პროფესორ მალხაზ წიქარიშვილისა და პროფესორ გელა ყიფიანის მიმართ, რომელთა დახმარება და თანადგომა იგრძნობოდა დისერტაციაზე მუშაობისას.

## თავი 1.

### თანამედროვე წარმოდგენების მიმოხილვა ტექნიკური სისტემების და ავარიის პროგნოზირებაზე

#### 1.1. პრობლემები და ამოცანები, რომლებიც

#### წარმოიქმნება ტექნიკური სისტემების ექსპლოატაციისას

ტექნიკური სისტემების ექსპლოატაციის პერიოდში დიდი მნიშვნელობა აქვს კონსტრუქციების და ცალკეული ელემენტების შემოწმებას ზღვრული მდგომარეობის დინამიკურ დატვირთვებზე პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით, რადგან ამ დროს უფრო ნათლად ვლინდება კონსტრუქციის მზიდუნარიანობის შესაძლებლობები.

ტექნიკური სისტემების ცალკეულ ელემენტებში პლასტიკური დეფორმაციები შთანთქავენ სტატიკური და დინამიკური ზემოქმედებით გამოწვეულ ენერჯის უმეტეს ნაწილს. ამიტომ ამ სისტემებს, რომლებშიც ვითარდება პლასტიკური დეფორმაციები, შეუძლიათ გარკვეული წინააღმდეგობა გაუწიონ დინამიკურ დატვირთვებს. აქედან გამომდინარე, კონსტრუქციების დინამიკურ ძალებზე გათვლისას შეიძლება დავუშვათ ძაბვათა მნიშვნელობა, რომელიც აღემატება მასალის დასაშვებ ზღვარს. ასეთი გამოთვლები საშუალებას იძლევა გავიანგარიშოთ ტექნიკური სისტემების საიმედოობა მისი ზღვრული დეფორმაციების დროს. მაგრამ ამ სისტემების დეფორმაციების გამოთვლის სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ სრული გადაადგილების სიდიდიდან უნდა გამოვყოთ ნარჩენი გადაადგილების სიდიდე, რადგანაც რეალური კონსტრუქციები ფლობენ გარკვეულ თვისებებს, რომლებიც მდგომარეობს იმაში, რომ ჩააცხრონ რხევები მათი ზღვრული დამაბული



მდგომარეობისას. ამიტომ თუ სისტემა არ დაინგრევა პირველი მაქსიმალური გადახრის დროს, ის დაიწყებს რხევას გადაადგილების მიმართულებით.

ზღვრული მდგომარეობისას კონსტრუქციების ან მანქანა-დანადგარების გაანგარიშების დროს თვლიან, რომ სისტემები ხასიათდება პრანტდლის დიაგრამებით. ასეთმა გამარტივებამ დინამიკური ამოცანებისათვის შეიძლება რიგ შემთხვევებში მოახდინოს შესამჩნევი გავლენა დეფორმაციების სიდიდეზე.

ტექნიკური სისტემების ანგარიშის ამოცანები დრეკადობის ზღვრებში განხილულია შრომებში [82, 87, 92]. მაგრამ ისინი არ გამოდგებიან ამ სისტემების ექსპლოატაციის პერიოდში ანგარიშისათვის. ამ ამოცანების ზუსტი გადაწყვეტა დაკავშირებულია დიდ სირთულეებთან, ისევე როგორც სხვა ამოცანებისა, რომლებიც განისაზღვრებიან გარდამავალი პროცესებით, არ არის შესწავლილი. კლასიკური მეთოდების პრაქტიკული გამოყენება, აგრეთვე ციფრული და გრაფიკული მეთოდები დაკავშირებულია ურთულეს გამოთვლებთან.

ტექნიკური სისტემების ექსპლოატაციისას თავს იჩენს მთელი რიგი გაუთვალისწინებელი ფაქტორები, მაგალითად დაბალი სიმტკიცის ან არაკონდიციური მასალების გამოყენება. აღსანიშნავია, რომ არასწორი ექსპლოატაციის გამო დაზიანების და ნგრევის სიხშირე დიდია.

ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორი, რომელიც დიდ გავლენას ახდენს გათვლების სიზუსტეზე არის იდეალური კონსტრუქციის არარსებობა. ყველა კონსტრუქციას გააჩნია «თანდაყოლილი» მიკროდეფექტები, რომლებიც ძალიან სახიფათოა, რადგან ექსპლოატაციის პირობებში შეიძლება მოხდეს მათი განვითარება და ზრდა. განვითარებული დეფექტი იწვევს კონსტრუქციის რღვევას. მეტად დატვირთულ კონსტრუქციებში ბზარების ზრდა ხდება მთავარი გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების მართობული მიმართულებით. საგულისხმოა ისიც, რომ ბზარის წვეროსათან ძაბვათა კონცენტრაცია იწვევს პლასტიკურ დეფორმაციებს, რის შედეგადაც ამ ზონაში ძაბვები თავისთავად მცირდება, ანუ პლასტიკური დეფორმაციების განვითარება «აბლაგვებს» სააწყის სტადიაში მახვილ ბზარს, რაც თავის მხრივ ადიდებს სიმტკიცის მარაგს. ე.ი. ყველა დეფექტი არ შეიძლება გახდეს კონსტრუქციის რღვევის მიზეზი და მნიშვნელობა ენიჭება მის ზომას.

ყველა ზემოთჩამოთვლილი პრობლემის გამო, მეცნიერები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ აუცილებელია შეიქმნას კონსტრუქციები განუყოფელი

კონტროლისა და მართვის სისტემებით, რომელთაც შეუძლიათ გაზომონ და გააკონტროლონ საკუთარი შინაგანი მდგომარეობა ანუ სტრუქტურული მთლიანობა. გარდა ამისა, ასეთმა სისტემებმა რეაგირება უნდა მოახდინოს მიღებულ ინფორმაციაზე, კერძოდ აცნობოს შესაბამის სამსახურს, რომელიც შეამოწმებს მიღებულ ინფორმაციას და მიიღებს შესამაბის ზომებს.

შემდეგ პარაგრაფებში მოცემულია თანამედროვე დიაგნოსტიკისა და კონტროლის მეთოდების მიმოხილვა და გამოყენების სფეროები.

## 1.2 ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები და მათი კლასიფიკაცია

გარე ძალების ზემოქმედების შედეგად ტექნიკურმა სისტემებმა შეიძლება განიცადოს ნაწილობრივი ან მთლიანი რღვევა. ნაწილობრივი რღვევის დროს შესაძლებელია კონსტრუქციაში გაჩნდეს გარკვეული სიდიდის ბზარი, რომელიც მას მწყობრიდან არ გამოიყვანს, ან შესაძლებელია კონსტრუქციის შემადგენელი რაიმე ელემენტი დაირღვეს, მაგრამ მთლიანად კონსტრუქციამ არ დაკარგოს მუშაობის უნარი. მთლიანად რღვევის დროს კი კონსტრუქცია ან ელემენტი განიცდის კატასტროფულ რღვევას და მისი შემდგომი ექსპლოატაცია შეუძლებელი ხდება.

რღვევის სახეებია: მყიფე, კვაზიმყიფე და ბლანტი (პლასტიკური) რღვევა.

მყიფე რღვევის დროს ხდება ბზარის სწრაფი გავრცელება რღვევამდე ისე, რომ ბზარის წვეროში წარმოიშობა უმნიშვნელო სიდიდის პლასტიკური დეფორმაციები ან ეს დეფორმაციები შესაძლებელია სულაც არ იყოს. ამ შემთხვევაში, თუ პლასტიკური დეფორმაციები არ არსებობს, საქმე გვაქვს იდეალურ მყიფე რღვევასთან. მყიფე რღვევის დროს ბზარის გავრცელების სიჩქარე ბგერის გავრცელების სიჩქარის 0,2-0,5 ნაწილს შეადგენს.

პლასტიკური რღვევის დროს ბზარის წვეროს მახლობლობაში წარმოიშობა მნიშვნელოვანი სიდიდის პლასტიკური უბნები, რომლებიც გავლენას ახდენენ რღვევის პროცესზე. პლასტიკური რღვევის დროს ბზარის გავრცელების სიჩქარე ბგერის გავრცელების სიჩქარის 0,05 ნაწილს შეადგენს.

კვაზიმყიფე რღვევა შუალედურია მყიფე და ბლანტი რღვევებს შორის. ამ დროს რღვევის პროცესზე გავლენას ახდენს ბზარის წვეროსთან არსებული როგორც

დრეკადი, ისე პლასტიკური უბნები, პლასტიკური უბნები მცირეა ბზარის სიგრძესთან შედარებით. ანსხვავებენ აგრეთვე დადლილობით რღვევებს, რომელთაც ადგილი აქვთ ციკლური დატვირთვების ზემოქმედებისას კონსტრუქციაში შეუქცევადი დაზიანების დაგროვების ხარჯზე. აღნიშნული სახის რღვევები წარმოებს ძაბვების იმ მნიშვნელობებისას, რომლებიც ნაკლებია ზღვრულზე და ერთი შეხედვით ისინი საშიში არ ჩანს. ეს მდგომარეობა კი მიუთითებს იმაზე, რომ არ არის სრულყოფილი სიმტკიცეზე გაანგარიშების კლასიკური მეთოდები და აუცილებელია ამ მეთოდებში აისახოს ბზარის ჩასახვისა და განვითარების პროცესები.

დეფორმაციის წარმოშობისა და მიმდინარეობის მექანიზმი განვიხილოთ ლითონის მაგალითზე. როგორც ცნობილია, ლითონს აქვს კრისტალური სტრუქტურა. ნაღნობში მისი გამყარების პროცესში წარმოიშობა რამდენიმე კრისტალი, რომლებიც მყარად არიან განლაგებული ერთმანეთის გვერდიგვერდ. ლითონი შედგება დიდი რაოდენობის არასწორი მოხაზულობის კრისტალებისაგან, რომლებიც ნებისმიერადაა განლაგებული ერთმანეთის მიმართ. თითოეულ კრისტალურ მარცვალში ატომები განლაგებული არიან განსაზღვრული წესით და ქმნიან კრისტალურ მესერს. ატომებს შორის კავშირი ხორციელდება ელექტროსტატიკური ძალებით. ვინაიდან ეს ატომები თავიანთი ბუნებით ერთნაირია, ამიტომ ისინი ერთმანეთისაგან ისეთი მანძილითაა დაშორებული, სადაც მიზიდულობისა და განმზიდი ძალები ერთმანეთის ტოლია. კრისტალური მესერი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც წარმოსახვითი ხაზებით ერთ სიბრტყეზე განლაგებული ატომები. ამ ატომებს ხშირად კრისტალური მესრის კვანძებს უწოდებენ.

თუ ლითონის ელემენტზე ვიმოქმედებთ გარეგანი ძალებით, მაშინ ატომებს შორის მანძილი შეიცვლება, შედეგად ატომების შემაერთებელი სწორი ხაზები გამრუდდება და ატომური მესერიც შეიცვლის ფორმას. ამ დროს ერთი მესრის ცვლილება გამოიწვევს მეორე მეზობელ მესერში ატომების ცვლილებას. რაც უფრო ვმორდებით საწყის მესერს, გავლენა მეორდება. ატომებს შორის ურთიერთქმედების ძალების ჯამიც ნულის ტოლი აღარ იქნება. მათგან ერთ-ერთი იკლებს და მეორე იმატებს. მესერში წარმოიშობა შინაგანი ძალები, რომლებიც მისწრაფვიან დააბრუნონ ატომები თავდაპირველ ადგილას. თუ დეფორმაციები მცირეა, მაშინ შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ატომების გადაადგილებასა და ურთიერთქმედების

ძალებს შორის დამოკიდებულება წრფივია. თუ გარეგან ძალებს მოვხსნით, მაშინ შინაგანი ძალების გავლენით ატომები დაუბრუნდება თავიანთ პირვანდელ ადგილს ატომურ მესერში და ლითონის ელემენტი დაიბრუნებს თავის პირვანდელ ფორმას. ასეთნაირად შეიძლება ავხსნათ დრეკადი დეფორმაცია.

განვიხილოთ პლასტიკური დეფორმაციის წარმოქმნის მექანიზმი. თეორიულად და ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია, რომ ლითონის ატომური მესრის ერთი ნაწილის მეორის მიმართ დაძვრა გაცილებით უფრო ადვილია, ვიდრე მისი მოწყვეტა, ამიტომ ატომურ მესერში პლასტიკური დეფორმაციები მიმდინარეობს ძვრის ხარჯზე. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ძვრა მიმდინარეობს სიბრტყეში, რომელიც ატომების მეტ რაოდენობას შეიცავს.

განასხვავებენ დეფექტების (დისლოკაციის) ოთხ სახეს:

1. წერტილოვანი დეფექტი. იგი წარმოიშობა როცა მესრის რამდენიმე კვანძში არ არის ატომები, ან მესრის რომელიმე კვანძი შეიცავს განსხვავებული თვისების მატარებელ ატომს, ან ატომები განლაგებულია მესრის კვანძის გარეთ;

2. წრფივი დეფექტი. ამ დროს ხდება განაპირა დისლოკაცია ან ხრახნული დისლოკაცია;

3. ზედაპირული დეფექტი;

4. მოცულობითი დეფექტი. მაგალითად, ფორები ან ელემენტის შიგნით მეორე სხვა თვისებების ელემენტის მცირე ნაწილის არსებობა და ა.შ.

უნდა აღინიშნოს, რომ კრისტალში დისლოკაციები ჩნდება მათი ჩამოყალიბების პროცესში, ან რაიმე სრულყოფილების დროს დაბალი ძაბვების მოქმედებისას.

თუ ავიღებთ იდეალურ კრისტალს დეფექტების (დისლოკაციების) გარეშე, მაშინ დეფექტების ერთი ნაწილის მეორის მიმართ გადასადგილებლად საჭიროა კრისტალში შემავალი ყველა ატომის ურთიერთქმედების ძალების დაძლევა. დარღვეული სტრუქტურის მქონე კრისტალში კი საჭიროა ყველა ატომის ნაცვლად ატომთა გარკვეული ჯგუფის ურთიერთქმედების ძალების დაძლევა და ამდენად უფრო ნაკლები ძალა იქნება საჭირო. კრისტალის სიმტკიცე კი დამოკიდებულია დისლოკაციის (დეფექტის) სიმკვრივეზე ანუ მათ რაოდენობაზე ფართობის ერთეულზე. რაც უფრო მეტია დისლოკაციების რიცხვი ფართობის ერთეულზე, მით ნაკლები ძხები ძაბვაა საჭირო ატომური მესრის დასარღვევად. როდესაც

პლასტიკური დეფორმაცია მიიღებს მასიურ ხასიათს, დისლოკაციები, რომლებიც სხვადასხვა სიბრტყეში ვითარდებიან, რაღაც მომენტში ლოკალიზდებიან და ქმნიან ურთიერთგავრცელების დამაბრკოლებელ ზღურბლს. ეს მოვლენა ვლინდება გარკვეული პლასტიკური დეფორმაციების შემდეგ ლითონის თვითგანმტკიცებაში. მასალის სიმტკიცე, რომ გაიზარდოს საჭიროა აღმოვფხვრათ დისლოკაცია ან ხელი შევუშალოთ მათ გავრცელებას რაც თანამედროვე ეტაპზე მიიღწევა სპეციალური ხსნარების შეყვანით, თერმული გადამუშავებით და ა.შ.

რღვევის მოვლენა რთული, მრავალსაფეხურიანი პროცესია, რომელიც ელემენტში მიმდინარეობს უფრო ადრე, ვიდრე წარმოიშობა ადამიანის თვალისათვის შესამჩნევი ბზარები. ბზარი მისი სიგრძის მიხედვით შეიძლება იცვლებოდეს რამდენიმე ანგსტრემიდან (ატომებს შორის მანძილი) რამდენიმე ასეულ მეტრამდე (მაგ. მაგისტრალურ გაზსადენებში). რღვევის პროცესის შესასწავლად და ასახსნელად დამუშავებულია ბზარის მასშტაბური სკალა: ჩასახვის ბზარები ( $10^{-7}$ – $10^{-5}$ ) მიკრობზარები; მაკრობზარები; მაგისტრალური ბზარები. მასშტაბურ სკალაში მოცემული უბნისათვის ხდება შესაბამისი მათემატიკური მოდელის შექმნა და მასალის შინაგანი წყობის შესწავლა. ამასთან მხედველობაში მიიღება მასშტაბურ სკალაში ის სასაზღვრო პირობები, რომლებიც აღნიშნულ უბანს ესაზღვრება მარჯვნიდან და მარცხნიდან.

რღვევის მექანიკაში ძირითადი ყურადღება კონცენტრირდება მაკრობზარების შესწავლაზე, რადგანაც კონსტრუქციების უმრავლესობაში მაკრობზარები რღვევის გამომწვევი მიზეზია.

### **1.3 ტექნიკურ სისტემებში პირველი ბზარებისა და დაზიანებათა დაგროვების პროცესის აღმოჩენის თანამედროვე ექსპერიმენტული მეთოდები**

დინამიკური დეფორმაციების შეფასებისათვის ფართოდ გამოიყენება ელექტრო ტენზოგადამწოდები [60,61,62,63]. ეს გადამწოდები გამოირჩევიან საკმაოდ ფართო სიხშირული სპექტრით; ე.ი. მექანიკური რხევის სპექტრს, რომელიც წარმოიქმნება კონსტრუქციაში, მასზე დინამიკური დატვირთვისას, სრულიად ადეკვატურად ასახავს შესაბამისი ელექტროსიგნალი. თუმცა ტენზოგადამწოდს

შეუძლია ასახოს მხოლოდ განსაზღვრული სივრცული არის მნიშვნელობა წარმოქმნილი ძაბვა-დეფორმაციისას. ტენზოგადამწოდების კონსტრუქციული უარყოფითი მხარეა წებოვანი კომპოზიციის დეფორმაციისას წარმოშობილი მადალსიხშირული მექანიკური რხევების ენერჯის შთანთქმა.

დინამიკური დეფორმაციების შესაფასებლად გამოიყენება პიეზოელემენტები, როგორცაა მაგ. ბარიუმის ტიტანიტი, რომელსაც გააჩნია პიეზოეფექტი. პიეზოკრისტალების მაღალი მგრძობელობა იძლევა საშუალებას განისაზღვროს დინამიკური დეფორმაციის სპექტრი [60].

მექანიკური რხევების ელექტრულ სიგნალებად გარდაქმნა ხორციელდება ელექტროსტატიკურ სქემებში. გამოსაკვლევი ობიექტის ზედაპირის ნაწილი ასრულებს კონდენსატორის ფუნქციას, რომელიც იძლევა საშუალებას მაღალი მგრძობელობით შევავსოთ დეფორმაციის პარამეტრები [57]. თუმცა ელექტროსტატიკური გადამწოდების გამოყენება დაძაბული მდგომარეობის დროს შეზღუდულია, რადგან გამოსაკვლევი კონსტრუქციის სასაზღვრო ზონების დეფორმაციის შეფასება ამ მეთოდით გართულებულია. არადამრღვევი მეთოდებიდან კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესაფასებლად ოპტიკური მეთოდები იკავებენ ერთ-ერთ განსაკუთრებულ წამყვან ადგილს, რადგანაც სინათლის დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური რხევა იძლევა საშუალებას დავაკვირდეთ ფრიად უმნიშვნელო ცვლილებებს.

ყველაზე ცნობილ ოპტიკურ მეთოდებს დეფორმაციული პროცესების დაკვირვებისათვის მიეკუთვნებიან: ფოტოდრეკადობის, ინტერფერომეტრიის, ჰოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის და სხვა მეთოდები [51, 80, 116, 121, 119].

ოპტიკურ ინტერფერენციულ მეთოდს ხშირად უწოდებენ მუარის ზოლის მეთოდს, რადგან ხდება ობიექტის გამოსახულების ფაზური ტრანსფორმაცია (რეპერული ბადე, რეპერული წერტილები, ეტალონი და ა.შ.) [51, 121].

ფოტოდრეკადობის მეთოდი იძლევა საშუალებას პოლარიზებულ სინათლეში მივიღოთ დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სურათი კონსტრუქციის მთელი ზედაპირის ფართობზე. უარყოფითი მხარეა: გამოსაცდელი კონსტრუქცია უნდა იყოს ოპტიკურად გამჭვირვალე გამოსხივების პოლარიზებისათვის და ოპტიკური მგრძობელობის ასამაღლებლად. ამის გარდა წარმოიშობა სირთულეები მთავარი ძაბვის გამოყოფასთან დაკავშირებით [120].

შედარებით პერსპექტიულ მეთოდს წარმოადგენს ჰოლოგრაფიული ინტერფერომეტრია, ე.ი. ხდება კონსტრუქციის გამოსახულების ამპლიტუდური და ფაზური ფიქსაცია ერთდროულად. ეს მეთოდი საკმაოდ ეფექტურია სწრაფი პროცესების ანალიზისათვის, რამდენადაც დინამიკური ჰოლოგრაფიის დროის პარამეტრები რიგით მცირეა დარტყმითი დატვირთვისას დეფორმაციის პროცესში რელაქსაციის დროზე. მხოლოდ ამ მეთოდითაა შესაძლებელი იმპულსური დეფორმაციის სივრცული განაწილების გაზომვა. არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ, რომ იმპულსური დეფორმაციების დაძაბული მდგომარეობის არაწრფივ ეფექტზე მხოლოდ ჰოლოგრამა გვაძლევს სრულ წარმოდგენას. გარდა ამისა, კონსტრუქციაში დარტყმითი დატვირთვის ზემოქმედებისას წარმოშობილი ძაბვის ტალღის კინემატიკა შეიძლება იდენტიფიცირებული იყოს, მხოლოდ ჰოლოგრამის ფაზური და ამპლიტუდური პარამეტრების მასივების მიღების შემდეგ. უარყოფით მხარეს წარმოადგენს რთული ექსპერიმენტული ტექნიკა (იმპულსური ლაზერი, ბაზის ანტისეისმურობა და ა.შ.), რაც განაპირობებს იმას, რომ მეთოდი ფართოდ არ ინერგება მეტროლოგიაში.

ოპტიკურ მეთოდებში შეიძლება გამოვყოთ ფოტო და კინოგადაღება. ეს მეთოდები იძლევა საშუალებას დაფიქსირდეს კონსტრუქციის მდგომარეობა დროის მოცემულ მომენტში. თუმცა ფოტოგრაფირებისას გამოსაკვლევი იმპულსური დეფორმაციების ექსპოზიციის დროის დადგენა ყოველთვის არ არის შესაძლებელი.

დიაგნოსტიკის ყველა ოპტიკური მეთოდი, მათ შორის ბოჭკოვან-ოპტიკური ჩქარი, დეფორმაციული პროცესების აღწერას ახდენენ ვიზუალურად, რაც მათ უპირატესობას არ წარმოადგენს.

ჩქაროსნული კინოგადაღების ტექნიკას, რომელიც ძირითადად გამოიყენება არასტაციონალური ხანმოკლე დეფორმაციის პროცესების გამოკვლევისათვის, ფოტოგადაღებისგან განსხვავებით გააჩნია დეფორმაციათა დაფიქსირების თვისება დროის ძალიან მოკლე ინტერვალში. ამიტომაც სიხშირის გაზრდით კადრების რაოდენობაც იზრდება და ინფორმაციის მოცულობა კონსტრუქციების დეფორმაციის შესახებ მატულობს. მათი არსებითი ნაკლია ის, რომ შეუძლებელია ფოტო-კინო-გადაღების ფიქსაციაში დეფორმაციის პროცესების დროის რეალურ მასშტაბში დაკვირვება.

უკანასკნელ წლებში არამრღვევი კონტროლის ოპტიკური მეთოდები წარმოდგენილი ოპტიკური და ელექტრონული სინთეზის სახით, იღებენ ასახვას ტელევიზიის სისტემებში არასტაციონალური პროცესების ფიქსირებისათვის.

სხვადასხვა ფირმების მიერ დამუშავებულია ვიდეოსისტემები, რომელთა გადაღების სიჩქარე აღწევს 2000 კადრს, მაგრამ სწრაფ, დინამიკურ პროცესებს ვერ აფიქსირებენ. ამიტომ დამუშავებულ იქნა ზემოაღნიშნული სიჩქარის ვიდეოსისტემა 100000 კადრი წმ-ში და მეტი სიჩქარით (8), რომელიც საშუალებას იძლევა ჩაიწეროს ნებისმიერი ჩქარი დეფორმაციული პროცესი. ამ აპარატში გამოყენებულია ბოჭკოვან-ოპტიკური ელემენტები კოლექტორის სახით, სადაც დამუშავებულია ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტა, რომ შესაძლებელია გადაღების სიჩქარემ მილიონ კადრს მიაღწიოს [4].

ამრიგად, მოკლედ განხილული იქნა კონსტრუქციების, დინამიკური დეფორმაციული პროცესების შესწავლის არმრღვევი კონტროლის მეთოდები. შემდეგ პარაგრაფებში ფართოდაა მოცემული თითოეული მათგანი და გამჟღავნების მაგალითები.

### 1.3.1 მიკროსკოპია და მიკროფოტოგრაფია

პირველი მიკროსკოპული დაკვირვებები ფიზიკო-ქიმიურ პროცესებზე, შესრულებული იქნა ჯერ კიდევ 1882 წელს ლე-შატელიეს მიერ. თუმცა, ეს გამოკვლევები არ ისახავდნენ თავის ამოცანად მასალებში ბზარებზე დაკვირვებას. ნიმუშის დატვირთვისას ბზარების ზედაპირის ზრდაზე უშუალო დაკვირვებისთვის გადიდების გამოყენების პირველი მცდელობები განხორციელდა 1928 წელს. უფრო გვიანმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ნიმუშის შიგნით და ზედაპირზე ბზარების წარმოქმნა ატარებს სრულიად სხვადასხვა ხასიათს. ამავე დროს ნიმუშის დაშლის პროცესისათვის მთლიანობაში გადამწყვეტია სწორედ შინაგანი ბზარების წარმოქმნა. ამ მიზეზით 50-60-იან წლებში დაიწყო შინაგანი ბზარწარმოქმნის პროცესების ინტენსიური მიკროსკოპული გამოკვლევები. გამოკვლევებისათვის თავიდან გამოიყენებოდა ოპტიკური, შემდეგ კი – მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპები.



ბზარების აღმოჩენისათვის ოპტიკური მიკროსკოპის მეთოდის შემდეგნაირია: ჩვეულებრივი ნიმუში თავიდან იტვირთება გარკვეულ ზღვრამდე იმისთვის, რომ მასში წარმოიშვას შინაგანი ბზარები. მაგალითად, სითბური დამუშავებით წარმოქმნილი. მაშინ დატვირთვა აღარ ხდება. შემდეგ ნიმუშს, ალმასის ცირკულს, ხერხით ჭრიან 75 მმ სისქის ფირფიტებად. ამასთან უფრო თხელ ფირფიტებს იყენებენ ბზარწარმოქმნის პროცესის შედარებითი გამოკვლევების ჩასატარებლად ერთდროულად ორი მეთოდით – რენტგენოგრაფიულით და მიკროსკოპიულით. ალმასის ხერხისათვის გამაგრებელი სითხის სახით იყენებენ თანაბარი მოცულობით დეხედორისეული ნავთისა და თითისტარის ზეთის ნარევს. თუ ნიმუში თუნდაც მცირედ ნოტიოა, მაშინ მისი შინაგანი ფორებიანი სტრუქტურა ჰიდროფილურია და არ ახდენს ჰიდროფობური გაგრებულ სითხის აბსორბციას; ამ სითხის ნარჩენები ნიმუშის ზედაპირიდან ადვილად ირეცხება წყლით. დახერხვის პროცესში წარმოქმნილი ბეტონის მტვრის მოცილებას ბზარებიდან ახდენენ წყლის ჭავლის ძლიერი ნაკადით. იმისათვის, რომ გვექონდეს ბზარების სურათზე პირდაპირი მიკროსკოპული დაკვირვების საშუალება, ნიმუშის ფირფიტას ამუშავებენ აბრაზივით (ალუმინის ოქსიდი ან კალციუმის კარბიდი) სველი ხერხით; ამასთან თანდათან გადადიან მეტად უხეში აბრაზივიდან მეტად ნაზზე, რითაც იღებენ გაპრიალებულ ზედაპირს. ზედაპირს რეცხენ, აშრობენ, რის შემდეგაც მასზე უსვამენ კარმინის ტუშის ფენას, რომელიც აღწევს ფორებსა და ბზარებში. ზედაპირს კვლავ აშრობენ (15 წუთი) და კვლავ აპრიალებენ სველი ხერხით, რისთვისაც იყენებენ ნაზ აბრაზივს და აღწევენ იმას, რომ მშრალი ფენა ამოშორდეს ზედაპირს, ხოლო თვითონ ზედაპირი გახდეს მცირედ ვარდისფერი შეუიარაღებელი თვალისთვის. ზემოთ ნახსენები გამრობის ხანგრძლივობა მკაცრად უნდა იყოს დაცული; არასაკმარისი გამრობის დროს შემდგომი ნივთიერების ძირითადი ნაწილი შეიძლება ჩამორეცხოს გაპრიალების პროცესში და პირიქით, გადამეტებული შრობისას წარმოიქმნება ტუშის წებოვანი ფენა, რომელიც აღწევს უფრო მეტად ფორებში და ბზარებში, რასაც შეიძლება მოჰყვეს შემდგომი ნივთიერების აფეთქება ამ ფორებიდან და ბზარებიდან გაპრიალების პროცესში. სწორი დამუშავების შედეგად ბზარებს და ფორებს ექმნებათ შეფერილობა და ადვილად კონტრასტირდება ნიმუშის დანარჩენი ზედაპირისაგან.

ბზარების დაკვირვებისათვის ჩვეულებრივ იყენებენ სტერეომიკროსკოპს 4-დან 40-მდე გადიდებით მისი გამოყენება აადვილებს ბზარებზე დაკვირვების პროცესს, კერძოდ, იძლევა მათი სიღრმის უკეთ შეფასების საშუალებას. ბზარების სურათის ფიქსაციისათვის ძალიან მოსახერხებელია შესასწავლი ბზარების დატანა ხელით მომზადებულ ესკიზზე ან წინასწარ შესრულებულ ფოტოსურათზე. რომელზეც ასახულია ნიმუშის იგივე უბანი, ჩვეულებრივ ნათლად ჩანს შემავსებლის ცალკეული მარცვლები და ნიმუშის სტრუქტურის სხვა ელემენტები.

ბზარებზე დაკვირვებისათვის მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპიის მეთოდიკა იყენებს გადიდებას 35-დან 450-მდე და მეტი და საშუალებას იძლევა დავაკვირდეთ ნიმუშის ზედაპირზე ბზარების წარმოქმნას დატვირთვის გაზრდის პროცესში.

### 1.3.2. რენტგენოსკოპია და რენტგენოგრაფია

ნიმუშის სტრუქტურისა და მასში ბზარწარმოქმნის გამოკვლევის რენტგენოგრაფიული მეთოდები სათავეს იღებს სლეიტის ნამუშევრებიდან თანაავტორებთან ერთად.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ რენტგენოგრაფიული და მიკროსკოპული მეთოდები არ იძლევიან იდენტურ შედეგებს ბზარების სურათთან მიმართებაში ერთი და იგივე ნიმუშის შემთხვევაში. მაგალითად, კონტაქტური ზონის ბზარებს შეუძლიათ მთლიანად მოხვდნენ ნიმუშის შიგნით, მიუხედავად მისი მცირე სისქისა. ასეთი ბზარები მიუწვდომელია პირდაპირი მიკროსკოპული გამოკვლევისთვის, მაგრამ ადვილი აღმოსაჩენია რენტგენოგრაფიით. მეორე მხრივ, მიკროსკოპში ჩანს ისეთი ბზარები, რომლებიც მიუწვდომელია რენტგენოგრაფიისათვის – ერთობ მცირე ბზარები (განსაკუთრებით ბზარები მატრიცაში), აგრეთვე ბზარები ძლიერ გადახრილი მიმართულებიდან.

ორივე მეთოდი იძლევა საშუალებას მოვძებნოთ არა მარტო მკვეთრად გამოხატული ბზარები, არამედ «დიფუზური» დასუსტებული ზონები ნიმუშის სტრუქტურაში, რომლებიც ჩვეულებრივ მდებარეობენ შემავსებლის მატრიცასთან კონტაქტის ადგილზე. ეს ზონები თითქოსდა უფრო გამჭირვალეა რენტგენის

სხივებისათვის მკვირივი სტრუქტურის უბნებთან შედარებით და ამასთან ერთად აბსორბირებენ შემდეგავ ნივთიერებას, გამოყენებულს მიკროსკოპულ მეთოდში. რენტგენის სურათზე და მიკროსკოპში დაკვირვების ეს დიფუზური ზონები შესამჩნევად განსხვავდებიან ბზარებისაგან, რომელთაც მკვეთრი კონტურები აქვთ.

რენტგენოგრაფიული მეთოდი გამოიყენება 13 მმ სისქის ნიმუშებში ბზარების გაჩენის ხასიათის ფიქსაციისათვის.

დასასრულს უნდა აღვნიშნოთ, რომ რენტგენოგრაფიული მეთოდი ნაკლებ შრომატევადია მიკროსკოპულთან შედარებით და ჩვეულებრივ უფრო იოლად ათვისებადია მომსახურე პერსონალისათვის.

### 1.3.3 ფოტოდრეკადი მეთოდები

კონსტრუქციების გამოსაკვლევად ფოტოდრეკადი მეთოდები გამოიყენება 50-იანი წლებიდან და თავიდან ეძღვნებოდა გამავალ შუქზე დამაბულობის განაწილების შესწავლას. მოგვიანებით გამოკვლევებში მოდელებში წინსწარ იქმნებოდა ხელოვნური ბზარები, რომლებიც მიმართულია დამაბულობის მთავარი შემკუმშვების ტრაექტორიის გასწვრივ, აგრეთვე იყენებდნენ სპეციალურ ფისს, რომელსაც ბეტონის მსგავსად ე.წ. «ანიზოტროპული სიმტკიცე» ჰქონდა, ანუ შეკუმშვასა და გაჭიმვაზე მკვეთრად განსხვავებული სიმტკიცის მნიშვნელობები. არმატურის სახით სხვადასხვა გამოკვლევებში გამოიყენებოდა ალუმინი, თითბერი და შუშაპლასტიკური არმატურა.

ფოტოდრეკადი საფარველის მეთოდს საფუძველი ჩაეყარა 1930 წელს. ფოტოდრეკადი საფარველის მეთოდში გამოიყენება ფოტოდრეკადი სინთეზური ფირფიტა, რომელიც ეწებება უშუალოდ გამოკვლევის ობიექტს (კონსტრუქციის ელემენტი ან მოდელი). გამოსაკვლევნი ობიექტისაკენ მიმართავენ პარალიზებული შუქის ნაკადს, რომელიც აირეკლება ფოტოდრეკადი საფარიდან და ანალიზატორის გავლით ხვდება კამერაში. საფარის სახით იყენებენ ეპოქსიდური ფისის ფირფიტას და სხვა მასალებს მაღალი ფოტოდრეკადი მგრძნობელობით. საფარის სისქე შეადგენს 0,25-დან 3,0 მმ-მდე.

ამ მეთოდის გამოყენებით სხვადასხვა მეცნიერები სწავლობდნენ ბეტონში დამაბულობის ველის არაერთგვაროვნებას, რომლებიც წარმოიქმნება დამაბულობის

კონცენტრაციის შედეგად შემავსებლის მარცვლებში, ცდილობდნენ ამ მეთოდის საშუალებით შეესწავლათ ბეტონში დატვირთვის პროცესში ბზარების წარმოქმნა, იკვლევდნენ ამ მეთოდით რკინაბეტონის დრეკადი ელემენტების ქცევას. განვიხილოთ ფოტოდრეკადი საფარის მეთოდის გამოყენების მაგალითი მოდელებზე რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოსაკვლევად. მოდელები იქმნებოდა წვრილმარცვლოვანი პოლიმერ-ბეტონისაგან 1:2-დან 1:3-მდე და არმირდებოდა სპილენძის შენადნობის ღეროებით. რადგან მოდელის მასალებისა და ფოტოდრეკადი საფარის ზღვრული დაჭიმულობის სრული დამთხვევის მიღწევა პრაქტიკულად შეუძლებელია. აუცილებელია მოდელსა და საფარველში განვიხილოთ ბზარწარმოქმნის შემდგომში შესაძლო ვარიანტები: ბზარები თავიდან წარმოიქმნება მხოლოდ საფარველში; ბზარები წარმოიქმნება ერთდროულად საფარში და მოდელში; ბზარები წარმოიქმნება თავიდან მხოლოდ მოდელში.

ფოტოდრეკადი მასალების მნიშვნელოვანი ნაკლია მათი საკმაოდ შრომატევადობა. დიდი ყურადღების ღირსია კონსტრუქციების გამოკვლევის ავტომატიზების მცდელობა ფოტოდრეკადი მეთოდით.

დღეისათვის შემუშავებულია შედეგების ინტერპრეტაციის რიცხვითი მეთოდი, რომელიც მიღებულია ფოტოდრეკადი მეთოდით კონსტრუქციის დეფორმირების არახაზოვანი კანონის და მოდელირებადი მასალის გათვალისწინებით. მეთოდი დაფუძნებულია ფოტოდრეკად საფარიანი მოდელის ელემენტარული უბნის წონასწორობის პირობების დაკვირვებაზე. ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას საზღვრავენ იტერაციული მეთოდით გაზომილი იზოქრომებისა და იზოკლანების საფუძველზე ზღვრული პირობებისა და ბზარების სურათის გათვალისწინებით. შეფარდებითი დეფორმაციების, გადაადგილებების მნიშვნელობები ნორმალური შემხები და მთავარი დაძაბულობების გამოითვლება სიდიდისა და მიმართულების მიხედვით და გამოჰყავთ დისპლეიზე.

### 1.3.4 ვერცხლისწყლის პირომეტრიის მეთოდი

კონსტრუქციაში ბზარების წარმოქმნისა და განვითარების ზემოთ აღნიშნულ მეთოდებს, როგორც წესი, აქვთ ის ნაკლი, რომ შეუძლიათ მოგვცენ ინფორმაცია

მხოლოდ შედარებით მცირე უბანზე გამოსაკვლევ ნიმუშში, ხოლო უფრო სრული ინფორმაციის მისაღებად საჭიროა შრომატევადი გამოკვლევების მთელი სერიების ჩატარება. ამ ნაკლს მოკლებულია ვერცხლისწყლის პორომეტრიის მეთოდი, რომელიც სწრაფად იძლევა ინტერვალურ ინფორმაციას ნიმუშში ბზრების გაჩენაზე. ვერცხლისწყლის პორომეტრია საშუალებას იძლევა დაფიქსირდეს ბზარების არსებობა გაშლის სიფართოთ 1,35მ-დან 150მკმ-მდე დიაპაზონში, რაც სრულიად საკმარისია ბზარწარმოქმნის პროცესის გამოსაკვლევად.

### 1.3.5. თერმოდეფექტოსკოპია

ინფრაწითელი ტექნიკის სფეროში უკანასკნელი მიღწევების შესაბამისად დაიწყო სითბური დეფექტოსკოპიის გამოყენება (სხვა მეთოდებთან კავშირში) თანამედროვე ინფრაწითელი თბოვიზორები, როგორც შავ-თეთრი, ისე ფერადი – საშუალებას იძლევიან მივიღოთ ტემპერატურული ველის გამოსახულება; ამასთან გაშვების ხარისხისა და ფერის დიაპაზონის მიხედვით ველს შეიძლება მივცეთ საკმარისად ზუსტი რაოდენობრივი შეფასება. ამ ხელსაწყოებს გააჩნიათ: მაღალი ტემპერატურული გადაწყვეტის უნარი (0.05°C-მდე); გაზომვის დისტანციურობა; მთლიანად გამორიცხულია მექანიკური და სითბური კონტაქტი, რომელიც ამღვრევს ტემპერატურულ ველს გასაზომ ზედაპირზე; სივრცული გადაწყვეტა შეიძლება შეადგენდეს მილიმეტრის ნაწილს (400 ხაზი 1მმ-ზე); შეიძლება ძალიან მცირე (სანტიმეტრებამდე) და ძალიან დიდ (ასეულ მეტრებამდე) ობიექტებზე დაკვირვება; ერთიდაიმავე ხელსაწყომ შეიძლება მოიცვას ტემპერატურების დიაპაზონი 0-დან 500°C-მდე.

სითბური მეთოდის შეზღუდვები განპირობებულია სითბური ნაკადის ერთგვარი ინერციულობით, რომლის გამოც სითბური გამოსახულება ნაკეთობის ზედაპირზე ნაწილობრივ «ირეცხება».

მგრძნობიარობა (ანუ მინიმალური დეფექტის აღმოჩენის უნარი) ძირითადად განპირობებულია ნაკეთობისა და დეფექტის თბოგამტარობის კოეფიციენტების დამოკიდებულებით.

შესაძლებელია დეფექტოსკოპიის სამი სქემა: 1) ნაკეთობა ხურდება მთელ მოცულობაში 100°C-მდე (კერძოდ თერმოსითხოვანი დამუშავების პროცესში) და

შემდეგ გრილდება გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურამდე; 2) ნაკეთობის ზედაპირზე მოცემული მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს გამხურებელი რეფლექტორიანი ძაფის სახით, ხოლო დაშორებაზე, რომელიც განისაზღვრება ტემპერატურული ველის ექსპოზიციით, მოძრაობს ინფრაწითელი გამოსხივების დეტექტორი (თბოვიზორი), რომელიც ზომავს ზედაპირის ტემპერატურას; 3) მოცემული სქემის ანალოგიურ სქემაში დეტექტორი და გამახურებელი მოძრაობენ ნაკეთობის სხვადასხვა მხარეზე.

### 1.3.6. აკუსტიკური მეთოდები

ცნობილია, რომ რღვევის მექანიკის პარამეტრების განსაზღვრა მოითხოვს მასალის ბზარწარმოქმნის მახასიათებლების (ბზარის გეომეტრიული ზომები, ბზარის მომენტი, მიკრობზარების მოცულობითი კონცენტრაცია და სხვა) ცოდნას. კონტროლირებული ნაკეთობის ერთიანობის (ბზარები, განფენა, ნიჟარები) და ერთგვაროვნების დარღვევას მივყავართ მისი აკუსტიკური მახასიათებლების (ტალღების გარცელების სიჩქარის, ჩაქრობის კოეფიციენტისა და ტალღური წინაღობის) ცვლილებასთან და გავლენას ახდენს რხევების გავრცელების პირობებზე. მასალის ერთიანობისა და ერთგვაროვნების აკუსტიკური კონტროლის პროცესში ანალიზს ექვემდებარებიან ფართო სიხშირის, უმთავრესად ულტრაბგერითი დიაპაზონის, ნაკეთობაში გავლილი ან დეფექტებისა და არაერთგვაროვნების ზონების ზედაპირებიდან არეკლილი დრეკადი ტალღების ამპლიტუდა, მათი ფაზა, სიხშირე, გავრცელების სიჩქარე, სპექტრი და სხვა პარამეტრები. ცვალებადი პარამეტრების დიდი რიცხვის წყალობით, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა თანაფარდობაში, დეფექტოსკოპიის აკუსტიკური მეთოდები ითვლებიან ყველაზე უნივერსალურებად არამრღვევი კონტროლის მეთოდებს შორის.

შეიძლება გამოვყოთ აკუსტიკური (ულტრაბგერითი) დეფექტოსკოპიის შემდგომი მეთოდები: დროითი, ამპლიტუდური, ველოსიმეტრიული და სპექტრალური (კლასიფიკაცია პირველადი ინფორმაციული პარამეტრის მიხედვით); განვლილი გამოსხივების (ჩრდილოვანი), არეკლილი ან გაფანტული

გამოსხივების (ექომეთოდი), რევერბერაციული და ემისიური (კლასიფიკაცია დრეკადი რხევების მასალასთან ურთიერთქმედების ხასიათის მიხედვით).

კონსტრუქციების დეფექტურობის კონტროლისათვის უფრო ხშირად გამოიყენებენ დროით მეთოდს, რომელიც დაფუძნებულია კონსტრუქციის გავლით გამომსხივებლიდან მიმღებამდე ულტრაბგერითი იმპულსის წარმოშობის დროის რეგისტრაციაზე. ცნობილია ორი ვარიანტი, რომელთაგანაც ორივე იყენებს გამჭოლი ტალღების სქემას (ჩრდილოვანი მეთოდი): გამჭოლი და ზედაპირული გახმოვანება. ფიქსირებული დეფექტების მინიმალური ზომა შეეფარდება ტალღის სიგრძეს, რომელიც ტოლია რხევების გავრცელების სიჩქარის დამოკიდებულებისა მათ სიხშირესთან  $f$  (ბეტონისა და კერამიკისთვის გამოიყენებენ მიმღებ-გადამცემ პიეზოკერამიკულ გარდამქმნელებს სიხშირით 25-დან 200კჰც-მდე). ამრიგად აღნიშნული მეთოდის დახმარებით შეიძლება გამოვავლინოთ შედარებით დიდი დეფექტები, რომელთა განივი ზომა შემავსებლის მაქსიმალურ ზომაზე მეტია.

ბოლო წლებში ფართო გავრცელებას პოულობს კონსტრუქციების დეფექტოსკოპია აკუსტიკური ამისიის მეთოდით, რომელიც იმ მეთოდებისაგან განსხვავებით, რომლებიც გამოიყენებენ ულტრაბგერის ხელოვნურ წყაროებს, რომელიც დაფუძნებულია ძალური, ტემპერატურული, კოროზიული და სხვა დამაბულობების ზემოქმედებით მასალის შენჯღრევისას მასში აღმოცენებული სიგნალების რეგისტრაციაზე. მაღალმგრძნობიარე ელექტრონულ-აკუსტიკურმა აპარატურამ უნდა უზრუნველყოს აკუსტიკური ემისიის სუსტი სიგნალების მიღება ხმაურების ფონზე, ფლობდეს აუცილებელ სწრაფქმედებას (აკუსტიკური ამისიის ინტენსივობა იცვლება 0-დან  $10^5$  იმპულსამდე წამში) და მცირე საკუთარ ხმაურებს, იწვევდეს მინიმალურ დამახინჯებებს. სს საშუალებას იძლევა დაფიქსირდეს წარმოშობა ბზარისა, რომლის სიგრძე მიკრონის ნაწილის ტოლია და სწრაფად მოქმედ ელექტრულ გამომთვლელ მანქანებთან კავშირში მყოფი მრავალარხიანი მოწყობილობების არსებობის შემთხვევაში პრაქტიკულად წამიერად იპოვოს მისი კოორდინატები ტალღების მიმღებ გარდამქმნელებთან მოსვლის დროის განსხვავების მიხედვით, რომლის რიცხვი  $n$ -კოორდინატული ამოცანისთვის უნდა უდრიდეს  $n+1$ . აკუსტიკური ემისიის მეთოდის დახმარებით შეიძლება ვიმსჯელოთ დატვირთვის წინაპერიოდზე, შევაფასოთ კონსტრუქციიში ბზარწარმოქმნის კინეტიკა, კერძოდ განვსაზღვროთ მისი სტრუქტურულ-მექანიკური მახასიათებლები

ხანმოკლე დერძული შეკუმშვისას, აგრეთვე მოვახდინოთ ელემენტის საბოლოო რღვევის მომენტის პროგნოზირება.

მაგრამ აკუსტიკური ემისიის მეთოდი, რომელიც წარმატებით გამოიყენება სამეცნიერო-კვლევით ლაბორატორიებში კონსტრუქციის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და რღვევის ანალიზისთვის, გამოიყენება ვერ პოულობს ნატურული გამოკვლევების პრაქტიკაში. ეს აიხსნება მეთოდის მაღალი მგრძობიარობით გარემომცველი ხმაურების, მასალის დისიპატური თვისებების, განსახილველი კონსტრუქციის ფორმისა და წარმოქმნილი ბზარის ორიენტაციის მიმართ, აგრეთვე კონსტრუქციაში ბზარწარმოქმნის კონტროლისთვის სერიულად გამოშვებული ვიწროფუნქციონალური აპარატურის არარსებობით.

### **1.3.7 ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების გამოყენება ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკისათვის**

ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდი, თავის მხრივ, წარმოადგენს შუქსატარის მონაჭერს, რომლის ერთ ბოლოზე დამაგრებულია სანთლის წყარო – შუქდიოდი ან ლაზერი, ხოლო მეორე ბოლოზე – ფოტოდეტექტორი (გამოსხივების რეგისტრატორი).

ძირითადად ეს არის კავშირგაბმულობის ხაზი, რომელშიც სინათლის ნაკადის მოდულაცია ხდება უშუალოდ შუქსატარში გავრცელებისას და არა სინათლის წყაროში, როგორც ეს ხდება კავშირგაბმულობის სისტემაში. ოპტიკურ ბოჭკოზე ნებისმიერი ზემოქმედება მეტნაკლებად გავლენას ახდენს სინათლის გავრცელებაზე შუქსატარში. გადამწოდებში, ოპტიკური ბოჭკოს შესაბამისი კონსტრუქციების არჩევის ხარჯზე, ხდება ერთი სახის ზემოქმედების გაძლიერება, ხოლო დანარჩენის შესუსტება.

გარე მოქმედების ბოჭკოვან-ოპტიკურ გადამწოდებში, ბოჭკოში გამავალი სინათლის მოდულაციისათვის გამოიყენება ბოჭკოსაგან განსხვავებული მოწყობილობა, მასალა ან სტრუქტურა. ამ შემთხვევაში ინფორმაციის გადაცემისათვის გამოიყენება ისეთი ბოჭკოვან-ოპტიკური საშუალებები, რომლებიც კარგადაა მორგებული ფიზიკური სიდიდეების გაზომვის მეთოდებთან. ამის



საფუძველზე შექმნილია მგრძობიარე ტენზომეტრი და აქსილომეტრი გარე ელასტიური ელემენტებით. გარე მოდულატორების გამოყენებაზე შეგვიძლია მოვიყვანოთ სხვადასხვა მაგალითები, მაგალითად, ტემპერატურის, ელექტრული დენის, მაგნიტური ველის, წყლის ხარჯის, მექანიკური გადაადგილების, დეფორმაციის, ტანის მდებარეობის და რადიაციის დონის რეგისტრაციისათვის.

მოვლენები, რომლებიც ჩვეულებრივ, უარყოფითად მოქმედებენ ბოჭკოვან-ოპტიკური კავშირგაბმულობის ხაზზე, ხშირად სასარგებლოა ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდებისათვის. ბოჭკოს ჩალუნვებს მივყავართ სინათლის დამატებით კარგვასთან, ხოლო შემთხვევით წარმოშობილ ძაბვებს, სინათლის ორმაგ გარდატეხასთან, რაც იწვევს დამატებით ფაზურ ძვრას და საინფორმაციო არხის სიხშირული თვისებების გაუარესებას.

ოპტიკური ბოჭკოს ერთ-ერთ ნაკლად კავშირგაბმულობაში თვლიან მიკროლუნვებს, რომელზეც ხდება შუქის გაბნევა. ისინი შუქსატარში სინათლის კარგვის ძირითადი მიზეზია. მხოლოდ მიკრონის სიგრძის ასეთ 100 ჩალუნვას კავშირგაბმულობის ხაზში შეუძლია სინათლე რამდენიმე ათეულჯერ შეასუსტოს. მიკროდეფორმაციებზე ასეთი მაღალი მგრძობიარობა ეფექტურად გამოიყენება ბოჭკოვან-ოპტიკურ გადამწოდებში, სადაც მიკროლუნვებს წარმოშობენ წინასწარ სპეციალური მოწყობილობების დახმარებით. ეს მოწყობილობები გარდაქმნიან რეგისტრირებულ ფიზიკურ პარამეტრებს რელიეფური ფირფიტის მცირე გადახრებად, რომლებიც იწვევენ ბოჭკოს დეფორმაციას. ფოტომიმდები, შუქსატარის გამოსასვლელ ბოლოზე აღრიცხავს სინათლის ნაკადის ყველა ცვლილებას, რომელიც გამოწვეულია გამიზნული მიკროჩალუნვებით. ეს პრინციპი გამოყენებულია ობიექტებში დამატულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საკონტროლოდ, აკუსტიკური ტალღების გადამწოდებში მაგნიტური, ელექტრული ველის, ტემპერატურის და აჩქარების გასაზომად.

ოპტიკური ბოჭკოს გამოყენების მიხედვით ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: გარე და შიგა გადამწოდებად.

არსებობს სამი ტიპის როგორც შიგა, ასევე გარე მოქმედების ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები: გამვლელი, ამრეკლავი და ანტენური. გამვლელი ტიპის გადამწოდში მიმდევრობითაა ჩართული სინათლის წყარო, პირველი ოპტიკური ბოჭკო და მოდულატორი, ასევე მეორე ოპტიკური ბოჭკო და მიმღები-დეტექტორი.

ასეთი მოწყობილობები მზადდება სხვადასხვა კომბინაციებით, მაგრამ ყველგან სინათლის სხივი მიემართება სინათლის წყაროდან მოდულატორის გავლით დეტექტორისაკენ, ე.ი. ოპტიკურ ბოჭკოში გავრცელებისას სინათლე მიმართულებას არ იცვლის. როგორც ამბობენ, ოპტიკური ბოჭკო მუშაობს სხივის ერთმაგ გატარებაზე. ზემოთ აღნიშნულისაგან განსხვავებით, ამრეკლავი ტიპის გადამწოდებში სინათლე ოპტიკურ ბოჭკოში, მოდულატორიდან შიგა არეკვლის გამო, უკან ბრუნდება და შემდეგ მიემართება მიმღები-დეტექტორისაკენ. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ ოპტიკური ბოჭკო მუშაობს სინათლის სხივის ორმაგ გატარებაზე.

როგორც ცნობილია, თმის ღეროს დიამეტრის მქონე ოპტიკურ ბოჭკოში შეიძლება გავავრცელოთ ასობით სინათლის იმპულსი, ელექტრომაგნიტური ტალღების სახით – მოდები, (ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის ტიპი), რაც განაპირობებს მათ უნიკალურობას, სპილენძის მავთულებთან შედარებით. რაც შეეხება ანტენური ტიპის გადამწოდებს, ისინი სინათლის ტალღებს ღებულობენ ან გამოასხივებენ ღია ეთერის საშუალებით.

ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების განხილვისას ძნელი არ არის დავადგინოთ, თუ რომელ ჯგუფს ეკუთვნის გადამწოდი (გამვლელს, ამრეკლავს თუ ანტენურს).

ახალი ტიპის გადამწოდების მრეწველობაში ფართოდ გამოყენებას სჭირდება გარკვეული დრო, რათა მოხდეს მათი მახასიათებლების შეგუება გამოყენების რთულ პირობებთან, მომხმარებლის ადაპტაცია, ახალი კონკურენტუნარიანი ხელსაწყოების მოწყობა, როგორც სათანადო ტექნიკური მახასიათებლებით, ასევე დაბალი ფასით, გამოყენებაში არსებულ ხელსაწყოებთან შედარებით.

ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების სამრეწველო გამოყენება ძირითადად დაიწყო 1980 წლის დასაწყისიდან. ასეთმა გადამწოდებმა უპირველეს ყოვლისა, როგორც ავლნიშნეთ, გამოყენება ჰპოვა ისეთ სფეროებში, სადაც ტექნიკურ მახასიათებლებს აქვს უფრო დიდი მნიშვნელობა, ვიდრე მის ფასს. განსაკუთრებით ეს გამოიხატება სამხედრო სფეროში მათი გამოყენებისას, რამაც საგრძნობლად გაზარდა ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების პოპულარიზაცია მომხმარებლებში. მთავარი ყურადღება მიექცა ჰიდროფონების და ჰოროსკოპების გამოკვლევებს და კონსტრუქციებს.

უკანასკნელ დროს ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდები გამოიყენება სატრანსპორტო საშუალებებში: გემებში, ავიატექნიკაში, მშენებლობაში: ხიდებში, კაშხლებში, კოსმოსურ ობიექტებში, მიღებულია პროგრამების სამეცნიერო-კვლევით ორგანიზაციებში, უნივერსიტეტებსა და სამრეწველო ფირმებში. მათი დაჩქარებული განვითარებისათვის სამუშაოების კოორდინაცია და ფინანსური მხარდაჭერა ეკისრება მთავრობებს.

აშშ-ში სამუშაოები ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების შესაქმნელად და გამოსაყენებლად მიმდინარეობს ყველა შესაძლო მიმართულებით. ამისათვის მუშავდება თეორიული ბაზა, მაგრამ ყველა სამუშაო პირველ ხანებში, როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ, კონცენტრირებული იქნა სამხედრო მიზნებისათვის. ასე მაგალითად: ჰიდროფონების, ჰოროსკოპების დონისა და ტემპერატურის, აგრეთვე საავიაციო და კოსმოსური ობიექტების განათებისათვის.

დიდ ბრიტანეთში, ძირითადი ყურადღება გადატანილი იქნა სამრეწველო დანიშნულების გადამწოდებსა და სიგნალიზატორებზე. მაგალითად, გადაადგილების, წნევის, ხარჯის, გაზის აღმომჩენი გადამწოდები, მათი განსაკუთრებით ტოქსიკურ და ფეთქებადსაშიშ კერებში გამოსაყენებლად, მულტიპექსილურ სისტემებზე და მათ ელემენტებზე, გამოსხივების სტაბილიზატორებზე და სიხშირის მოდულატორებზე, უინსტონის ხიდის ოპტიკურ ანალოგზე, ბოჭკოვან-ოპტიკურ შემაკავებელ ხაზზე, ფაბრი-პეროს ინტერფერომეტრზე, კონსტრუქციებში ბზარების დამდგენ მოწყობილობებზე და ა.შ.

გერმანიაში – მიმდინარეობს სამუშაოები ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების შესაქმნელად. ასევე ყველა შესაძლო მიმართულებით, განსაკუთრებით ნეიტრალურ კავშირგაბმულობის ხაზებში გამოსაყენებლად.

იაპონიაში გადამწოდების შექმნაში დიდი ყურადღება დაეთმო კონტროლის ჰიბრიდულ სისტემებს, საწარმოო პროცესების მართვისათვის და ინტეგრალურ ოპტოელექტრონული სქემების შექმნას სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო მიზნით.

საქართველოში მუშავდება ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდებით დიაგნოსტიკური ცენტრების მოწყობის პრობლემური საკითხები კონსტრუქციების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგისათვის. დამუშავებულია ევროპა-კავკასია-აზიის სატრანსპორტო დერეფნის და ენერგოსისტემის უსაფრთხოების

პროექტები. ეს სამუშაოები შესულია დსთ-ს ქვეყნების მიერ მიღებულ პროგრამაში «უსაფრთხოება».

დღეისათვის მიღწეულია მნიშვნელოვანი პროგრესი ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების ხარისხის ასამაღლებლად, კერძოდ, გამომავალი სიგნალის სტაბილურობისათვის. ასევე გადადგმულია ნაბიჯები ბოჭკოვან-ოპტიკური ელემენტების ფასების შესამცირებლად. მზადდება სტანდარტული ბოჭკოვან-ოპტიკური კომპონენტები. მნიშვნელოვნად ამაღლდა მათი ხარისხი და შესაბამისად, მოიკლო ფასმა.

მსოფლიოს უძლიერესმა ფირმებმა დაამუშავეს ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების მთელი სისტემა, ტემპერატურის, კვამლიანობის, გადაადგილების, მგრეხავი მომენტის, სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგისათვის და სხვა ფიზიკური სიდიდეების გასაზომად.

მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მოცულობა შესრულდა აკადემიურ ინსტიტუტებში, სამედიცინო-კვლევით ლაბორატორიებში, აგრეთვე მრეწველობაში. დამუშავებისას გამოყენებული იყო მოდულაციის ხუთივე სახე: ინტენსივობის, ტალღის სიგრძის, ფაზის, პოლარიზაციის და დროის.

ინტენსივობის მოდულაცია ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო სიგნალიზატორებში, გადამრთველებში და ზოგიერთ დისკრეტულ გადამწოდებში: ტურბინებში ხარჯის მზომებად, ბოჭკოვან-ოპტიკურ ტიხომეტრებად, მიკროგადამრთველებად, კონსტრუქციებში დაზიანების საკონტროლო გადამწოდებად, მაგრამ ინტენსივობის მოდულაცია ბოჭკოვან-ოპტიკურ გადამწოდებში გამომავალი ანალოგიური სიგნალით ვერ უზრუნველყოფს სათანადო სიზუსტეს, საკომპენსაციო და შედარებითი მეთოდების გამოყენების გარეშე.

აქტიურად მიმდინარეობს კვლევითი სამუშაოები ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების შესაქმნელად, მოდულაციის სხვა ხერხების გამოყენებით. ამჟამად აშშ-ში, იაპონიაში, დიდ ბრიტანეთში, გერმანიაში, საფრანგეთში, საქართველოში და სხვა ქვეყნებში მიმდინარეობს ინტენსიური სამეცნიერო-კვლევითი და საკონსტრუქტორო სამუშაოები ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების სრულმასშტაბიანი წარმოების მოსაწყობად. ორგანიზებულია ჯგუფები და ასოციაციები.

#### 1.4. პირველი თავის დასკვნები

1. განხილულია პრობლემები და ამოცანები, რომლებიც წარმოიქმნება ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციისას;
2. მოცემულია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები და გაკეთებულია მათი კლასიფიკაცია;
3. განხილულია ტექნიკურ სისტემებში პირველი ბზარებისა და დაზიანებათა დაგროვების პროცესის აღმოჩენის თანამედროვე ექსპერიმენტული მეთოდები;
4. გაკეთებულია ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების მიმოხილვა, რომლებიც გამოიყენება ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკისათვის.

#### თავი 2.

#### ტექნიკური სისტემების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობისა და რღვევის მექანიზმის ანალიზი

მასალებისა და კონსტრუქციის ელემენტების რღვევის პროცესი ყოველთვის მიმდინარეობს გარკვეული დროის განმავლობაში. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მასალების რეოლოგიური მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი დეფორმაციის სიჩქარეზე, თვით რღვევა კი შეიძლება მიმდინარეობდეს სიმტკიცის ზღვარზე ნაკლები დამაბულობებისას, როცა დატვირთვის ქმედება გაწეულია დროში. მითითებულ შემთხვევებში რღვევის ჩვეულებრივი კრიტერიუმები ერთჯერადი სტატიკური დატვირთვისათვის უკვე არაკორექტულია და ამიტომ მასალების რღვევის მოდელების ფორმულირებაში უნდა იქნას გათვალისწინებული პროცესის დროის ეფექტები. ამ თავში გადმოცემულია მასალების რღვევის და სიმტკიცის მექანიკის საანგარიშო მოდელები, რომლებიც ითვალისწინებენ მარაგების დატვირთვის დამოკიდებულებას დროზე, აგრეთვე ამ შემთხვევაში ბზარების ჩასახვისა და გავრცელების კინეტიკას.

#### 2.1. ბზარების გავრცელება ხაზობრივ ბლანტდრეკად გარემოში ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას

რღვევის მექანიკაში გამოიკვეთა ორი მიდგომა ბზარების შენელებული ზრდის ანალიზისადმი. პირველში (მიკროსტრუქტურულში) მთავარი ყურადღება ექცევა მიკრორღვევის კინეტიკას. რღვევის კინეტიკა გამოისახება ან ქიმიური კინეტიკის, ან სიმტკიცის კინეტიკური თეორიის განტოლებებით. ამასთან ითვლება, რომ რეოლოგიური თვისებები გამოვლინდება მხოლოდ ბზარის ზონაში, ხოლო ბზარის გარეთ მასალა დრეკადია. მეორე (ფენომენოლოგიურ) მიდგომაში დეფორმირებად სხეულში ბზარების ზრდის კინეტიკის შესწავლისას დატვირთვების ქმედების დროის გათვალისწინებით გამოიყენება მთლიანი გარემოს მექანიკის კონცეფცია და შემოდის დამატებითი მახასიათებლები მასალების წინააღმდეგობისა მასში ბზარების გავრცელებისადმი დროის ფაქტორის გათვალისწინებით. პოლიმერულ კომპოზიტურ მასალებში და ლითონებში მაღალ ტემპერატურაზე ნელი ზრდის მიზეზები ჩვეულებრივად მასალების ცოცვადობა და გაბნეულ დაზიანებათა დაგროვებაა. [2] მოცემულია საანგარიშო მოდელი მასალების შენელებული რღვევის კვლევისათვის, რომელიც შემოთავაზებულია ა.ა. კამინსკის მიერ ( $S_k$ -მოდელის კონცეფციის ჩარჩოებში).

ლითონების რღვევებს გააჩნია თავისი სპეციფიკური თავისებურებები, ბზარის წვერის ახლოს, სადაც რღვევის პროცესი ლოკალიზებულია უკიდურესად მაღალი დამაბულობების ზონაში, მასალაში შეიძლება წარმოქმნას სიცარიელები, სუბმიკრობზარები და სხვა, რომლებიც შემდეგ იზრდებიან და ერთმანეთს ერწყმიან. ეს აუცილებლად გასათვალისწინებელია ბზარის კიდის სტრუქტურის მოდელირებისას, როცა არახაზობრივად დეფორმირებული ნაწილობრივ დაშლილი მასალა თავმოყრილია ვიწრო უბანზე ბზარის წვერის წინ. ამ მოვლენათა აღრიცხვა ბზარის კიდის მოდელირების დროს საშუალებას გვაძლევს შევცვალოთ ბოლო უბანი ჭრილით ბზარის გაგრძელებაზე, რომელიც იმყოფება თანაბრად განაწილებული ურთიერთგამაწონასწორებელი დამაბულობის მოქმედების ქვეშ, ე.ი გამოვიყენოთ კამინსკის მოცემული  $S_k$ -მოდელი.  $S_k$  – მოდელში დამაბულობები  $\sigma_0$  ბოლო უბანში ითვლება მუდმივად და ან მასალის გაწყვეტის წინალობის ან დენადობის ზღვრის ტოლად, მაგრამ ეს მოსაზრება სამართლიანია რა დრეკადი და დრეკადპლასტიკური მასალებისათვის, არ სრულდება ბლანტდრეკადებისათვის მათი თვისებების რეოლოგურობის გამო. მაგალითად, ისეთი პოლიმერების რღვევისას, როგორცაა

პოლიმეთილმეთაკრილატი (პმმა) დამაბულობები ბოლო უბანში არსებითად იცვლება ბზარის ზრდასთან ერთად, მაგრამ ამასთან ბოლო ზონის ზომა იცვლება უმნიშვნელოდ (და ბზარების ზრდის სიჩქარეების საკმაო ფართო დიაპაზონში პრაქტიკულად რჩება მუდმივი). უფრო მეტიც, ბოლო უბნის ფორმაც ბზარისა, რომელიც იზრდება პმმა-ში, არ არის დამოკიდებული მის სიგრძეზე ე.ი. შეინიშნება ავტომოდელურობა.

ნათქვამის გათვალისწინებით ბლანტდრეკად გარემოში ბზარის ზრდა განისაზღვრება  $S_k$  – მოდელის თანახმად ასეთი მოსაზრებებით:

1. ბზარის განვითარებისას ბოლო უბნის ზომა  $d$ , რჩება მუდმივი ( $d_1 = \text{const}$ ), ხოლო დამაბულობა  $\sigma_0$  იცვლება ბზარის ზრდასთან ერთად და გაიანგარიშება პირობიდან:

$$\lim_{X \rightarrow 0} \delta_1(X) = 0 \quad (2.1)$$

სადაც  $\delta_1(X)$  ბზარის ნაპირების გახსნის სიჩქარეა, რომელიც მოდელირებას უკეთებს რღვევის წინა ზონას. დამაბულობის შეზღუდულობის ამ პირობას ბოლო ზონის კიდეზე მივყავართ იქამდე, რომ თუ ერთ-ერთ ამ პარამეტრს ( $\sigma_0$  ან  $d_1$ ) მივიღებთ მუდმივად მაშინ, მეორე აუცილებლად დამოკიდებული უნდა იყოს ბზარის სიგრძეზე  $l(t)$  და აქედან გამომდინარე აშკარად არა დროზე. მართლაც ეს ჩანს მაგალითად, ბზარიანი  $\sigma$  სიბრტყის განაწილებული დატვირთვით, ერთდერძიანი გაჭიმვით ჩავთვლით რა, რომ  $d_1 = \text{const}$  (2.1) პირობის შესრულებისას ვღებულობთ:

$$\sigma_0(t) = \frac{\pi\sigma}{2} \left[ \arccos \frac{l(t)}{l(t) + d_1} \right]^{-1} \quad (2.2)$$

აქედან გამოდის, რომ ბზარის სიგრძის გაზრდით დამაბულობები ბოლო უბანში იზრდება.

თუ დავუშვებთ, რომ სიდიდეები  $d_1$  და  $\sigma_0$  დამოკიდებული არ არიან დროზე, მაშინ ბზარის ნაპირების მდორედ შერწყმის პირობა ბოლოებზე არ შესრულდება. აქედან გამომდინარე, დამაბულობები ჩიხურ ნაწილში შეიძლება იყოს უსასრულოდ დიდი, რაც ეწინააღმდეგება  $\delta_k$  მოდელის ძირითად დებულებებს.

2. რღვევის კრიტერიუმად მიიღება ბზარის კრიტიკული გახსნის კრიტერიუმი, რომელიც ითვლება სამართლიანად მზარდი ბზარისთვის დროის ყველა მომენტში:

$$\delta_1(x, t) \Big|_{x=l(t)} = \delta_{IC} \quad (2.3)$$

ბლანტდრეკად გარემოზე  $\sigma_k$  მოდელის ასეთ განზოგადებას მივყავართ რღვევის კინეტიკურ მოდელამდე, რომელიც განსხვავდება სტატიკურისაგან.

ბზარების განვითარება მასალებში პირობითად შეიძლება გავყოთ სამ პერიოდად: საინკუბაციო (მოსამზადებელი), ნელი კვაზისტიკური ზრდის და ბზარის დინამიური განვითარების.

**ბზარის განვითარების საინკუბაციო პერიოდი.** საინკუბაციო პერიოდის დროს ხდება ბზარის ნაპირების გახსნა მისი ზრდის გარეშე. ვოლტერის პრინციპის თანახმად ბზარის კონტურის განტოლება ბლანტდინებადი ფირფიტისათვის შეიძლება დაიწეროს:

$$\delta_l(x, t) = Z^* \delta_0(x, t) \quad (2.4)$$

სადაც  $Z^*$  არის ბლანტდრეკადობის თეორიის [2] ინტეგრალური ოპერატორი;  $\delta_0(x, t)$  – ძალოვანი და გეომეტრიული პარამეტრების ფუნქციაა.

სწორხაზოვანი ბზარისათვის უსასრულო ფირფიტაში, რომელიც იმყოფება თვითგამწონასწორებელი დამაბულობის  $\sigma(x, t)$  ზემოქმედების ქვეშ ამ ფუნქციას აქვს სახე:

$$\delta_0(x, t) = - \int_{-a_1}^{a_1} q(\xi, t) \Gamma_0(a_1, x, \xi) d\xi \quad (2.5)$$

სადაც  $a_1 = l + d_1$ ;

$$q(x, t) = \begin{cases} \sigma(x, t) & (|x| \leq l(t)) \\ \sigma(x, t) - \sigma_{0(t)} & (l(t) \leq x \leq a_1(t)) \end{cases}$$

ბზარის ზრდა (2.3) კრიტერიუმის თანახმად იწყება მაშინ, როცა ბზარის ნაპირების გახსნა  $x=1$  დროს აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას.

შემდეგ განვიხილავთ ბლანტი დრეკადობის თეორიის ოპერატორებს

$$Z^* g(t) = Z_0 \left[ g(t) + \int_0^t R(t-\tau) g(\tau) d\tau \right] \quad (2.6)$$

სადაც  $Z_0, R(t-\tau)$  ფუნქციონალებია, რომელთა სტრუქტურა შეიძლება მოვნახოთ [2]-ის მოხედვით.  $G(t)$  საძიებელი ფუნქციაა, მაშინ პირობიდან (2.3) შეფარდებების



(2.5) და (2.6) გათვალისწინებით და იმის დაშვებით, რომ გარე დატვირთვა მოდებულია მყისიერად  $t = 0$  მომენტში ვპოულობთ განტოლებას საინკუბაციო პერიოდის  $t_*$  ხანგრძლივობის განსაზღვრისათვის :

$$\delta_0(l) + \int_0^{t_*} R(t_* - \tau) \delta_0[\sigma(\tau), l] d\tau = \frac{\delta_{IC}}{Z_0} \quad (2.7)$$

თუ გარე დატვირთვა არ იცვლება დროში, ანუ  $\sigma(xt) = \sigma(x)$ , მაშინ განტოლება (2.7) მარტივდება:

$$\int_0^{t_*} R(\theta) d\theta = \frac{\delta_{IC}}{\delta_1(l)} - 1 \quad (2.8)$$

სადაც  $\delta_1(l) = Z_0 \delta_0(l)$  არის ბზარის ნაპირების დრეკადი გახსნა  $x=1$  დროს.

არჩევენ ბლანტდრეკად გარემოთა ორ სახეს: გარემოები, რომელთა ცოცვის მრუდებს აქვს ჰორიზონტალური ასიპტომა და გარემოები კვაზიბლანტი დინებით (მაქსველის სხეულები). ამიტომ თუ მონოტონურად მზარდი დატვირთვისას განტოლების (2.7) ამოხსნა ყოველთვის არსებობს, მუდმივი გარე დატვირთვისას განტოლების (2.8) ამოხსნა არსებობს მხოლოდ მაქსველის ბლანტდრეკად სხეულებისათვის (და შესაბამისად რღვევა ხდება როგორც არ უნდა იყოს დატვირთვა).

მაგალითი. დავუშვათ გარე დატვირთვა წარმოდგენილია სახით  $\sigma_f(xy)$ , სადაც  $f$ ,  $x$ ,  $y$  კოორდინატების ზოგიერთი ფუნქციაა. მაშინ პირველი ტიპის ბლანტი დრეკადი სხეულებისათვის განტოლების (2.8) ამოხსნა არსებობს მხოლოდ პარამეტრებისათვის  $\sigma$ , რომლებიც მეტია გარკვეულ ზღვარზე  $\sigma_\sigma$  (უსაფრთხო დატვირთვა) სხვა სიტყვებით  $\sigma < \sigma_\sigma$  შემთხვევაში ბზარის გახსნა  $\delta_1(x=lt)$  ვერ აღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას.  $\delta_{1G}$  როგორც არ უნდა იყოს ხანგრძლივი დროის მანძილზე და აქედან გამომდინარე, ბზარი არ იზრდება.

ზოგად შემთხვევაში როგორც ეს ჩანს გამოსახულებიდან (2.4) უსაფრთხო დატვირთვები განისაზღვრება შეფარდებით.

$$\frac{\delta_{IC}}{\delta_1(l, \sigma_\sigma)} = \frac{Z_\infty^* \delta_0(l, \infty)}{Z_\infty^* \delta_0(l, \infty)} = \frac{Z_\infty^*}{Z_0^*} \quad (2.9)$$

სადაც  $Z_\infty^*$  და  $Z_0^*$  შესაბამისად ხანგრძლივი ( $t=\infty$ ) და მყისიერი ( $t=0$ ) მნიშვნელობებია ფუნქციის  $Z^*$ .

G გამოსახულება (2.9) ბლანკტრეკადი ფირფიტისათვის შეიძლება წარმოვადგინოთ ასეთი სახით

$$\frac{\delta_{IC}}{\delta_I(l, \sigma_\sigma)} = \frac{E_0}{E_\infty} \quad (2.10)$$

სადაც  $E_0, E_\infty$  დრეკადობის მყისიერი და ხანგრძლივი მოდულებია.

ბზარისათვის ასეთი ბოლო ზომით ( $d_1 < l$ ) ბზარის ნაპირების დრეკადი გახსნა  $x=l(t)$  შემთხვევაში შეიძლება გამოიხატოს დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტით  $k_1$  შემდეგი სახით

$$\delta_I(l(t)) = \frac{2K_1}{\pi E_0} \sqrt{\frac{2d_1}{\pi}} \quad (2.11)$$

მაშინ უსაფრთხო დატვირთვის შესაბამისი დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი  $K_\sigma$  განისაზღვრება გამოსახულებიდან (2.10)

$$\frac{K_{I^*}}{K_\sigma} = \frac{E_0}{E_\infty} \quad (2.12)$$

სადაც  $K_{I^*}$  არის დამაბულობის ინტენსიურობის კრიტიკული კოეფიციენტი, რომელიც შეესაბამება დატვირთვის კრიტიკულ პარამეტერს  $\sigma^*$ , რომელიც იწვევს ბზარის ზრდას სხეულში მყისიერი მაჩვენებლებით.

ბევრ შემთხვევაში კოეფიციენტი  $K_1$  შეიძლება წარმოვიდგინოთ ამ სახით

$$K_1 = \mathcal{F}(l, \eta_i), \quad (2.13)$$

სადაც  $\eta_i$  ზოგიერთი გეომეტრიული პარამეტრებია. მაშინ (2.12) შეფარდებიდან

$$\frac{\sigma^*}{\sigma_\sigma} = \frac{E_0}{E_\infty} \quad (2.14)$$

ბლანტდრეკადი სხეულებისათვის, რომელთა დეფორმირება გამოისახება შემოსაზღვრული ინტეგრალური ოპერატორებით, არსებობს ბზარის უსაფრთხო  $l_\sigma$  სიგრძე, რომლის დროს ბზარი არ ვითარდება. ზოგად შემთხვევაში ეს უსაფრთხო სიგრძე განისაზღვრება განტოლებიდან (2.9), ხოლო ბლანტდრეკადი ფირფიტისათვის – გამოსახულებით (2.10), რომელიც შეიძლება გადაიწეროს ასეთი სახით:

$$\frac{\delta_{IC}}{\delta_1(l_\sigma, \sigma)} = \frac{Z_\infty}{Z_0}, \frac{\delta_{IC}}{\delta_1(l_3, \sigma)} = \frac{E_0}{E_\infty} \quad (2.15)$$

მაგალითისათვის გამოვიკვლიოთ შემთხვევა, როცა ინტეგრალური ოპერატორის (2.6) ბირთვი არის წილად-ექსპონენციალური ფუნქცია

$$R(t - \tau) = \lambda'(t - \tau)^{-\alpha'} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta)^n (t - \tau)^{n(1-\alpha')}}{\Gamma[(n+1)(1-\alpha')]} \quad (2.16)$$

სადაც  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda'$  მასალის რეოლოგიური პარამეტრებია, რომელიც განისაზღვრება ექსპერიმენტით (ცხრილი 2.1);  $R$  – ეილერის გამა-ფუნქციაა. ამ შემთხვევაში  $E_0/E_\infty = 1 + \alpha' / \beta$ .

უსაფრთხო დატვირთვის და სიგრძის მნიშვნელობებს ( $\sigma_\sigma$  და  $l_\sigma$ ) აქვთ პრაქტიკული ღირებულება, რამდენადაც საშუალებას იძლევიან კონსტრუქციული მასალების (ან მათი რეოლოგიური თვისებების) სათანადო შერჩევის მეშვეობით შემცირდეს ბზარის ზრდა.

**ბზარის ნელი კვაზისტატიკური ზრდის პერიოდი.** საინკუბაციო პერიოდის შემდეგ კრიტიკულამდე არ მისული გარე დატვირთვებისას იწყება ძირითადი პერიოდი დაკავშირებული ბზარის ნელ ზრდასთან. უკანასკნელები შეიძლება იყოს მდგრადი და არამდგრადი. პირველების ზრდა მუდმივი დატვირთვებისას კლებადია, ხოლო მეორეების განვითარება ხდება მზარდი სიჩქარით თვით ბზარის კრიტიკულ სიგრძემდე  $l = l_*$  (როცა იწყება უკვე სწრაფი ზრდა). ძირითადი პერიოდის განმავლობაში ბზარი ვითარდება მუდმივთან მიახლოებული სიჩქარით. საშუალებას იძლევა გამოკვლევულ იქნას ასეთი ამოცანები კვაზისტატიკურად დასმით. ე.ი. დაშვებულ იქნას ისეთი ნელი მოძრაობა, რომ შეიძლებოდეს ინერციული წევრების უგულვებელყოფა მოძრაობის განტოლებებში და შემდგომში გამოყენებული იქნას ბლანტდრეკადი სხეულების სტატიკის შეფარდებები.

ბზარის წვერო მოძრაობის დაწყებიდან გადის მანძილს, რომელიც ტოლია ბოლო ზონის სიგრძის (მისი სიმცირის გამო ამ პერიოდს უგულვებელყოფენ). შემდგომში არამდგრადი ბზარები ნელ-ნელა იზრდებიან კრიტიკულ სიგრძემდე (როცა იწყება სპონტანური განვითარება). ამასთან დაკავშირებით გამოიყოფა რღვევის ორი თანმიმდევრული ფაზა: თავიდან მთლიანი გარემოს ელემენტი გადადის ერთგვარ შუალედურ მდგომარეობაში (ბოლო უბანი), ხოლო შემდეგ ბზარი ხვდება

რა ბოლო უბანში, ახდენს ამ ელემენტის საბოლოო რღვევას. საწყის ეტაპზე ბზარი მოძრაობს უკვე ფორმირებულ ბოლო უბანზე (ითვლება, რომ მომენტისათვის  $t=0$  სხეულში უკვე არსებობს ბზარი სიგრძით  $l_0$  ბოლო უბნის ზომით  $d_0$ ) და ამიტომ ჭრილის ნაპირებს უკვე აქვთ დამატებითი გახსნები საინკუბაციო პერიოდის დროს. განვითარების შემდგომ ძირითად ეტაპზე ბზარი ხლეჩს მთლიან მასალას, აყალიბებს რა ამის წინ ბოლო უბანს. მასში ჭრილის ნაპირების გახსნა იწყება წვერის მოხვედრის მომენტიდან ბლანტდრეკადი გარემოს შესაბამის წერტილში (ეს მომენტი აღინიშნება  $t^1$ -ით). ამ ეტაპზე ბზარის ნელი ზრდის განტოლება, იმის დაშვებით რომ ნებისმიერ მომენტში სრულდება პირობა (2.3) ჩაიწერება შემდეგნაირად

$$\delta_{IG} = Z_0 \left\{ \delta_0[l(t)] + \int_0^t R(t-\tau) \delta_0[l(\tau), l(t)] d\tau \right\} \quad (2.17)$$

განტოლება (2.17) არის არახაზობრივი ინტეგრალური განტოლება რთული სტრუქტურით. იმის გამო რომ მდგრადი და არამდგრადი ბზარების განვითარებები ამ ეტაპზე ხარისხობრივად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. განვიხილოთ ეს შემთხვევები ცალ-ცალკე.

მდგრადი ბზარების განვითარება მუდმივი გარე დატვირთვის ხანგრძლივი ქმედებისას ხდება კლებადი სიჩქარით, ხოლო გარკვეული დროის შემდეგ ბზარის ზრდა ჩერდება. ამასთან დაკავშირებით, რომ არ შენეღდეს ბზარის ზრდა აუცილებელია დროთა განმავლობაში გავზარდოთ გარე დატვირთვები. არამდგრადი ბზარის გავრცელებისას დაწყებული მომენტიდან როცა  $l(t) = l_0 + d_1$ ; ბზარის მოძრაობის სიჩქარე ახლოსაა მუდმივთან. დროის მცირე დიაპაზონის გამოკლებით ამ პერიოდის ბოლოსათვის, როცა ბზარი გადადის განვითარების დინამიკურ რეჟიმზე. რამდენადაც ორივე შესაკრები (2.17) განტოლების მარჯვენა ნაწილში დადებითი სიდიდეებია. ამასთან  $\delta_0[l(t)] > \delta_{1c}$ -ის შემთხვევაში განტოლებას (2.17) არ ექნება ამოხსნა.

ამრიგად პირობა

$$Z_0 \delta_0[l(t) = l_*] = \delta_{1c} \quad (2.18)$$

ფორმით ემთხვევა ზღვრული გახსნის ჩვეულებრივ კრიტერიუმს და განსხვავებულია მისგან იმით, რომ მასალის სხვა მუდმივების ნაცვლად აქ დგანან მყისიერი დრეკადი მუდმივები. ბზარის სიგრძეს  $l(t = t_{**}) = l_*$  და დროს  $t_{**}, t_{**}$ ,

რომლის განმავლობაში ეს სიგრძე მიიღწევა ეწოდებათ კრიტიკულები, ხოლო სიდიდე  $t_{\#}=t^*+t^{**}\cong t^{**}$  განსაზღვრავს ბზარის ბლანტდრეკადი სხეულის ხანდაზმულობას. არამდგრადი ბზარების განვითარება მდგრადებთან შედარებით იწვევს მეტ ინტერესს, რადგან ისინი უფრო საშიშია და რიგ შემთხვევებში შეიძლება გამოიწვიონ სრული რღვევა. და ბოლოს გარდავქმნათ განტოლება (2.17), იმისათვის, რომ  $\tau = \theta + t'$  და  $t' = t - \tau'$

$$\delta_{IC} = Z_0 \left\{ \delta[l(t)] + \int_0^{\tau'} R(\tau' - \theta) \delta_0[l(\theta), l(t)] d\theta \right\} \quad (2.19)$$

აქ  $\tau'$  დროა, რის განმავლობაშიც ბზარები გადიან მანძილს, რომელიც  $d_1$ -ის ტოლია.

**ბზარების ზრდის დიფერენციალური განტოლებები.** გამოვიკვლიოთ ბზარების ზრდა ბლანტდრეკად სხეულებში მცირე ბოლო ზონებით ნელა მზარდი (ან მუდმივი) გარე ძალების ზემოქმედებით.

ნახევრადუსასრულო ბზარების წვეროს დრეკადი გახსნა სიბრტყეში ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\delta_1[x, l(t)] = \frac{2Z_0}{\pi} \sigma_0(t) \left\{ 2\sqrt{d_1[d_1 - (x - l(t))]} + [x - l(t)] \ln \frac{\sqrt{d_1} - \sqrt{d_1 - [x - l(t)]}}{\sqrt{d_1} + \sqrt{d_1 - [x - l(t)]}} \right\}, \quad (2.20)$$

$$\text{სადაც } \sigma_0(t) = \frac{\sqrt{\pi} K_1}{\sqrt{8d_1}}$$

წარმოვიდგენთ რა  $l(\tau)$ -ს  $t$  წერტილთან ახლოს, ტეილორის გვერდით და მასში დავტოვებთ მხოლოდ ორ წევრს, მივიღებთ

$$f(\tau) \cong l(t)l(t)(\tau - t) \quad (2.21)$$

დატვირთვის პარამეტრს  $\sigma(\tau)$  ასევე წარმოვიდგენთ  $\tau = t$ -თან ახლოს ტეილორის როლის მონაკვეთის სახით

$$\sigma(\tau) = \sigma(t) + \sigma(t)(\tau - t) \quad (2.22)$$

შეფარდებებიდან (2.20) – (2.22) გამომდინარე შეცვლის დახმარებით  $S=(i/d)x(t-\tau)$  გარდავქმნათ ბზარის ზრდის განტოლება (2.19) იმ შემთხვევისათვის, როცა გარე დატვირთვები დროის განმავლობაში ნელა იცვლება, ტოვებს რა განტოლებაში (2.19) მხოლოდ წევრებს არა უმეტეს  $d_1/\ell$

$$\frac{K_{I^*}}{K_I} = 1 + \frac{d_1}{l} \int_0^1 R\left(\frac{d_1 S}{i}\right) F(S) dS, \quad (2.23)$$

სადაც

$$F(S) = \sqrt{1-S} + \frac{S}{2} \ln \frac{1-\sqrt{1-S}}{1+\sqrt{1+S}}$$

განტოლება აღწერს ზხარების ზრდას ბლანტდრეკად გარემოში. ის ამყარებს კავშირს მოძრავი ზხარის დამაბულობის ინტესივობის კოეფიციენტსა და მისი ზრდის სიჩქარესთან.

გარდაქმნათ (2.23) განტოლება დრეკადობის თეორიის ზოგიერთი ცნობილი ბირთვისათვის და წარმოვადგინოთ  $K_I$ -ის დამოკიდებულება  $l$  - საგან, რომელიც ამ განტოლებით უფრო კომპეტენტურად განისაზღვრება

ა) მაქსველის სხეულის შემთხვევაში

$$R(t-\tau) = \lambda', \lambda' = 1/3\eta, \quad (2.24)$$

სადაც  $\eta$  სიბლანტის კოეფიციენტი

(2.23) განტოლება (2.24)-ის გათვალისწინებით გარდაიქმნება შემდეგი სახით

$$\frac{K_{I^*}}{K_I} = 1 + \frac{\lambda' d_1}{3 i} \quad (2.25)$$

ბ) დავუშვათ  $R(t,\tau)$  აბელის ბირთვია ფორმაში

$$R(t-\tau) = \lambda' \frac{(t-\tau)^{-\alpha'}}{\Gamma(1-\alpha')}, \quad (2.26)$$

სადაც  $\alpha'$  და  $\lambda'$  მასალის რეოლოგიური მუდმივებია;  $\Gamma$  - ეილერის გამაფუნქცია. (2.26)-ის ჩასმით (2.23)-ში მივიღებთ

$$\frac{K_{I^*}}{K_I} = 1 + \frac{\sqrt{\pi}}{2(2-\alpha')\Gamma(2,5-\alpha')} \left(\frac{\alpha'}{l}\right)^{1-\alpha'} \quad (2.27)$$

გ) წარმოვადგინოთ  $R(qS)$  განტოლებაში (2.23), სადაც  $q = d_1/l$ , წილად-ექსპონენციალური ფუნქციის (2.16) სახით. ამ შემთხვევაში დასაშვებია  $R(qS)F(S)$  რიგის წევრობრივი ინტეგრირება, რამდენადაც ეს რიგი  $t-\tau > 0$  შემთხვევაში აბსოლუტურად და შეუწყვეტლივ. აქედან გამომდინარე (2.23) განტოლება ჩაიწერება შემდეგნაირად

$$\frac{K_{I^*}}{K_I} = 1 + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta)^n q^{(n+1)(1-\alpha')}}{\Gamma[(n+1)(1-\alpha')]} \int_0^1 S^{n-(n+1)\alpha'} F(S) dS,$$

სადაც  $\beta$  იგივეა რაც (2.16) ფუნქციაში. აქ შემავალი ინტეგრირების გამოთვლით საბოლოოდ მივიღებთ

$$\frac{K_{l^*}}{K_l} = 1 + \frac{\lambda' \sqrt{\pi}}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta)^n q^{(n+1)(1-\alpha')}}{\Gamma[3/2 + (n+1)(1-\alpha')]} \quad (2.28)$$

ბზარის ზრდის (2.23) განტოლება რიგ შემთხვევაში შეიძლება ამოიხსნას კვადრატურებში.

მაგალითი 1. განვიხილოთ გრიფიტის ამოცანა, რომლისთვისაც (2.23) განტოლება შეიძლება ასე ჩავწეროთ

$$\sqrt{\frac{l^*}{l}} = 1 + qQ(q) \quad (2.29)$$

$$\text{სადაც } Q(q) = \int_0^1 R(qS)F(S)dS.$$

რამდენადაც ამ შემთხვევაში ბზარის განვითარება არამდგრადია და არსებობს კრიტიკული სიგრძე  $l = l_*$ , რომლის დროსაც  $K_{l^*} = \sigma \sqrt{\pi l_*}$  და იწყება ბზარის კრიტიკულის ზემოთ განვითარება, ამდენად სამართლიანია შემდეგი შეფარდება

$$t_{**} - t = \int_l^{l_*} \frac{dl}{l}, \quad (2.30)$$

სადაც  $t_{**}$  ბზარის მიერ კრიტიკული სიგრძის მიღწევის დროა. გამოსახულებიდან (2.29) დიფერენციალური  $dl$ -ის გამოთვლით და  $q$  ცვლადზე გადასვლით, ჩავწეროთ განტოლება (2.23) სახით

$$t_* - t = 2\chi \left(\frac{\sigma_*}{\sigma}\right)^l \int_0^q \frac{qQ(q) + q^2 Q'(q)}{[1 + qQ(q)]^3} dq, \quad (2.31)$$

სადაც  $\chi = d/l_0$  (აქ  $l_0$  ბზარის საწყისი სიგრძეა),  $\sigma$  - გარე დატვირთვის კრიტიკული მნიშვნელობა. კავშირი  $q$  პარამეტრია და ბზარის  $l$  სიგრძეს შორის მყარდება შეფარდებით (2.29). ბზარიანი ბლანტდრეკადი სხეულის ხანგრძლივობა განისაზღვრება შეფარდებიდან

$$t_{\text{II}} \cong t_{**} = 2\chi \left(\frac{\sigma_*}{\sigma}\right)^2 \int_0^{q_0} \frac{qQ(q) + q^2 Q'(q)}{[1 + qQ(q)]^3} dq \quad (2.32)$$

სხვადასხვა სიგრძის ბზარის პირობიდან გამომდინარეობს

$$\frac{l_*}{l_0} = \left(\frac{\sigma_*}{\sigma}\right)^2 \quad (2.33)$$

განტოლებიდან (2.29) დავადგინოთ კავშირი  $q_0$  პარამეტრსა და  $\sigma$  გარე დატვირთვის შორის

$$\frac{\sigma_*}{\sigma} = 1 + q_0 Q(q) \quad (2.34)$$

ახლა განვიხილოთ გრიფიტის ამოცანა სხვადასხვა რეოლოგიის სხეულებისათვის. სველი სხეულისათვის (2.24)

$$R(qS) = \lambda' = const, Q(q) = \lambda' / 3 \quad (2.35)$$

(2.31) განტოლებიდან შეიძლება მივიღოთ დამოკიდებულება ბზარის სიგრძესა და დროს შორის

$$l(t) = l_0 \left[ \frac{\sigma_*}{\sigma} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_*}{\sigma} - 1\right)^2 - bt} \right], \quad (2.36)$$

სადაც  $B = \lambda' dE / (3\ell_0)$ .

ამ გარემოში ბზარის მოძრაობის სიჩქარეა

$$l(t) = l_0 b \left\{ \left[ \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_*}\right)^2 - b \left(\frac{\sigma}{\sigma_*}\right)^2 t \right]^{-1/2} - 1 \right\} \quad (2.37)$$

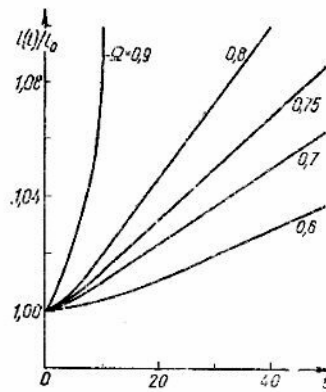
აქედან გამომდინარეობს, რომ როდესაც გარე დატვირთვა  $\sigma$  მიისწრაფვის ნულისაკენ, ბზარის ზრდის სიჩქარეც მიისწრაფვის ნულისაკენ, ხოლო როცა  $\sigma = \sigma_*$  უკანასკნელი უსასრულოდ დიდია. როცა  $0 < \sigma < \sigma_*$ , ყოველთვის არსებობს დრო  $t_{**}$ , რომლის მიღწევის ბზარის ზრდის სიჩქარე მიისწრაფვის უსასრულობისაკენ, ე.ი. დგება ბზარის სწრაფი დინამიური ზრდა. (2.37) გამოსახულებიდან, აგრეთვე უფრო ზოგადი შეფარდებიდან (2.32) გამოდის გამოსახულება

$$t_{**} = b^{-1} \left(\frac{\sigma_*}{\sigma} - 1\right)^2 \quad (2.38)$$

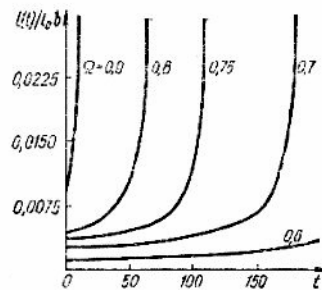
აქედან ჩანს, რომ  $\sigma = \sigma_*$  შემთხვევაში რღვევა ხდება მყისიერად.  $\sigma$ -ს შემცირებისას (ხანგრძლივ გამძლეობა)  $t$  განუსაზღვრელად იზრდება.

ნახ. 2.1 და 2.2-ზე ნაჩვენებია მოცემული ბზარის სიგრძის  $l(t)/\ell_0$  და მისი ზრდის სიჩქარის  $l(t)/(\ell_0 B)$  დამოკიდებულება  $t$  დროზე პარამეტრის  $Q = \sigma/\sigma_*$  სხვადასხვა მნიშვნელობებისას.





ნახ. 2.1. ბზარის მოცემული სიგრძის დამოკიდებულება დროზე გრიფიტის ამოცანაში მაქსველის სხეულისათვის



ნახ. 2.2. ბზარის ზრდის მოცემული სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე ნახაზ 2.1-ში ნაჩვენები შემთხვევისათვის.

კელვინის სხეულისათვის (ხაზობრივ-სტანდარტული სხეული) გვექნება

$$R(t - \tau) = R(qS) = \lambda' e^{-\beta q S} = e^{-\beta(t-\tau)} \quad (2.39)$$

ნახ. 2.2-ზე მოცემულია ეს დამოკიდებულება  $d_1/l_0 = 10^{-3,813}$  (უწყვეტი ხაზი), პუნქტირით აღნიშნულია ექსპერიმენტული მრუდი [2] მონაცემების მიხედვით.

ზემოთ მოყვანილი ბზარის ზრდის განსაზღვრის ყველა განტოლება ეფუძნება ზოგად დამოკიდებულებას (2.29), ამიტომ ფორმალურად სამართლიანია არა მარტო ფირფიტებში ბზარებისათვის, არამედ ნორმალური რღვევის სივრცითი ბზარებისათვისაც.

მაგალითი 2. განვიხილოთ ბლანტდრეკადი სხეული, რომელიც დასუსტებულია ბრტყელი ბადროსმაგვარი, გეგმაში წრიული  $r_0$  რადიუსიანი ბზარით და რომლის კიდესთან არის  $d_1$  სიგანის რღვევის წინა წვრილი ზონა. მასალა განიცდის ბზარის სიბრტყისადმი ნორმალური, გამჭიმავი ძაბვის  $\sigma$  ზემოქმედებას.

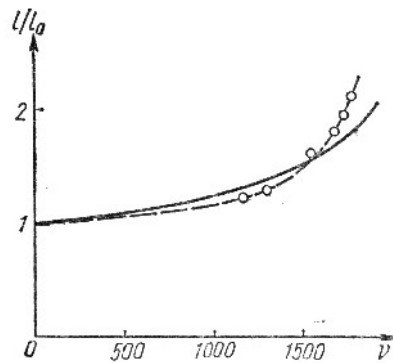
თუ შევცვლით ბოლო ზონას ბოლო ჭრილით, რომელიც იმყოფება თანაბრად განაწილებული თვითგამაწონასწორებელი დამაბულობების  $\sigma_0$  ზემოქმედების ქვეშ მივალთ  $\delta_k$  – მოდელამდე. ბზარის ნაპირების გახსნა ამ შემთხვევაში ასევე წარმოდგება შეფარდებით (2.29), რომელშიც ბლანტდრეკადობის ინტეგრალურ ოპერატორს  $Z^*$  აქვს სახე

$$Z^* = \frac{8[1 - (\nu^*)^2]}{\pi E^*} \quad (2.40)$$

სადაც  $\Upsilon^*$  განივი ცოცვადობის ოპერატორია,  $E^*$  – რელაქსაციის ოპერატორი, ხოლო ფუნქცია  $\delta_0$  აისახება განტოლებით

$$\delta_0(t) = \delta_0 \int_{\arcsin(r_0/a)}^{\varphi} \sqrt{r_0^2 - r^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (2.41)$$

აქ  $\varphi = \begin{cases} \pi/2 & (0 \leq r \leq r_0) \\ \arcsin(r_0/a) & (r_0 \leq r \leq a) \end{cases}$  სადაც  $a = r_0 + d_1$



ნახ.2.3 ბზარის სიგრძის დამოკიდებულება დროზე, ფირფიტის გაჭიმვისას, რომელსაც აქვს ბზარი

დამაბულობის დასასრულის პირობას აქვს სახე

$$\sigma a - \sigma_0 \sqrt{a^2 - r_0^2} = 0 \quad (2.42)$$

ბზარის ნაპირების გახსნა  $r = r_0$  დროს განისაზღვრება შეფარდებით

$$\delta_1(l, 0) = Z^* r_0 \sigma_0 (1 - r_0/a) \quad (2.43)$$

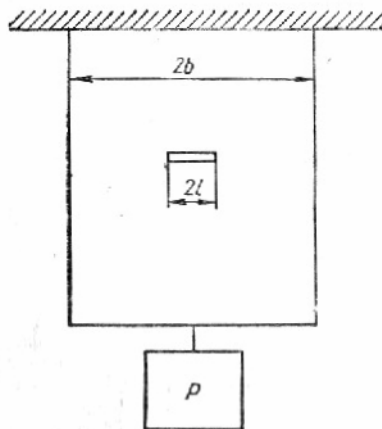
როცა  $d_1 \ll r_0$  სამართლიანია ბზარის ზრდის (2.23) განტოლება, რომელშიც ინტენსიურობის კოეფიციენტი აუცილებელია მივიღოთ საკის ამოცანისათვის [1] სახით

$$K_1 = 2\sigma\sqrt{r_0/\pi} \quad (2.44)$$

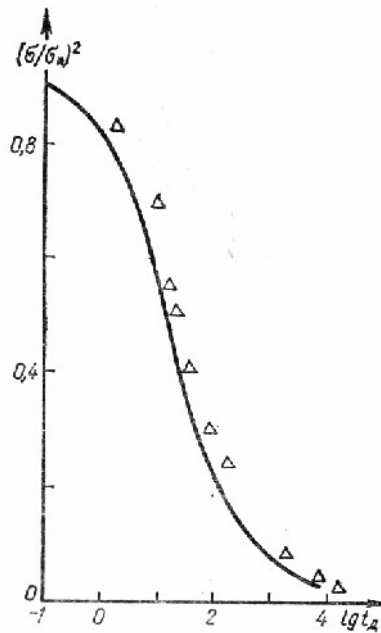
ამ შემთხვევაში ბზარის განვითარება მოიძებნება შეფარდებიდან (2.31) და (2.32), ხოლო კელვინის სხეულისათვის სამართლიანი რჩება გამოსახულებები (2.36) – (2.38)

ექსპერიმენტალურად განსაზღვრულია გამჭოლი ცენტრალური სწორხაზობრივი ბზარიანი თხელი ფირფიტის ხანგრძლივად გამძლეობა (ნახ.2.4). ბზარის სიგრძე გაცილებით ნაკლებია ფირფიტის სიგანეზე. ამიტომ გამოთვლებისათვის უნდა მივიღოთ დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი ისეთივე, როგორც შემოუსაზღვრელი ფირფიტისათვის.

ნახ. 2.5–ზე წარმოდგენილია XF12 ფოლადის მარკის ფირფიტის ხანგრძლივად გამძლეობის დამოკიდებულება უგანზომილებო პარამეტრისაგან  $(\sigma/\sigma_*)^2$ , უწყვეტი ხაზი შეესაბამება რიცხობრივ გადაწყვეტას (2.32) ფორმულით, ხოლო ექსპერიმენტის მონაცემები მოცემულია წერტილებით.



ნახ. 2.4. ექსპერიმენტის სქემა ხანგრძლივ სიმტკიცეზე



ნახ. 2.5 ხანგრძლივი სიმტკიცე ლითონის ფირფიტისა ბზარით  
(წერტილები—ეგს, პერიმეტრი; უწყვეტი ხაზი—გაანგარიშება)

## 2.2 მასალების რღვევის ანალიზი დინამიკური დატვირთვებისას

მანქანათმშენებლობისათვის დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს მასალების რღვევის საკითხებს დარტყმითი (იმპულსური) დატვირთვისას, რამდენადაც მნიშვნელოვანი ამპლიტუდის ძალის მოულოდნელი მიღება პრაქტიკაში კონსტრუქციის ელემენტების რღვევის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მიზეზია. ამასთან, თანამედროვე ტექნიკის ბევრი კონსტრუქცია მუშაობს სწორედ ისეთ პირობებში როცა მათი ელემენტების დარტყმითი დატვირთვა საექსპლოატაციო ნორმაა. ასეთი სახის კონსტრუქციათა პროექტირებისას უნდა ვიცოდეთ და გავითვალისწინოთ ბზარების მაგვარი დეფექტების დასაშვები ნორმა ყველაზე საპასუხისმგებლო დეტალებში მუშა დატვირთვების მოცემული სპექტრისათვის, აგრეთვე ბზარების დაწყებული ზრდის დამუხრუჭების კონსტრუქციული საშუალებები კონსტრუქციის დაშლის თავიდან ასაცილებლად.

რღვევის დინამიური მექანიკა, მისადმი მზარდი ინტერესის მიუხედავად, ჯერ კიდევ შედარებით სუსტადაა განვითარებული და ხშირად ვერ იძლევა ამომწურავ პასუხებს კითხვებზე რომლებსაც სვამს მის წინაშე თანამედროვე ტექნიკა. ამ

მოვლენის მიზეზებია: 1. თეორიული მოდელების არასრულყოფილება და მათემატიკური სირთულეები, რომლებიც წარმოიშვება შესაბამისი განტოლებების ამოხსნის დროს. 2. რღვევის წინა ზონაში ბზარის წვეროსთან მიმდინარე ფიზიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირებისათვის ექსპერიმენტალური მონაცემების არასაკმარისი მოცულობა. ამის გამო რღვევის დინამიური მექანიკის კრიტერიუმების შექმნის პროცესი, რომლებიც გამოდიან როგორც საკმაოდ სრული თეორიული მოდელების და უტყუარი ექსპერიმენტალური მონაცემების აუცილებელი მოცულობის შექმნა ჯერ მხოლოდ იწყება. სადღეისოდ გამოყენებული კრიტერიუმები ძირითადად მიღებულია რღვევის სტატიკური მექანიკის კრიტერიუმების გადატანის და გარკვეული მოდიფიკაციის გზით მასალის დატვირთვის დინამიური პირობების მიმართ. ქვემოთ განიხილება ასეთი სახის ზოგიერთი საკითხი, რომლებიც განსაზღვრავენ ზრდის და ბზარების შეჩერების პირობებს კვაზიმყიფე მასალაში.

**ბზარების კრიტერიუმები იმპულსური დატვირთვის დროს.** ლითონის დეფორმირების სიჩქარის ზრდა იწვევს პლასტიკურობის ზღვრის გაზრდას, რის გამოც მასალის პლასტიკური დეფორმირების ზონა ბზარის წვეროსთან მასზე დინამიური დატვირთვის ტალღების ზემოქმედებისას, უფრო ლოკალიზებულია ვიდრე იმავე ამპლიტუდის სტატიკური დატვირთვისას. ეს მოვლენა წარმოადგენს საფუძველს რღვევის წრფივი მექანიკის კონცეფციისა და მეთოდების ფართო გამოყენებისათვის შესაბამისი დინამიური ამოცანების ამოხსნისას, ექსპერიმენტების მონაცემების ინტერპრეტაციისათვის ასეთი მიდგომების ჩარჩოებში.

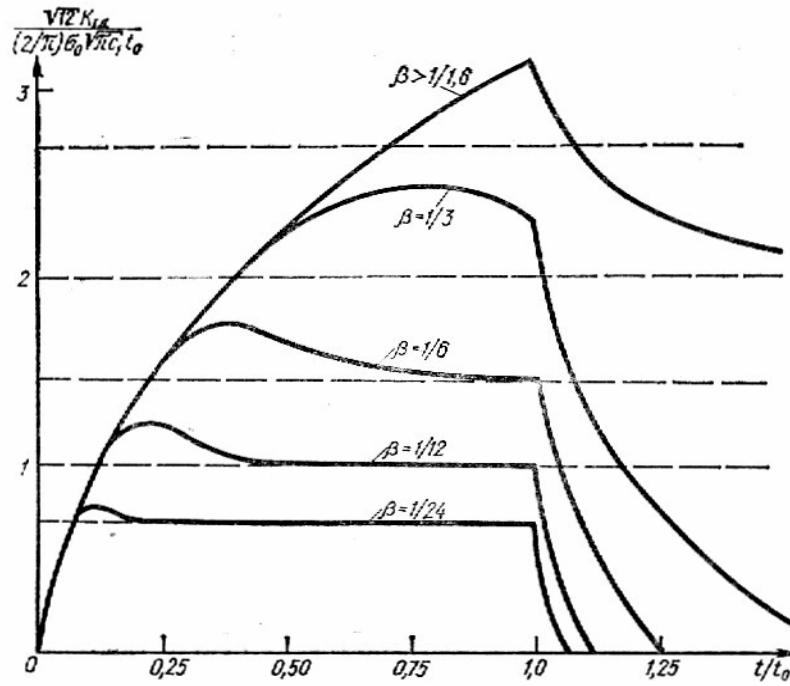
ერთჯერადი იმპულსური დატვირთვის ზემოქმედებით ბზარის მომენტის განსაზღვრის შესახებ საკითხის განხილვისას შემოვიფარგლოთ ნორმალური ნაწყვეტი ბზარით. დამაბულობის ველის ასიმპტოტიკის გამოკვლევა დრეკად სხეულში უკიდურესად მკვეთრი ჭრილის წვეროსთან გვიჩვენებს, რომ დატვირთვის მოდების დინამიური ხასიათი ვლინდება მხოლოდ დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის დროსთან დამოკიდებულების გამოჩენით, მაგრამ გავლენას არ ახდენს დამაბულობის კუთხურ განაწილებაზე. ეს რღვევის პროცესის აღწერისას საშუალებას იძლევა, წრფივი თეორიის ჩარჩოებში, განვსაზღვროთ ბზარის შესაძლებელი მომენტი დროში ცვლილების ანალიზიდან ან დამაბულობის

დინამიური კოეფიციენტის  $K_{1n}$  – ნორმალური მოკვეთისათვის კოეფიციენტ  $K_1$  –ის ანალოგის, ან შესაბამისად  $g_{1n}$  –ის –ენერგეტიკული პარამეტრის  $g_{1c}$  ანალოგისა.

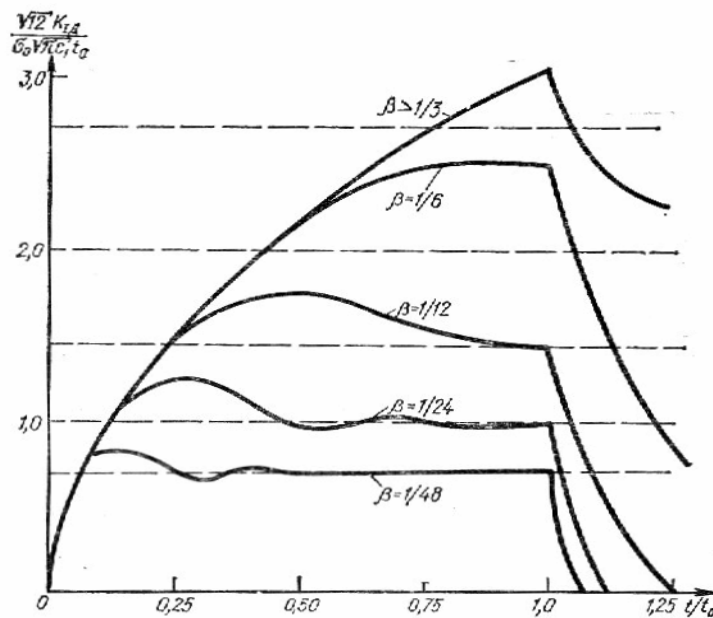
განვიხილოთ ორი სამოდულო ამოცანა: 1) გამჭიმავი დატვირთვის სწორკუთხა იმპულსის ზემოქმედების შესახებ ამპლიტუდით  $\sigma_0$  და ხანგრძლივობით  $t_0$  გამჭოლ ბზარზე სიგრძით  $2l_0$  სიბრტყეში და 2) ანალოგიური ამოცანა ბადროსებრი რადიუსის მქონე ბზარისათვის სივრცეში. ტალღის ფრონტი ორივე შემთხვევაში ბზარის პარალელურია.

ნახ. 2.6 და 2.7 ნაჩვენებია დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება დროზე ბრტყელი და ბადროსებრი ბზარებისათვის იმპულსის სხვადასხვა ხანგრძლივობისას [3–5]. ამ დამოკიდებულებათა სახეები საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ ორი მნიშვნელოვანი დასკვნა. პირველ რიგში, მცირე ზომის ბზარებისათვის ( $r_0 < \frac{1}{20} c_1 t_0$  ბადროსებრისათვის და  $l_0 < \frac{1}{40} c_1 t_0$  ბრტყელისთვის) დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკს აქვს პრაქტიკულად მართკუთხედის ფორმა, დამახასიათებელი იმავე ინტენსიურობის ტვირთით კვაზისტატიკური დატვირთვისთვის. მეორე რიგში მნიშვნელოვანი ზომის ბზარებს ( $r_0 > 0,6 c_1 t_0$  ბადროსებრისთვის და  $l_0 > \frac{1}{3} c_1 t_0$  ბრტყელისთვის) აქვთ საერთო დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის ცვლილებისა და აქედან გამომდინარე რღვევის წრფივი მექანიკის ჩარჩოებში ერთდროულად უნდა გახდნენ არასტაბილურები. ბზარისმაგვარი დეფექტების მსგავსი ქცევა არაერთხელ შეიმჩნევა ექსპერიმენტალური გამოკვლევებისას.

ჯ.ს.სიმ და ჯ.დ.ახენშახმა შემოგვთავაზეს კრიტერიუმი, რომლის მიხედვითაც ბზარი ხდება არამდგრადი, როგორც კი დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტი მის წვეროზე აღწევს გარკვეულ კრიტიკულ მნიშვნელობას.



ნახ. 2.6 დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება დროზე სხვადასხვა სიგრძის ბრტყელი შიგა ბზარებისათვის

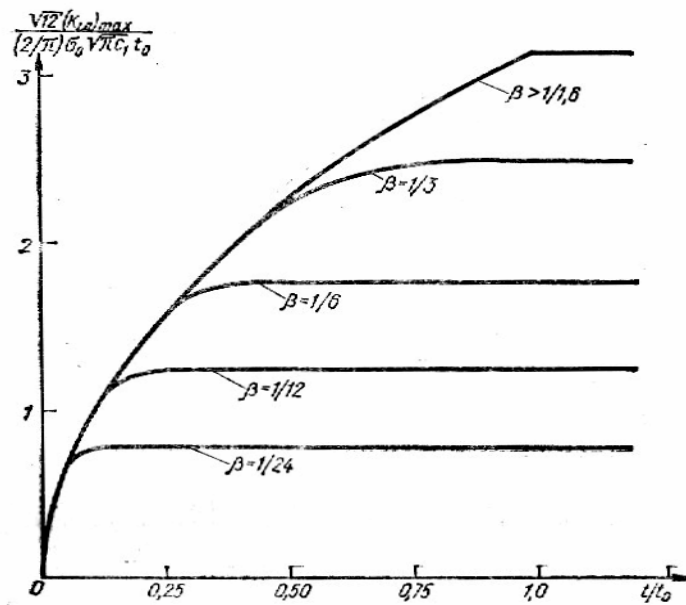


ნახ. 2.7 დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება დროზე ბადრისებრი ბზარებისათვის სხვადასხვა რადიუსით  $r_0 = \beta c_1 t_0$

სხვა სიტყვებით, იმის დასადგენად არის თუ არა ამპლიტუდის და ხანგრძლივობის იმპულსი მადესტაბილუბელი მოცემული ზომის ბზარისათვის, აუცილებელია გამოვთვალოთ დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა და შევადაროთ ის კრიტიკულს.

$$(K_{II})_{\max} \geq K_{II.G}(\sigma) \quad (2.45)$$

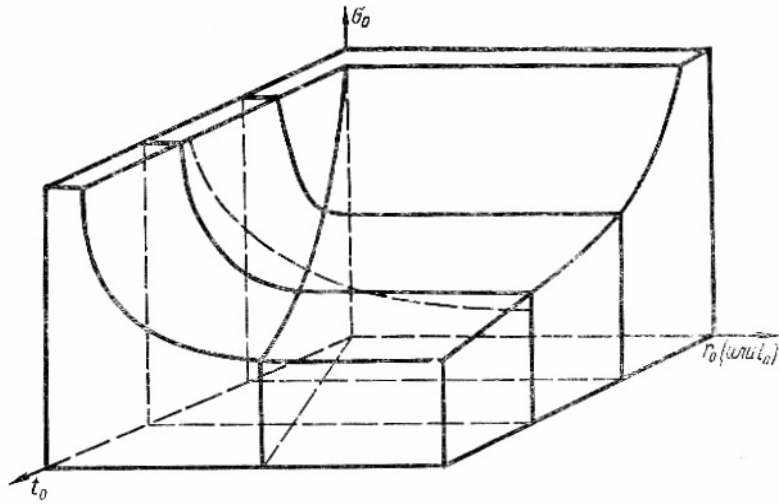
სადაც  $K_{I,II.G}$  კრიტიკული პარამეტრია, რომელიც არის მასალის მახასიათებელი, დამოკიდებული დატვირთვის სიჩქარეზე. (ყველაზე ხშირად მას უკავშირებენ დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის  $K_I = \partial k_1 / \partial t$  ცვლილების სიჩქარეს). ნათელია, რომ (2.45) –ის ანალოგიური კრიტერიუმი შეიძლება ჩავწეროთ ტერმინებში  $G_{I,II}$  და  $J_{d(\sigma)}$  რღვევის ხვედრითი ენერჯიაა დინამიურ დატვირთვებისას.



ნახ. 2.8 სიდიდის  $(K_{II})_{\max}$  დამოკიდებულობა დროზე ბადროსებრი ბზარებისათვის სხვდასხვა რადისუით  $r_0 = \beta c_1 t_0$

ნახ. 2.8–ზე მოყვანილია გრაფიკები დამაბულობის ინტენსივობის მაქსიმალური კოეფიციენტის  $(K_{II})_{\max}$  ცვლილებისა დროისაგან ბადროსებრი ბზარებისათვის. ნათელია რომ დამტვირთავი იმპულსის ერთი და იგივე ფორმისათვის (ამ შემთხვევაში მართკუთხა) სიდიდეები  $\sigma_0$ ,  $t_0$ ,  $r_0$  (ან  $\ell_0$ ) კრიტიკული კომბინაციები ქმნიან სივრცეში რაღაც ზედაპირს «იმპულსის ამპლიტუდა – იმპულსის ხანგრძლივობა – ბზარის ზომა»





ნახ. 2.9 კრიტიკული ზედაპირის ხედი დამტვირთავი იმპულსის პარამეტრების სივრცეში დამაბულობის ინტენსიურობის მაქსიმალური კოეფიციენტის კრიტერიუმისათვის.

სივრცის წერტილები, რომლებიც მდებარეობენ ზედაპირის ქვეშ, შეესაბამებიან ბზარის მდგრად მდგომარეობას, ხოლო მის ზემოთ მდებარე – არამდგრადს.

მოტეხვის ხაზი კრიტიკულ ზედაპირზე პასუხობს დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის მნიშვნელობას მიღწევის მომენტებს ბრტყელი ( $c_1 t_0 / \ell_0 = 5,7$ ) და ბადროსებრ შიგა ( $c_1 t_0 / r_0 = 2,2$ ) ბზარებისათვის. შედარებისათვის იმავე ნახაზზე (იმის დაშვებით, რომ  $K_{IG} = K_{I,c}$ ) ნაჩვენებია მდგრადობის სტატისკური დანაკარგის მრუდი (შტრიხული).

კიდევ ერთი ვარიანტი ძალისმიერი ტიპის შემოგვთავაზებს ი. კალტხოფმა და დ. შოკიმ. ისინი გამოდიოდნენ იქედან, რომ სტატისკაში ბზარის მიერ მდგრადობის დაკარგვის და მისი კრიტიკულის მიღმა ზრდის კრიტერიუმი მდგომარეობს ორი პირობის ერთდროულად შესრულებაში.

$$K_I \geq K_{Ic} \text{ და } \frac{\partial K_I}{\partial l} \geq 0 \quad (2.46)$$

სადაც  $l$  ბზარის სიგრძეა. სრულად მივყავართ რა სტატისკურ ანალოგიას, დინამიური დატვირთვისას ვღებულობთ

$$K_{II} \geq K_{II,c}(\sigma) \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial K_{II}}{\partial l} + \frac{1}{v} \frac{\partial K_{II}}{\partial t} \geq 0 \quad (2.48)$$

სადაც  $v$  - ბზარის გავრცელების სიჩქარეა.

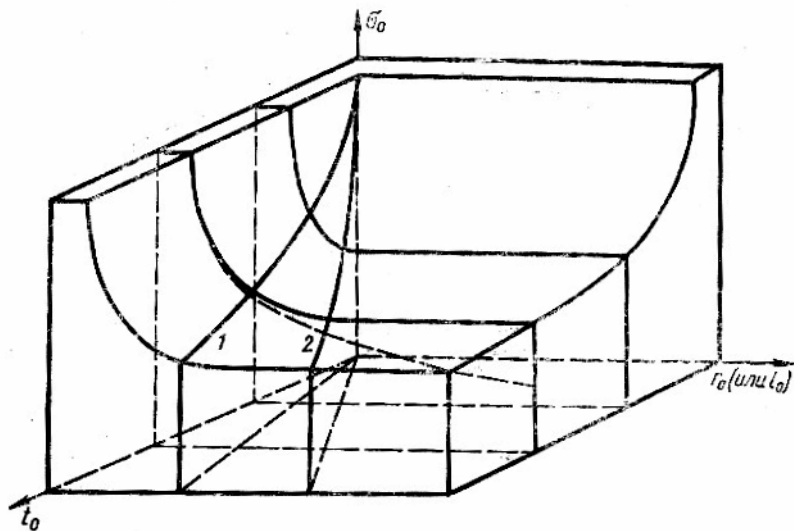
სიდიდეები  $K_{1D}, \partial K_{1D} / \partial \ell$  და  $\partial K_{1D} / \partial t$  მაქსიმუმს აღწევენ დროის სხვადასხვა მომენტებში და ამიტომ, მაგალითად, პირობის (2.47) დაკმაყოფილების პერიოდი შეიძლება არ დაემთხვეს პირობის (2.48) დაკმაყოფილების პერიოდს და პირიქით. ამიტომ სავსებით შესაძლებელია სიტუაცია, როდესაც ბზარი შეიძლება დარჩეს პრაქტიკულად სტაბილური დროის მოკლე მონაკვეთში, მაშინაც კი, თუ ნორმალური წყვეტის დაძაბულობის ინტენსიურობის დინამიური კოეფიციენტი გადააჭარბებს სიდიდეს  $K_{IIc}$ . მსგავსი მსჯელობის საფუძველზე ი. კალტროფმა და დ. შოკიმ შემოგვთავაზეს კრიტერიუმი, რომლის თანახმად ბზარი არასტაბილური ხდება მაშინ, როცა  $K_{II}$  მეტია  $K_{IIc}$ -ზე დროის გარკვეულ (შეიძლება ითქვას, მცირე) მონაკვეთში  $t_c$ , რომელიც მუდმივია მოცემული მაგალითისათვის. ასეთი მიდგომის პრაქტიკული გამოყენება ნიშნავს, რომ დაძაბულობის ინტენსივობის ცვლილებები ცნობილი გრაფიკით აუცილებელია განვსაზღვროთ დაძაბულობის ინტენსივობის დინამიური კოეფიციენტი  $K_{II\phi}$ , ე.ი. ამ კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც უტოლობა  $K_{II}(t) \geq K_{II\phi}$  სრულდება დროის მონაკვეთის  $t_c$  განმავლობაში. სიდიდეების  $K_{II\phi}$  და  $K_{IIc}$  საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ არის თუ არა მითითებული იმპულსი მადესტაბილიზებული მოცემული ბზარის ზომისათვის. გარკვეული დასკვნები დაძაბულობის ეფექტურ დინამიურ კოეფიციენტზე  $K_{II\phi}$  პარამეტრების  $\sigma$  და  $t_0$  დატვირთვის მართკუთხა იმპულსის სხვადასხვა დაწყვილების შესახებ შეიძლება გავაკეთოთ ნახ. 2.6 და 2.7-ზე ნაჩვენები გრაფიკების საფუძველზე. იმპულსის  $c_1 t_0$  განფენილობა შედარებით მცირე ზომის ბზარისათვის ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა პრაქტიკულად მთელი  $t_0$  პერიოდის განმავლობაში ემთხვევა კოეფიციენტს  $K_I$ -ის შესაბამის სტატიკურ მნიშვნელობას. ამიტომ

$$K_{II\phi} = K_I \quad (2.49)$$

$r_0 < 1/20 t_0 c_1$  -სათვის (ზადროსებრი ბზარი) ან  $\ell_0 < 1/40 t_0 c_1$  -სათვის (ბრტყელი ბზარი).

იმპულსის განფენილობასთან შედარებით მეტი ზომების მქონე ბზარებს აქვთ დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის ცვლილების ერთნაირი სიდიდე, ამიტომ  $K_{II\phi}$  სიდიდის ზუსტი მნიშვნელობის გარეშე შეიძლება გამოვიტანოთ

დასკვნა, რომ მინიმალური დროის კრიტერიუმში, დამაბულობის ინტენსივობის მაქსიმალური კოეფიციენტის კრიტერიუმის მსგავსად მოისწავებს ერთნაირ ქცევას ყველა ბზართან, რომლებიც მეტია გარკვეულ ზომებზე  $\Gamma_0 > 0,6c_1t_0$  ბადროსმაგვარის და  $\ell_0 > c_1t/3$  ბრტყელი ბზარისათვის. ნახ. 10-ზე სქემატურად ნაჩვენებია ზღვრული ზედაპირი, რომელსაც ქმნიან სივრცეები «იმპულსის ამპლიტუდა  $\sigma_0$  – იმპულსის ხანგრძლივობა  $t_0$  – ბზარის ზომა  $\Gamma_0$  (ან  $\ell_0$ )» წერტილები და რომლებიც აკმაყოფილებენ მინიმალური დროის კრიტერიუმს. თეხვის ხაზი 1,2 კრიტიკულ ზედაპირზე შეესაბამება



ნახ. 2.10 კრიტიკული ზედაპირის ხედი დამტვირთავი იმპულსის პარამეტრების სივრცეში მინიმალური დროის კრიტერიუმისათვის

დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის მომენტს ბრტყელი  $[c_1t_0 / \ell_0 = 40(1) \text{ და } 30(2)]$  ბადროსებრი შიგა  $[c_1t_0 / r_0 = 20(1) \text{ და } 1,6(2)]$  ბზარებისათვის. აქვე შედარებისათვის ნაჩვენებია მდგრადობის სტატისტიკური დანაკარგის მრუდი პირობისას  $K_{III.C} = K_{IC}$  (შტრიხული ხაზი).

რღვევის დაწყების მომენტის დროებით შეყოვნება დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის მოძრაობის შემდეგ ბზარის წვეროები ახსნადია. ბზარის შეშფოთება შეიძლება მოხდეს მხოლოდ მას შემდეგ, როცა მისი

წვეროს შემოგარენში ფორმირდება რღვევის წინა ზონა. ამისათვის აუცილებელია, რომ მაღალი დაძაბულობის უბანი ბზარის წვეროდან გავრცელდეს მასალის გარკვეულ მოცულობაზე და, რომ ამ მოცულობის ნაწილში ჩაიაროს დესტრუქტულმა პროცესებმა, რომლებიც დაკავშირებულია რღვევისწინა ზონის წარმოქმნელ სხვადასხვა სახის დაზიანებების გაჩენასთან. სწორედ ამისთვის აუცილებელი დრო წარმოქმნის იმ საინკუბაციო პერიოდს, რომლის განმავლობაშიც ყოვნდება ბზარის სასტარტო მომენტი. თვით არსებობა ასეთი საინკუბაციო პერიოდის არის ჰიპოთეზა, რომელიც მოითხოვს საგულდაგულო ექსპერიმენტულ შემოწმებას.

2.9 და 2.10 ნახაზების შედარება გვიჩვენებს, რომ მინიმალური დროის კრიტერიუმი  $t_0$  მოასწავებს ბზარის არასტაბილურობის დადგომას დატვირთვის უფრო მეტი ამპლიტუდებისას, ვიდრე დაძაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის კრიტერიუმი. ამასთან, რამდენადაც ექსპერიმენტული მონაცემების გადამუშავებისას მიღებული სიდიდე  $t_c$  ერთობ მცირეა, ამდენად ორივე კრიტერიუმით მიღებულ შედეგებს შორის სხვაობა მეტწილად დამოკიდებული უნდა იყოს დამტვირთავი იმპულსის ფორმისაგან და მნიშვნელოვნად მცირდებოდეს სხვა უფრო «დამრეცი» იმპულსებისათვის.

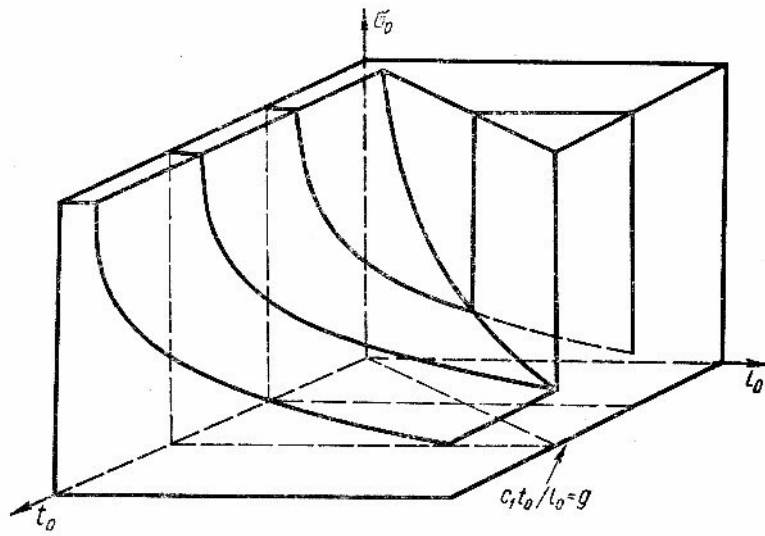
როგორც მაგალითი ენერგიული მიდგომისა, განვიხილოთ მინიმალური ქმედების პრინციპზე დამყარებული კრიტერიუმი. თანახმად ბზარის არასტაბილურობისა, რომელიც დატვირთულია სწორკუთხა იმპულსით, დადგება  $\sigma$ ,  $t_0$  და  $\ell_0$ -ს შორის შემდეგი შეფარდებისას:

$$\ell_0 \sigma \geq C, \quad (2.50)$$

$$c_1 t_0 \geq a g \quad (2.51)$$

სადაც  $c$  მასალის კონსტანტაა;  $a$ -ბზარის გეომეტრიის პარამეტრი;  $g$  – რიცხვითი კოეფიციენტი, რომელიც ახლოსაა 1-თან. ნათელია, რომ განტოლება (2.50) ანალოგია გრიფიტის ჩვეულებრივი სტატიკური კრიტერიუმის. (2.51) განტოლების არსი იმაშია, რომ თითოეული იმპულსის ხანგრძლივობისათვის  $t_0$  დგინდება ბზარის მაქსიმალური ზომა  $\ell_0 = c_1 t_0 / g$ , რომელიც შეიძლება გააქტიურდეს ამ იმპულსით. დიდი ზომის ბზარები სტაბილური უნდა დარჩენ დამტვირთავი იმპულსის  $\sigma$

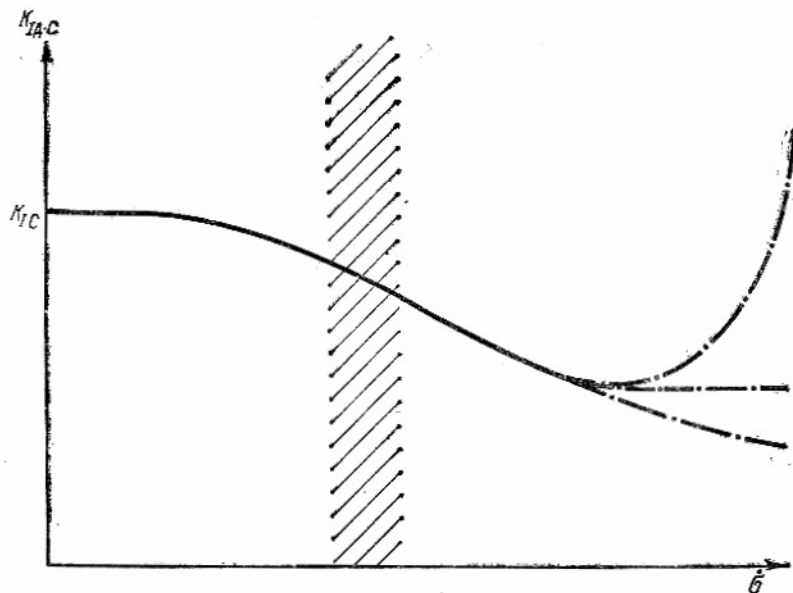
ნებისმიერი ამპლიტუდისათვის. ნახ. 2.11 სქემატურად ნაჩვენებია ზღვრული ზედაპირი, რომელიც შეესაბამება (2.50), (2.51) ფორმულებით აღწერილ კრიტერიუმს



ნახ. 2.11 კრიტიკული ზედაპირის სახე დამტვირთავი პარამეტრების სივრცეში მინიმალური ქმედების კრიტერიუმისათვის.

ზემოთ განხილული სამი სხვადასხვა მიდგომა კრიტერიალური შეფარდებების აგებისადმი, საკმაოდ ნათლად აჩვენებს ამ მიმართულებით რღვევის დინამიური განვითარების ძირითად გზებს, მაგრამ სულაც არ ამოწურავს შემოთავაზებულ კრიტერიუმთა ჩამონათვალს. ამასთან უტყუარი ექსპერიმენტული მონაცემების მოცულობის არარსებობა არ იძლევა საშუალებას დღეისათვის დამაჯერებლად შევაფასოთ ამა თუ იმ მიდგომის კანონზომიერება.

დამოკიდებულება  $K_{III}(\sigma)$  შეუძლებელია ერთი სახით თუნდაც ხარისხობრივად ავლწეროთ ყველა მასალისათვის. ამასთან ბევრ შემთხვევაში დამოკიდებულების სახე მსგავსია ნახ. 2.12 ნაჩვენები ერთ-ერთი ვარიანტისა.



ნახ. 2.12 დინამიური ბზარგამმლეობის სიდიდის  $K_{II.C}$  დატვირთვის სიჩქარეზე  $\sigma$  დამოკიდებულების შესაძლო ვარიანტების სქემატური სახე

პუნქტირით ნაჩვენებია  $K_{II.C}$ -ის ცვლილებების ვარიანტები მაღალ დატვირთვებზე, შტრიხებით მონიშნულია დეფორმირების სიჩქარეების ზონა, რომელიც შეესაბამება დარტყმით გამოცდებს კოპრზე.

ბზარის წვეროსთან დამაბულობის კუთხური ასიმპტოტური განაწილება დინამიური განაწილებისას არ განსხვავდება თავისი სტატიური ანალოგისაგან. ეს საშუალებას იძლევა რაიმე ცვლილების გარეშე გადავიტანოთ კრიტერიუმები, რომლებიც განსაზღვრავენ ბზარის საწყის განვითარების მიმართულებას და რომლებიც დადგენილია რღვევის სტატიკური მექანიკისათვის დინამიურში, იმ პირობით, რომ მათში შემავალი  $K_I$  და  $K_{II}$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები არის მყისიერი (დინამიური). რღვევის სტატიკურ მექანიკაში გამოუყენებელი კრიტერიუმები იძლევიან ახლო შედეგს, განსაკუთრებით დატვირთვებისათვის, რომლებიც უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ნორმალური კვეთის დატვირთვებისაგან. რამდენადაც ამა თუ იმ კრიტერიუმის უპირატესობის განსაზღვრა შეუძლებელია, პრაქტიკული გამოყენებისათვის კრიტერიუმის შერჩევისას ყველაზე ხშირად იყენებენ მაქსიმალური უბრალოების პრინციპს. ამ მხრივ ყველაზე მისაღებია  $\sigma$  – კრიტერიუმი.

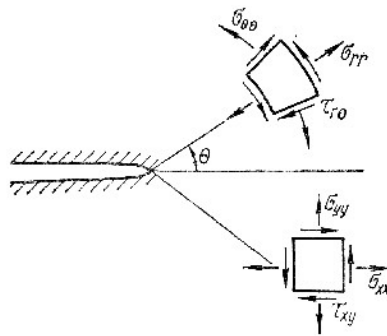
სტატიკის ანალოგებისადმი პირდაპირი მიყობის გარდა, ცნობილია მცდელობები კრიტერიუმების აგებისა, რომლებიც განსაზღვრავენ ბზარის საწყისი განვითარების კუთხეს მისი ზრდის სიჩქარის გავლენის გათვალისწინებით. ასე ჯ. ახენბაზი განიხილავდა ნახევრად უსასრულო ბზარს დრეკად ფირფიტაში, რომელიც იმყოფებოდა საწყისი ორღერძიანი სტატიკური დატვირთვის და ბზარისადმი  $\Phi\pi$  კუთხით მიმართული საფეხურებრივი ფორმის იმპულსის ზემოქმედების ქვეშ. ნავარაუდები იყო, რომ ბზარი დაიწყებს მოძრაობას დროის გარკვეულ მომენტში  $t_{cr}$  სიჩქარით  $v_{cr}$  საწყისი მდგომარეობისადმი ისეთი  $\chi\pi$  კუთხით, რომ მის წვეროში ენერჯის ნაკადი  $E(v_{cr}, t_{cr}, x)$  იქნება მაქსიმალური  $\chi$  ვარიანტისადმი. ამასთან ენერჯის ბალანსმა აჩვენა, რომ დრეკადობის წრფივი თეორიის ჩარჩოებში და იმის დაშვებით, რომ რღვევის ეფექტური მუშაობა  $dp$  მუდმივი სიდიდეა მასალისათვის, ბზარის ჩასახვის საწყის მომენტში ( $t_{cr}$ ) მის მოძრაობის სიჩქარე ნულის ტოლია. ეს ნიშნავს, რომ გადახრის კუთხე ცალსახად განისაზღვრება მასალის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრებით ბზარის წვეროს მისი შეშფოთების წინ, ე.ი. დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტებით რღვევის წრფივი მექანიკის ჩარჩოებში. ეს დასკვნა შეიძლება არც მთლად კორექტული იყოს იმ შემთხვევაში, თუ რღვევის ეფექტური მუშაობა  $dp$  დამოკიდებულია ბზარის მოძრაობის სიჩქარეზე, მაგრამ როგორც ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგები ადასტურებენ, ასეთი სახის რეალური მასალებისათვის დამოკიდებულება შესამჩნევად გამოვლინდება მხოლოდ ბზარის მოძრაობის მაღალი სიჩქარეებისათვის. ის, რომ ბზარის საწყისი ზრდის მიმართულება განისაზღვრება სტაციონალურ (უძრავ) მდგომარეობაში მის წვეროს დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტებით, არის არსებითი საბუთი რღვევის დინამიურ მექანიკაში სტატიკური თეორიიდან მოდიფიცირებული ანალოგების გამოყენების სასარგებლოდ.

### 2.3 ბზარის ზრდის მექანიკა

ლ. ფროინდმა და ა. დუგლასმა აჩვენეს, რომ არაბრტყელი ტიპის ბზარისათვის, რომელიც მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით დრეკადპლასტიკურ სიბრტყეში, მის

წვერთან პლასტიკური ზონის ხანგრძლივობა სიჩქარის ზრდასთან ერთად მცირდება ასეთივესთან შედარებით – ნელა მზარდი ბზარისათვის. რეალურ მასალებში ნორმალური გახლეჩის ბზარებისათვის პლასტიკური დინების ლოკალიზაციის ეფექტი უნდა იყოს უფრო ძლიერი, რამდენადაც ბზარის სიჩქარე იწვევს მის წვერთან მასალის დეფორმირების სიჩქარის გაზრდას, რასაც თავის მხრივ მივყავართ პლასტიკურობის ზღვრის ამალეებისაკენ. პლასტიკური დეფორმაციების მცირე ზონა საშუალებას გვაძლევს დამაკმაყოფილებლად აღვწეროთ მასალის დამაბულ დეფორმირებული მდგომარეობა ბზარის წვერთან ხაზობრივი მოდელის დახმარებით. ე.ი. მასალის იდეალური დერკადი ქცევის ვარაუდით.

განვიხილოთ დამაბულობის კომპონენტების ასიმპტოტური წარმოდგენა კოორდინატთა პოლარულ სისტემაში  $(r, \theta)$ , რომლებიც მოძრაობენ ბზარის წვერთან ერთად (ნახ. 2.13) ორ ზომიან შემთხვევაში:



ნახ. 2.13 მასალის ელემენტის დამაბული მდგომარეობა მოძრავი ბზარის წვერთან პოლარულ და დეკარტულ კოორდინატთა სისტემაში

I და II ტიპის ბზარებისათვის (იხ. ნახ. 2.13)

$$\sigma_{xx}^{\text{II}} = \frac{K_{\text{II}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xx}^{\text{I}}(\theta, \nu) + \frac{K_{\text{III}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xx}^{\text{II}}(\theta, \nu) + 0(1),$$

$$\sigma_{yy}^{\text{II}} = \frac{K_{\text{II}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yy}^{\text{I}}(\theta, \nu) + \frac{K_{\text{III}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yy}^{\text{II}}(\theta, \nu) + 0(1), \quad (2.52)$$



$$\sigma_{zz}^{\text{II}} = \frac{K_{\text{II}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xy}^{\text{I}}(\theta, \nu) + \frac{K_{\text{II}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xy}^{\text{II}}(\theta, \nu) + 0(1);$$

III ტიპის ბზარებისათვის

$$\sigma_{xz}^{\text{II}} = \frac{K_{\text{III}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{xz}^{\text{III}}(\theta, \nu) + 0(1),$$

$$\sigma_{yz}^{\text{II}} = \frac{K_{\text{III}}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{yz}^{\text{III}}(\theta, \nu) + 0(1), \quad (2.53)$$

სადაც  $K_{\text{II}}(t), K_{\text{II}}(t), K_{\text{III}}(t)$  ნორმალური წყვეტის დაძაბულობის ინტენსიურობის დინამიური კოეფიციენტებია, განივი და გრძივი ძვრების  $\sum_{xx}^{\text{I}}(\theta\nu), \sum_{xx}^{\text{II}}(\theta\nu), \sum_{xy}^{\text{I}}(\theta\nu), \sum_{xy}^{\text{III}}(\theta\nu), \sum_{yy}^{\text{I}}(\theta\nu), \sum_{yy}^{\text{II}}(\theta\nu)$  - ბზარის წვერის შემოგარენში დაძაბულობის კუთხური განაწილების ფუნქციებით;  $\nu$  - ბზარის მოძრაობის სიჩქარე,  $0(1) \ll 1/\sqrt{r}(r \rightarrow 0)$ . თუ ბზარის მოძრაობის სიჩქარე არ აღემატება მოცემული მასალისათვის რელეის ტალღების სიჩქარეს და სხეულის დეფორმაციის შინაგანი ენერგია საბოლოოა, მაშინ  $\nu \rightarrow 0$  დაძაბულობის კუთხურ განაწილებაზე გავლენას ახდენს მხოლოდ ჭრილის წვეროს მოძრაობის მყისიერი სიჩქარის მნიშვნელობა მისი ცვლილების ხასიათიდან დამოუკიდებლად.

მართლზომიერება თუ არა ასიმპტოტური (ერთპარამეტრიანი ნორმალური წყვეტის შემთხვევაში) წარმოადგენს (2.52) და (2.53) გამოიყენება დაძაბულობის ველის აღსაწერად ბზარის წვეროს მცირე, მაგრამ დამამთავრებელ შემოგარენში, რომლის ზომები მნიშვნელოვნად აჭარბებს რღვევისწინა უბნის ზომებს? როგორც გვიჩვენებს გაანგარიშებები, იდეალურად მყიფე მასალისათვისაც კი დატვირთვის მოდების დინამიურმა ხასიათმა შეიძლება არსებითად შეავიწროვოს ბზარის წვერთან მასალის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის მხოლოდ ინტენსიური დაძაბულობის კოეფიციენტების ტერმინებით აღწერის დაშვების საზღვრები. ამ მოვლენის მიზეზი იმაშია, რომ ფორმულები (2.52) და (2.53) სამართლიანია მხოლოდ დაძაბულობის დადგენილი ველის შემთხვევაში ბზარის წვერთან. ასეთი მდგომარეობა მიიღწევა მხოლოდ მას შემდეგ, რაც დაძაბულობის ველის აღზნების ფრონტი, რომელიც გამოწვეულია დატვირთვის ტალღების ბზარისაგან არეკვლით,

გაიწევა მისგან საკმაოდ შორს, ამასთან გამოირიცხება უბნის საზღვრებიდან ან სხვა წვერიდან არეკლილი დრეკადი ტალღების ზემოქმედება წვერზე. ლ. ფროინდის შრომებში [3] განიხილებოდა ნახევრად უსრული ბზარი სიბრტყეში, რომლის ნაპირებზე დროის მომენტში  $t=0$  მყისიერად მოედება თანაბრად განაწილებული მუდმივი ამპლიტუდის დატვირთვა.  $t = t_0$  დროს ბზარი იწყებს ზრდას სიჩქარით  $v = 0,2c$ , ამასთან დაწოლა განაგრძობს მოქმედებას მხოლოდ დასაწყისში დატვირთულ ზედაპირზე და არ მიყვება ბზარის წვეროს. ამოცანის ასე დასმისას გამოთვლები და დამაბულობები გარკვეულ მცირე დაშორებაზე  $\Delta x$  მოძრავი ბზარის წვეროს წინ შეედარებოდა ანალოგიურ სიდიდეებს, რომლებიც განისაზღვრებოდა ფორმულებით (2.52)  $\Delta x = 2\text{მმ}$  (ჩრდილოვანი ზონის დამახასიათებელი რადიუსი კაუსტიკის მეთოდში) და  $t=50$  მკწმ დროს მყიფე ოპტიკურად აქტიური მასალისათვის (გომალიტ – 100) აუცილებელია  $30_{\text{მკც}}$  დამაბულობების მნიშვნელობის 95%-მდე მისაღწევად, რაც მიიღება ფორმულით (2.52). ფოლადისათვის შესაბამისი დროის შუალედი ნაკლები იქნება, დრეკადი ტალღების დიდი სიჩქარის გამო, მაგრამ მიუხედავად ამისა, ათობით აჭარბებს დროის დიაპაზონს, რომლის განმავლობაში გაჭიმვის დრეკადი ტალღა გაივლის  $\Delta x$  მანძილს. აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ გაანგარიშებები ტარდებოდა საგანგებოდ იდეალიზირებული პირობებისათვის (ბზარის მოძრაობის მუდმივი სიჩქარე, არეკლილი ტალღების არ არსებობა, უცვლელი დატვირთვა), რომლებიც ძნელი და ხშირად შეუძლებელიცაა რეალიზებულ იქნას გამოკვლევების ჩატარების დროს.

მოყვანილი მაგალითი გვიჩვენებს, რომ მოძრავი ბზარის წვერთან დამაბულობის ველის აღწერამ მხოლოდ დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტების ტერმინებით შეიძლება მიგვიყვანოს შესამჩნევ შეცდომებამდე. უფრო მეტ სიზუსტეს უზრუნველყოფს მრავალპარამეტრიანი აღწერა, რომლის დროსაც გათვალისწინებულია არა მარტო სინგულარული, არამედ მომდევნო რეგულარული წვერები (2.52) ტიპის განლაგებაში. ზოგიერთი მაგალითი მრავალპარამეტრიანი წარმოდგენის საფუძველზე კრიტერიუმების აგებისა მოყვანილი იქნება ქვემოთ. ბზარების კრიტიკულს ზემოთ ზრდის გამოკვლევების ძირითადი მასა ტარდება ბზარის წვერთან დამაბულობის ველის ერთპარამეტრიანი აღწერის ჩარჩოებში. ეს აიხსნება გარკვეულწილად მკვლევართა მიდრეკილებით სტერეოტიპებისადმი, რომლებიც გადმოღებულია რღვევის კვაზისტატიკური

მექანიკიდან, ძირითადად კი როგორც ექსპერიმენტული, ისე თეორიული (რიცხოვრივი) სახის დიდი სირთულით ბზარის წვეროსთან დაძაბულობის ველის კომპონენტების განლაგების არასინგულარული წევრების განსაზღვრისა.

კრიტიკულს ზემოთ ბზარის ზრდის აღწერა ჩვეულებრივად დაიყვანება მისი ზრდის სიჩქარისა და მიმართულების განსაზღვრამდე დროის ყველა მომენტში. მკვლევართა უმეტესობა ვარაუდობს ცალსახა დამოკიდებულების არსებობას ნორმალური კვეთის ბზარის ზრდის სიჩქარესა და მის წვერში დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტს შორის. ბზარის მოძრაობის განტოლება ჩაიწერება ასეთი სახით

$$K_{III}(t) = K_{III,c} \quad (2.54)$$

სადაც  $K_{III}(t)$  მოძრავი ბზარის წვერზე დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია მისი მოძრაობის მყისიერ სიჩქარეზე, დინების სიგრძეზე და მოქმედ დატვირთვაზე;  $K_{III,c}$ - მასალის დინამიური ბზარგამძლეობა.

ვარაუდი ცალსახა დამოკიდებულობის არსებობის შესახებ ბზარის წვერში დაძაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტსა და მისი მოძრაობის სიჩქარეს შორის გამომდინარეობს ენერგეტიკული ბალანსიდან იდეალურად დრეკად მასალაში სწორხაზობრივად გავრცელებული ბზარისათვის. ბრტყელდაძაბული მდგომარეობისათვის რღვევის მუდმივი ეფექტური მუშაობის კავშირი დაძაბულობის ინტენსიურობის დინამიურ კოეფიციენტს  $K_{III}$  და ბზარის მოძრაობის სიჩქარეს  $v$  შორის მოცემულია შეფარდებით

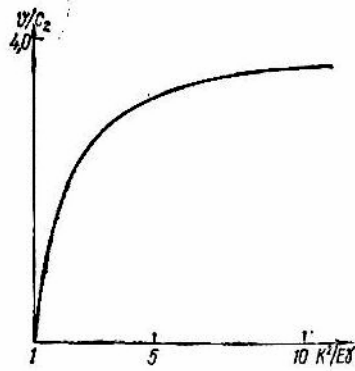
$$E\gamma_p / K_{III}^2 = f(v) = (1 - v/c_R) \quad (2.55)$$

სადაც  $f(v)$  ცნობილი ფუნქციაა, რომელიც კარგადაა აღწერილი გამოსახულებით, რომელიც ფორმულის მარჯვენა ნაწილშია. შეფარდებიდან (2.55) გამოდის, რომ ყველა მყიფე მასალისათვის არსებობს ერთიანი დამოკიდებულობა ბზარის წვერში დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტსა და მისი მოძრაობის სიჩქარეს შორის, რომლის სახეც მოცემულია ნახ. 2.14 –ზე. ამ დამოკიდებულების თანახმად დაძაბულობის ინტენსიურობის დინამიური კოეფიციენტის  $K_{III}$  ზრდას თან სდევს ბზარის სიჩქარის გაზრდა თვით ზღვრულამდე, რაც უდრის  $c_R$ . მაგრამ ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა არ დაადასტურა მსგავსი თეორიული

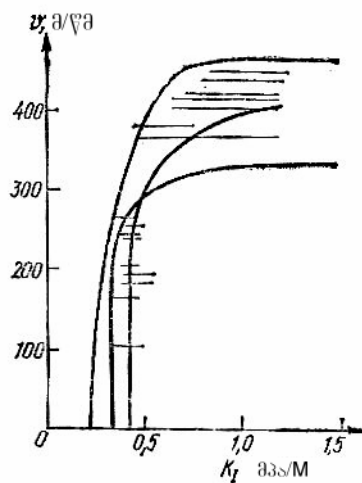
წინასწარმეტყველებანი. პრაქტიკულად ყველა ცნობილი მასალისათვის, რომლებზედაც მოაწყვეს სხვადასხვა დინამიური დატვირთვები, ბზარის მოძრაობის მაქსიმალურმა სიჩქარემ ვერ გადააჭარბა  $0,5 c_R$  -ს. ყველაზე მყიფე მასალისათვის დამახასიათებელია რღვევის პროცესის შემდეგი სურათი. ბზარის შედარებით ნელა მოძრაობისას ( $v \approx 0,1; \dots 0,2c_R$ ) დაძაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის მცირე ცვლილებებმაც კი შეიძლება გამოიწვიოს მისი მოძრაობის სიჩქარის მნიშვნელოვანი ცვლილებები. უკანასკნელის ზრდის კვალობაზე კავშირი  $K_{II}$  და  $v$ -ს შორის სულ უფრო ნაკლებად შესამჩნევი ხდება და მთლიანად ქრება მაქსიმალური სიჩქარის მიღწევისას. დაძაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის შემდგომი ზრდა იწვევს მნიშვნელოვან ხარისხობრივ ცვლილებებს მასალის რღვევის პროცესის ხასიათში. ამაზე მეთყველებს ბზარის ზედაპირის მნიშვნელოვანი დაუხვეწელობა, მიკროგანშტოებების წარმოქმნა.

ჩვეულებრივი შედეგი ასეთი პროცესისა არის ერთის ნაცვლად ორი (და მეტი) რღვევის ფრონტის წარმოქმნა, ე.ი. ბზარის განშტოება.

ბზარის სიჩქარის ზრდასთან დაკავშირებული მისი ზედაპირის დაუხვეწელობის ზრდა დამაჯერებლად მეთყველებს სხეულის ახალი ზედაპირების წარმოქმნის პროცესზე დახარჯული რღვევის ხვედრითი ენერგიის გაზრდაზე. ეს ამოკიდებულების არსებობა არის ძირითადი მიზეზი, რომელიც ზღუდავს ბზარის მოძრაობის სიჩქარის ზღვრულ მნიშვნელობას. პრინციპიალური მნიშვნელობა აქვს საკითხს. არის თუ არა სიდიდე  $K_{II,C}$  მოცემული მასალისათვის ფუნქცია მხოლოდ ერთი არგუმენტის – ბზარის ზრდის სიჩქარის, თუ დამოკიდებულია სხვა ფაქტორებზე. მაგალითად ბზარის მოძრაობის აჩქარებაზე დატვირთვის მოდების წესზე, ნიმუშის ტიპზე და ა.შ. პირველი შემთხვევისათვის დღეისათვის არსებობს ექსპერიმენტალური მეთოდები და მათი პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ როგორც დამოკიდებულების  $K_{II,C}$  აგება, ისე მის საფუძველზე წინასწარმეტყველება ბზარებიანი კონსტრუქციების ელემენტების რღვევის კინეტიკისა ნებისმიერი დატვირთვის მოქმედებით.



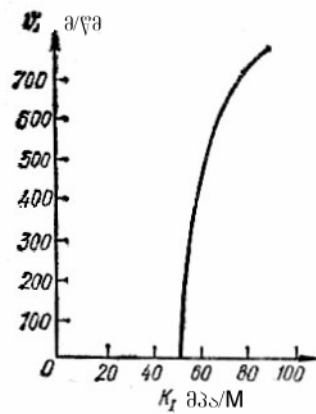
ნახ. 2.14 ბზარის მოძრაობის სიჩქარის  
თეორიული დამოკიდებულება მის წვეროში  
დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტზე



ნახ. 2.15 დინამიური ბზარგამძლეობის კავშირის შესახებ  
მოძრავი ბზარის სიჩქარის გამოკვლევების შედეგები.

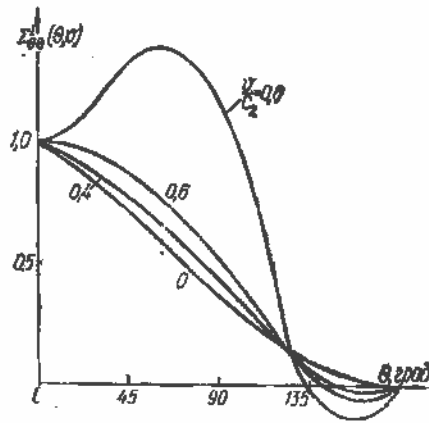
ნახ. 2.15-ზე ნაჩვენებია  $K_1$  სიდიდის დამოკიდებულება ბზარის მოძრაობის სიჩქარეზე  $v$ , მიღებულ სხვადასხვა ავტორების მიერ მყიფე მინისებრი მასალის გომალიტ-100-თვის, სხვადასხვა ტიპის ნიმუშებზე და სხვადასხვა მეთოდით. ყველა  $r$  -სებური მრუდები აგებულია ნიმუშზე დატვირთვის კვაზისტატიკური მოდებით (გავარვარება, ნიმუშის გაჭიმვა ბლაგვი ნაჭრით), როცა ბზარის ზრდა ხდება ენერგეტიკული «შიმშილის» პირობებში. ჰორიზონტალური სწორების მონაკვეთები შეესაბამებიან ექსპერიმენტების შედეგებს, რომლებშიც ინტენსიური იმპულსური დატვირთვა ედებოდა უშუალოდ ბზარის ზედაპირზე. ასეთი ტიპის

დატვირთვისას ბზარის სიჩქარე ცალსახად განისაზღვრება მისი სტარტის პირობებით და დამოკიდებული არაა დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე. ნახ. 2.15-ზე ნაჩვენებია შედეგები გვიჩვენებენ, რომ გამოსაკვლევი მასალისათვის არ არსებობს ერთიანი დამოკიდებულება  $K_I (v)$  დეფორმირების სიჩქარეების ფართო დიაპაზონში. ასეთი დამოკიდებულება შეიძლება გამოყენებულ იქნას მხოლოდ დატვირთვის კვაზისტატიკური მოდების პირობებით, ამასთან ექსპერიმენტალური მონაცემების გაზნევის ბოლო  $K_I (v)$  დამოკიდებულების აგების მყიფე პლასტმასების და მაღალი სიმტკიცის ფოლადების სხვა ტიპებისათვის. საუკეთესო შედეგები ამ მიმართულებით მიღწეულია ლითონებისათვის, რომლებიც იშლებიან მიკროფორების ზრდისა და შერწყმის მექანიზმით. ასეთი ხასიათი აქვს ბზარების ზრდას, მაგალითად ფოლადში 4340, რომლისთვისაც დამოკიდებულება  $K_I (v)$  მოყვანილია ნახ. 2.16-ზე, ხოლო ნახ.2.17-ზე დამაბულობის კუთხური განაწილების დამოკიდებულება ბზარის ზრდის სიჩქარეზე.



ნახ. 2.16. დინამიური ბზარგამძლეობის  $K_I$  დამოკიდებულება სიჩქარეზე ფოლადისათვის 4340

განტოლება (2.51) მიღებულია ირვინის კრიტერიუმების გავრცელებით შესაბამის დინამიკურ ამოცანებზე და გადადის მასში  $\nu \rightarrow 0$  დროს. აშკარაა, რომ ასეთივე სახით შეიძლება «გავადინამიუროთ» სხვა კრიტერიუმებიც, რომლებიც გამოიყენება რღვევის სტატიკურ მექანიკაში, მაგრამ ასეთი მიდგომები კიდევ საჭიროებს დაზუსტებას და პრაქტიკულ შემოწმებას.



ნახ. 2.17. დამაბულობის  $\sigma_{00}$  კუთხური განაწილების  $\Sigma_{00}$  დამოკიდებულება ბზარის ზრდის სიჩქარეზე

კრიტერიუმები ბზარის ზრდის მიმართულების განსაზღვრისათვის მჭიდროდ არის დაკავშირებული მისი მოძრაობის სიჩქარის კრიტერიუმებთან. თუ ავირჩევთ ბზარის მოძრაობის განტოლებას (2.54) სახით, ბუნებრივია ვივარაუდოთ, რომ მისი ზრდის მიმართულება დროის ყველა მომენტში განპირობებულია წრიული დამაბულობის  $\sigma_{00}$  კომპონენტის მაქსიმუმით კოორდინატთა ლოკალურ სისტემაში, რომელიც მოძრაობს ბზარის წვერთან ერთად (იხ. ნახ. 2.13). ეს ვარაუდი ექვივალენტურია დასკვნისა, რომ ბზარის განვითარება იზოტროპულ მასალაში ხდება მხოლოდ ნორმალური კვეთის მექანიზმის მიხედვით. დღეისათვის ამ მოვლენის გამოკვლევების საფუძველზე ჯერ კიდევ ძნელია ვიმსჯელოთ აღნიშნული ვარაუდის მართლზომიერებაზე, რამდენადაც ფოტოდრეკადობის მეშვეობით განსაზღვრული არამდგრადი ძვრის დამაბულობის ინტენსიურობის დინამიური კოეფიციენტი  $K_{III}$  ხშირად იმყოფება ამ მეთოდის ცდომილების საზღვრებში. გამოკვლევათა უმეტესობა რღვევის დინამიურ მექანიკაში ტარდება ნორმალური კვეთის ბზარებიანი ნიმუშების ერთღერძიანი გაჭიმვებისას. ამ შემთხვევაში ივარაუდება ბზარის სწორხაზობრივი ზრდა მის სიბრტყეში. ამასთან ბზარის ზრდის უმაღლესი სიჩქარეების მიღწევისას ხშირად ხდება მოვლენა, რომელსაც ეწოდება ბზარის განშტოება.

განშტოების პირველი თეორიული ახსნა მოგვცა ე. იოფემ მაქსიმალური წრიული დამაბულობის კრიტერიუმის საფუძველზე. დამაბულობის კომპონენტებისათვის ასიმპტომატური გამოსახულების განხილვისას მოძრავი

ბზარის წვერთან (2.52), (2.53) აღინიშნებოდა, რომ ამ სიდიდეების კუთხური განაწილება დამოკიდებულია ბზარის გავრცელების სიჩქარეზე. ნახ. 2.17-ზე ნაჩვენებია ე. იოფეს მიერ ნორმალური კვეთის ბზარისათვის ფუნქციის  $\sum_{\theta\theta}^T$  (იხ. ფორმულა (2.52)) გამოკვლევის შედეგები. ბზარის მიერ ზრდის სიჩქარის 0,61<sub>c2</sub> მილწევის შემდეგ წრიული დამაბულობების მაქსიმუმი გადაადგილდება ბზარის სიბრტყიდან, რაც ქმნის მისი ზრდის პირდაპირი მიმართულების მდგრადობის დაკარგვის წინაპირობას. სიჩქარის შემდგომი გაზრდის კომპონენტი  $\sigma_{\theta\theta}$  -ის სინგულარულ ნაწილს ექნება მაქსიმუმი  $\theta \approx 60^\circ$  -ის დროს, ამიტომ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ყოველი განშტოება გადაიხრება ძირითადი ბზარიდან სწორედ ამ კუთხით. მაგრამ პრაქტიკაში განშტოება ხდება ბზარის ნაკლები სიჩქარეების დროს და კუთხე განშტოებებს შორის ჩვეულებრივად შეადგენს 10-45°

ვ. ფინკელმა. ჯ. კონგლტონმა, ვ. კნაუსმა, კ. რავი-ჩანდარმა და სხვებმა აჩვენეს, რომ ბზარის გავრცელებას ყოველთვის წინ უსწრებს მის წვეროსთან მიკროარამთლიანობების თავმოყრა (ფორების, მიკრობზარების და ა.შ.). ისინი ქმნიან თავისებურ «მონიშვნას», რომელიც განსაზღვრავს ბზარის შემდგომ ზრდას. ბზარის ზრდის სიჩქარის მატებასთან და აქედან გამომდინარე, მის წვერთან დამაბულობის ინტენსიურობის ზრდასთან ერთად იმატებს როგორც მიკროდეფექტების რაოდენობა რღვევის წინა ზონაში, ისე მათი ზომები. ამ გზით წარმოშობილი დაზიანებების «არამთლიანობების» საერთო რაოდენობა აჭარბებს ბზარის განვითარებისთვის საჭირო მინიმუმს, ამასთან მიკროდეფექტები წარმოიქმნება არა მარტო ბზარის სიბრტყეში, არამედ მის გარეთაც, რაც იწვევს რღვევის ზედაპირის უსუფთაობას. საბოლოოდ იქმნება სიტუაცია, რომლის დროსაც მეორადი მიკრობზარიდან (ხოლო განსაკუთრებით ინტენსიური დატვირთვისას – რამდენიმესაც კი) შეუძლია განვითარდეს თავისთავად მაკრობზარად – ხდება განშტოება. ამ მოვლენის პირდაპირი მოდელირება მოცემული წარმოდგენის საფუძველზე ძალიან ძნელია, ხოლო მთლიანი გარემოს მექანიკის კონტინუალური მოდელების ჩარჩოებში ალბათ, არაკორექტულია, რამდენადაც ბზარის წვეროს წინ წარმოქმნილი მიკროდეფექტების დამახასიათებელი ზომები შეედარება მასალის სტრუქტურის პარამეტრებს. პრაქტიკული გამოყენებისათვის უფრო მისაღები შეიძლება გახდეს გამარტივებული მიდგომა, რომლის დროსაც მაგისტრალური ბზარისა და მეორადი მიკროდეფექტების

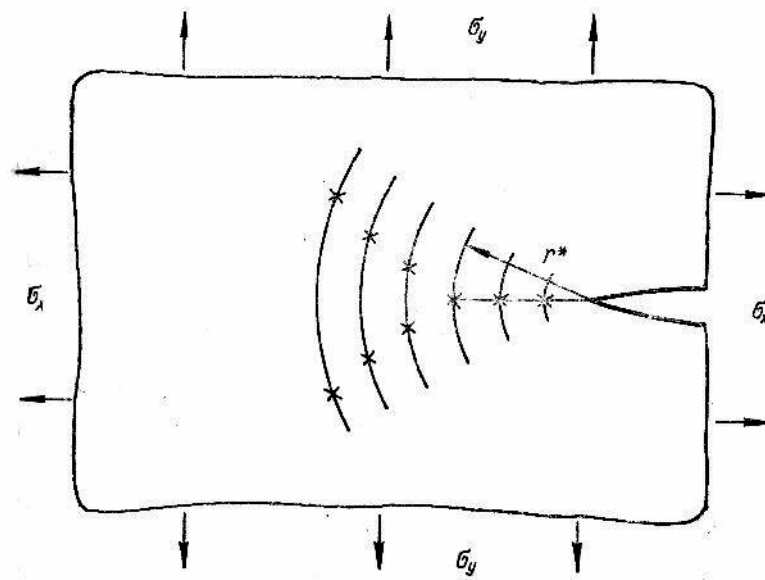


თავმოყრის ურთიერთქმედების რთული პროცესები ინტეგრალურად აისახება ერთ ან რამდენიმე პარამეტრზე, რომლებიც ახასიათებენ დამაბულობის ველს მასალის მოცულობაში რღვევისწინა ზონის გარშემო. რღვევისწინა ზონის მნიშვნელოვანი სიდიდე განშტოების წინ აუცილებელს ხდის ერთიანიდან მრავალპარამეტრიან წარმოდგენაზე დამაბულობის კომპონენტებისას ბზარის წვეროსთან. ასე, წრიული დამაბულობის კომპონენტი ტიპი I (ნორმალური კვეთა) ბზარისათვის შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგნაირად:

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{K_{III}(t)}{\sqrt{2\pi r}} \sum_{\theta\theta}^I(\theta, \nu) + \sigma_{0x} \Omega_{\theta\theta}^I(\theta, \nu) + o(\sqrt{r}), \quad (2.56)$$

სადაც  $\sigma_{0x}$  დამაბულობის რეგულარული კომპონენტი, რომელიც მოქმედებს ბზარის ხაზის პარალელურად,  $\Omega_{\theta\theta}^I$  ცვლადების  $\theta, \nu$  ფუნქციაა;  $o(\sqrt{r} - \sqrt{r}(r \rightarrow 0))$

თუ ვივარაუდებთ, რომ ბზარის განვითარება ხდება კუთხით მისი ზრდის საწყისი მიმართულებებისადმი, რომლის დროს  $\sigma_{\theta\theta}$  აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, მაშინ ეს კუთხე იქნება განსახილველი წერტილიდან ბზარის წვერომდე მანძილის ფუნქცია. გამოსახულების (2.56) ანალიზი ასეთი მიდგომისას გვიჩვენებს, რომ როცა  $\sigma_{0x} > 0$ , არსებობს მნიშვნელოვანი  $r^*$ , რომლის დროს ყველა  $r < r^*$ -სთვის გადაადგილება რაღაც  $\theta$  კუთხით (ნახ. 2.18)



ნახ. 2.18  $\sigma_{\theta\theta}(X)$  მაქსიმუმის განლაგების სქემა  
ბზარის წვეროდან სხვადასხვა დაშორებისათვის

რღვევის წრფივ მექანიკაში ფართოდ გამოიყენება ფ. მაკიკლინტოკისა და ჯ. ირვინის მიერ შემოთავაზებული კრიტერიუმები, რომლის თანახმად ბზარის განვითარება ხდება, როცა დამაბულობა ამ მასალისათვის მუდმივ  $r_c$  დაშორებაზე ბზარის წვერიდან გადააჭარბებს კრიტიკულ მნიშვნელობას. რღვევის ხაზობრივი მექანიკასთან შეფარდებით ეს კრიტერიუმი გაიგივებულია ირვინის ჩვეულებრივ ძალის კრიტერიუმებთან.

განსახილველი შემთხვევისათვის  $r_c$ -ს შემოტანა კრიტერიალური პარამეტრების რიცხვში გამოყენებულ იქნა ა. კობაიასის და მ. რამულუს მიერ შესაბამისი კრიტერიუმის პოსტულირებისათვის.

1. ნორმალური კვეთის ბზარის გამრუდება მისი ტრეპეტორიის იმ წერტილში, სადაც სრულდება პირობა  $r_c \gg r^*$ , ამასთან გადახრის კუთხე  $\theta$  იქნება  $r_c$  მანძლის ფუნქცია;

2. ბზარის წინსვლისთვის აუცილებელია მის წვერში ინტენსიურობის კოეფიციენტის მიერ მიღწეულ იქნას რაღაც კრიტიკული მნიშვნელობა, რომელიც ნაკლებია ან უდრის ინტენსიურობის დინამიური კოეფიციენტის  $K_{1D}$  მნიშვნელობას.

ბზარის განტოლებასთან მიმართებაში პირობა (1) საკმარისია, ხოლო პირობა (2) – აუცილებელი. მოგვიანებით იმავე ავტორების მიერ შემუშავებულ იქნა ზემოთაღწერილი კრიტერიუმის მოდიფიკაციები შერეული ტიპის მოძრავი ბზარისათვის, მაგრამ ყველა შემთხვევაში არსებითად ითვლებოდა დამაბულობის კომპონენტების ორპარამეტრიანი წარმოდგენა ბზარის წვერთან. კრიტერიუმის ფაქტიურმა აპრობაციამ გვიჩვენა, რომ მიუხედავად მისთვის დამახასიათებელი ზოგიერთი ნაკლოვანებისა, ის მთელ რიგ შემთხვევებში გვაძლევს საკმაო სიზუსტით გადახრის კუთხის (განშტოება) პროგნოზირების საშუალებას.

## 2.4 ბზარის ზრდის შეჩერების პრინციპები

როგორც ცალკეული ელემენტების ისე მთლიანად კონსტრუქციის რღვევის თავიდან აცილება ერთ–ერთი ძირითადი მიმართულებაა პრაქტიკაში რღვევის მექანიკის, კერძოდ დინამიური შედეგების გამოყენებისა. რეალური კონსტრუქციების უმეტესობისათვის დინამიური რღვევის ძირითადი გამოვლინებაა მოულოდნელი ნახტომები ან არსებული ან დამაბულობის კონცენტრატორებთან მხოლოდ ახლო

წარმოქმნილი ბზარებისა. ასეთი ნახტომებისათვის დამახასიათებელი თავისებურებაა ის, რომ ისინი წარმოიშობიან მთლიანად კონსტრუქციების პრაქტიკულად მუდმივი კვაზისტატიკური დატვირთვებისას. ამიტომ საწყისი დასმის ასეთ ორგვარობას მივყავართ იქეთკენ, რომ ბზარის გაჩერების წერტილის წინასწარ განსაზღვრისათვის გამოიყენება ორი მდგომარეობა. პირველი დამყარებულია დინამიური ეფექტების გავლენის უგულვებელყოფაზე. ივარაუდება, რომ ბზარის სიგრძე  $l_G$  მისი გაჩერების მომენტში შეძლება განვსაზღვროთ სუფთად სტატიკური ანალიზით, ბზარის ტრაექტორიის ისეთი წერტილის მოძებნით, რომელშიც შესრულდება პირობა

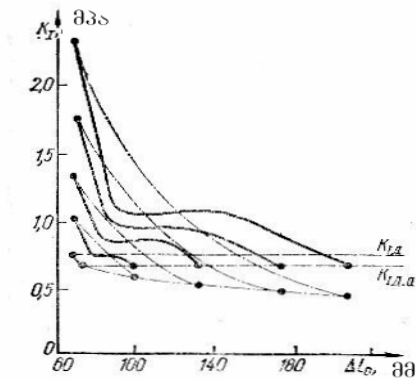
$$K_I(l_C) \leq K_{Ia} \quad (2.57)$$

სადაც  $K_I$  მასალის მუდმივია, რომელიც როგორც  $K_{IG}$  დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე. ასეთი მიდგომის მომხრეები მის მართლზომიერებას ხსნიან იმით, რომ როგორც გვიჩვენებენ ექსპერიმენტების შედეგები, თუმცა ნახტომის პირველ ორ მესამედს ბზარი გადის მაღალი სიჩქარით და დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის მაღალი დინამიური მნიშვნელობით და, აქედან გამომდინარე ის ამ დროს მის წვერში უნდა არსებითად განსხვავდებოდეს შესაბამისი სტატიკური მაჩვენებლებისაგან, მაგრამ თავისი გზის ბოლო მესამედზე (გაჩერებამდე) ბზარი მოძრაობს გაცილებით ნელა, ხარჯავს რა ამაზე მთელი ნახტომის დროის დაახლოებით სამ მეოთხედს. ბზარის მოძრაობის ამ დამამთავრებელ ფაზაში მისი სიჩქარის გავლენა დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტზე იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება ის უგულვებელვყოთ.

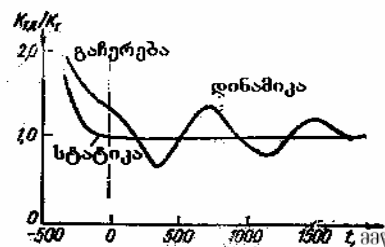
მეორე მიდგომის მომხრეები აღნიშნავენ, რომ ამ ამოცანის დინამიურხასიათი გამომდინარეობს არა იმ აუცილებლობიდან, რომ დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის განსაზღვრისას უნდა გავითვალისწინოთ შესწორება ბზარის სიჩქარეზე, არამედ იქედან რომ არსებითად იცვლება მასალის დამაბულობის მდგომარეობა მასში ბზარის მოძრაობით გამოწვეული დრეკადი ტალღების გაგრძელებით. ტალღური პროცესები ცვლიან ბზარზე მოდებული დატვირთვის როგორც მნიშვნელობას ისე ხასიათს მით უფრო ძლიერად, რაც უფრო დიდია მისი ნახტომი და რაც უფრო ახლოა ბზართან განსახილველი სხეულის საზღვარი. ამ შემთხვევაში ბზარის შეჩერების პირობა შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს

$$K_{1D} \leq (K_{1c})_{\min} \quad (2.58)$$

სადაც  $(K_{1c})_{\min}$  მასალის დინამიური ბზარგამძლეობის  $K_{1DC}$  მინიმალური მნიშვნელობაა. ნახ. 2.19 –ზე ნაჩვენებია ი. კალხოფეტის ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც ჩატარდა ეპოქსიდური ფისის არაოლდიტ B–გან დამზადებული ორკონსოლიანი კოჭის ნიმუშზე. ექსპერიმენტის დროს კაუსტიკის მეთოდით ზეჩქარი კინოგადაღების დახმარებით განისაზღვრებოდა დაძაბულობის ინტენსივობის დინამიური კოეფიციენტი  $K_{1D}$  ბზარისათვის, რომელიც წარმოიშობოდა ნიმუშის გავარვარების შედეგად ბლაგვი ჩაჭრით.



ნახ. 2.19 დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის დინამიური (—) და ექვივალენტური სტატიკური (---) ცვლილებების შედარება ბზარის ნახტომის სიგრძესთან  $\Delta l_0$  დამოკიდებულებაში ორკონსოლიანი კოჭისათვის.



ნახ. 2.20. რხევები  $K_{1D}$  ბზარის შეჩერების შემდეგ

მიღებული შედეგები (ნახ.2.19) გვიჩვენებენ, რომ  $K_{1D}$ –ს მნიშვნელობა ბზარის შეჩერების მომენტში  $K_{1D}=K_{1D0}$  პრაქტიკულად ერთნაირია ყველა გამოცდილი

ნიმუშისათვის, მაშინ როცა შესაბამისი დამაბულობის ინტენსივობის სტატიკური კოეფიციენტი მცირდება ნახტომის სიდიდის ზრდასთან ერთად. პროცესების დინამიურ ხასიათზე, რომლებიც მიმდინარეობენ ბზარის გაჩერებისას, მეტყველებს აგრეთვე ამის შემდეგ დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის მნიშვნელოვანი რხევები (ნახ.2.20).

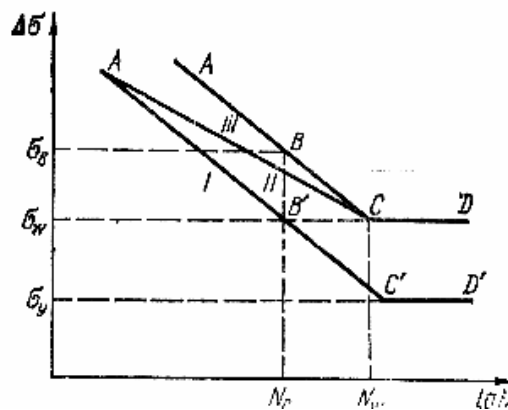
განსხვავება შედეგებში, რომლებიც მიღებულია ზემოთ აღწერილ მიდგომებში მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ექსპერიმენტის ჩატარებისას გამოყენებული ნიმუშის ტიპზე. ისინი განსაკუთრებით არსებითია ორკონსოლიანი კოჭისათვის, ნაკლებად შესამჩნევია კომპაქტური ნიმუშისთვის და თითქმის სრულიად ქრება კალტხოფის მიერ შემოთავაზებულ ნიმუშში, რომელშიც მიღებულია სპეციალური ზომები ნიმუშის საკუთარი რხევების მოშორებისათვის და ბზარზე საზღვრებიდან არეკლილი ტალღების გავლენის შემცირებისათვის.

მხოლოდ სრული აღწერა ბზარის ნახტომისებური გავრცელების პროცესის დინამიური ხასიათისა გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ ჭეშმარიტებასთან ახლო მდგომი სურათი სხეულის დამაბულ–დეფორმირებული მდგომარეობისა. მაგრამ ამასთან მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ შესაბამისი თეორიული ანალიზის ჩატარება დღეისათვის წარმოადგენს ძალიან რთულ ამოცანას. სტატიკური ანალიზი გაცილებით იოლია, ხოლო ამ დროს მიღებული შედეგების სიზუსტე ბევრ შემთხვევაში საკმარისია სიმტკიცეზე საინჟინრო გათვლებისათვის იმ პირობით, რომ ბზარის ნახტომის სიდიდე მცირეა განსახილვევლი კონსტრუქციის ელემენტის ზომებთან და მის უახლოეს ზედაპირთან ბზარის დაშორებასთან შედარებით.

## **2.5 ლითონების დაღლილობისაგან რღვევის ზოგადი კანონზომიერებანი და დაღლილობისაგან ბზარების განვითარება**

ლითონების რღვევას ციკლური (დროში ცვლადი ზომის ან ზომის და ნიშნის მიხედვით) დატვირთვების შედეგად უწოდებენ დაღლილობისაგან რღვევას. ეს აქტი ხდება არა მყისიერად, დამაბულობების ზღვრული მნიშვნელობების მიღწევის გამო, არამედ იგი დაზიანებათა დაგროვების ხანგრძლივი პროცესია: ბზარების ტიპის არამთლიანობების დაგროვება და განვითარება . გარდა ამისა მისი განმასხვავებელი

განსაკუთრებულობა არის ის, რომ ლითონების დაღლილობა შეიმჩნევა დაძაბულობების დროს, რომლებიც შეიძლება იყოს ლითონების დენადობის ზღვარის როგორც ზემოთ ისე მის ქვემოთ. მიღებულია მასალების დაღლილობისაგან რღვევის პროცესის გაყოფა სამ ეტაპად: I – საინკუბაციო, II–ბზარის ჩასახვა და III– მისი კრიტიკულამდე განვითარება (თუმცა ზოგიერთები გამოყოფენ IV სტადიას– მტვრევამდე), რაც სქემატურად გამოსახულია ნახ.2.21–ზე, სადაც  $\sigma_w$  არის დაღლილობის ზღვარი;  $N_w$  – ციკლების რაოდენობა რღვევამდე დაღლილობის ზღვრის ტოლი დაძაბულობისას;  $N_c$  – ციკლების კრიტიკული რაოდენობა, რომლის მიღწევის შემდეგ დაღლილობის ზღვრის ტოლი დაძაბულობისას იწყება სუბმიკროსკოპული ბზარების წარმოქმნა;  $\sigma_c$  – დაღლილობის კრიტიკული დაძაბულობა, რომლის დროს რღვევა იწყება  $N_c$  ციკლის განმავლობაში;  $\sigma_y$  – დრეკადობის ციკლური ზღვარი, რომლის დროს არ წარმოიშობა შეუქცევადი დამახინჯებები კრიტიკული ბადისა, როგორც დიდიც არ უნდა იყოს დატვირთვის ციკლების რაოდენობა.



ნახ.2.21 დაღლილობისაგან რღვევის დიაგრამა,

შემოთავაზებული ვ. ივანოვასაგან

დაღლილობისაგან რღვევის ჩასახვისათვის (ბზარების გაჩენა) ყოველთვის აუცილებელია ერთგვარი პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც გამოვლინდება სრიალის ზოლების სახით, რომლებიც ამოდიან დეფორმირებადი სხეულის ზედაპირზე. ამას ადასტურებენ არა მარტო პირდაპირი არამედ ირიბი ვიზუალური დაკვირვებები. მაგალითად, უდეფექტო მონოკრისტალები არ ექვემდებარებიან დაღლილობისაგან რღვევას ძალიან მაღალი დაძაბულობების დროს თუ ისინი ამის წინ არ იქნენ პლასტიკურად დეფორმირებული. სრულად ეთანხმება ასეთ

წარმოდგენებს ის ფაქტიც, რომ ზედაპირული ფენის დამუშავებას იმ მიზნით რომ მას მივანიჭოთ მაღალი წინაღობა სრიალისადმი (პლასტიკური ძვრებისადმი) ყოველთვის მივყავართ დაღლილობითი სიმტკიცის ამაღლებასთან. თუმცა ამას ეწინააღმდეგებოდა ბევრი ფაქტი ბზარის ჩასახვისა ზედაპირის ქვეშ, განსაკუთრებით მაღალი სიმტკიცის ფოლადებში. მაგრამ შემდგომში ბევრი მათგანი ახსნილი იქნა ზედაპირის ქვეშ არსებული აშკარა დეფექტებით: სიცარიელებით, ლოკალური დაძაბულობებით. სრიალის რიგების წარმოქმნა არ შეიძლება განხილულ იქნას თავისთავად როგორც თვითონ რღვევა, თუნდაც იმიტომ, რომ ეს პროცესი შექცევადია, თუმცა თხოულობს ჩვეულებრივად აქტივაციას გარკვეული ენერჯის დაბრუნებისათვის (გათბობის გზით). ამიტომ ამ სტადიას, რომელიც იკავებს შედარებით მცირე დროს, უწოდებენ დაღლილობისაგან რღვევის ინკუბაციურ, ან მოსამზადებელ სტადიას (უბანი I, ნახ.2.21–ზე).

სუბმიკრო ბზარების წარმოქმნა სრიალის ზღვრებში, ბლოკების საზღვართან, მარცვლებსა და ორეულებთან, მეორე ფაზის ნაწილაკებთან და ა.შ. დისლოკაციის და ვაკანსიის შერწყმით, აგრეთვე გახლეჩების წარმოქმნით, რომლებიც განპირობებულია დაძაბულობის კონცენტრაციით არის მეორე სტადია დაღლილობისაგან რღვევის – სტადია ლითონების გაფხვიერების (უბანი II, ნახ.2.21) ამ სტადიაზე მიკრობზარი ფორმირდება და ვითარდება ძლიერ დარღვეული მიკროსტრუქტურებიანი მოცულობებისაგან, თანდათანობით ის ხდება დომინანტი დეფექტი მასალის ამ ნაწილში (სულ მცირე მოცემული მარცვლის მოცულობაში) . მიკრობზარის განვითარებას ამ სტადიაზე აქვს თავისი გარკვეული მექანიზმი და იმართება თავისი კანონზომიერებებით. პროცესი მიმდინარეობს სულ უფრო არათანაბრად–სუბმიკრო ბზარები იზრდებიან და ერთდებიან, გარდაიქმნებიან რა მიკრო ბზარებად, ისე რომ რაც უფრო დიდია მიკრობზარის ზომა, წარმოიშობა მით უფრო ნაკლები სუბმიკრო ბზარები. ამრიგად მეორე სტადიას ახასიათებს მთლიანობის დარღვევა (სუბმიკრო და მიკრო ბზარები), რომლის ზომები ერთი რიგისაა მასალის სტრუქტურის ელემენტების (მარცვლების, ბლოკების, ჩართვების) ზომების.

მესამე სტადია (უბანი III, ნახ.2.21) იწყება მაშინ, როცა ერთი მიკრობზართაგანი, რომელიც იმყოფება ყველაზე ხელსაყრელ პირობებში, კვეთს ერთი, შემდეგ კი რამდენიმე მარცვლის საზღვარს და გადაიზრდება მაკრობზარში, რღვევა რომელიც დასაწყისში იყო ასე თუ ისე თანაბრად განაწილებული

დეფორმირებად მასალაში (ძირითადად მის ზედაპირთან ახალ ფენაში) თანდათან კონცენტრირდება და ბოლოს სრულად ლოკალიზდება დომინანტურ მაკრობზართან, რომლის განვითარება არსებითად არის კიდევაც სხეულის დაღლილობისაგან რღვევა (მისი მესამე სტადია).

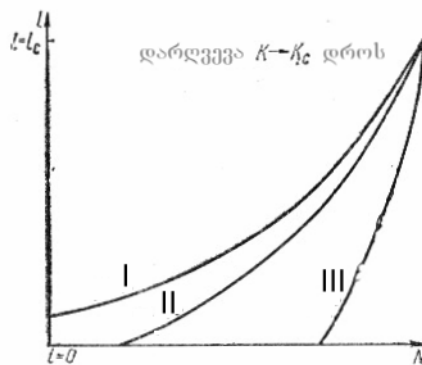
ამრიგად, მასალის დაღლილობისაგან რღვევის შემდგომი პროცესი დამოკიდებულია ფორმირებული მაკრობზარის განვითარებაზე. ის კონტროლირდება არა დამაბულ დეფორმირებული მდგომარეობის ლოკალური პირობებით ბლოკის ან მარცვლის საზღვრებში, არამედ მასალის უფრო ზოგადი ინტეგრალური მახასიათებლებით. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვილაპარაკოთ რაღაც ერთგვაროვან გარემოზე, რომელსაც აქვს რეალური მასალის მაკრომოცულობა, განსაზღვრული მისი ჩვეულებრივი გამოცდის გზით. დამახასიათებელია, რომ მიკროდან–მაკრო ბზარებზე პირველი ჩაისახება და ვრცელდება უპირატესად სრიალის სიბრტყეში, მაქსიმალური მხები დამაბულობების სიბრტყეებთან ახლო მიმართულებებით, მაგრამ შემდგომში აღწევს რა გარკვეულ სიგრძეს, ის მეტნაკლებად მდორედ იცვლის მიმართულებას და ვრცელდება (უკვე მაკრომასშტაბებში) სიბრტყეებში, რომლებიც პერპენდიკულარულია მაქსიმალური ნორმალური დამაბულობებისა. გადასვლის მომენტი და დეტალები დამოკიდებულია მასალის სტრუქტურაზე და თვისებაზე, დამაბული მდგომარეობის სახეზე, გარემოზე და ა. შ. თუმცა ზუსტი საზღვრის გავლება მიკრო და მაკრო ბზარებს შორის არ შეიძლება, ზემოთმოყვანილი ნიშნების ერთობლიობა დამაჯერებლად მეტყველებს იმაზე, რომ მაკრობზარის წარმოქმნა მოასწავებს დაღლილობისაგან რღვევის პრინციპიალურად ახალი სტადიის დაწყებას. მესამე სტადია მთავრდება მაშინ, როცა მაკრობზარი აღწევს კრიტიკულ ზომას.

შემდგომში ბზარი იზრდება სპონტანურად სხეულის დეფორმაციის ენერჯის ხარჯზე მის ნაწილებად სრულ დაყოფამდე. ამ მეოთხე სტადიის ხანგრძლივობა ჩვეულებრივად მცირეა წინასთან შედარებით და ამიტომ მას ხშირად არ იღებენ მხედველობაში. ბზარის ჩასახვისა და განვითარების პერიოდების ხანგრძლივობა იცვლება ფართო საზღვრებში (ზოგიერთი შეფასებით საერთო ხანგრძლივობა 30–დან 90%–მდე), რომელიც დამოკიდებულია მასალაზე, სხეულის გეომეტრიაზე და დატვირთვის პირობებზე. ნახ.2.21–ზე წარმოდგენილი დამოკიდებულებები გვიჩვენებს, რომ მასალის შეზღუდული ხანგრძლივობის უბანში დამაბულობის



დონის გაზრდით მაკრობზარის გავრცელების სტადიის ხანგრძლივობა ხდება განსაზღვრული.

ასეთია მასალების გლუვი (კონცენტრატორების გარეშე) ნიმუშების დადლილობისაგან რღვევის განვითარების ზოგადი კანონზომიერებანი, მაგარმ მანქანების და მექანიზმების ბევრ დეტალს აქვს დამაბულობის კონსტრუქციული კონცენტრატორები. ალბათ, ასეთი ნაკეთობების ციკლური დატვირთვისას კონცენტრატორის ფუძესთან ხდება იგივე პროცესები რაც გლუვი ნიმუშის ზედაპირზე, მაგარმ მცირე გარე დამაბულობების დროსაც კი ბზარის ჭრილის წვერთან მათი დიდი კონცენტრაციის გამო უკვე შედარებით მცირე რაოდენობის ცვლილების შემდეგ ჩაისახება დატვირთვები. გარდა ამისა ბზარების ტიპის დეფექტები შეიძლება წარმოიშვას მასალაში სხვადასხვა ტექნოლოგიური ოპერაციების შედეგად (თერმოდამუშავება, გაგლინვა, მექანიკური დამუშავება და სხვა). ასეთი დეფექტები შეიძლება იყოს შედულების ნაკერებში. ამიტომ დადლილობის პროცესის სტადიურობის თვალსაზრისით არსებობს სამი ხერხი დადლილობითი ხანგრძლივ სიცოცხლის (ნახ.2.22.): 1) I ტიპი უკვე არსებობს მცირე ბზარი, სამსახურის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ბზარის გავრცელების პერიოდით; 2) II ტიპი – ბზარის ჩასახვა სიცოცხლის ხანგრძლივობის მცირე ნაწილს, დანარჩენს – ბზარის განვითარების პერიოდს, 3) III ტიპი – სიცოცხლის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ძირითადად ბზარის ჩასახვის პერიოდით და მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილს იკავებს მისი ზომა. აქედან გამომდინარე საინჟინრო პრაქტიკის თვალსაზრისით ბევრ მნიშვნელოვან შემთხვევაში დადლილობითი ბზარის კრიტიკულამდე ზრდის ხანგრძლივობა განსაზღვრავს კონსტრუქციის სიცოცხლის ხანგრძლივობას, ე.ი. დადლილობითი ბზარების გავრცელების სიჩქარე არის მნიშვნელოვანი დახასიათება მასალის მექანიკური თვისებების, რომელიც აუცილებელია ბზარების განვითარების პროცესის ანალიზის და სიცოცხლის ხანგრძლივობის გამოთვლისათვის, აგრეთვე მასალების შერჩევისათვის მოცემულ პირობებში მუშაობისათვის.



ნახ. 2.22 დაღლილობითი რღვევის განვითარების ძირითადი სქემები

## 2.6 ანალიზური მიდგომები დაღლილობითი ბზარების გავრცელების თეორიაში

კონსტრუქციის ელემენტის მუშაობის დრო, რომელშიც ვრცელდება დაღლილობითი ბზარი ერთ სიბრტყეში, ხასიათდება დატვირთვის ციკლების რაოდენობით  $N$ , ხოლო დაღლილობითი ბზარის მოძრავი კონტურის გეომეტრიული კონფიგურაცია  $k$  – რადიუსვექტორით  $r$  და კოორდინატული კუთხით  $\varphi$  (ნახ.2.23) თუ ჩავთვლით რომ მნიშვნელობა  $N$  დიდია, ხოლო რადიუსვექტორის ნაზრდი  $\Delta r$  ერთი ციკლის მანძილზე ძალზე მცირეა, სიდიდეებს  $r = |r|$  და  $N$  განვიხილავთ როგორც უსასრულოდ მცირეს. ბზარის გავრცელების სიჩქარე  $V$  წარმოგვიდგება ფორმულით

$$v = \frac{\partial r}{\partial N} \cos \theta \quad (2.59)$$

სადაც  $\theta$  არის კუთხე რადიუს ვექტორი  $r$  –ის მიმართულებისა და ბზარის კონტურისადმი ნორმალს შორის

$$\cos \theta = \frac{r}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial \varphi}\right)^2}}$$

(2.59) შეფარდების და განზომილების თეორიის საფუძველზე ბზარის დაღლილობითი გავრცელების კინეტიკა განისაზღვრება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებებით.

$$\frac{\partial r}{\partial N} \left[ r^{-2} \left( \frac{\partial r}{\partial \varphi} \right)^2 + 1 \right]^{-1/2} = \frac{r}{N} F(\lambda_1, \dots, \lambda_m) \quad (2.60)$$

აქ  $F(\lambda_1, \dots, \lambda_m)$  არის უცნობი უზომო ფუნქცია უზომო სიდიდეების  $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, m)$ , რომლებიც შეიძლება დამოკიდებული იყოს რადიუს ვექტორზე  $r$ , დატვირთვის ციკლების რიცხვზე  $N$ , გარე დატვირთვაზე, მასალის ფიზიკურ დახასიათებაზე და ა.შ.

თუ ბზარის კონტურების კინეტიკური სისტემა კონცენტრიულია ანუ ბზარი ვრცელდება ფირფიტაში ( $r$  – ბზარის ცვალებადი რადიუსი,  $\partial r / \partial \varphi = 0$ ), მაშინ განტოლება (2.60) მიიღებს სახეს

$$\frac{\partial r}{\partial N} = \frac{r}{N} E(\lambda_1, \dots, \lambda_m)$$

ფუნქციის  $F(\lambda_1, \dots, \lambda_m)$  სტრუქტურის დადგენისათვის ირჩევენ ჩვეულებრივად ერთ ან ორ ფიზიკურ პარამეტრს პასუხიმგებელს ბზარის ზრდაზე და ექსპერიმენტალურად მოიძებნება კორელაცია ამ პარამეტრებსა და ბზარის ზრდის სიჩქარეს შორის. გარე გარემოს განუწყვეტელი ზემოქმედებისას ბზარის დადგენილი გავრცელების ხასიათს განსაზღვრავენ შემდეგი ძირითადი პარამეტრები:  $\sigma$  – საშუალო დამაბულობა, მოქმედი ნიმუშის კვეთაში,  $r$  – ბზარის ცვალებადი რადიუსი,  $k_1$  – ბზარის კონტურის შემოგარენში დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი. ყველა ცნობილი დამოკიდებულება შეიძლება დავიყვანოთ ერთ-ერთზე შემდეგი განტოლებებიდან:

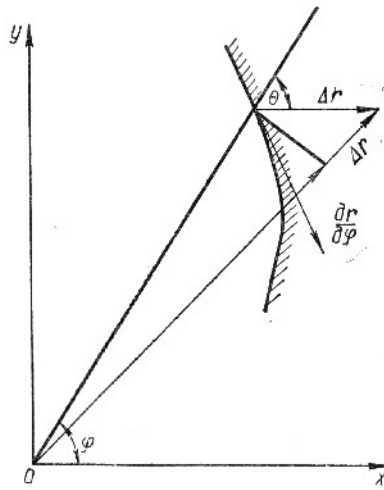
$$\frac{dr}{dN} = F_1(\sigma, r, C_1, \dots, C_i) \quad (2.61)$$

$$\frac{dr}{dN} = F_2(K_{\min}, K_{\max}, C_1, \dots, C_i) \quad (2.62)$$

სადაც  $C_i$  კონსტანტებია.

შეფარდებები (2.61) და (2.62) აღწერენ დადლილობითი ბზარის ზრდის კინეტიკას მასალაში ერთგვაროვანი მექანიკური თვისებებით. გარდა ამისა, რამდენადაც  $\sigma$  და  $r$  – უცნობი ცვლადებია, ამდენად (2.61) ტიპის დიფერენციალური განტოლებები გამოდგება მხოლოდ მასალაში დადლილობითი ბზარის კინეტიკის აღსაწერად, ერთი რომელიმე სქემისას (კონსტანტები  $C_i$  რომლებიც დადგენილია დატვირთვის ერთი სქემისათვის, არ შეიძლება გამოყენებული იქნას მეორისათვის).

სხვა სიტყვებით, კონსტანტები  $C_i$ , რომლებიც შედიან დიფერენციალურ განტოლებაში (2.61), ახასიათებენ დაღლილობით რღვევას არა მასალისა, არამედ გარკვეული კონსტრუქციის.



ნახ. 2.23 დაღლილობითი ზღვრის მოძრავი კონტურის საანგარიშო სქემა

ფუნქციონალური დამოკიდებულება (2.62) გამოირჩევა მეტი უნივერსალურობით და ეს აიხსნება შემდეგით: ციკლური დატვირთვის პირობებში კონტურის შემოგარენში მიმდინარე პროცესები, გარკვეულ წილად ადეკვატური არიან ანალოგიური პროცესებისა სტატიკური გაჭიმვის დროს, თუ ციკლური დამაბულობის მდგომარეობის სიხშირე არც ისე მაღალია, ანუ როცა ჯერ კიდევ არ ჩანს გავლენა ეფექტებისა, რომლებიც განპირობებულია პლასტიკური დონეების შეყოვნებით. ამიტომ მაკრობზარის დაღლილობითი გავრცელებით მისი კონტურის შემოგარენში ფორმირდება რღვევის წინა ზონა, რომლის მექანიკური მდგომარეობა ბზარის სიბრტყის მიმართ სიმეტრული დატვირთვისას აისახება დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტით  $K_1$ .

**2.7 დაღლილობითი ბზარების ზრდის სიჩქარის კინეტიკური დამოკიდებულებები დამაბულობის დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრებზე**

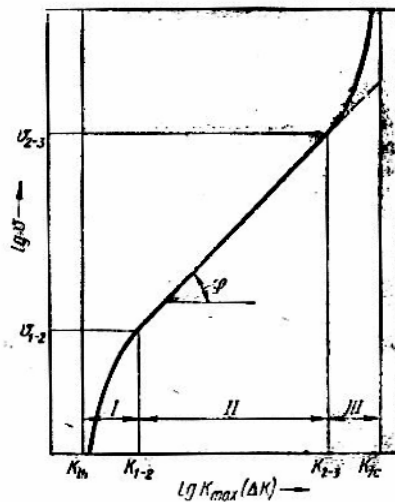
დადლილობითი ბზარების გავრცელების შესახებ გამოკვლევები შედარებით ახალი დაწყებულია (დაახლოებით 1960 იანი წლების ბოლოს) რამდენადაც ადრე ძირითადი ყურადღება კონცენტრირებული იყო ბზარების ჩასახვაზე. ეს იმით აიხსნება, რომ ჯერ ერთი დადლილობით გამოცდებს ატარებდნენ როგორც წესი მრგვალი განივი კვეთის ნიმუშებზე, რაც აძნელებდა ექსპერიმენტალურ დაკვირვებებს ბზარების ზრდაზე; მეორე-კონსტრუქციული გათვლებისათვის ყველაზე მეტ ინტერესს წარმოადგენდა სწორედ ბზარების ჩასახვის პროცესი, რომელსაც უკავშირებდნენ დასაშვებ საქსპლოატაციო დატვირთვებს. დღეისთვის კონსტრუირების პროგრესული მეთოდების გამოყენებამ უჩვენა რომ უსაფრთხოება კონსტრუირების დროს უზრუნველყოფილ იქნება, თუ მივიღებთ ზომებს ბზარების გავრცელების და არა მათი ჩასახვის თავიდან ასაცილებლად. ამ შეხედულების მიხედვით მონაცემები დადლილობითი ბზარების გავრცელების და კერძოდ, მისი გავრცელების სიჩქარის შესახებ იწვევენ განსაკუთრებულ ინტერესს.

რამდენადაც დადლილობითი მაკრო ბზარის გავრცელების სიჩქარე  $v$ , ძირითადად განისაზღვრება პროცესებით რღვევის წინა ზონაში, რომლის მექანიკური მდგომარეობა აისახება დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტით  $K_1$ , ამდენად სავარაუდოა რომ  $V$  და  $K_1$  სიდიდეებისათვის არსებობს გარკვეული ფუნქციონალური დამოკიდებულება, რასაც ადასტურებს ექსპერიმენტი.

ექსპერიმენტალური მონაცემები მასალაში დადლილობითი ბზარების გავრცელების შესახებ მიღებულია წარმოვადგინოთ დადლილობითი რღვევის კინეტიკური დიაგრამების სახით, რომლებიც გამოხატავენ ბზარის ზრდის სიჩქარეს  $v = \Delta l / \Delta N$  დამოკიდებულ (მისი სიგრძის ნამატის  $\Delta l$  ცვლილების  $\Delta N$  შესაბამის რიცხვში) დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის როგორც დომინირებადი ფაქტორის გაშლაზე (სხვაობა მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის) ციკლის  $\Delta K_1 = K_{1max} - K_{1min}$  განმავლობაში.

დადლილობითი რღვევის სრული კინეტიკური დიაგრამები ლოგარითმულ კოორდინატებში  $\lg v - \lg K_{1max}(\Delta K)$  წარმოადგენენ S -ისებრ მრუდს, რომლის სიგრძე აბცისის ღერძის გასწვრივ შემოფარგლულია ორი ვერტიკალური ასიმპტოტით  $K_{1max}=K_{th}$  მარცხნიდან და  $K_{1max}=K_{fG}$  მარჯვნიდან (ნახ.2.29) სადაც  $K_{th}$  დამაბულობის

ინტენსივობის კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის ქვემოთ ბზარი არ იზრდება;  $K_{th}$  – კრიტიკული მნიშვნელობაა დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის, რომლის ზემოთ ბზარი იწყებს სპონტანურად განვითარებას ( $K_{fc} \approx K_{IC}$ ). ამრიგად დადლილობითი ბზარის ზრდის სიჩქარის მნიშვნელობა იცვლება ფართო დიაპაზონში: ნულიდან მნიშვნელობამდე, რომელიც როგორც ჩანს უდრის ლითონში ბგერის გავრცელების სიჩქარეს. მაგრამ პრაქტიკულად ექსპერიმენტალურ დიაგრამებში ის მოიცავს დიაპაზონს  $10^{-10}$ – $10^{-5}$  მ/ციკლი, ამასთან დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის გაშლა იცვლება ერთ რიგზე ცოტა მეტით. ბზარის ზრდის უფრო დაბალ სიჩქარეებზე ( $V \leq 10^{-10}$  მ/ციკლი) დიაგრამა წარმოადგენს თითქმის ვერტიკალურ უბანს. ამიტომ ასეთი შემოწმების ხანგრძლივობის მხედველობაში მიღებით, მკვლევართა უმეტესობა შემოიფარგლება სიჩქარეების განსაზღვრით დაახლოებით  $10^{-10}$  მ/ციკლი . როცა ბზარის სიგრძის შესაბამისი ნამატი ერთ ციკლში თანაზომადია მეტალების მუდმივი კრისტალური მესერისა. დადლილობითი რღვევის კანონზომიერების ბზარის ზრდის სიჩქარეებისას როცა ის მეტია ვიდრე  $V=10^{-5}$  მ/ციკლი შეისწავლიან ასევე იშვიათად, მათი შეზღუდული პრაქტიკული გამოყენების გამო.



ნახ. 2.24. დადლილობითი რღვევის ტიპიური კინეტიკური დიაგრამის სქემა

დადლილობითი რღვევის კინეტიკური დიაგრამა (ნახ.2.24) არსებითად არის მასალის ციკლური ბზარგამძლეობის დიაგრამა, ე.ი. ახასიათებს მასალის წინააღმდეგობას მასში ბზარის გავრცელებისადმი ციკლურად ცვლადი დატვირთვების მოქმედებისას. მასალების დადლილობის განსაზღვრაში ის თამაშობს

იგივე როლს, როგორსაც გაჭიმვის დიაგრამა სტატისტიკური სიმტკიცის შეფასებისას. დიაგრამაზე გამოყოფენ სამ დამახასიათებელ უბანს, რომლებიც შეესაბამებიან (როგორც ჩანს მიკროფრაქტო გრაფიკული და მიკროსტრუქტურული გამოკვლევებიდან) ბზარის ზრდის სხვადასხვა მექანიზმებს. დაბალი სიჩქარეების ( $V < V_{1-2}$ ) პირველი მრუდხაზიანი უბანი პასუხობს  $K_{1max}$  ახლოყოფას ზღვრულ მნიშვნელობებთან  $K_{th}$ . ის ნაკლებადაა შესწავლილი მიუხედავად დიდი პრაქტიკული ინტერესისა, რადგან ბზარის ზრდის ამ პერიოდზე მოდის 90%-ზე მეტი მისი ხანგრძლივ გამძლეობისა. მოცემულ ეტაპზე ბზარი იზრდება ძალიან არათანაბრად: ნახტომები მისი სიგრძის ზრდაში იცვლება გაჩერებებით. ამიტომ დიაგრამის პირველ უბანზე წარმოდგენილია ზოგიერთი გასაშუალოებული მნიშვნელობები.

დადლილობითი მაკრობზარის ზრდის სიჩქარისა  $V_{საშ}$ . თუ  $K_{th} = 10^{-11} \div 10^{-12}$  მ/ციკლ, ეს არ ნიშნავს რომ ბზარის სიგრძის ნამატი ყოველ ციკლზე უდრის  $10^{-2} - 10^{-3}$  ნმ, რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია მუდმივ კრისტალურ მესერზე და ფიზიკურად შეუძლებელია.

დიაგრამის მეორე უბანი (პერისის უბანი)  $V_{1-2} \leq V \leq V_{2-3}$  – სწორხაზოვანია. ითვლება რომ აქ ბზარი იზრდება ძირითადად თანაბრად დატვირთვის ყოველ ციკლზე. პერისმა თანამშრომლებთან ერთად პირველად დაასკვნა რომ დამაბულობის ველის ინტენსიურობამ ბზარის წვეროსთან ახლოს, რომელიც ხასიათდება კოეფიციენტით  $K_1$  უნდა განსაზღვროს ბზარის ზრდის სიჩქარე, ხოლო შემდეგ შემოგვთავაზა დიაგრამის სწორხაზობრივი უბნების აღსაწერად ემპირიული ფორმულა

$$v = C(\Delta k_1)^n \quad (2.63)$$

სადაც  $n$  არის კონსტანტა რომელიც წარმოადგენს ამ სწორის დახრილობის კუთხის ტანგენსს;  $C$  – კონსტანტა რომელიც განსაზღვრავს მის მდგომარეობას კოორდინატების ღერძების მიმართ (ნახ.2.24). შემდეგში ეს განტოლება (2.63) ჩაწერილ იქნა უფრო მოხერხებული ფორმით:

$$v = C(\Delta K_I)^n = 10^{-7} \left( \frac{\Delta K_I}{K_*} \right)^n \quad (2.64)$$

სადაც  $K^*$  არის  $\Delta K_1$ -ის მნიშვნელობა  $V=10^{-7}$  მ/ციკლ-ს აქვს დამაბულობის კოეფიციენტის განზომილება და უფრო ნათელი ფიზიკურიარსი  $C$  კონსტანტისაგან განსხვავებით, რომლის ზოგადობა ამასთან დამოკიდებულია  $n$ -ზე.)

დიაგრამის მეორე უბნის სიგრძე (ნახ.2.24), რომელიც განსაზღვრულია მნიშვნელობების  $V_{1-2}(K_{1-2})$  და  $V_{2-3}(K_{2-3})$  განპირობებულია მასალით და ცდის პირობებით. უმეტეს შემთხვევებში  $V_{1-2}$  ძვეს დიაპაზონში  $V=10^{-9} \div 10^{-8}$  მ/ციკლ, ხოლო  $V_{2-3}$  – დიაპაზონში  $V=5 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-6}$  მ/ციკლ.

დიაგრამის მესამე უბანი ( $V > V_{2-3}$ ) მრუდხაზიანია, რომლის სიმრუდე სულ იზრდება  $K_{1max}$  -ის კრიტიკულ მნიშვნელობასთან  $K_{fc}$  მიახლოებით.  $K_{fc}$  -ის ეს მნიშვნელობა, რომელიც მიღებულია ციკლური დატვირთვისას, შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთ ან მეორე მხარეს დამაბულობის ინტენსიურობის კოეფიციენტის  $K_C$  კრიტიკული მნიშვნელობისაგან, რომელიც განსაზღვრულია სტატიკური გამოცდებისას და ამასთან სდევს განსხვავებები პლასტიკური ზონის ზომასა და ტეხილების მიკროაგებულებებს შორის. ამ უბანზე ბზარი ვითარდება ასევე ნახტომისებურად, თანაც მით უფრო ინტენსიურად, რაც უფრო ნათლად ვლინდება გადასვლა დიაგრამის მეორიდან მესამე უბანზე. როგორც ჩანს მყიფე რღვევის ნახტომების არ არსებობით აიხსნება ხშირი შემთხვევები, როცა ასეთი გადასვლა აშკარად არ არის, და დიაგრამის სწორხაზობრივი უბანი ვრცელდება დადლილობის ბზარის ზრდის უფრო მაღალი სიჩქარეებით ( $V=10^{-5} \div 10^{-4}$  მ/ციკლ) დიაგრამის მეორე და მესამე უბნებს კარგად აღწერს გ. ჩერეპანოვის ფორმულა, რომელიც მიღებულია რღვევის ერთეული ზედაპირის წარმოქმნის დროს დისიპირებული ენერჯის მუდმივობის ჰიპოთეზისა და ზოგადობის ანალიზის საფუძველზე.

$$v = -\beta \left[ (K_{1max}^2 - K_{1min}^2) / K_C^2 + In \frac{K_C^2 - K_{1max}^2}{K_C^2 - K_{1min}^2} \right] \quad (2.65)$$

სადაც  $\beta$  ექსპერიმენტის დროს განსაზღვრული მუდმივაა. ანალიზური დამოკიდებულება (2.62)  $K_{1min}=0$  დროს შეიძლება წარმოვადგინოთ ელემენტარული და სპეციალური ფუნქციების ვარიანტების განუსაზღვრელი რაოდენობის სახით, რომლებიც კარგად აღწერენ დადლილობითი რღვევის დიაგრამას დიაპაზონში  $K_{th} \leq K_{jmax} \leq K_{fc}$ . დღეისთვის შემოთავაზებულია დიაგრამების სამივე უბნის აღწერის მათემატიკური მოდელების დიდი რაოდენობა,



რომლებიც შეიცავენ ოთხიდან რვამდე ექსპერიმენტალურად განსაზღვრულ პარამეტრს. [56]

დადლილობითი ბზარების კრიტიკულამდე ზრდის სიჩქარე დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე:

- ა) მექანიკური დამაბულობის ამპლიტუდა, ციკლის ასიმეტრია, დატვირთვის სახე, სპექტრი და ა.შ.;
- ბ) მეტალურგიულზე – მასალის სტრუქტურული მდგომარეობა, მარცვლისზომა, ჩანართების არსებობა, ლეგირების ხარისხი და ხასიათი;
- გ) ფიზიკურ და ფიზიკო-ქიმიურზე – ტემპერატურა, დასხივება, გარემო;
- დ) გეომეტრიულზე – ნიმუშის აბსოლიტური ზომები და ა.შ.

რადგანაც დადლილობითი ბზარის განვითარების მექანიზმი ლითონებში განისაზღვრება დამაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტით, ამდენად სხვადასხვა ფაქტორების გავლენა რღვევის პროცესზე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ბზარის მოძრაობის სიჩქარეზე, ე.ი. ეს კანონზომიერებანი აუცილებელია განვიხილოთ დიფერენცირებულად დადლილობითი რღვევის კინეტიკური დიაგრამის უბნების მიხედვით. დიაგრამის I უბანზე (ნახ.2.24) აღინიშნება ძლიერი გავლენა ასიმეტრიისა და დატვირთვის ციკლის სიხშირის, მასალების და გარემოს მიკროსტრუქტურის. ასიმეტრიის გაზრდით და დატვირთვის სიხშირის დადაბლებით.

ბზარის ზრდის სიჩქარე იზრდება მით უფრო ძლიერ, რაც უფრო აქტიურია ლითონის მიმართ გარემო. ასიმეტრიის და სიხშირის გავლენა დაკავშირებულია კერძოდ, ბზარის დაკეტვის მოვლენასთან, აგრეთვე დროებით ეფექტებთან ლითონის გარემოსთან ურთიერთობისას. ამ შემთხვევაში გამოვლინებული ეფექტები დამოკიდებულია ლითონის სტრუქტურულ მდგომარეობაზე, ზღვრულისწინა უბანში მასალების მიკროსტრუქტურის როლი დიდია. დიაგრამის II უბანზე მიკროსტრუქტურის და დატვირთვის ცვლის ასიმეტრიის გავლენა სუსტდება, თუმცა განაგრძობენ მნიშვნელოვან უარყოფით ზემოქმედებას აქტიური გარემო და დაბალი სიხშირის დატვირთვები. III უბანზე კვლავ ვლინდება მიკროსტრუქტურის და სიმეტრიის გავლენა, რაც დაკავშირებულია ამ პირობებში რღვევის სტატიკური მექანიზმების დომინირებასთან, რომლებიც აჩქარებენ ბზარის განვითარებას. აქ ( $K_{I_{max}}$  -ის მაღალი დონის დროს) დადლილობითი ბზარის წვერთან წარმოიქმნება შედარებით დიდი პლასტიკური ზონები, რომლებიც მოიცავენ და აბამენ რღვევის

პროცესში ლითონების სხვადასხვა სტრუქტურულ ელემენტებს, პირველ რიგში მარცვლების საზღვრებს. დიდი პლასტიკური ზონების წარმოქმნის შედეგია აგრეთვე ბზარის ზრდის სიჩქარის მგრძობიარობა ნიმუშის აბსოლუტურ ზომებისადმი. განსაკუთრებით მისი სისქისადმი. როგორც წესი დადლილობითი ბზარის გავრცელების სიჩქარე იმატებს სისქის გაზრდასთან ერთად. რაც შეეხება გარემოს და სიხშირის გავლენას, ის დიაგრამის III ნაწილში პრაქტიკულად ქრება.

დადლილობითი რღვევის განვითარება წარმოადგენს რთულ პროცესს, რომელიც ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ამიტომ მისი აღწერი პარამეტრების დადგენა უნდა მიმდინარეობდეს საექსპლოატაციო მოდელურ პირობებში. ამ პარამეტრების როლი მოწოდებული არიან ითამაშონ მასალების ციკლური ბზარგამძლეობის მახასიათებლებმა, რომელთა განსაზღვრა მათი უტყუარობის და შედარებითობის უზრუნველყოფის მიზნით მკაცრად რეგლამენტირებულია მეთოდურ მითითებებში. ეს მითითებები შემუშავებულია შემთხვევებისათვის, როცა გამოყენებადია მასალების წრფივი მექანიკა და დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა, რომელიც სრულად ხასიათდება ბზარის წვერთან დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტით. მათში აღწერილია გამოსაცდელი ნიმუშების კონსტრუქცია და მათი დამზადება, გამოცდის ჩატარება და მისი შედეგის დამუშავება. მასალების ციკლური ბზარგამძლეობის დამახასიათებლად გამოიყენება: ზღვრული მნიშვნელობა  $K_{th}$ , კრიტიკული მნიშვნელობა შესაბამისად  $K_{fc}$ , პარამეტრები  $n$  და  $c$ ,  $n$  და  $K^*$ .

## 2.8. მეორე თავის დასკვნები

1. დამტკიცდა, რომ მასალების რეოლოგიური მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი დეფორმაციის სიჩქარეებზე. თვით რღვევა კი შეიძლება მიმდინარეობდეს სიმტკიცის ზღვარზე ნაკლები დაძაბულობისას, როცა დატვირთვის ქმედება გაწელილია დროში;
2. განხილულია ბზარების გავრცელება მექანიზმში ხაზობრივ ბლანტდრეკად გარემოში ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას;
3. გაანალიზებულია მასალების რღვევის პროცესი დინამიკური დატვირთვებისას;

4. განხილულია ბზარის ზრდის მექანიკა, რეალურ მასალებში ნორმალური გახლეჩის ბზარებისათვის პლასტიკური დინების ლოკალიზაციის ეფექტი უნდა იყოს უფრო ძლიერი, რამდენადაც ბზარის სიჩქარე იწვევს მის წვერთან მასალის დეფორმირების სიჩქარის გაზრდას, რასაც თავის მხრივ მივყავართ პლასტიკურობის ზღვრის ამალლებისაკენ;
5. წარმოდგენილია ბზარის ზრდის შეჩერების პრინციპები.

### თავი 3.

## ტექნიკური დიაგნოსტიკების მოდელი და მუშაუნარიანობის კონტროლის მეთოდები

### 3.1. შესავალი

როგორც ვიცით, ტექნიკური მდგომარეობა ეს არის ექსპლუატაციის წარმოების პროცესში ცვალებადობას დაქვემდებარებული ობიექტის თვისებათა ერთობლიობა, რომლებიც დროის გარკვეულ მომენტში ხასიათდებიან ტექნიკური დოკუმენტაციით დადგენილი ამ ობიექტის ნიშნებით.

ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნებად შეიძლება მიჩნეულ იქნას ობიექტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ თვისებათა განსაზღვრა. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნები დამოკიდებული ფაქტიური მნიშვნელობებიდან შემდეგია: გამართულობა, შრომისუნარიანობა, გაუმართაობა, შრომისუუნარობა (მტყუნება), სწორი და არასწორი ფუნქციონირება.

ერთიდაიგივე არსებული ტექნიკური მდგომარეობისათვის ობიექტი შეიძლება იყოს შრომისუნარიანი ერთი პირობის შემთხვევაში და შრომისუუნარო მეორე პირობებისათვის. მაგალითად, საავიაციო ძრავა თვითმფრინავზე შრომისუუნარო მდგომარეობაში გადასვლის მერე შეიძლება აღმოჩნდეს შრომისუნარიანი მიწისზედა დანადგარზე გამოყენებისას, როგორც მექანიკური ან სითბური ენერჯის მომცემი წყარო.

ყველა ობიექტი საერთო შემთხვევაში შეიძლება იმყოფებოდეს ერთ იმ მრავალთაგან შრომისუნარიან თუ შრომისუუნარო მდგომარეობაში. თუმცაღა

მიზანშეწონილია ჩავთვალოთ, რომ ობიექტი ფლობს ერთ შრომისუნარიან მდგომარეობას, ე.ი. არაპირითადი პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობანი, რომლებიც არ შეესაბამებიან ნორმატიულ – ტექნიკურ დოკუმენტაციებს, შეიძლება გავაერთიანოთ ერთ ჯგუფში. ობიექტის შრომისუნარო მდგომარეობის რიცხვი განისაზღვრება ელემენტის შესაძლო მტყუნების რიცხვით ან მათი ჯგუფით და დამოკიდებულია კონტროლზე.

კონტროლის შემადგენელი ელემენტებია: ობიექტის მაკონტროლებელი პარამეტრების გაზომვა, მოცემული მონაცემების დაწვრილებითი ანალიზი, მტყუნების სახეობისა და ადგილის შემეცნების თვალსაზრისით პროცესებისადმი მართვის კონტროლი.

მტყუნების ადგილისა და მდგომარეობის შემეცნების მიზნით მიღებული მონაცემების ანალიზს ეწოდება ტექნიკური დიაგნოსტიკა, რომელიც ფორმულირებულია, როგორც ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრელი პროცესი.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის დროს დეტალიზაციის ხარისხი, რომელიც მიუთითებს, თუ ობიექტის რომელი შემადგენელი ნაწილისთვის არის გასაზღვრული მტყუნების ადგილი, ეწოდება დეფექტის ძიების სიღრმე.

გაზომვის პროცესები რიგ შემთხვევებში შეიძლება საკმარისად რთულიც კი იყოს. განსაკუთრებით ის რთულია ირიბი მეთოდებით გაზომვისას, როცა საძიებელი პარამეტრის მნიშვნელობა განისაზღვრება არა უშუალო გაზომვით, არამედ რომელიღაც სხვა გაზომილი პარამეტრების შედეგების მიხედვით. ამის მაგალითად გამოდგება გაძლიერების კოეფიციენტის მნიშვნელობის პროცესის განსაზღვრა, გადამცემი ფუნქციების კოეფიციენტების განსაზღვრა და ა.შ. საერთოდ სისტემის დინამიკური თვისებების განსაზღვრა იდენტიფიკაციის ერთ-ერთ ამოცანას წარმოადგენს.

იდენტიფიკაციის ამოცანაში ვგულისხმობთ ობიექტის მათემატიკური ოპტიმალური მოდელის აგების პროცედურას შემავალი და გამავალი სიგნალების რეალიზაციის მიხედვით, როცა ობიექტის მათემატიკური მოდელი ცნობილია პარამეტრების სიზუსტემდე, ხოლო იდენტიფიკაციის ამოცანას წარმოადგენს მათი რაოდენობრივი შეფასება, რომელიც ამოიხსნება პარამეტრული იდენტიფიკაციის მეთოდებით. გამოიყენება ალბათობის მათემატიკური სტატისტიკის, მათემატიკური

ლოგიკის ავტომატური რეგულირების თეორიის, ნიმუშთა შემეცნების და ა.შ. მეთოდები.

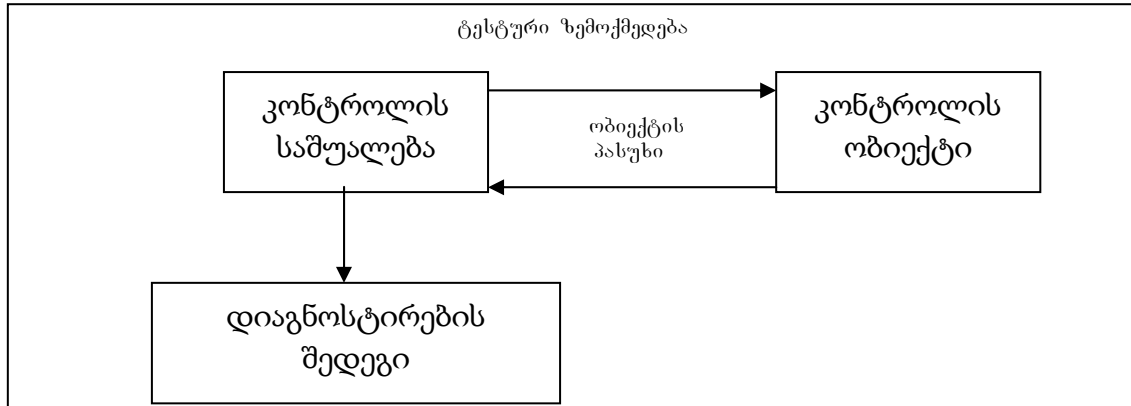
დიაგნოსტიკის ობიექტი ყოველთვის არის კონტროლის ობიექტი, რამდენადაც ტექნიკური დიაგნოსტიკა წარმოადგენს კონტროლის შემადგენელ, მაგრამ არა აუცილებელ ნაწილს. კონტროლის ობიექტი გარკვეულ პირობებში შეიძლება არ იყოს დიაგნოსტიკის ობიექტი. ფრენის დროს ეკიპაჟი კონტროლირებას უწევს ბორტისტემების შრომისუნარიანობას. ამა თუ იმ სისტემის მტყუნების შემთხვევაში როგორც წესი ის გამოირთოს და გამოყენებულ იქნას სარეზერვო დანადგარი ისე, რომ არ შევუდგეთ დიაგნოსტიკის საკითხების შესწავლას (დამუშავებას) ე.ი. მტყუნების ელემენტის ძიებას სისტემაში. ტექნიკური დიაგნოსტიკა ხშირად განხორციელდება დედამიწაზე, ფრენისას რეგისტრირებული პარამეტრებისა და კონტროლის შედეგების მიხედვით.

ტექნიკური მდგომარეობის სახე განისაზღვრება ოპერატორის მიერ ან ავტომატურად  $X^*$ -ის არეში მის დასაშვებ მნიშვნელობასთან შეპირისპირების გზით. ობიექტის დიაგნოსტიკა წარმოებს ვექტორ  $X^*$ -ის შეპირისპირებით, შესაბამისი კონკრეტული მტყუნების შემთხვევაში წინასწარ დანიშნული არის ნაწილებში მის განსაზღვრულ მნიშვნელობასთან. ტექნიკური დიაგნოსტიკა ხორციელდება არა მარტო მტყუნების ადგილის ძიებისას, არამედ შრომისუნარიანობის მდგომარეობის შეფასებისათვის მთელ კონსტრუქციაში.

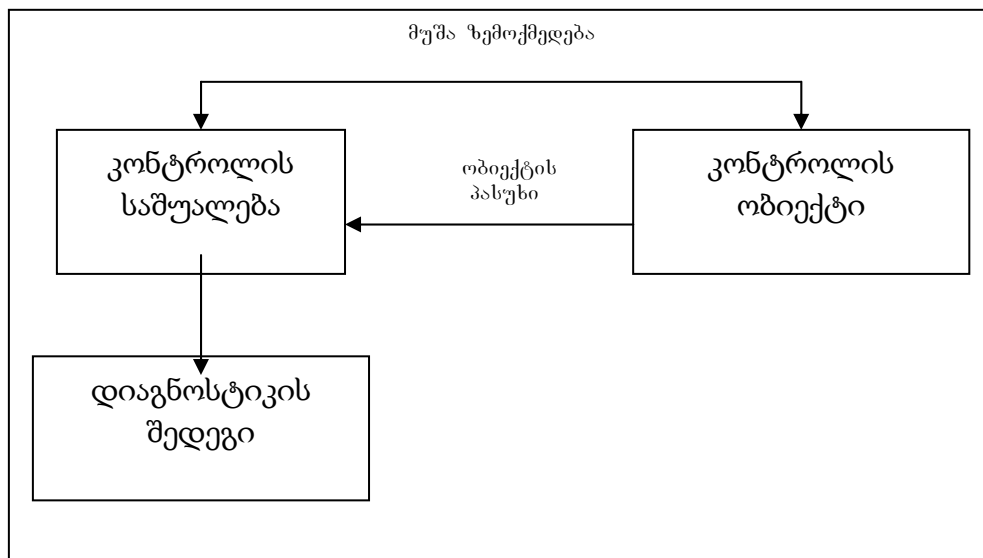
განვიხილოთ ტექნიკური დიაგნოსტიკის ორი სახე: ტესტური და ფუნქციონალური. პირველი ეს ისეთი დიაგნოსტიკაა, რომლის დროსაც ობიექტზე სისტემის კონტროლისათვის მიეწოდება სპეციალური ტესტური ზემოქმედებანი (ნახ. 3..1). ამ შემთხვევაში ობიექტი მუშაობს მხოლოდ კონტროლის მიზნით, თუმცა თუ ტესტური ზემოქმედება არ უშლის ობიექტის ნორმალურ ფუნქციონირებას, მაშინ ტესტური დიაგნოსტიკა შეიძლება გამოყენებული იქნას მისი ფუნქციონირების პროცესში.

რამდენადაც ტესტური ზემოქმედების წყაროს წარმოადგენს კონტროლის სისტემა, მაშინ ზემოქმედების შემადგენლობა და თანმიმდევრობა შეიძლება შევარჩიოთ კონტროლის მაქსიმალური ეფექტურობის პირობებიდან. დიაგნოსტიკის პერიოდში ყოველი მორიგი ზემოქმედება დაინიშნება ობიექტზე ყოველი შემდგომი ზემოქმედების პასუხების შედეგებთან დამოკიდებულებაში.

ფუნქციონალური ტექნიკური დიაგნოსტიკა ხორციელდება დანიშნულების მიხედვით ობიექტზე კონტროლის უშუალო გამოყენების პროცესში, როცა მას მიეწოდება მუშა ზემოქმედება გათვალისწინებული ობიექტის ფუნქციონირების ალგორითმით (ნახ. 3..2).



ნახ. 3.1. ტექსტური დიაგნოსტიკის სქემა



ნახ. 3.2. ფუნქციონალური დიაგნოსტიკის სქემა

ფუნქციონალური დიაგნოსტიკა უზრუნველყოფს კონტროლის სისტემის დაუყოვნებლივ რეაგირების შესაძლებლობას, ობიექტის სწორი ფუნქციონირების დარღვევის მართვას, ობიექტის სამუშაო რეჟიმების გადართვას, მტყუნების ელემენტების გამორთვას და ა.შ. რის შედეგადაც იზრდება მაგ. თვითმფრინავის ფრენის ეფექტურობა და უსაფრთხოება. მოცემული სახის დიაგნოსტიკის უკმარისობას წარმოადგენს ის რომ სამუშაო ზემოქმედებანი ვერ შეირჩევიან

კონტროლის პროცესის ოპტიმალურ პირობებში და ყოველთვის არ არის უზრუნველყოფილი აუცილებელი დიაგნოსტიკების სიღრმე.

ობიექტზე ცალკეული ტესტური ან მუშა ზემოქმედებანი აგრეთვე ობიექტებიდან მოხსნილი პასუხები იწოდებიან ობიექტის ელემენტარულ შემოწმებად. ერთი ტესტური ზემოქმედებისას ერთდროულად შეიძლება კონტროლს დაექვემდებაროს რამოდენიმე საკონტროლო წერტილი, ე.ი. მოიხსნება რამოდენიმე პასუხი კონტროლის ობიექტიდან. ამ შემთხვევაში ელემენტარული შემოწმების რიცხვი განისაზღვრება საკონტროლო პასუხების რიცხვით.

განსაზღვრული ტესტური ზემოქმედების ერთობლიობა და მათი თანმიმდევრული შესრულება, რომელიც უზრუნველყოფს დიაგნოსტიკას – ეს არის დიაგნოსტიკების ტესტი, ანუ ტესტი.

ტესტი გათვალისწინებული ობიექტის შრომისუნარიანობის შესამოწმებლად წარმოადგენს - შესამოწმებელს; ტესტი, რომელიც უზრუნველყოფს მტყუნების ადგილის ძიებას იწოდება - მტყუნების ძიების ტესტად, ან განმასხვავებელ ტესტად.

მიწერილობის ერთობლიობას დიაგნოსტიკების ჩატარების შესახებ ეწოდება ტექნიკური დიაგნოსტიკების ალგორითმი. ალგორითმი ავალებს ელემენტარული შემოწმების ერთობლიობას, მათი რეალიზაციის თანმიმდევრულობას და კონტროლის შედეგების დამუშავების წესს.

თუ შემოწმების თანმიმდევრულობაში მორიგი შემოწმების შერჩევა დამოკიდებულია წინმავალის შედეგზე, მაშინ დიაგნოსტიკების ალგორითმი ითვლება – პირობითად. თუ შემოწმების თანმიმდევრულობა დავალებულია და არ არის დამოკიდებული ელემენტარულ შემოწმებაზე, მაშინ დიაგნოსტიკების ალგორითმი – უპირობოა.

თუ დიაგნოსტიკების შედეგები გაიცემა ყველა ელემენტარული შემოწმების დასრულებისას, მაშინ ადგილი აქვს ალგორითმის უპირობო გაჩერებას. ხშირ შემთხვევებში ობიექტის ფაქტიური მდგომარეობა, სანამ რელიზებული იქნებოდა ყველა შემოწმებები, შეიძლება განისაზღვროს ალგორითმით გათვალისწინებული საჭირო სიღრმით. ამ შემთხვევაში ობიექტის მდგომარეობის გამოვლენის შემდეგ მიზანშეწონილია შემდგომი რეალიზაციის შეწყვეტა, გათვალისწინებული დიაგნოსტიკების შედეგების გაცემა, ყოველი ელემენტარული შემოწმების ან განსაზღვრული ჯგუფის შემოწმების რეალიზაციის შემდეგ შეწყვეტას შემოწმებისა -

ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის გამოვლენის შემთხვევაში – წინასწარ გათვალისწინებული შემოწმების დამთავრებამდე, ეწოდება ალგორითმი პირობითი გაჩერებით.

ობიექტის კონტროლისა და დიაგნოსტიკების მიზნით წარმოებს განსაზღვრული გამომავალი და დამატებითი (შინაგანი) პარამეტრების გაზომვა და შეფასება. პარამეტრები შეიძლება იყოს: ძაბვა, დენი, დენისა და იმპულსების სიხშირე, ელექტრული წინაღობა, ტემპერატურა, წნევა, გადაადგილება, მოძრაობის სიხშირე და სხვა.

პარამეტრების ან მათი ფუნქციების განსაზღვრული სფეროების მნიშვნელობების შედეგების შეპირისპირებას ობიექტის შესაბამისი სხვადასხვა კონკრეტულ ტექნიკურ მდგომარეობებთან ეწოდება მდგომარეობის დიაგნოსტიკური ნიშნები.

საკონტროლო ობიექტების საკონტროლებელი პარამეტრების ბუნებიდან გამომდინარე ანსხვავებენ პარამეტრულ და ფიზიკურ დიაგნოსტიკების მეთოდებს. პარამეტრული მეთოდი ეყრდნობა ძირითადი შემავალი და გამავალი პარამეტრების კონტროლს, აგრეთვე შინაგანი პარამეტრების კონტროლს, რომლებიც ახასიათებენ ობიექტის სწორ და არასწორ ფუნქციონირებას.

ფიზიკური მეთოდი დაფუძნებულია ობიექტში იმ მოვლენების თვისებების კონტროლზე, რომლებიც არიან შედეგი მისი სწორი ან არასწორი ფუნქციონირების (გადახურება მაგნიტური, ელექტრული ველით, ხმაური, სინათლის გამოსხივება და სხვა). სათანადოდ ანსხვავებენ აკუსტიკურ, სითბურ, რადიაციულ, ოპტიკურ, ელექტროფიზიკურ, რადიოტალღურ, კაპილარულ-დიაგნოსტიკურ მეთოდებს.

საკონტროლებელი პარამეტრების დროებით მახასიათებლებთან დამოკიდებულებით ანსხვავებენ დიაგნოსტიკის დინამიკურ და სტატიკურ მეთოდებს. დინამიკური მეთოდებია: ობიექტის დინამიკური მახასიათებლების კონტროლზე დაფუძნებული მეთოდები (გარდამავალი პროცესების ხანგრძლივობა, ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლები ფუნქციონალების და ა.შ). სტატიკური მეთოდი დაფუძნებულია ობიექტის სტატიკური (დამყარებული) მახასიათებლების კონტროლზე. რიგ შემთხვევებში დიაგნოსტიკებისას კონტროლირდება ობიექტის, როგორც დინამიკური, ასევე სტატიკური მახასიათებელი პარამეტრები.



ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლის განსაზღვრას წარმოდგენილ დროის ინტერვალში ეწოდება ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება. პროგნოზირების მიზეზი შეიძლება იყოს აგრეთვე დროის ინტერვალის განსაზღვრა, რომლის განმავლობაშიც უცვლელია (შეინახება) ობიექტის მდგომარეობა შესაბამის მოცემულ დროში.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის და პროგნოზირების ამოცანების გადაწყვეტისას შეიძლება გამოვყოთ ორი მიმართულება – თეორიული და პრაქტიკული. ეს ორივე მიმართულება მჭიდროდაა ერთმანეთთან დაკავშირებული.

თეორიულ მიმართულებას მიეკუთვნებიან შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

ობიექტის დიაგნოსტიკის ლოგიკური მოდელის აგების მეთოდების დამუშავება, რომლებიც გამოხატავენ არსებულ ლოგიკურ კავშირს მიღებული შემეცნებისათვის ტექნიკური მდგომარეობებისა და ობიექტის მდგომარეობის ნიშნებს შორის;

ობიექტის დიაგნოსტიკის მათემატიკური მოდელის აგების მეთოდების დამუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფენ ურთიერთკავშირის ფორმალურ აღწერას ტექნიკურ მდგომარეობასა და მის ნიშნებს შორის;

ოპტიმალური დიაგნოსტიკური ტესტების აგების მეთოდების დამუშავება, ობიექტის დიაგნოსტიკის, შრომისუნარიანობისა და მტყუნების ადგილის (დეფექტის) ძიების შემეცნებისათვის;

დიაგნოსტიკის ოპტიმალური პროგრამის აგება;

შრომისუნარიანობის მდგომარეობის პროგნოზირების მეთოდების დამუშავება ობიექტის მუშაობის მოცემული დროის პერიოდში;

ობიექტის კონტროლის ოპტიმალური პერიოდული შემოწმების განსაზღვრის მეთოდების დამუშავება;

გამომავალ პარამეტრებზე წინმსწრები დაშვებების მეთოდების დამუშავება ობიექტის უმტყუნებო მუშაობის პროგნოზირებიდან გამომდინარე.

პრაქტიკულ მიმართულებას მიეკუთვნებიან შემდეგი ძირითადი ამოცანები, რომელთა გადაწყვეტაც დაფუძნებულია თეორიული მიმართულებების მეთოდების გამოყენებაზე.

კონტროლის ობიექტის შესწავლა მისი ნორმალური ფუნქციონირების დროს;

ობიექტში მტყუნების ელემენტების და მათი კომბინაციების, სააღბათო შრომისუუნარობის მეტწილი აუცილებელი ჩამონათვალის განსაზღვრა, რომლებიც შეიძლება განვასხვავოთ დიაგნოსტიკის პროცესში;

ობიექტის დიაგნოსტიკის ალგორითმის განსაზღვრა;

ობიექტის კონტროლის ლოგიკური და მათემატიკური მოდელის აგება;

კონტროლის ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნები, შერჩევა და შემავალ ზემოქმედებათა ოპტიმიზაცია;

შერჩეული ნიშნების მდგომარეობის კონტროლის ტექნიკური შესაძლებლობების ანალიზი;

დიაგნოსტიკის ოპტიმალური ალგორითმის აგება;

კონტროლის ობიექტის რემონტებს შორის პერიოდის პროგნოზირება და საკონტროლებელ პარამეტრებზე წინწასწრების დაშვებების განსაზღვრა;

ექსპლუატაციის პროცესში ობიექტის შემოწმებასთან დაკავშირებული სტატისტიკური მონაცემების ხარჯების შეკრება და დამუშავება.

### **3.2. ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები**

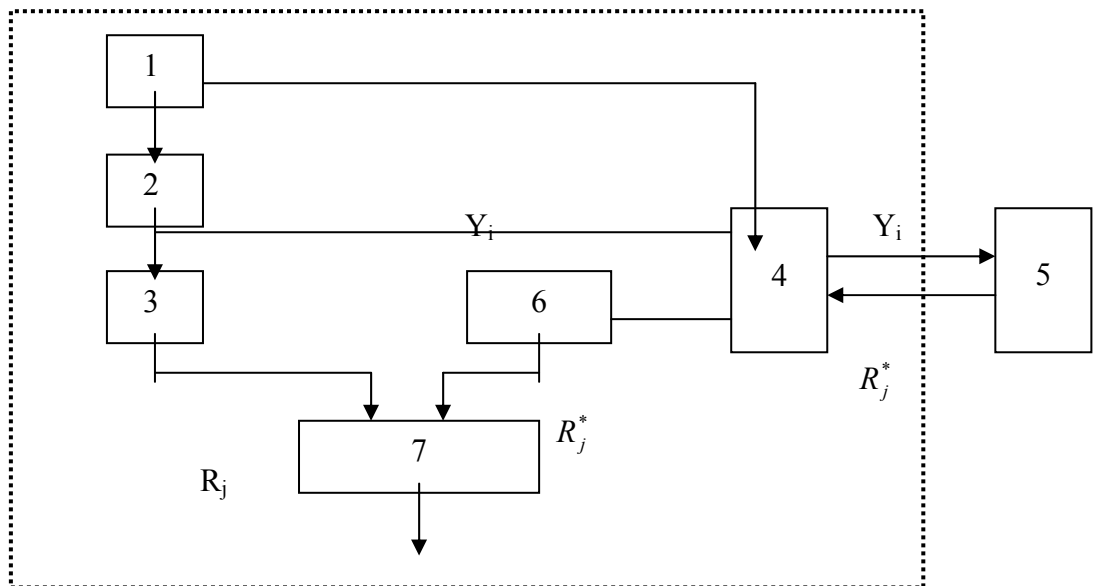
ტექნიკური დიაგნოსტიკა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მართვის სპეციფიური პროცესი, რომლის მიზანიცაა – დიაგნოსტიკის ობიექტზე მიზანდასახული მმართველობითი ზემოქმედების დახმარებით ობიექტის მდგომარეობის განსაზღვრა. ტექნიკური დიაგნოსტიკა მოიცავს შემდეგ პროცესებს: ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნების გარდაქმნას და გადაცემას; მოცემული მონაცემების დამუშავებას და ანალიზს; გადაწყვეტილების მიღებას ობიექტის მდგომარეობისა და ტექნიკური დიაგნოსტიკის მართვის შესახებ.

ობიექტის განსაზღვრულ თვისებებზე იგება დიაგნოსტიკის პროცესი. თუ დიაგნოსტიკის ობიექტის ელემენტარული შემოწმების ერთი და იგივე სახე სხვადასხვა ტექნიკურ მდგომარეობაში იძლევა სხვადასხვა შედეგს, მაშინ მისი ნიშნების ცოდნის საფუძველზე შეიძლება განვსაზღვროთ ობიექტის მდგომარეობა. დიაგნოსტიკის ნიშნების შერჩევის პროცესი ექვივალენტურია შემოწმების ჩამონათვალის დაყენების პროცესისა.

ყველა დასაშვები ელემენტარული შემოწმებების ერთობლიობა ქმნის შემოწმებათა სიმრავლეს  $\Pi = \{\pi_j\}$ ,  $j = (1, n)$ , სადაც  $j$  ელემენტარული შემოწმების ნომერია. დასაშვები ზემოქმედება განიხილება შერჩეული  $\Pi$  სიმრავლის ელემენტარული შემოწმებების თანმიმდევრობის სახით.

განვიხილოთ ობიექტის ტექნიკურ მდგომარეობის განსაზღვრის უფრო დეტალური პროცესები ტესტური და ფუნქციონალური დიაგნოსტიკების მაგალითზე [6].

ტესტური დიაგნოსტიკების სისტემაში (ნახ. 3.3) 1-მართვის ბლოკია, რომელიც საზღვრავს ელემენტარული შემოწმებების ჩატარების თანმიმდევრობას და გასცემს ბრძანებას ტესტების ბლოკში – 2, რომელიც გამოიმუშავებს ელემენტარული შემოწმებების  $\pi_j \in \Pi$  დასაშვებ ზემოქმედებებს  $Y_i$ .



ნახ. 3.3. ტესტური დიაგნოსტიკების სისტემის სქემა

დიაგნოსტიკების მოცემული ალგორითმის შესაბამისად ზემოქმედება  $Y_i$  კავშირის მოწყობილობით მიეწოდება დიაგნოსტიკების ობიექტის გამომავლებზე. ერთდროულად ზემოქმედება  $Y_i$  მიეწოდება ობიექტის ფიზიკურ მოდელზე 3. კავშირის მოწყობილობა 4 იმართება 1 სიგნალებით და ამ სიგნალებთან შეთანხმებით კომუტირებას უკეთებს კავშირის არხებით 2 და 5. ტექნიკური დიაგნოსტიკების დროს დაყენებული ამოცანის მიხედვით 3-ის სახე იცვლება. თუ წყდება პირველი ამოცანა – ტექნიკური მდგომარეობის სახის განსაზღვრა, მაშინ 3-ის რეალიზაცია

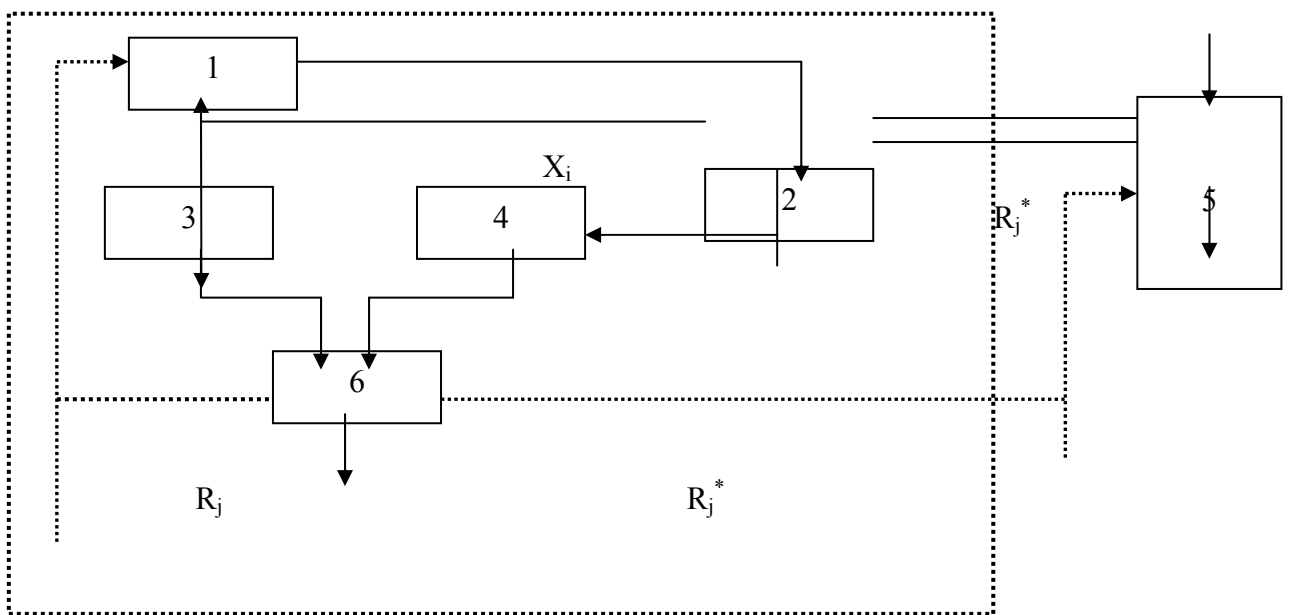
შემოწმების  $\Pi_j$  ზემოქმედებისას დაიყვანება 5-ის რეაქციის განსაზღვრაზე. ეს რეაქცია განისაზღვრება ფუნქციით  $R_j \Psi(\Pi_j)$  ყველა  $\pi_j \in \Pi$ -ის, სადაც  $\Psi$  სისტემაა გადამცემი გამართული ფუნქციის, შრომისუნარიანი ან სწორადფუნქციონირებული ობიექტით. მეორე ამოცანის ამოხსნის დროს მტყუნების ძიებისას ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის ცნობილი სახის დროს 3 განისაზღვრება ტექნიკური მდგომარეობის სახით.

3-ის რეალიზაცია დაიყვანება  $\Pi_j$  შემოწმების ზემოქმედებით გამოწვეული ტექნიკური მდგომარეობის ცნობილი სახის, ობიექტის რეაქციის განსაზღვრაზე.

რეაქციები 5  $R_j^*$  ზემოქმედებაზე  $Y_i$  4-ის გავლით მიეწოდებიან გამზომ-გარდამქმნელ მოწყობილობას 6. ეს მოწყობილობა აწარმოებს სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების ობიექტების რეაქციების გაზომვას და მათი გარდაქმნა ერთეული ფიზიკური ბუნების სიდიდეში, რომელსაც მიეკუთვნება მოდულის ფიზიკური რეაქციები  $R_j$ . რეაქციები  $R_j$  და  $R_j^*$  მიეწოდებიან შედარებისა და შემოწმების შედეგების გაშიფვრის ბლოკს 7. 1 და 7 ბლოკებს შორის კავშირის არსებობა დამოკიდებულია დიაგნოსტიკების ალგორითმის სახეზე. თუ ტექნიკური დიაგნოსტიკების ალგორითმი პირობითია, მიუთითებს კავშირის არსებობას. თუ ალგორითმი უპირობოა, 1 და 7 ბლოკებს შორის კავშირი არ არსებობს. 7 გასცემს ტექნიკურ დიაგნოზს, რომელიც გვიჩვენებს ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის სახეს და მტყუნებას მოცემული სიღრმით.

ფუნქციონალური დიაგნოსტიკების სისტემაში ტესტირების ბლოკი გამოირიცხებულია (არ არსებობს). რამდენადაც ტექნიკური დიაგნოსტიკება წარმოებს ობიექტის ნიშნულების გამოყენების დროს, ობიექტის ძირითად შესასვლელზე შედიან გარე არის ზემოქმედებები  $Y_i$ . ობიექტის რეაქცია საკონტროლო წერტილებზე მიეწოდება დიაგნოსტიკების სისტემაში კავშირის მოწყობილობაზე 2, რომელთა დახმარებითაც ისინი ტრანსლირდებიან გამზომ-გარდამქმნელ მოწყობილობაზე 4. ეს მოწყობილობა გამოიმუშავებს რეაქციას  $R_j^*$  და მიეწოდება მათ გაშიფვრისა და შედარების ბლოკში 6. ამას გარდა გამოსაკვლევია ობიექტი დიაგნოსტიკების სისტემაში გასცემს მართვის სიგნალებს  $X_i$  -ს. ისინი ტრანსლირდებიან კავშირის მოწყობილობის 2 გავლით და მიეწოდებიან მართვის ბლოკზე 1 და ობიექტის ფიზიკური მოდელის ბლოკს 3 მუშაობის რეჟიმის

დამოკიდებულების მიხედვით. მართვის ბლოკი  $X_i$  -ის სიგნალებთან დამოკიდებულებით და 6-დან სიგნალებით გასცემს ბრძანებას 1-ს, რომელიც კომიტირებს დიაგნოსტიკების ობიექტს 5 და 4-ს შორის კავშირის არხებს. 6 შეაპირისპირებს ფაქტიურ რეაქციას  $R_j^*$  საკონტროლო 5 წერტილებში ფიზიკური მოდელიდან აღებულ  $R_j$  რეაქციებთან. საბოლოო ჯამში 5 გასცემს დიაგნოსტიკების შედეგებს, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელია გამოსაკვლევ ობიექტზე ზემოქმედების ორგანიზება მტყუნების აცილების მიზნით ან მისი მუშაობის რეჟიმის შეცვლა.



ნახ. 3.4. ფუნქციონალური დიაგნოსტიკების სისტემის სქემა

ნახ. 3.3-ზე და ნახ. 3.4-ზე წარმოდგენილმა ტექნიკური დიაგნოსტიკების ტესტირებისა და ფუნქციონალური დიაგნოსტიკების სქემებმა შეიძლება სახე შეიცვალონ სისტემის სხვადასხვა მახასიათებლებზე დამოკიდებულების გამო. მაგ. ტექნიკური დიაგნოსტიკების ავტომატიზაციის პროცესის ხარისხი, დიაგნოსტიკების საშუალებების სახეებზე (აპარატული და პროგრამული), ობიექტის მიმართ ადგილის განლაგებას, ინფორმაციის წარმოდგენის ფორმაზე დიაგნოსტიკების პროცესში (დისკრეტული, ანალოგიური), გადასაწყვეტი ამოცანის ბუნებით (დეფექტის განსაზღვრით ან ობიექტის მდგომარეობის სახით) და ა.შ.

დიაგნოსტიკების ობიექტების ყველა ტექნიკური მდგომარეობის ამსახველი მათემატიკური მოდელების შერჩევა და აგება ტექნიკური დიაგნოსტიკის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს. მხოლოდ სწორად აგებული დიაგნოსტიკების ობიექტის მოდელის საფუძველზე წყდება ტექნიკური დიაგნოსტიკების ამოცანები, განსაზღვრული ოპტიმალური პროცედურებით და მინიმალური ტესტით დიაგნოსტიკების ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისათვის.

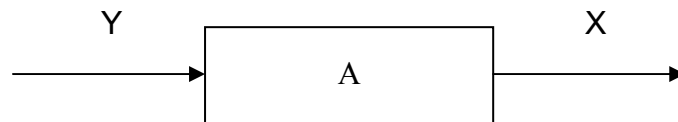
დიაგნოსტიკების ობიექტისათვის მათემატიკურ მოდელად იწოდება დიაგნოსტიკების ობიექტის ფორმალური აღწერა და მისი ქცევა ყველა ტექნიკურ მდგომარეობაში შეიძლება წარმოადგენილი იყოს ანალიზური, ცხრილური, ვექტორული, გრაფიკული ან სხვა ფორმით და მოცემულია ცხადი თუ არა ცხადი სახით.

ძირითადი მოთხოვნა მოდელებისადმი მდგომარეობს იმაში, რომ მათ საჭირო სიზუსტით უნდა აღწერონ დიაგნოსტიკების ობიექტის თვისება. დიაგნოსტიკების ობიექტი განიხილება, როგორც გარდამქმნელი ერთის მხრივ სიდიდეების (Y), რომლებიც შეიყვანება ობიექტში, სხვა სიდიდეში (X), რომლებიც წარმოადგენს ობიექტის რეაქციებს. შემავალი და გამავალი სიდიდეების შესაბამისობა მყარდება ობიექტის დიაგნოსტიკების ოპერატორით. რეალური ობიექტის მუშაობის აღწერა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც

$$X=AY, \tag{3.1.}$$

სადაც, Y და X შესაბამისად არის შემავალი და გამომავალი სიდიდეების ვექტორები, A - ობიექტის ოპერატორია.

(3.1.) გამოსახავს, რომ შემავალი სიდიდეები Y ობიექტის ოპერატორისაგან A განიცდიან გარდაქმნას და შედეგად გამომავალი სიდიდეები ტოლია X-ის (ნახ. 3.5)



ნახ. 3.5 ობიექტის დიაგნოსტიკების სტრუქტურული სქემა

საკვლევი ობიექტის დიაგნოსტიკების მოდელის ხარისხისათვის გამოიყენება ოპერატორი A, რომლის პარამეტრებიც იმყოფება დასაშვები მნიშვნელობის არეში. თუ ერთი პარამეტრი მაინც გადის მოცემული დასაშვები მნიშვნელობების არის

გარეთ, მაშინ დიაგნოსტიკების ობიექტი ითვლება გაუმართავად. ვივარაუდოთ, რომ ოპერატორი  $A$ -ს მიერ დახასიათებულ დიაგნოსტიკების ობიექტს აქვს მტყუნების სიმრავლე  $K$ . მტყუნების არსებობისას  $K \in K$ ,  $i=(I, K)$  ერთი ან რამოდენიმე პარამეტრიც გადის  $A$  ოპერატორის დასაშვები მნიშვნელობების არის გარეთ. მაშინ ობიექტის დიაგნოსტიკების მოდელი მტყუნებით  $K_i$  იქნება:

$$X^{(i)} = A^{(i)}Y \quad (3.2.)$$

სადაც,  $A^{(i)}$  – ობიექტის დიაგნოსტიკების ოპერატორია მტყუნებით  $K_i$ .

თუ შესაძლებელია (3.2) ტიპის გამოსახულების ერთობლიობის მიღება ყველა მტყუნებისათვის  $K \in K$ ,  $i=(I, K)$ , ეს ერთობლიობა ერთად 3.1 გამოსახულებასთან ქმნის ობიექტის დიაგნოსტიკების ცხად მოდელს. ოპერატორი  $A$  წარმოადგენს ნებისმიერი თავისუფალი ობიექტის საკმარისად საერთო მახასიათებელს. ოპერატორის კონკრეტული ფორმის შერჩევა დამოკიდებულია ობიექტის ფიზიკური თვისებების აღწერაზე, განისაღვრება დიაგნოსტიკების ამოცანის პირობებით და მიღებული მეთოდების გადაწყვეტით.

$A$  ოპერატორის სახეებიდან გამომდინარე საკვლევი ობიექტები იყოფა შემდეგ კლასებად: ობიექტი, რომელსაც აქვს ოპერატორი, რომელიც გარდაქმნის შემავალი სიდიდეების ერთობლიობას და გამომავალი სიდიდეების მნიშვნელობათა ერთობლიობას. ობიექტი, რომელსაც აქვს ოპერატორი, რომელიც გარდაქმნის შემავალი მნიშვნელობების ერთობლიობას დებულობს სასრული სიმრავლის მნიშვნელობას და გამავალი სიდიდეების ერთობლიობას, იმავე სიმრავლებიდან მიღებულ მნიშვნელობებს მიეკუთვნებიან დისკრეტულ კლასს. თუ შემავალი სიდიდეების მნიშვნელობები მოცემულია დისკრეტული სიმრავლებით, ხოლო ობიექტის ოპერატორი გარდაქმნის მას გამავალი სიდიდეების მნიშვნელობებად სასრულ სიმრავლებებში, მაშინ ობიექტი წარმოადგენს ჰიბრიდულს.

დიაგნოსტიკების ობიექტს გააჩნია საკონტროლო წერტილები, რომლებიც არა მარტო  $y$  ზემოქმედებას და  $X$  რეაქციას ადევნებენ თვალყურს, არამედ შიდა  $z$  კოორდინატებს, ცალკეული დამაკავშირებელ შესასვლელ გამოსასვლელებზე. ყოველი ელემენტარული შემოწმება  $\Pi_j$  ხასიათდება ობიექტის ან მისი ელემენტის ზემოქმედების მნიშვნელობებით  $Y_i$  და რეაქციით  $R_j$ , მაშინ რეაქცია ელემენტარულ შემოწმებაზე  $\Pi_j$  დამოკიდებული  $I$ -ურ ტექნიკურ მდგომარეობაზე ტოლია

$$R_j^{(i)} = A_j^{(i)} Y \quad (3.3)$$

სადაც  $A_j^{(i)}$  დიაგნოსტიკის ან მისი ( ) ელემენტის ოპერატორია მტყუნებით  $R_j$ , დაკავებული შემოწმებით  $\Pi_j$ .

გამართული ობიექტებისათვის

$$R_j = A_j(\Pi_j) \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

ობიექტის მტყუნებით

$$R_j R_j^{(i)} = A_j^{(i)} (\Pi_j) \quad (3.5)$$

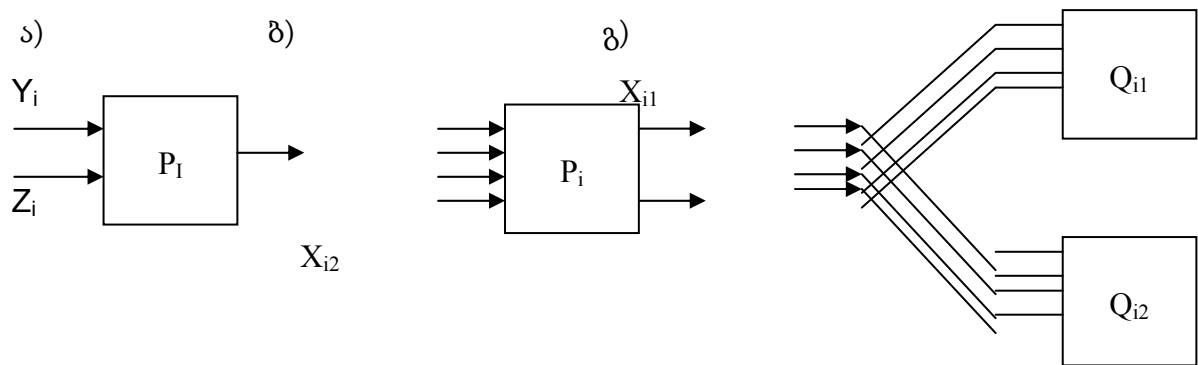
თუ (3.4) და (3.5) გამოსახულებები სიმრავლიდან  $\Pi$  და მტყუნებითი სიმრავლიდან  $K$  გამოიყენება შემოწმებათა ყველა ერთობლიობისათვის, მაშინ თვლიან, რომ მოცემულია დიაგნოსტიკის ცხადი მოდელი. თუ არის დამოკიდებულება (3.4) და წესი, რომელიც იძლევა საშუალებას სიმრავლეებიდან მივიღოთ ერთობლიობა (3.5) გამოსახულებისა ამბობენ, რომ მოცემულია არაცხადი მოდელი.

მანქანა-დანადგარების დიაგნოსტიკის ამოცანების გადასაწყვეტად ჩვენი აზრით ლოგიკური მოდელების გამოყენება უპირატესია მათი აგებისა და ანალიზის უბრალოებით. საწყის ინფორმაციად, რის საფუძველზეც იგება ლოგიკური მოდელი, შეიძლება მივიღოთ: მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები ობიექტის პარამეტრებისა; ფუნქციონალური და პრინციპიალური სქემები; ალგებრული და დიფერენციალური განტოლებები, რომლებიც აკავშირებს ობიექტის შემავალ და გამავალ ფუნქციებს.

ობიექტის სტრუქტურული სქემების ბაზაზე განვიხილოთ ლოგიკური მოდელის ფორმალური პროცედურა. დასაწყისში გავანალიზოთ სქემების ყველა ბლოკი მისი გარეგანი ზემოქმედებით და გამომავალი რეაქციებით. ქვემოთ მოყვანილი სქემის მიხედვით იგება ობიექტის ფუნქციონალური სქემა. თუ რომელიმე შემავალი (გამომავალი) ბლოკის სიგნალი ხასიათდება რამოდენიმე პარამეტრით, მაშინ ყველა ამ პარამეტრებიდან აღინიშნება ბლოკის ცალკეული შესასვლელით (გამოსასვლელით). მაგ. ბლოკს  $P_i$  (ნახ. 3.6.ა) აქვს ორი შესავალი და ერთი გამომავალი სიგნალი, თანაც გამომავალი სიგნალი ხასიათდება ორი პარამეტრით (მაგ. ძაბვის ამპლიტუდით და სიხშირით), მაშინ ბლოკის ფუნქციონალურ სქემაზე იქნება ოთხი შემავალი და ორი გამომავალი (ნახ. 3.6.ბ) სიგნალი. თუ ბლოკის  $X_i$  გამოსასვლელი, რომელიც წარმოადგენს  $P_n$  ბლოკის



შესავალს «ქუცმაცდება» რამოდენიმე გამოსასვლელად, მაშინ შესასვლელი  $Y_n$  ასევე «ქუცმაცდება» იმავე რაოდენობის შესასვლელებად. შესრულდა რა ობიექტის დიაგნოსტიკების ბლოკის შესასვლელებისა და გასასვლელების «დაქუცმაცება»  $P_i$   $i_j=(1,n)$  და შევართეთ რა ერთმანეთთან «დაქუცმაცებული» შესასვლელები და გასასვლელები, აგებენ ფუნქციონალურ სქემას.



ნახ. 3.6 შესასვლელების და გასასვლელების დაქუცმაცება

ობიექტის ბლოკის  $P_i$  ფუნქციონალური სქემის ლოგიკური მოდელის მისაღებად, თუ მას აქვს  $m$  გამოსასვლელი, იგი შეიცვლება  $m$  ბლოკით, რომელთაგანაც თითოეულს აქვს ერთი გამოსასვლელი  $X_{ij}$  და  $X_{ij}$ -სათვის შესასვლელი. ლოგიკური ბლოკის აგების მაგალითი ორი გამოსასვლელით მოცემულია ნახ. 3.6, ბ-ზე. დიაგნოსტიკების ობიექტის ბლოკის ლოგიკური მოდელი აღინიშნება სიმბოლოებით  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ ,

სადაც

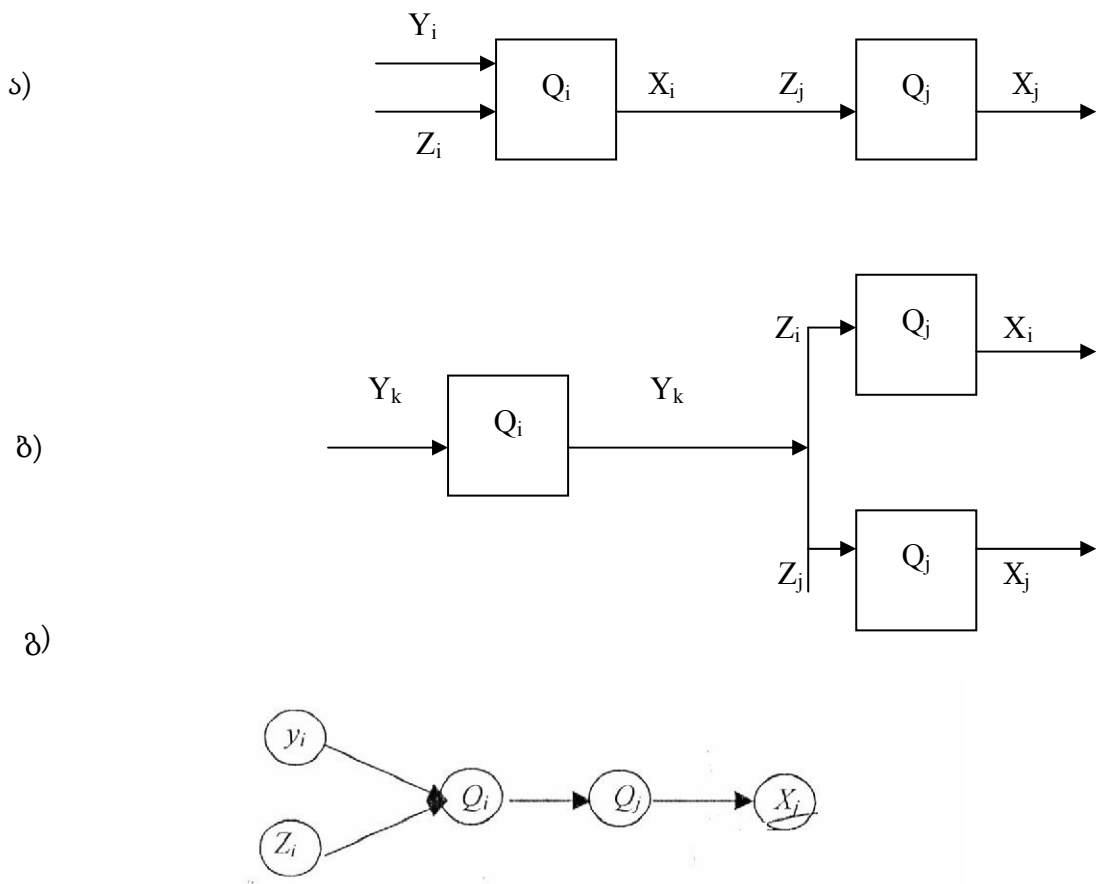
$$N = \sum m_i \quad (3.6)$$

ივარაუდება, რომ ბლოკ-სქემის ყველა შესასვლელის და გამოსასვლელის მნიშვნელობა ითვლება დასაშვებად, თუ მათი პარამეტრები მიეკუთვნება დასაშვები მნიშვნელობების არეებს. შესასვლელისა და გამოსასვლელის მნიშვნელობა ითვლება არადასაშვებად, თუ თუნდაც ერთი პარამეტრის მნიშვნელობა არ ძევს დასაშვები მნიშვნელობის არეში. თუ შესასვლელისა და გასასვლელის მნიშვნელობას შესაბამისად ავლნიშნავთ ორმაგი ლოგიკური შესასვლელი ცვალებადი და ორმაგი

გამომავალი ლოგიკური ფუნქციებით, მაშინ ისინი მიიღებენ მნიშვნელობას 1, როდესაც ისინი დასაშვებია და 0-ს, როდესაც არაა დასაშვები.

დავახარისხოთ  $Q_i$  ყველა შესაძლო ცვალეზად შესასვლელთა მნიშვნელობები და განვსაზღვროთ ყველა ასეთი ნაკრებისათვის გასასვლელთა მნიშვნელობა  $X_{ij}=(I,m)$ . თუ ყველა ცვალეზად შესასვლელთა კრებულს შეესაბამება ერთი იმ გამოსასვლელთა ორი მნიშვნელობიდან 1 ან 0, მაშინ ფუნქციას ეწოდება ბლოკის  $Q_i$  მუშაობის პირობების ფუნქცია გასასვლელზე  $X_{ij}$  და აღინიშნება  $F_{ij}$  სიმბოლოთი.

ლოგიკურ მოდელს ეწოდება სწორი, თუ ყველა წყვილი ბლოკისათვის  $Q_i$  და  $Q_j$  სრულდება მოთხოვნა – ბლოკების მიმდევრობით შეერთების დროს (ნახ. 3.7,ა), როდესაც ერთი ბლოკის გამოსავალი წარმოადგენს მეორის შესასვლელს ( $X_j, Y_j$ ) მათი დასაშვები და დაუშვებელი არეების მნიშვნელობები ემთხვევა ბლოკების პარალელური შეერთების დროს (ნახ. 3.7,ბ).



ნახ. 3.7. სწორი ლოგიკური მოდელების სქემა

როდესაც შესასვლელები ხასიათდება ერთი და იმავე პარამეტრებით, მათი დასაშვები და დაუშვებელი მნიშვნელობათა არეები აგრეთვე ემთხვევა. აღნიშვნები

სწორი მოდელის შიდა შესასვლელზე იცვლება მათთან დაკავშირებულ გასასვლელებზე აღნიშვნებით. ლოგიკური მოდელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორიენტირებული გრაფის სახით. თუ გრაფის მწვერვალად წარმოვიდგენთ ლოგიკური მოდელის ბლოკებს, აგრეთვე მის გარე შემავალ და გამავალ სიგნალებს, ხოლო რკალებად – ბლოკებს შორის კავშირს შემავალ და გამავალ სიგნალებს შორის (ნახ. 3.7. გ).

### 3.3 პარამეტრების შერჩევის პრინციპები

განვიხილოთ მდგომარეობის ცხრილის აგების პრინციპი ლოგიკური მოდელის ანალიზის საფუძველზე. ამისთვის ივარაუდება, რომ ყველა შემავალი სიგნალების პარამეტრებს, რომლებიც საკვლევ ობიექტს მიეწოდება, აქვთ დასაშვები მნიშვნელობები ე.ი.  $Y_i=I$ . თუ საკონტროლო წერტილებს წარმოადგენენ ნებისმიერი ლოგიკური მოდელის გასასვლელები, მაშინ შესაძლო შემოწმების რიცხვი  $n \leq N$ , სადაც  $N$  ლოგიკური მოდელის ბლოკების რიცხვია, ნიშანი  $<$  გვიჩვენებს, რომ ბლოკის ყველა გამომავალი სიგნალები შეიძლება არ იქნეს გაზომილი, მაგალითად გადამწოდების უქონლობის გამო.

თუ საკვლევ ობიექტი ერთრეჟიმიანია, ხოლო ფუნქციის მუშაობის პირობების მინიმალური ფორმა  $F_i, i=(1,N)$ . მოდელის ყველა ბლოკები შედგებიან ერთი წევრისაგან, რომლებიც შიდა და გარე სიგნალების კონიუქციურებია, ე.ი.

$$F_i = Y_i \dots Y_{in} Z_{ij} \dots Z_{imj} \quad (3.7)$$

მაშინ ბლოკის შესაძლო მტყუნება  $Q_i, i=(1,N)$  შეიძლება დავყოთ ორ სახედ. მტყუნების პირველ სახეს მივყავართ გასვლის მიუდგომელი მნიშვნელობების გაჩენამდე ე.ი.  $X_i=0$ , როდესაც  $F_i=1$ , მტყუნების მეორე სახეა – დასაშვები გასასვლელის გაჩენა, ე.ი.  $X_i=1$ , როდესაც  $F_i=0$ .

შემდგომი დათვალიერებიდან მტყუნების მეორე სახე გამოირიცხება, როგორც უწყვეტი მოდელისათვის ნაკლებად მოსალოდნელი.

მაშინ  $Q_i$  ბლოკის გასასვლელის  $X_i$  ფაქტიური მნიშვნელობა დამოკიდებულია ბლოკის მდგომარეობაზე (გამართულია  $Q_i=1$ , გაუმართავია  $Q_i=0$ ) და ფუნქციის მნიშვნელობა  $F_i$  ფორმალურად  $X_i$  ცვალებადობის  $F_j$  და  $Q_j$ -ის კონიუნქციას წარმოადგენს:

$$X_i = Q_i F_i \quad (3.8)$$

ორმაგი ცვალეზადობის  $Q_i$  და  $F_i$ -ის შესადლო კრებული, აგრეთვე  $X_i$  მნიშვნელობა თავმოყრილია 3.2 ცხრილში.

(3.8) გამოსახულების და 2.1 ცხრილის საფუძველზე სამართლიანია შებრუნებული დასკვნაც:  $Q_i$  ბლოკი გამართულია, თუ შემოწმებისას გასასვლელი  $X_i$  დასაშვებია.

ცხრილი 3.2.

$Q_i$	$F_i$	$X_i$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

განვიხილოთ მდგომარეობის ცხრილის აგების პროცედურა ლოგიკური მოდელის მაგალითზე, რომელიც წარმოდგენილია 3.7 ნახაზზე. თუ მხედველობაში გვეყნება ყოველი ცალკეული ბლოკის მხოლოდ ერთჯერადი მტყუნებები, მაშინ ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის რიცხვი, რომელიც ცხრილის სვეტების რიცხვს განსაზღვრავს, ტოლია 14-ის, რამდენადაც მხედველობაში მიიღება მოდელის  $S_0$  გამართული მდგომარეობა.

ელემენტარული შემოწმების შესადლო რიცხვი, რომელიც განსაზღვრავს ცხრილის სტრიქონებს და ტოლია 13-ის, ე.ი. ტოლია მოდელის ბლოკის გამოსასვლელების. უჯრედების შევსებისათვის (ji) აუცილებელია მოდელის ლოგიკური ანალიზი. ამისათვის ამოვწერთ ყოველი ბლოკის მოდელის ფუნქციის მუშაობის პირობები:

$$F_1 = Y_i; \quad F_2 = X_1 X_{11}; \quad F_3 = X_2; \quad F_4 = X_3; \quad F_5 = X_4; \quad F_6 = X_4 X_{12} X_{13}; \quad F_7 = X_6; \quad F_8 = X_7; \quad F_9 = X_9; \quad F_{10} = X_{10} X_9; \\ F_{11} = X_8;$$

(3.8) ტიპის გამოსახულება შევადგინოთ თითოეული ბლოკისათვის:

$$X_1 = Q_1 Y_j; \quad X_2 = Q_2 X_1 X_{11}; \quad X_3 = Q_3 X_2; \quad X_4 = Q_4 X_3; \quad X_5 = Q_5 X_4; \quad X_6 = Q_6 X_4 X_{12} X_{13}; \quad X_7 = Q_7 X_6; \\ X_8 = Q_8 X_7; \quad X_9 = Q_9 Y_9; \quad X_{10} = Q_{10} Y_{10} X_9; \quad X_{11} = Q_{11} Y_{10}; \quad X_{12} = Q_{12} X_2; \quad X_{13} = Q_{13} X_8; \quad (3.10)$$

ცხრილი 3.3

$s_i$ $\Pi_{ii}$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$S_{10}$	$S_{11}$	$S_{12}$	$S_{13}$
$\Pi_1$	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$\Pi_2$	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
$\Pi_3$	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
$\Pi_4$	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
$\Pi_5$	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
$\Pi_6$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Pi_7$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Pi_8$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Pi_9$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
$\Pi_{10}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
$\Pi_{11}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
$\Pi_{12}$	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
$\Pi_{13}$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

ცხრილი უნდა შევავსოთ სვეტების მიხედვით, იმის გათვალისწინებით, რომ შესასვლელები  $Y_1=Y_9=Y_{10}=1$ . პირველი სვეტი შეესაბამება საკვლევ ობიექტის მდგომარეობას, ე.ი. პირობას, რომ  $Q_j=1$  ყველა ბლოკებისათვის

$$j=(1,13). \quad (3.10)$$

გამოსახულებების გამოთვლის თანახმად შეივსება მნიშვნელობებით  $X_i=1$ , მეორე სვეტი გამოითვლება შემდეგი პირობებისათვის, რომ  $Q_i=0$ , ხოლო  $Q_j=1$  ყველა დანარჩენისათვის  $j=(2,13)$ . მაშინ (3.10) დამოკიდებულების საფუძველზე  $X_i=0$ , რადგანაც  $Q_i=0$ ,  $X_2=0$ . რადგანაც  $X_1=0$ ;  $X_3=0$ , რადგანაც  $X_2=0$  და ა.შ.

მდგომარეობის ცხრილის შევსების შემდეგ მას აანალიზებენ და შეარჩევენ მინიმალურ შემმოწმებელ კონტროლის წერტილთა ერთობლიობას ბლოკამდე სიზუსტით. მინიმალური კონტროლის შემმოწმებელ წერტილთა ერთობლიობა, საკვლევ ობიექტის გამართულობის განსაზღვრისათვის ტოლია მდგომარეობის ცხრილის ყველაზე მცირე სტრიქონის რიცხვისა, რომელიც შეიცავს ობიექტის ბლოკის დაუშვებელ გასასვლელებს. კონტროლის ერთობლიობის წერტილის

შემამოწმებელის განსაზღვრა ადვილად შეიძლება განვახორციელოთ ცხრილის გადათვალისწინების გზით.

### 3.4 დიაგნოსტიკის მაჩვენებელი

იმის გამო, რომ დიაგნოსტიკის სისტემები ფლობენ მეთოდურ ინსტრუმენტალურ ცდომილებებს, მიღებული შედეგები შეიძლება არ დაემთხვეს გამოსაკვლევი ობიექტის რეალურ მდგომარეობას.

ამის შედეგად დიაგნოსტიკის ხარისხის შეფასების საფუძველს წარმოადგენს შედეგების სისწორის ალბათობა, მიღებული დიაგნოსტიკის პროცესში ან სწორი დიაგნოსტიკის ალბათობა. რიგ ნაშრომებში ეს დახასიათება განისაზღვრება, როგორც დიაგნოსტიკის ღირსება.

განვიხილოთ ტექნიკაში გავრცელებული დიაგნოსტიკის პროცესების სქემები, რომლებისთვისაც განვსაზღვრავთ სწორი დიაგნოსტიკის ალბათობას. დიაგნოსტიკის პროცესის პირველ სქემაში თავს იყრის შემდეგი შეზღუდვები. დიაგნოსტიკის ობიექტის მდგომარეობა ხასიათდება ერთი განზოგადებული  $X$  პარამეტრების მნიშვნელობით. მითითებული დიაგნოსტიკის პარამეტრისათვის განსაზღვრულია დაშვების ველი  $(a, b)$ , სადაც  $a$  და  $b$  დაშვებების ველის საზღვრებია. დაშვების ველში  $X$  პარამეტრის მნიშვნელობის ქონისას, ე.ი.  $a < x < b$  ობიექტი ითვლება შრომისუნარიანად, ხოლო  $X$  მნიშვნელობის ქონებისას დაშვების ველის გარეთ ითვლება არაშრომისუნარიანად. ივარაუდება, რომ სისტემატიური შეცდომები ცნობილია და გამორიცხულია. გაითვალისწინება მხოლოდ დიაგნოსტიკის საშუალებების გაზომვის შეცდომები.  $X$ -ის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა გამოწვეული სამრეწველო და ექსპლუატაციური ფაქტორებით წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს, რომელთა გავრცელების სიმკვრივეც განისაზღვრება  $f_1(x)$ -ით.

ზემოთ ნათქვამიდან გამომდინარე, ობიექტის ფარდობით მდგომარეობაზე მისი დიაგნოსტიკის დროს შეიძლება გამოითქვას ორი ურთიერთგამომრიცხავი ჰიპოთეზა:  $S_0$  ობიექტი შრომისუნარიანია,  $S_0^-$  - ობიექტი შრომისუნაროა. ამ ორი ჰიპოთეზის აპრიორული ალბათობა განისაზღვრება, როგორც:

$$PS_0 = e \int_e^b f_1(x) dx; \quad PS_0 = \int_{-\infty}^a f_1(x) dx + \int_b^{\infty} f_1(x) d(x); \quad (3.11)$$

X პარამეტრის გაზომვისას შესაძლებელია შეცდომების გაჩენა, რომელიც მიღებულია დიაგნოსტიკების საშუალებით. ითვლება, რომ გაზომვის შედეგები  $Z=X+Y$ , სადაც Y შემთხვევითი შეცდომაა გაზომვისას, რომლის განაწილების სიმკვრივე განისაზღვრება  $f_2(y)$  ფუნქციით.

დიაგნოსტიკების ობიექტის მდგომარეობის განსაზღვრისას გაზომვის შედეგების შედარებისას Z დაშვების არესთან (a,b), შესაძლებელია შემდეგი დაუშვებელი ცდომილებების გაჩენა:

$S_{xz}$  – X პარამეტრის მნიშვნელობა და გაზომვის შედეგი Z დაშვების არის ფარგლებში;

$S_{xz}^-$  – X პარამეტრის მნიშვნელობა და გაზომვის შედეგი Z დაშვების ფარგლებს გარეთ;

$S_{xz}^-$  – X პარამეტრის მნიშვნელობა დაშვების ველში და გაზომვის შედეგი Z დაშვების ველის (არის) გარეთ;

$S_{xz}^-$  – X პარამეტრის მნიშვნელობა დაშვების ველს გარეთ, ხოლო გაზომვის შედეგი Z დაშვების ველში.

ცდომილების ქონებისას  $S_{xz}$  და  $x^-z^-$  საკვლევი ობიექტის მდგომარეობის შესახებ კეთდება პირველი დასკვნები. ამასთან ცდომილებას  $S_{xz}$  უწოდებენ I სახის შეცდომას, ან მცდარ მტყუნებას. ცდომილებას S – მეორე სახის შეცდომას ან აღმოუჩენელ მტყუნებას.

ჩამოთვლილი ცდომილებანი შეადგენენ ცდომილებათა სრულ ჯგუფს. ამის შედეგად ჩამოთვლილი ჰიპოთეზების ალბათობათა ჯამი

$$P_{xz} + P_{-xz} + P_{-xz} + P_{-xz} = 1$$

მაშინ სწორი დიაგნოსტიკების ალბათობა ზემოთ მოცემული განსაზღვრის თანახმად იქნება:

$$D = P_{xz} + P_{-xz} = 1 - P_{-xz} + P_{-xz} \quad (3.12)$$

თუ განვსაზღვრავთ  $P_{-xz} = \alpha$  და  $P_{-xz} = \beta$

და გავავრცელებთ (3.12) დამოკიდებულებას საკვლევი ობიექტისათვის  $n$  დამოკიდებული პარამეტრებით, მაშინ მივიღებთ ალბათობის შეფასების ფორმულას:

$$D = \prod_{y=1} (1 - \alpha y - \beta y) \quad (3.13)$$

ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ განაწილების კანონების  $f_1(x)$  და  $f_2(x)$  ანალიზური დამოკიდებულების ქონისას

$$\alpha = \int_{-\infty}^{a-x} f_1(x)[f_2(y)dy]dx + \int_{b-x}^{\infty} f_2(x)[f_2(y)dy]dx \quad (3.14)$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{a-x} f_1(x)[f_2(y)dy]dx + \int_{b-x}^{\infty} f_2(x)[f_2(y)dy]dx \quad (3.15)$$

დიაგნოსტიკების პროცესის მეორე სქემა მდგომარეობს შემდეგში: საკვლევი ობიექტის მდგომარეობა ხასიათდება  $n$  პარამეტრების ერთობლიობით. დიაგნოსტიკების საშუალება განსაზღვრული პროგრამით ამოწმებს მთელი პარამეტრების ერთობლიობას და დიაგნოსტიკების პროცესში ირჩევს ობიექტის მდგომარეობის შესახებ ინტეგრალურ დასკვნას.

როგორც წინა შემთხვევის ობიექტის მდგომარეობის განსაზღვრისას, დიაგნოსტიკების შედეგების მიხედვით შესაძლებელია შემდეგი ცდომილებების არსებობა:

$H_{11}$  – ობიექტი შრომისუნარიანია და დიაგნოსტიკების შედეგები ემთხვევა ობიექტის მდგომარეობას;

$H_{22}$  – ობიექტი შრომისუნაროა და დიაგნოსტიკების შედეგები ემთხვევა ობიექტის მდგომარეობას;

$H_{12}$  – ობიექტი შრომისუნაროა და დიაგნოსტიკების შედეგები მიუთითებს მის შრომისუნარობას;

$H_{21}$  – ობიექტი შრომისუნაროა, ხოლო დიაგნოსტიკების ობიექტი მიუთითებს მის შრომისუნარიანობას.

ზემოთ ჩამოთვლილი ცდომილებები აგრეთვე შეადგენენ სრულ ჯგუფს ცდომილებებისა და ხასიათდებიან შესაბამისი ალბათობით, რომელთა ჯამიც ერთის ტოლია:

$$P_{11} + P_{22} + P_{12} + P_{21} = 1$$



რის შედეგადაც ჭეშმარიტი დიაგნოსტიკების ალბათობა განსაზღვრების თანახმად ტოლია:

$$D = P_{11} + P_{22} = 1 - P_{12} - P_{21} \quad (3.16)$$

ეხლა განვიხილოთ ერთი ისეთი შემთხვევა, რომელიც ხშირად გვხვდება. კერძოდ, დიაგნოსტიკების საშუალებებში ფარული მტყუნების არსებობა და განვსაზღვროთ მისთვის  $P_{12}$  და  $P_{21}$  მნიშვნელობები.

ვივარაუდოთ, რომ დიაგნოსტიკების საშუალება შეიძლება იმყოფებოდეს იმ სამი მდგომარეობიდან ერთ-ერთში, როგორცაა

$i=1$  – შრომისუნარიანობა მისი მდგომარეობის ჭეშმარიტი ინდიკაციისა;

$i=2$  – შრომისუნარიანობა შემდეგი ტიპის დიაგნოსტიკების საშუალება აფიქსირებს შედეგს «ობიექტი იმყოფება შრომისუნარიან მდგომარეობაში» დამოუკიდებლად დიაგნოსტიკების ობიექტის მოქმედი მდგომარეობისაგან დიაგნოსტიკების საშუალების შრომისუნარიანი ინდიკაციის დროს;

$i=3$  – შრომისუნარობა ტიპის დიაგნოსტიკების საშუალება აფიქსირებს შემდეგს «ობიექტი იმყოფება შრომისუნარო მდგომარეობაში» დამოუკიდებლად დიაგნოსტიკების ობიექტის მოქმედი მდგომარეობისა დიაგნოსტიკების საშუალებების შრომისუნარიანობის ინდიკაციისას;

შეცდომების ალბათობითი მნიშვნელობები  $P_{12}$  და  $P_{21}$  განისაზღვრება ალბათობების გამრავლების თეორემებით, საიდანაც:

$$P_{12} = P_1^0 / P_1^e P(2/1,1) | P_2^e ; \quad (3.17)$$

$$P_{21} = P_2^0 / P_2^e P(2/2,1) | P_1^e ; \quad (3.18)$$

სადაც,  $P_1^0$ ,  $P_2^0$  – აპრიორული ალბათობაა დიაგნოსტიკების ობიექტისა, შესაბამისად შრომისუნარიან და შრომისუნარო მდგომარეობაში.

$P_1^e$ ,  $P_2^e$ ,  $P_3^e$  – აპრიორული ალბათობაა დიაგნოსტიკის საშუალებების არსებობისას, შესაბამისად მდგომარეობაში  $i=1$ ,  $i=2$ ,  $i=3$ ;

P(2/2.1) – პირობითი ალბათობაა იმისა, რომ დიაგნოსტიკის შედეგებზე ობიექტი იცნობა შრომისუნარიანად პირობისათვის, რომ ის შრომისუნაროა და დიაგნოსტიკის საშუალება იმყოფება მდგომარეობაში  $i=1$ ;

დიაგნოსტიკის მესამე სქემა აერთიანებს ზემოთ განხილულ დიაგნოსტიკის პროცესებს ერთიან პროცესში. მასში ივარაუდება, რომ დიაგნოსტიკის მდგომარეობა განსაზღვრავს  $n$  – დამოუკიდებელი დიაგნოსტიკური პარამეტრების ერთობლიობას და დიაგნოსტიკის საშუალება შეიძლება იმყოფებოდეს ზემოთ ჩამოთვლილ მდგომარეობებში. მაშინ შეცდომის ალბათობა

$$\left[ \prod_{y=1}^n P_{12} = P_{1^e} \prod_{y=1}^n P_{SO} \right] \left\| (P_{SO} - \alpha_{yi}) \right| P_{3^e} \prod_{y=1}^n P_{SOi} \quad (3.19)$$

$$P_{2I} = P_{1^e} \left[ \left\| (P_{SO} - \alpha_{yi} i \beta_{yi}) - \left\| (P_{SO} - \alpha_{yi}) \right\| \right] P_{2^e} \left( 1 - \prod_{y=1}^n P_{SO} \right) \quad (3.20)$$

სადაც,  $\alpha_{yi}$  – ერთდროულად ორი მოხდენის ალბათობაა; დიაგნოსტიკური პარამეტრი  $y$  იმყოფება დასაშვებ არეში, ხოლო ითვლება, რომ არ იმყოფება მის არეში შემდეგი პირობის დროს, დიაგნოსტიკის საშუალება იმყოფება  $i$  – მდგომარეობაში.

$\beta_{yi}$  - ერთდროულად ორი ცდომილების მოხდენის ალბათობაა; დიაგნოსტიკური პარამეტრი იმყოფება დაშვების არის გარეთ, ხოლო ითვლება მის შიგნით მყოფად პირობის დროს, რომ დიაგნოსტიკის საშუალება იმყოფება  $i$  – მდგომარეობაში.

განსახილველ დიაგნოსტიკის მაჩვენებლებს კიდევ უმატებენ რიგ მაჩვენებლებს: ხანგრძლივობას, ღირებულებას, დიაგნოსტიკის შრომატევადობას და დეფექტის ძიების სიღრმეს, რაც მოცემულია შრომაში. ჩვენ ამ მაჩვენებლებს აქ არ განვიხილავთ. ისინი განიხილება კერძო შემთხვევაში.

### 3.5 ფიზიკური, პარამეტრული და ტესტების

#### ოპტიმიზაციის მეთოდები

შრომისუნარიანობის კონტროლის მეთოდები შეიძლება დაყვით ორ დიდ ჯგუფად: ფიზიკური და პარამეტრული.

ფიზიკური მეთოდები იწოდება არამრღვევი კონტროლის მეთოდებად. ისინი დაფუძნებულია სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენების გამოყენებაზე ობიექტის თანმხლებ შრომისუნარიან და შრომისუნარო მდგომარეობაზე.

არამრღვევი კონტროლის მეთოდები უზრუნველყოფენ ფარული მექანიკური დაზიანებების და დეტალებში დეფექტების (გამჭოლი და არაგამჭოლი მიკრობზარების გაჩენა, შიდა ნიჟარების, უცხო ჩანართების და ჩამონატეხების) განსაზღვრას. ასევე შესაძლებელია გამომჟღავნდეს ისეთი დეფექტები, როგორცაა კოროზია, ბზარები, ნიჟარები, ადგილობრივი ნაწიბურები, ნაჟანგები და სხვა მოწყობილობათა ელექტრული ეროზიის ნაკვალევი აგრეგატების განსაკუთრებულად ძნელად მისადგომ ადგილებში.

მანქანა-დანადგარების ყოველ მდგომარეობას შეესაბამება განსაზღვრული სიგნალი, რომელიც საჭიროა გავარჩიოთ დიაგნოსტიკის პროცესში. ამასთან ძირითადი პრობლემა მდგომარეობს იმ საფრთხეებისადმი ბრძოლაში, რომლებიც ამახინჯებენ სიგნალს და აძნელებენ მათ გაშიფვრას. მანქანა-დანადგარების შესაძლო მდგომარეობის უსასრულო რიცხვიდან ამორჩეული უნდა იქნეს სასრული რიცხვი, რომელიც ექვემდებარება დიაგნოსტიკის გარჩევას. მანქანის სხვადასხვა მდგომარეობის ასეთი კლასიფიკაციის შედეგზე, რომლისთვისაც მიღებული სიგნალის მნიშვნელობა იმყოფება რომელიღაც განსაზღვრულ დიაპაზონში, მიეკუთვნება ერთ არეს, ე.ი. ერთ კლასს და განირჩევა დიაგნოსტიკის დროს. სხვადასხვა მდგომარეობანი გაერთიანებული ერთ კლასში არ წარმოადგენენ ერთი და იმავე სიგნალის წყაროს. აქედან გამომდინარე, მანქანები იმყოფებიან ერთი და იმავე ნომინალურ მდგომარეობაში, ე.ი. მდგომარეობის ერთ კლასში, ღებულობენ სხვადასხვა სიგნალებს, თუ მათი არსებული მდგომარეობანი რამდენადმე განსხვავებულია.

როგორც უკვე მითითებული იყო წინა პარაგრაფებში, მდგომარეობის ყველა სიმრავლე შეიძლება გაყოფილი იქნას ორ კლასად: შრომისუნარიანად და შრომისუნაროდ. მაგრამ ორივე კლასს გააჩნია გრადაციის დიდი რიცხვი და შედეგში არ შეუძლიათ გამოსახვიონ მკვეთრად განსაზღვრული სიგნალი.

სიგნალების ვარიაცია ერთი მდგომარეობის კლასის ფარგლებში შემაფერხებელია დიაგნოსტიკებისათვის.

დიაგნოსტიკების ამოცანა დაიყვანება სიგნალის ამოცნობაზე, რომელსაც ვლემულობთ გამოსაკვლევ მიქანიზმიდან და მიეკუთვნება ერთ-ერთს იმ კლასებიდან, ამიტომ დიაგნოსტიკური მოწყობილობა აპრიორულ ხარისხში უნდა შეიცავდეს ინფორმაციას სიგნალების შესახებ, რომლებიც შეესაბამებიან მიქანიზმის სხვადასხვა მდგომარეობას.

სიგნალზე ინფორმაციის სახის დამოკიდებულების მიხედვით, რომელიც ინახება კონტროლის სისტემის მეხსიერებაში და დიაგნოსტიკების ალგორითმზე დამოკიდებულებით ანსხვავებენ დიაგნოსტიკების შემდეგ სახეებს:

1. კონტროლის სისტემის მეხსიერებაში ინახება  $N$  დროებითი სიგნალების რეალიზაცია, რომელიც შეესაბამება მიქანიზმების  $N$  სხვადასხვა მდგომარეობას. დიაგნოსტიკების პროცესში გამოითვლება ურთიერთკორელაციური ფუნქცია ყველა ამ სიგნალიდან, რომელსაც ვლემულობთ მიქანიზმიდან. მიქანიზმის მდგომარეობა მიეკუთვნება იმ  $S$  მდგომარეობიდან სიგნალს, რომელსაც გამომსხივებელ სიგნალთან აქვს მეტწილი კორელაცია;

2. კონტროლის სისტემის მეხსიერებაში ინახება ტიპური სიგნალების რეალიზაციის სტატისტიკური მახასიათებლები, ე.ი. მოცემული განსაზღვრული მდგომარეობისას – გავრცელების კანონები, კორელაციური კანონები ან ენერგეტიკული სპექტრი. დიაგნოსტიკების პროცესში გამოითვლება ერთ-ერთი იმ მითითებული სტატისტიკური მახასიათებლებიდან, რომელსაც ვლემულობთ სიგნალის სახით მიქანიზმიდან და ეს მახასიათებლები ედარება რიგრიგობით კრებულს, რომელიც ინახება მეხსიერებაში.

განვიხლოთ ოპტიკური სიგნალების დამუშავების პრინციპები სიგნალის დონის განაწილების და მისი კორელაციური ფუნქციის კანონის მიღების მიზნით, როგორც გამოკვლევები გვიჩვენებენ, თუ გაზომვების დროის განმავლობაში მიქანიზმის მუშაობის პირობები არ იცვლება, მაშინ მისი სიგნალი შეიძლება ჩაითვალოს ენერგეტიკულ შემთხვევით პროცესად. შედეგად, ყველა მისი სტატისტიკური მახასიათებელი შეიძლება მივიღოთ ოსცილოგრამიდან, რომლის ნიმუში მოცემულია ნახ.3.8–ზე, დროის ღერძის პარალელურად და ერთმანეთისაგან თანაბრად დაცილებული მანძილებით  $\Delta X_1 = \Delta X_2 = \Delta X_3 = \dots = \Delta X_K = \Delta X_{nn}$  ხაზები. ეს

ხაზები შეესაბამებიან სათანადო სიგნალებს. ოსცილოგრამის  $\Delta X_K$  დიაპაზონში ყოფნის დრო ტოლია დროთა ჯამისა:

$$\Delta t_{k1} + \Delta t_{k2} + \dots = \sum_{i=1}^{mk} \Delta t_{ki}$$

სადაც:  $K$  – განსახილვევი დიაპაზონის სიგნალის ნომერია;

$I$  – სიგნალის მდებარეობის რიგითი ნომერია განსახილველ დიაპაზონში;

$m_K - \Delta X_K$  დიაპაზონში სიგნალის ყოფნის რიცხვია.

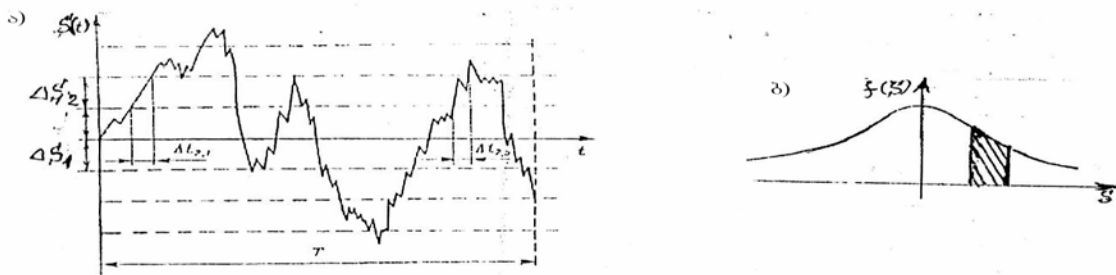
მიღებული ჯამის შეფარდებით მთელი ოსცილოგრამის ხანგრძლივობაზე  $T$  განისაზრვრება სიგნალის მნიშვნელობის  $K$  და  $K+1$  დონეებს შორის სტატისკური ალბათობა:

$$P(X_K \leq X(t) < X_{K+1}) = \sum_{i=1}^{m_K} \Delta t_{Ki} / T \quad (3.21)$$

აქედან ალბათობის სიმჭიდროვის საშუალო მნიშვნელობა სიგნალის  $K$  დიაპაზონის მნიშვნელობის ტოლია:

$$f(\Delta X_K) = P(X_K \leq X(t) < X_{K+1}) / \Delta X \quad (3.22)$$

ამ მნიშვნელობებით იგება ჰისტოგრამა და სიგნალის მნიშვნელობის ალბათობის სიმჭიდროვის მრუდი (ნახ. 3.8)

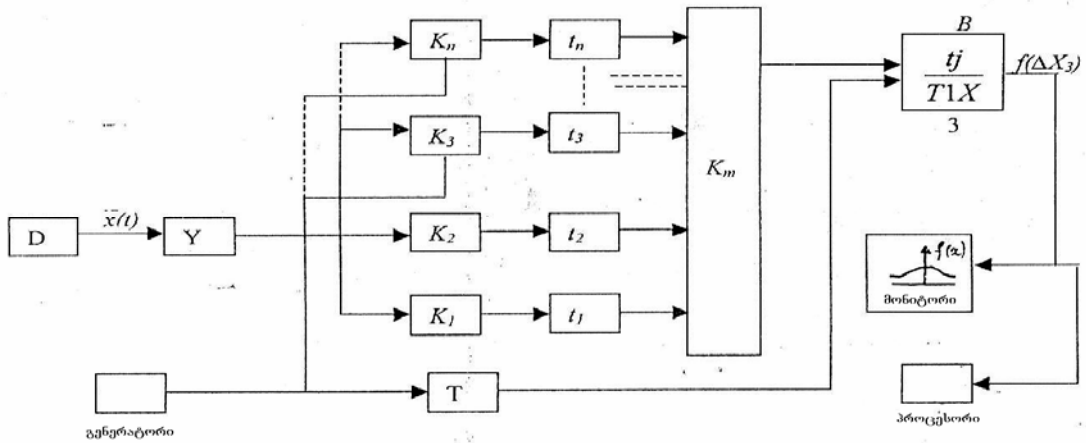


ნახ. 3.8. ა) მიღებული სიგნალის ოსცილოგრამა;

ბ) სიგნალის დონის სიმჭიდროვის ალბათობის რიცხვი

$f(X)$  ფუნქციის ხელით გამოთვლის პროცესი საკმარისად რთულია, შრომატევადია და ამის გამო აუცილებელია ავტომატური გამოთვლითი პროცესის გამოყენება, რომლის სქემაც მოცემულია ნახ. 3.9–ზე.

სქემის მუშაობა შემდეგნაირია: რხევის გადამცემის ძაბვა  $D$  მიეწოდება  $Y$  გამამძლიერებელს, შემდეგ ზოლების გასაღებს  $K_1 - K_n$  ყოველი გასაღები გაიღება მხოლოდ განსაზღვრული ძაბვის დიაპაზონისას, რომელზედაც ის მიმართულია ანუ ყოველი გასაღები იღება მხოლოდ მოცემულ მართვადი ძაბვის მნიშვნელობისას მის შესასვლელზე.



ნახ. 3.9 სიმჭიდროვის განაწილების გრაფიკის ავტომატური აგების სქემა.

გაღებული გენერატორის სიგნალები გასაღების დიაპაზონებში  $K_1$  გამავალი იმპულსების რიცხვი დაითვლება მრიცხველით  $t_i$ . საერთო რიცხვი იმპულსების  $T$  დროის განმავლობაში დამუშავებული სიგნალებისა დაითვლება მრიცხველით  $T$ . გაზომვის დამთავრების შემდეგ კომპუტატორი  $K_M$  რიგრიგობით ჩართავს მრიცხველებს  $t_j$  და  $T$  გასასვლელებს გამომთვლელისაკენ –  $B$ , რომელიც განსაზღვრავს  $t_j(\Delta X)$ -ის მნიშვნელობას ზოლში  $\Delta X_j$ . შედეგები რეგისტრირდება კომპიუტერის პროცესორში  $3Y$  და აღიწერება მონიტორზე.

სიგნალის დისპერსია ტოლია:

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt, \quad (3.23)$$

დისპერსია შეიძლება განსაზღვრული იქნეს ერთდროულად განაწილების კანონის აგებასთან ერთად. თუ განაწილების კანონის აგება საჭირო არ ხდება, მაშინ აპარატული გადაწყვეტილება მოწყობილობისა დისპერსიის გამოთვლისათვის ბევრად ადვილია, ვიდრე ნახ.3.9-ზე წარმოდგენილი სიგნალის კორელაციის კოეფიციენტი

$$p(\tau) = \sum_{j=0}^n X(t_j)X(t_j - \tau) / (n\sigma_x^2), \dots, \quad (3.24)$$

სადაც  $n$  წერტილების რიცხვია დროის ღერძზე, რომლის განმავლობაშიც იზომება სიგნალი  $X(t_j); \tau$  - მანძილი დროის ღერძის გასწვრივ, რომელსაც გაყოფს (განაცალკავებს) სიგნალის გადამრავლებული მნიშვნელობა  $X(t_j)$  და  $X(t_j - \tau)$ .

თუ  $\Delta t$  სიგნალის ათვლის წერტილებს შორის მანძილს  $X(t)$  შევამცირებთ, მაშინ როცა  $\Delta t \rightarrow 0$ , ხოლო  $n \rightarrow \infty$  (3.24) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$p(\tau) = \frac{1}{T\sigma_x^2} \int_0^T x(t - \tau) dt, \dots, \quad (3.25)$$

$\frac{1}{\sigma_x^2}$  განსახილველი სტაციონალური პროცესებისათვის მუდმივი სიდიდეა, ე.ი. მასშტაბური მამრავლია. ამის გამო ის შეიძლება გამოვრიცხოთ (2.25) ფორმულიდან, კორელაციური ფუნქცია ტოლი იქნება:

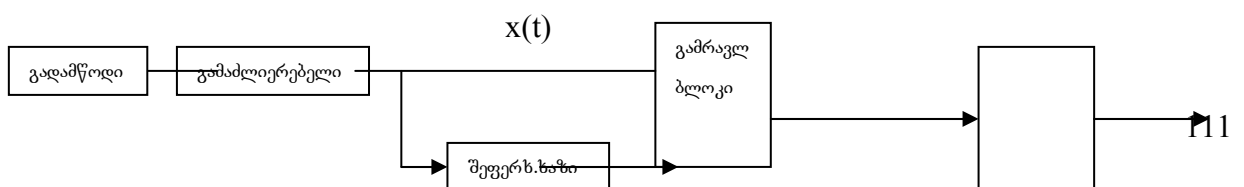
$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t - \tau) dt \quad (3.26)$$

რაც მეტია  $T$ , მით ზუსტია  $R(\tau)$ .

სიგნალის კორელაციური ფუნქცია განისაზღვრება უბრალო, მაგრამ შრომატევადი ოპერაციებით. ამის გამო ამოცანა უნდა გადაწყდეს კომპიუტერზე (ეგმ) ან სპეციალიზირებული გამოთვლითი მოწყობილობის საშუალებით – კორელატორით, რომლის სქემაც მოცემულია 3.11 ნახაზზე. ამასთან გამოთვლა წარმოებს ფორმულით

$$R(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X(t_j)X(t_j - \tau), \dots, \quad (3.27)$$

სადაც  $N - X(t_j)$  ასარჩევი მნიშვნელობების რიცხვია.



$$x(t) \cdot x(t - \tau) \quad R(\tau)$$

$$x(t - \tau)$$

ნახ. 3.10 კორელატორის სტრუქტურული სქემა.

კორელატორში ფუნქცია  $X(\tau)$  ძლიერდება და მიეწოდება გამრავლების ბლოკში  $\sigma Y$  ორი არხით. ერთ-ერთში იმყოფება რეგულირებადი შეკავების ხაზი  $\wedge 3$ , რომელშიც სიგნალი გადაადგილდება  $\tau$  დროის ინტერვალის განმავლობაში. პროცესები  $X(t)$  და  $X(t - \tau)$  განუწყვეტლივ გადამრავლდებიან და მათი ნამრავლი ინტეგრირდება სათანადოდ გამოსახულებით (3.27). გამოსახულებაზე მიიღება  $R(\tau)$  მნიშვნელობა.

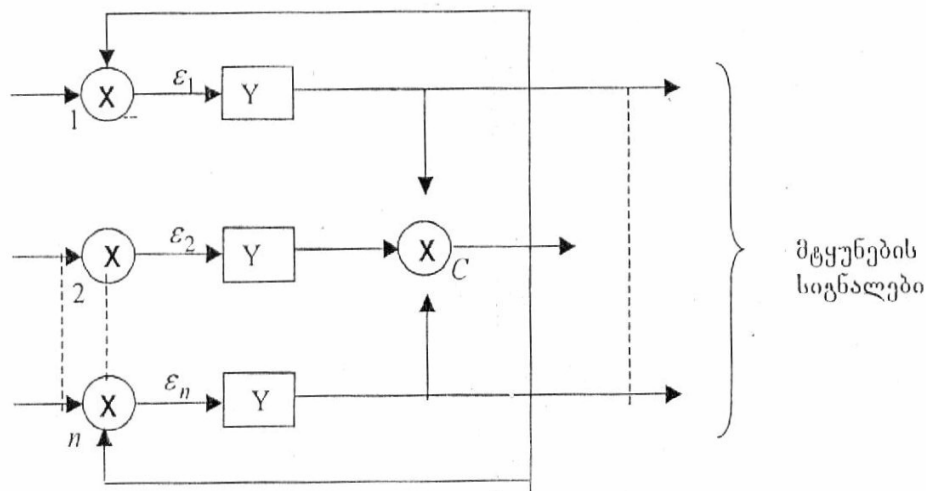
$X(t)$  უწყვეტი პროცესის გადაწყვეტისათვის (3.26) ფორმულით  $\Delta t$  დროის ინტერვალში აიღება არჩევითი მნიშვნელობა. შემდგომში ანგარიშის პროცესი მიმდინარეობს (3.26) გამოსახულების ანალოგიურად.

კონტროლის პარამეტრული მეთოდი დაფუძნებულია გაზომვებზე, გაზომვის შედეგების შესაბამის ფუნქციონალურ გარდაქმნებზე, ეს მეთოდები უზრუნველყოფენ ობიექტის კონტროლს მათი სტატისტიკური და დინამიკური მუშაობის რეჟიმებში.

ჩვენი ამოცანისათვის ამ მეთოდების გამოყენების სქემა მოცემულია შემდეგ პარაგრაფში.

გამომავალი გადამცემი სიგნალების მნიშვნელობების გაშუალეებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს კვორუმ-ელემენტები. კვორუმ-ელემენტების გასაზომი პარამეტრების  $n$  ერთტიპიანი გადამცემების შესაძლო სტრუქტურული სქემა მოცემული ნახ. 3.12-ზე. აქ ყოველ შესასვლელზე  $n$ -დან 1,2,3 . . .  $n$  მიეწოდება გადამცემების მიერ გაზომილი სიგნალების მნიშვნელობა  $X_1, X_2, \dots, X_n$  და შედეგი  $X$  ამ სიგნალის გაშუალეებისა, რომელიც მიიღება სუმატორის  $G^1$  გამოსასვლელზე, ყოველი სუმატორის გამოსასვლელზე 1,2,.. $n$  მიიღება განსხვავებათა მნიშვნელობა  $\varepsilon_i = X_i - X$ , რომელიც მიეწოდება გამაძლიერებელს  $Y$ -ს.





ნახ. 3.11 კვორუმ-ელემენტების პრინციპიალური სქემა

ძნელი არ არის დავამტკიცოთ, რომ განსახილველი სქემა გამოსასვლელელებზე უზრუნველყოფს გაზომილი სიგნალების საშუალო მნიშვნელობას. გაძლიერებული თანაბარი კოეფიციენტის  $k$  დროს ადგილი აქვს ტოლობას

$$X = K \sum_{i=1}^n \varepsilon_i,$$

რამდენადაც  $\varepsilon_i = X_i - X$ , მაშინ  $X = K \sum_{i=1}^n (X_i - X) = K \sum_{i=1}^n X_i - K_{nX}$  ან

$$X + K_{nX} = K \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{აქედან} \quad X = K \sum_{i=1}^n X_i (1 + K_n)$$

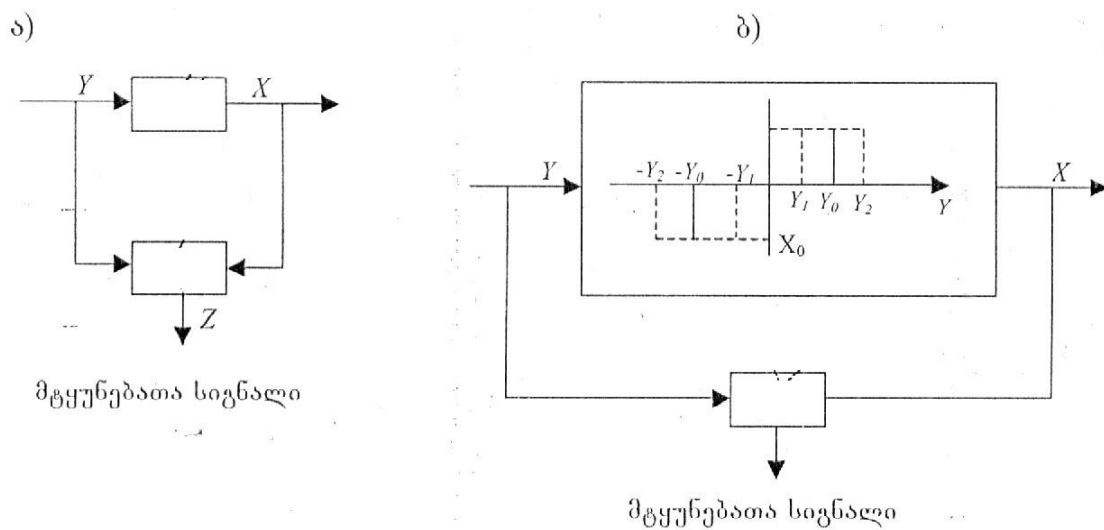
პირობიდან  $K \geq 1$ , ამ დამოკიდებულებიდან გამომდინარე

$$X = \sum_{i=1}^n X_i / n, \tag{3.28}$$

თუ ყველა  $n$  გადამცემის სიგნალი შრომისუნარიანია, მაშინ მნიშვნელობა  $\varepsilon_i$  იმყოფება დასაშვების ფარგლებში. თუ ერთ-ერთი გადამცემი მაინც გადადის შრომისუნარობის მდგომარეობაში, მაშინ შესაბამისი განსხვავება  $\varepsilon_i$  - სჭარბობს

დასაშვებ ზღვარს. მახასიათებელი  $\mathcal{E}_j$  გამოიყენება გაზომვის არხის მტყუნებელი გადამცემის სიგნალიზაციისა და გამორთვისათვის.

ლოგიკური კონტროლი შეიძლება დაფუძნებული იყოს შემავალი და გამავალი სიგნალების ნიშნების შეპირისპირებაზე. შემავალი სიგნალების განსაზღვრული სფეროს გამოყოფაზე, რომლებშიც ჩნდება შემავალი სიგნალი არსებითად არაწრფივი მახასიათებლებით მოწყობისათვის. ნახ. 3.12 ა-ზე ნაჩვენებია ლოგიკური კონტროლის სტრუქტურული სქემა,



ნახ. 3.12 ლოგიკური კონტროლის სქემა

- ა) შემავალი და გამავალი სიგნალების შეპირისპირებით;
- ბ) ობიექტისათვის არსებითად არაწრფივი მახასიათებლებით.

რომელიც უზრუნველყოფს ობიექტის შემავალი  $Y$  და გამომავალი  $X$  სიგნალების ნიშნების შეპირისპირებას. ლოგიკური მოწყობილობა გასცემს სიგნალს მტყუნებაზე, თუ შემავალ და გამავალ სიგნალებს შორის ჩნდება შეუპირისპირებლობა. მაგალითად:

$$z \{ (+ X) \wedge (- Y) \vee (- X) \wedge (+ Y) \} = 1$$

ლოგიკური ფუნქციის შემადგენლობაში შეიძლება ჩაირთოს გამავალი სიგნალები მათი პირველი და მეორე წარმოებულები.

ნახ. 3.16, ბ-ზე კონტროლის ობიექტი არსებითად ნაჩვენებია არაწრფივი მახასიათებლებით  $X(Y)$ . აქ ლოგიკური მოწყობილობა გასცემს მტყუნების სიგნალს  $Z = I$ , თუ ჩნდება პირობა  $X = \pm X$  როცა  $|Y| < |Y_1|$  ან  $|Y| > |Y_2|$ .  $|Y_1| \leq Y \leq |Y_2|$  მტყუნების სიგნალი არ არის. ლოგიკური კონტროლის მეთოდი უზრუნველყოფს ყველაზე სხვადასხვანაირი ლოგიკური პირობების შემოწმებას.

სისტემის უზნების კონტროლი, რომლებსაც აქვს ორმაგი და მეტი მარაგი, რაც ექვემდებარება მანქანა-მექანიზმების მაღალი უსაფრთხოების ამოცანების გადაწყვეტას. მოწყობილობის მარაგის ჯერადობა,  $K = (m - l) / l$ ,

სადაც  $m$  - პარალელურად მომუშავე მოწყობილობათა რიცხვია,  $l$  მოწყობილობათა მინიმალური რიცხვია, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის ნორმალურ მუშაობას. თუ  $m = 3$ ;  $l = 1$ , მაშინ  $K = 2$ .

ობიექტის დინამიკური მახასიათებლების კონტროლი მნიშვნელოვნად ზრდის ინფორმაციულ მოცულობას მათი შრომისუნარიანობის შესახებ, რაც მიიღწევა ბოჭკოვან-ოპტიკური მეთოდებით.

დინამიური სისტემის ნიშნების მდგომარეობის ფორმირებისათვის საკმარისად ფართო გამოყენება ჰპოვა საერთო შემთხვევაში ფუნქციონალმა შეცდომის გარდამავალი ფუნქციიდან

$$J = \int_0^{\infty} F[\varepsilon(t), t] dt \quad (3.29)$$

სადაც  $F[\varepsilon(t), t]$  - ფუნქციონალური გარდამქმნელია, ე.ი. დროისა და შეცდომის რომელიმე ფუნქციაა. ასევე ფართო გამოყენება ჰპოვა ფუნქციონალების შემდეგმა სახეებმა, რომლებიც წარმოადგენდნენ (3.29) კერძო შემთხვევას:

$$J_1 = \varepsilon(t)dt, \quad (3.30)$$

$$J_2 = [\varepsilon(t) + T\varepsilon(t)]dt, \quad (3.31)$$

$$J_3 = [\varepsilon(t)]^2 dt, \dots \quad (3.32)$$

$$J_4 = t_\varepsilon(t)dt, \dots \quad (3.33)$$

ფუნქციონალები  $J_1$  და  $J_2$  გამოიყენება მონოტონური გარდამავალი პროცესების შეფასებისათვის. ფუნქციონალი  $J_3$  გამოიყენება როგორც მონოტონურ, ასევე არა მონოტონური გარდამავალი პროცესების სწრაფმოქმედების საზომად, ფუნქციონალი  $J_4$  მიზანშეწონილია, როცა დასაშვები შეცდომა დროის მომენტზეა დამოკიდებული.

როცა რთული ობიექტისათვის მრავალი გამოსასვლელით განსაზღვრულია საკმარისად დიდი ჩამონათვალი ნიშნების  $\pi$  მდგომარეობის შესრულებისათვის, მაშინ წამოიჭრება ამ ჩამონათვალიდან ოპტიმალური კრებულის შერჩევის საკითხი. ოპტიმალურში გაითვალისწინება მინიმალური ან მინიმალურთან მიახლოებული შრომისუნარიანი მდგომარეობის ნიშნების ნაკრები. ამასთან შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ისეთი მახასიათებლების აღრიცხვას, როგორცაა მდგომარეობის ალბათობა, ღირებულება და ყოველი თითოეული პარამეტრის კონტროლის დრო. ასეთი კრებული ნიშნების შერჩევის პროცესს ეწოდება ნიშნების მინიმალიზაცია.

საწყის ინფორმაციას ნიშნების ოპტიმალური შემადგენლობის განსაზღვრის ამოცანის გადაწყვეტისათვის წარმოადგენს ობიექტის კონტროლის ცხრილური დიაგნოსტიკების მოდელი – მდგომარეობის ცხრილი, მეთოდოლოგია, რომლის მიღებაც განხილულია წინა პარაგრაფებში. ქვემოთ განხილულია ნიშნების მინიმალიზაციის ზოგიერთი კონკრეტული მდგომარეობის ცხრილი.

მინიმალური ტესტის ზუსტი განსაზღვრის მეთოდი უზრუნველყოფს შესაძლოდან ყველაზე უმცირესის შერჩევის შესაძლებლობას. დავუშვათ ობიექტი ხასიათდება 2.4 მდგომარეობის ცხრილით, რომელიც რთავს ერთ შრომისუნარიან მდგომარეობას  $S_0$  და  $S_1 \div S_7$  მეტწილად საალბათო არაშრომისუნარიან მდგომარეობას.

$\pi_i \backslash S_j$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
$\pi_1$	1	0	1	1	1	1	1	1
$\pi_2$	1	0	1	1	1	1	0	1
$\pi_3$	1	0	0	0	1	1	1	1
$\pi_4$	1	0	0	0	0	0	1	1
$\pi_5$	1	0	0	0	0	1	1	1
$\pi_6$	1	1	0	0	1	0	0	0
$\pi_7$	1	0	0	1	1	1	0	0
$\pi_8$	1	1	1	1	0	0	0	0
$\pi_9$	1	1	1	0	1	0	1	1

სვეტების წყვილ-წყვილი შედარების შედეგებით  $S_0$  -ს ყოველი  $S_1 \div S_7$  ცხრილის სვეტიდან შედგება ობიექტის შრომისუნარიანი მდგომარეობის განსხვავებული ფუნქცია. ჩანაწერის შემცირების მიზნით  $\pi_i$  ნიშნის სრული აღნიშვნის მაგივრად ჩაიწერება მხოლოდ ინდექსი  $i$  ნიშნისა.

ნიშანი ლოგიკური გამრავლებისა გამოისახება წერტილით, ხოლო ლოგიკური შეკრება – სიმბოლოთი  $\vee$ . მაშინ შრომისუნარიანი მდგომარეობის მქონე განმასხვავებელი ფუნქცია ტოლია

$$F_0 = (1 \vee 2 \vee 3 \vee 4 \vee 5 \vee 6 \vee 7) \cdot (3 \vee 4 \vee 5 \vee 6 \vee 7) \cdot (3 \vee 4 \vee 5 \vee 6 \vee 9) \cdot (4 \vee 5 \vee 8) \times (4 \vee 6 \vee 8 \vee 9) \cdot (2 \vee 6 \vee 7 \vee 8) \cdot (6 \vee 7 \vee 8)$$

ჩანაწერის ამ ფორმიდან (კონიუკცია დიზუნქცია) გადავიდეთ დიზუნქცია კონიუკაციაზე. უბრალო ლოგიკური გადამრავლება დიზუნქციის – ძლიერი შრომატევადი პროცესია, განსაკუთრებით დიდი სიგრძის ფუნქციებისათვის. ამისათვის აუცილებელია წინასწარ მათი გაუბრალოება ფუნქციის, ცნობილი ლოგიკის ალგებრის წესების გამოყენებით:

$$y \cdot y = y; \quad y \vee y = y; \quad y \vee I = I; \quad y(y \vee x) = y;$$

$$(y \vee x)(z \vee x) = yz \vee x$$

შედეგად მიიღება:

$$F_0 = 3 \cdot 8 \vee 4 \cdot 6 \vee 4 \cdot 8 \vee 5 \cdot 6 \vee 5 \cdot 8 \vee 4 \cdot 7 \vee 1 \cdot 6 \cdot 8 \vee 2 \cdot 6 \cdot 8 \vee 6 \times 7 \cdot 8 \vee 7 \cdot 9 \cdot 8 \vee 5 \cdot 7 \cdot 9$$

შრომისუნარიანობის კონტროლისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ნიშანტესტების 11 კრებული. ამათგან პირველი 6 წარმოადგენს მინიმალურს. ტესტის სახით შეიძლება ავიღოთ მინიმალური კრებული სამი ნიშნის მიხედვით, რომელიც მარტივად შეიძლება მივიღოთ კონტროლის პროცესში.

ფუნქციის განმასხვავებელი ნამდვილი მეთოდი წარმოადგენს სრული გადარჩევის მეთოდს. მდგომარეობების დიდი რიცხვის და მათი ამ მეთოდის გამოყენება პრაქტიკულად შეუძლებელია გამოთვლითი სამუშაოების დიდი მოცულობის გამო. თუმცა ეს ერთადერთი მეთოდია, რომელიც იძლევა მინიმალური ტესტის ძიების ზუსტ გადაწყვეტას.

არსებობს ნიშნების რიცხვების მინიმალიზაციის რიგი მეთოდები, რომლებიც შესაძრწევად აუბრალოებენ და ამცირებენ ოპტიმალური ტესტების (არა ყოველთვის მინიმალურის) განსაზღვრის შრომით დანახარჯებს.

ტესტების ოპტიმიზაციის მეთოდი მაქსიმალური რიცხვის მიხედვით ნიშნების შეყვანა განმასხვავებელ ფუნქციაში მდგომარეობს იმაში, რომ ყოველი მორიგი ნიშნის შერჩევისას ტესტში, ანალიზდება შემავალ ნიშანთა რიცხვი განმასხვავებელ ფუნქციაში და შეირჩევა ის, რომელსაც აქვს შესვლის მაქსიმალური რიცხვი.

### 3.6 მესამე თავის დასკვნები

1. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნებად მიჩნეულია ობიექტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ თვისებათა განსაზღვრა;
2. დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები, პარამეტრების შერჩევის პრინციპები და დიაგნოსტიკის მაჩვენებლები;

3. განხილულია ფიზიკური, პარამეტრული და ტესტების ოპტიმიზაციის მეთოდები;
4. დამუშავებულია ტესტური და ფუნქციონალური დიაგნოსტიკების სისტემების სქემები.

#### თავი 4.

### კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების დამუშავება დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირებისათვის

#### 4.1. კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების კლასიფიკაცია

რთული ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკების და მდგომარეობის პროგნოზირების პროცესები უზრუნველყოფილია ხელის ავტომატიზირებული და ავტომატური კონტროლის საშუალებებით.

ხელით კონტროლის საშუალებები, რომლებიც ამჟამად გამოიყენება ტექნიკური სისტემების მომსახურების დროს, ხასიათდება კონტროლის დაბალი უტყუარობით, მომსახურების ჩატარებაზე დროის დიდი ხარჯვით და საჭიროებს მაღალკვალიფიციურ პერსონალს. აქედან გამომდინარე ისინი კარგავენ თავის მნიშვნელობას მომსახურების პროცესში და მათ ცვლიან ავტომატიზირებული კონტროლის საშუალებებით.

კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებები თანმიმდევრულად წყვეტენ კონტროლის ობიექტის შესახებ ინფორმაციის შეგროვების, გადაცემის, გადამუშავების და ანალიზის ამოცანებს, მისი ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის მიზნით. ამასთან, ოპერაციების უმეტესობა ხორციელდება ოპერატორების მონაწილეობის გარეშე. კონტროლის თანამედროვე ავტომატიზირებული საშუალებები ხასიათდებიან კონტროლის მაღალი უტყუარობით, მომსახურების უბრალოებით და მკვეთრად ამცირებენ დროის დანახარჯებს ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკებისა და პროგნოზირებისას.

კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებები ჯერ-ჯერობით იშვიათად გამოიყენება ტექნიკური სისტემების ექსპლოატაციის დროს, რადგან კონტროლის სრული ავტომატიზაცია მოითხოვს დიდ დანახარჯებს, რთულია და არ აქვს საკმარისი საიმედოობა. ჩვენი მიზანია, სწორედ ექსპლოატაციის პერიოდში ამ სისტემების გამოყენება.

ამჟამად, არსებული კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები გამოირჩევა მნიშვნელოვანი მრავალფეროვნებით, რომელიც დამახასიათებელია, როგორც მისი გამოყენების სფეროს, ისე ტექნიკური რეალიზაციისათვის.

ნათელი წარმოდგენა რომ გვქონდეს კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემების ადგილისა და თვისების შესახებ ტექნიკური ექსპლოატაციის პროცესში, აუცილებელია კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემების კლასიფიკაცია. ძირითადი ნიშნები, რომლითაც შეიძლება კლასიფიკაცია არის შემდეგი განლაგების ადგილი. დანიშნულება ტექნიკური ექსპლოატაციის სისტემაში, გადასაჭრელი ამოცანების ხასიათი, ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის რეჟიმი, ინფორმაციის შეგროვებისა და გადამუშავების წესი, ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის წარდგენის წესი.

განლაგების მიხედვით კონსტრუქციული რეალიზაციისაგან დამოკიდებულებებით იყოფა ჩადგმულ და გარე სისტემადად. კონტროლის ჩადგმული სისტემები სრულდება საერთო კონსტრუქციაში და კონსტრუქციულად გამოყოფილია ცალკე მოწყობილობად.

კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები შედგება ორი კონსტრუქციული ნაწილისაგან. ერთი მათგანი, რომელშიც შედის რეგისტრაციის მოწყობილობა, განლაგებულია ტექნიკურ სისტემაში. მეორე ნაწილი, რომელიც შედგება ექსპლოატაციის დროს რეგისტრირებული ინფორმაციის დამუშავების, ასახვის და დოკუმენტირების აპარატურისაგან, შედის ტექნიკური მომსახურების საშუალებებში.

კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები, რომლებიც განკუთვნილია ექსპლოატაციის შეწყვეტის შემდეგ მომსახურებისათვის, წარმოადგენს რთულ კომპლექსებს, რომლებსაც შეუძლიათ გადაწყვიტონ ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის კონტროლის, დიაგნოსტიკის, პროგნოზირების და აღდგენის ყველა ამოცანა. ამიტომ მათ გააჩნიათ უნივერსალურობა, მაღალი უტყუარობა და მეტი სწრაფქმედება კონტროლის სხვადასხვა ამოცანების გადაწყვეტის დროს.



დადგმის ადგილის მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად: დემონტირებული და არადემონტირებული დანადგარების მიხედვით. პირველ ჯგუფს აყენებენ ხელსაწყოების საამქროებში, მძიმე ფორმის მომსახურების საამქროებში, სარემონტო ქარხნებში და ა.შ. სტაციონალური შესრულებით. მეორე ჯგუფი გამოიყენება ოპერატიული, პერიოდული და მძიმე ფორმის მომსახურების საამქროებში და შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც სტაციონალური, ისე მობილური შესრულებით.

კლასიფიკაცია დანიშნულების ნიშნის მიხედვით ტექნიკური ექსპლოატაციის სისტემაში გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ ჩნდება აუცილებლობა ტექნიკური სისტემის მდგომარეობის კონტროლის, დიაგნოსტიკის, პროგნოზირების და აღდგენის სხვადასხვა ამოცანების გამოყოფისა მისი ექსპლოატაციის ყოველ ეტაპზე. ამ ნიშნისაგან დამოკიდებულებით კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები იყოფა ექსპლოატაციის დროს მდგომარეობის მაკონტროლებელ, მომსახურების ოპერატიული და პერიოდულ ფორმებში მონაწილე და სარემონტო სამუშაოებისას გამომსვლელი კონტროლის უზრუნველმყოფ ქვეგანყოფილებებად.

გადასაწყვეტი ამოცანების შესაბამისად კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები კლასიფიცირდება ტექნიკური მდგომარეობის სახის განმსაზღვრელი (გამართულობა, მუშაობისუნარიანობა, ფუნქციონირების სისწორე), დაზიანების ადგილის მოძებნის უზრუნველყოფის, ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების და აღდგენის ჯგუფებად. განსაკუთრებულ ქვეჯგუფებად გამოიყოფა კომპლექსური ქვესისტემები, რომლებიც წყვეტენ ყველას ან რამდენიმეს ჩამოთვლილი ამოცანებიდან.

კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემების საშუალებით ამოცანების გადატანა შეიძლება წარმოებდეს კონტროლის ობიექტის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმში. ამ ნიშნის მიხედვით კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები იყოფა ჯგუფებად: სტატიკური, რომლებშიც ტექნიკური მდგომარეობა განისაზღვრება მისი სტატიკური თვისებების დამახასიათებელი პარამეტრებით; დინამიკური, რომლებშიც ტექნიკური მდგომარეობა განისაზღვრება მისი დინამიური თვისებებისთვის დამახასიათებელი პარამეტრებით; კომპონირებული, რომლებშიც ტექნიკური მდგომარეობა განისაზღვრება მათი როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური თვისებებით. ობიექტის სტატიკური და დინამიკური დახასიათების

პარამეტრები შეიძლება მივიღოთ შეყვანილ მასტიმულირებელ სიგნალებზე (ტესტური კონტროლი) რეაქციების მიხედვით ან ნორმალური ფუნქციონირების რეჟიმში (ფუნქციონალური კონტროლი).

ინფორმაციის შეგროვებისა და გადამუშავების წესის მიხედვით კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები იყოფა ჯგუფებად: დეცენტრალიზებული, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის შეგროვებას და გადამუშავებას კონტროლის ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ ერთიან ბლოკში; თანმიმდევრული ქმედების, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის თანმიმდევრულ შეგროვებას და გადამუშავებას რამდენიმე წყაროდან; პარალელური ქმედების, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის შეგროვებას და გადამუშავებას ერთდროულად რამდენიმე წყაროდან.

ინფორმაციის წარდგენის წესის მიხედვით კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები იყოფა შემდეგნაირად: ცენტრალური ინდიკაციით, რომლებშიც საკონტროლო ინფორმაციის ინდიკაციისთვის გამოიყენება გაერთიანებული პულტი; ავტომატური ინდიკაციით, ინფორმაციის რეგისტრაციით და ინფორმაციის რეგისტრაციის გარეშე.

წარმოდგენილი კლასიფიკაციის შესაბამისად ჩვენს მიერ დამუშავებულია სხვადასხვა სახის კონტროლის ავტომატიზირებული სისტემები.

## 4.2 კონტროლის ლოგიკური მოწყობილობის

### სტრუქტურული სქემები

კონტროლის ჩადგმული სისტემები საშუალებას იძლევიან ავამაღლოთ ტექნიკური სისტემების მუშაობის საიმედოობა და ვუზრუნველყოთ მუშაობის უსაფრთხოების აუცილებელი დონე ექსპლუატაციის ყველა ეტაპზე. კონტროლის ჩადგმული სისტემა მუშაობს საკონტროლო სისტემების ფუნქციონირების მთელი დროის მანძილზე. ის იძლევა ინფორმაციას დაზიანების შესახებ, რომელიც გამოიყენება მათი მოძებნისა და ლოკალიზაციის ამოცანების გადასაჭრელად კონსტრუქციულად ექსპლუატაციის წინა შემოწმების ეტაპზე.

დაზიანების ინდიკაცია, რომელსაც იძლევა კონტროლის ჩადგმული სისტემა, გამოიყენება მომსახურე პერსონალის მიერ ექსპლუატაციის დროს გადაწყვეტილების მისაღებად დავალების შესრულების შესაძლებლობის შესახებ.

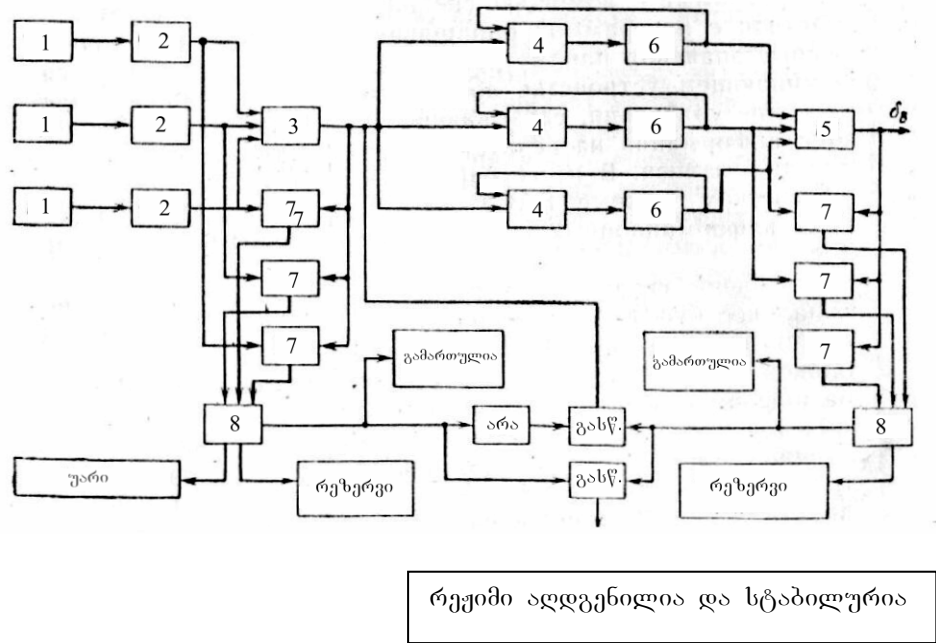
კონტროლის ჩადგმული სისტემის მოწყობის პრინციპი დაფუძნებულია შემდეგი თანმიმდევრული ოპერაციების შესრულებაზე:

- ტექნიკური სისტემის მდგომარეობის პარამეტრების გაზომვა და მათი კრიტიკული მნიშვნელობის განსაზღვრა;
- სიგნალების ლოგიკური ანალიზი, რომლის შედეგად ფიქსირდება კონტროლის ობიექტის მუშაობის უნარი და დაზიანება;
- სიგნალების მიწოდება დაზიანებული მოწყობილობების გამორთვის და მათ ნაცვლად სარეზერვო ჩართვის შესახებ, თუ ასეთი გათვალისწინებულია გასაკონტროლებელ სისტემაში;
- სიგნალიზაციის დაზიანების შესახებ.

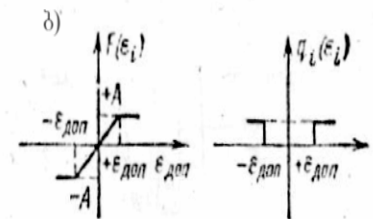
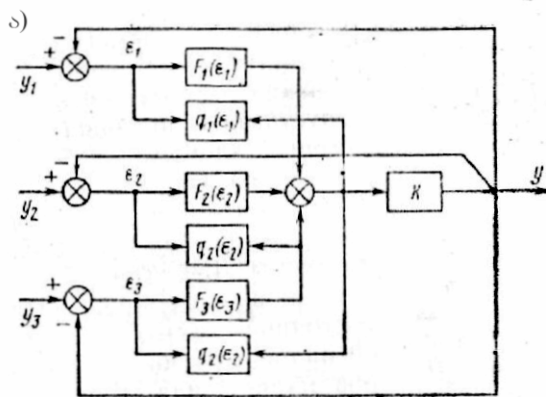
კონტროლის ჩადგმული სისტემის მაგალითის სახით, სადაც რეალიზებულია ჩამოთვლილი ოპერაციები, განვიხილოთ მართვის სამარხიანი ავტომატური სისტემა, რომელიც მუშაობს სტაბილიზაციის ავტომატურ რეჟიმში (ნახ 4.1). სქემა მოწყობილია სამი ქვეარხის შერეული რეზერვირების პრინციპით. სიგნალები, რომლებიც მიეწოდება სამი გადამწოდებიდან (1) სამ ფაზამგრძნობიარე გამმართველს (2), რომელთა გამოსასვლელები შედიან კვორუმ-ელემენტში (3). სიგნალი კვორუმ-ელემენტებიდან, სიგნალები კუთხური სიჩქარის მაჩვენებლებიდან და უკუკავშირიდან შედიან საჭის აგრეგატის გამაძლიერებლებზე (4). თავის მხრივ საჭის აგრეგატებს გააჩნიათ მექანიკური ქვორუმ-ელემენტი (5), რომლის გამოსასვლელი დაკავშირებულია საჭესთან (6). ყოველ ქვორუმ-ელემენტს გააჩნია სამი დამაბულობის სიგნალიზატორი (7), რეზერვირების ქვეარხების რაოდენობის თანახმად. დამაბულობის სიგნალიზატორები გასცემენ ინფორმაციას ყოველი ქვეარხის ელემენტების დაზიანების შესახებ კონტროლის ლოგიკურ მოწყობილობაზე (8).

განვიხილოთ ქვორუმ-ელემენტის მუშაობა (ნახ.4.2), რომელიც ახდენს ერთ-ერთი ქვეარხის ელემენტის დაზიანების განსაზღვრას. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდგომში: დავუშვათ, რომ გვაქვს სისტემა სამმაგი რეზერვირებით. მაშინ ალბათობა ერთი არხის დაზიანებისა მეტია ორი დანარჩენი არხის დაზიანების

ალბათობაზე. ამიტომ დაზიანებულად თვლიან იმ არხს, რომლიდან გამომავალი სიგნალიც განსხვავდება დანარჩენი ორიდან გამომავალი სიგნალისაგან. გადმოცემული მეთოდის რეალიზაციისათვის რეზერვირებული არხების რიცხვი უნდა იყოს კენტი.



ნახ. 4.1 მართვის სამარხიანი ავტომატური სისტემა



- ნახ. 4.2. ა) ქვორუმ-ელემენტის სტრუქტურული სქემა;  
 ბ) მისი რგოლების სტატიკური მახასიათებლების ცვლილება.

განვიხილოთ ქვორუმ-ელემენტის სტრუქტურული სქემა. სამი ერთი ტიპის აგრეგატიდან ქვორუმ-ელემენტში შედის სიგნალები  $Y_1, Y_2, Y_3$ . თითოეული ამ სიგნალიდან გაივლის რგოლს, რომელსაც გააჩნია სტატიკური მახასიათებელი:

$$S_i \varepsilon_i, - \varepsilon_{\text{დამ}} < \varepsilon_i < \varepsilon_{\text{დამ}} - \text{ის დროს}$$

$$F(\varepsilon_i) = +A, - \varepsilon_i \geq \varepsilon_{\text{დამ}} - \text{ის დროს} \quad (4.1)$$

$-A, - \varepsilon_i \leq \varepsilon_{\text{დამ}} - \text{ის დროს}$

სადაც  $S_i$  - სტატიკური მახასიათებლის დახრის კოეფიციენტი;

$A$  - მაქსიმალური დასაშვები გამომავალი სიგნალია;

$\varepsilon_i = Y_i - Y$  - სხვაობა ქვორუმ-ელემენტის  $i$  შემავალ და ჯამურ გამომავალ სიგნალებს შორის;  $\varepsilon_{\text{დამ}} - \varepsilon_i$  - სიგნალების - სხვაობების დასაშვები მაჩვენებელია;  $I$  - სარეზერვო ქვეარხის ნომერია.

თუ ქვორუმ-ელემენტის სტრუქტურულ სქემაში  $k=\infty$ , მაშინ სიგნალი გამოსვლისას

$$Y \cong \sum_{j=1}^m \beta_j Y_j \quad (4.2)$$

სადაც,  $m$  - შემავალი სიგნალების რაოდენობაა, რომლებისთვისაც დაცულია უტოლობა

$$|Y_i - Y| \leq \varepsilon_{\text{დამ}}$$

მაშინ მახასიათებლის ხაზობრიობის ზონაში  $F(\varepsilon_i)$  ქვორუმ-ელემენტის გამომავალი სიგნალი სამი დაუზიანებელი ქვეარხისათვის  $Y=(Y_1+Y_2+Y_3)/3$ ; ორი დაუზიანებელი ქვეარხისათვის  $Y=(Y_1+Y_2)/2$ ; დაზიანების დეტექტორის როლს თამაშობს დამაბულობის სიგნალიზატორი - მოწყობილობა, რომელიც რეალიზაციას უკეთებს მახასიათებელს

$$q(\varepsilon_i) = \begin{cases} 0, & \varepsilon_i < -\varepsilon_{\text{დამ}} - \text{ის დროს;} \\ 1, & \varepsilon_i \geq -\varepsilon_{\text{დამ}} - \text{ის დროს;} \end{cases} \quad (4.3)$$

მისი სტრუქტურული სქემა შედგება ორი კარიბჭული ელემენტისაგან, რომელთაგან თითოეული რეაგირებს კვების ბლოკის სიმძლავრის გამამლიერებლის

ლოგიკური ელემენტის და შემსრულებელი რელეს სიგნალების სხვაობის განმსაზღვრელ ნიშანზე. სიგნალების სხვაობის  $Y_i - Y$  მიერ დასაშვები მნიშვნელობის  $\epsilon_{\text{დაშ}}$  გადაჭარბებისას ირთვება კარიბჭის ელემენტი და გასცემს სიგნალს რელეზე, რომელიც გამორთავს  $i$  ქვეარხს და გამოიმუშავებს სიგნალს კონტროლის ლოგიკურ მოწყობილობაზე. მისი სქემის მუშაობა მდგომარეობს შემდეგში. საწყისი მდგომარეობა სქემის – დამაბულობის სიგნალიზატორებიდან დაზიანების სიგნალების არარსებობა. ამ შემთხვევაში ლოგიკური ბუდეები  $A_1, A_2, A_3$  გადასცემენ სიგნალებს ბუდეებს  $H_1, H_2, H_3$  რომლებიც თავის მხრივ გადასცემენ რა სიგნალებს ბუდეს, იძლევიან ინფორმაციას «გამართულია». ერთ-ერთი ქვეარხის დაზიანების შემთხვევაში ანუ დამაბულობის სიგნალიზატორიდან სიგნალის შემოსვლისას და  $3$  ბუდის მიერ მისი დაფიქსირებისას, რომელშიც ხდება მისი დახასიათება, ამოირთვება სიგნალი შესაბამისი ბუდიდან  $A$ . მაშინ ერთ-ერთი სიგნალი  $H_1$  ბუდის შესასვლელთან აღარ იქნება, ხოლო  $A_4$  ბუდის მიერ ფორმირებული სიგნალის დახმარებით გაიცემა ინფორმაცია «რეზერვი არ არის»

კონტროლის ავტომატური სისტემების მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდგომში. ინფორმაციის შეგროვების ქსელის მეშვეობით კონტროლის ავტომატში გარკვეული თანმიმდევრობით მიეწოდება სიგნალები, რომლებიც ახასიათებენ სტატიკურ და დინამიკურ პარამეტრებს, განსაზღვრავენ სისტემების ტექნიკურ მდგომარეობას. სისტემის მუშაუნარიანობის შეფასება ხდება მისი მუშა მახასიათებლების გადახრით და რეაქციით სპეციალურ საკონტროლო სიგნალებზე ამ პარამეტრების ნომინალური მნიშვნელობებიდან. ხდება კონტროლის შედეგების ლოგიკური გადამუშავება, რის შედეგადაც კონსტატირდება ამა თუ იმ ბლოკის და ტექნიკური სისტემის მუშაუნარიანობა ან დაზიანება; დაზიანების ძებნა საკონტროლო მოსახსნელი ბლოკის დონემდე; ტექნიკური სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება. გარდა ამისა კონტროლის შედეგები მიეწოდება საექსპლოატაციო და ავარიული ინფორმაციის რეგისტრატორებს, ამასთან ამა თუ იმ ფორმით (ტაბლო, ავარიული დიქტოფონი და სხვა) ეცნობება მომსახურე პერსონალს (ეკიპაჟს, მემანქანეს და ა.შ.).

პარამეტრების კონტროლის ავტომატური რეჟიმი ხორციელდება სპეციალური დამუშავებული პროგრამით. ამასთან პროგრამის შესაბამისად გამოიკითხება საკონტროლო წერტილები. პარამეტრების გაზომილი მნიშვნელობები შედარდება

დამამახსოვრებელ მოწყობილობაში შენახულ დასაშვებ ზღვრებთან. იხსნება ლოგიკური განტოლებები, რომლებიც აკავშირებენ რამდენიმე პარამეტრს და გაიცემა ინფორმაცია საბეჭდ მოწყობილობაზე. შედეგად განისაზღვრება დაზიანებები.

კას-ის ძირითადი დამაკავშირებელი მოწყობილობაა ცენტრალური ბუფერი, რომელშიც ანალოგიური ინფორმაცია გარდაიქმნება ციფრულად. ის დაკავშირებულია კონტროლის შედეგების შესახებ ინფორმაციის შემკრები თითოეული ბლოკის ცალკეულ არხთან. ინფორმაციის შეკრების ბლოკზე შემოდის გაზომვის შედეგები 30 საკონტროლო წერტილიდან. ანალოგიური სიგნალები საკონტროლო წერტილებიდან იხსნება ძაბვის სახით ამპლიტუდით 200ვ და 400 ჰც-მდე სიხშირით. ინფორმაციის შეკრების დისტანციურ ბლოკებში ისინი ნორმალიზდება სტანდარტულ ძაბვამდე  $\pm 5$ ვ. საკონტროლო წერტილების გამოკითხვა ხდება ავტომატურად 10 კჰც სიხშირით.

თუ საკონტროლო პარამეტრის ციფრული მნიშვნელობის შედარების შედეგად დასაშვებ ზღვრებთან იძლევა დასკვნას «უვარგისია», მაშინ ის რთავს მოწყობილობებს: საბეჭდ, ავარიისა და ჩაწერის რეგისტრაციის მოწყობილობებს, რომლებშიდაც ფიქსირდება კონსტრუქციულად მოსახსნელი ბლოკის ნომერი, პარამეტრის მნიშვნელობა და დრო. ამასთან გამოკითხავს იმ მოწყობილობის ყველა საკონტროლო წერტილს, რომელშიდაც აღმოჩენილია სიგნალი «უვარგისია». სიგნალის «უვარგისია» გაცემისას მომსახურის (ბორტინჟინერის) მაჩვენებლების დაფაზე ინთება სასიგნალო ნათურა და ის ან ცვლის უვარგის ბლოკს, ან გადასცემს ამ ბლოკის ნომერს მისი შეცვლის დროულად მოსამზადებლად.

გარდა ამისა, აწარმოებს აღრიცხვას საკონტროლო პარამეტრების დასაშვები ზღვრული გადახრებისა დროში, შემდგომში მათ შესახებ ინფორმაციის გაცემით სარეგისტრაციო მოწყობილობაზე. ეს აუცილებელია საკონტროლო პარამეტრების ცვლილებების პროცესების შესახებ სტატისტიკური მონაცემების დაგროვებისათვის და მათი გამოყენებისათვის პროგნოზირების ამოცანების გადასაწყვეტად და სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის პროფილაქტიკური მომსახურების გრაფიკების შესადგენად.

კონტროლის ხელის რეჟიმი ხორციელდება სპეციალისტის მიერ მართვისა და დაზიანებების ძეგნის სპეციალური ბლოკის საშუალებით. ხელის კონტროლს ექვემდებარება რთული ფორმის სიგნალები, საკურსო სისტემიდან, რომლებიც

შემოდინ რადიოლოკალური სადგურიდან და სხვა მოწყობილობებიდან. ხელის რეჟიმის დროს გადამუშავდება მაქსიმუმ 383 საკონტროლო პარამეტრიც 4 წერტილ/წთ სიჩქარით.

ინფორმაცია კონტროლირებად პარამეტრზე შემოდის საკონტროლო წერტილიდან ანალოგიური ფორმით ინფორმაციის შესაკრებ დისტანციურ ბლოკებზე, შემდეგ ბუფერულ მრავალარხიან მოწყობილობაზე, შემდეგ კომპიუტერზე. კომპიუტერის მონიტორზე ოსცილოგრაფზე ასევე ერთდროულად მიეწოდება მოცემული პარამეტრის ეტალონური სიგნალი. სპეციალისტი თვალთ ადარებს ამ სიგნალებს და განსაზღვრავს დაზიანებას.

### **4.3 ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის პირობებში კონტროლის ავტომატური სისტემის უნიკალური სქემა**

კონტროლის ავტომატური სისტემები, რომლებიც გამოიყენებოდნენ ტექნიკური სისტემების კონტროლისათვის, წარმოადგენდნენ სტაციონარულ დანადგარებს რომელიმე ერთი კლასის მომსახურებისათვის, რადგან იქმნებოდნენ სპეციალიზირებული გამომთვლელების ბაზაზე კონტროლის «მკაცრი» პროგრამით. აქედან გამომდინარე მათ ვერ პოვენ ფართო გამოყენება.

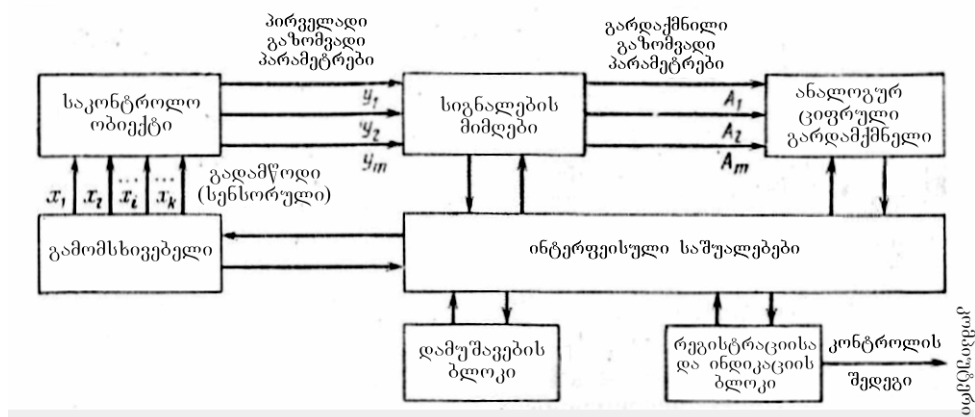
კონტროლის ობიექტების სირთულის ზრდამ, მათმა მზარდმა ნომეკლატურაზე ექსპლუატაციის პროცესების განუხრელმა სრულყოფამ, კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებამ და გაზრდილმა მოთხოვნილებამ ტექნიკური სისტემების მშენებლობისადმი განაპირობეს კონტროლის ავტომატურ სისტემაზე გადასვლის აუცილებლობა, ინფორმაციის წარდგენის და დამუშავების ციფრული მეთოდების გამოყენებით აპარატულ-კომპიუტერულად.

კონტროლის ავტომატური სისტემები წარმოადგენს რთულ მოწყობილობას, რომელსაც შეუძლია განსაზღვროს ნებისმიერი ტექნიკური მდგომარეობა სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების ათასობით პარამეტრის მნიშვნელობის გაზომვისა და დამუშავების საფუძველზე. კონტროლის ავტომატურ სისტემებს გააჩნიათ მაღალი უნივერსალობა და შეუძლიათ პროგრამული მეთოდებით გადაეწყონ ერთი სახის მოწყობილობების კონტროლიდან მეორეზე. მარეგისტრირებელი აპარატურის ფართოდ გამოყენება საშუალებას აძლევს მათ დააგროვონ სტატისტიკური



მონაცემები ექსპლოატაციის პროცესში, რომელთა ბაზაზე ხდება საიმედოობისა და ტექნიკური მდგომარეობის ეფექტური პროგნოზირება.

ჩვენს მიერ დამუშავებული კონტროლის ავტომატური სისტემის სტრუქტურული სქემა მოცემულია ნახ. 4.3-ზე, რომელიც შედგება: კონტროლის ობიექტთან მიერთების აპარატურისაგან (პირველადი გამზომი გარდამქმნელები, ადაპტორები, კომუტატორები); ციფრული გამზომი ხელსაწყოებისაგან (ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელები); მასტიმულირებელი ზემოქმედების წყაროებისაგან (ციფროანალოგური გარდამქმნელები); ინტერფეისული საშუალებებისაგან (ციფრული კომუტატორები, ტრანსლიატორები, მოდემები); ინფორმაციის დამუშავების აპარატურისაგან (კომპიუტერი, მიკროპროცესორები, პროგრამულ ლოგიკური მოწყობილობები); რეგისტრაციის და ინდიკაციის აპარატურისაგან (ციფრომბეჭდავი მოწყობილობა, გრაფომწყობები, დამგროვებლები, დისპლეები, ტაბლო).



ნახ. 4.3 კონტროლის ავტომატური სისტემის სქემა

განსაკუთრებულ ჯგუფშია გაერთიანებული კონტროლის ობიექტებთან ტექნიკური და ელექტრონული მიერთების მოწყობილობები, ანუ ადაპტორები. ისინი ორიენტირებული არიან ტექნიკური სისტემის კონკრეტულ ტიპზე, ითვალისწინებენ მის კონსტრუქციულ თავისებურებებს და კონტროლის წერტილების განლაგებას.

იმის შედეგად, რომ კონტროლის ავტომატურ სისტემებში ინფორმაციის დამუშავება ხდება ელექტრული სიგნალების პარამეტრების საფუძველზე, მიერთების აპარატურაში არის პირველადი გამზომი გარდამქმნელები, რომლებიც გარდაქმნიან გაზომილ არაელექტრულ პარამეტრებს ელექტრულად. შემდეგ

პარამეტრები კოდირდება ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელებით და შედიან ინტერფეისურ საშუალებებში, რომლებიც წყვეტენ ხელსაწყოების შეუღლების ამოცანებს ინფორმაციის კოდების სხვადასხვა სტრუქტურებთან, ორგანიზებას უკეთებენ ინფორმაციის გაცვლის მოწყობილობებს შორის შესაბამის საინფორმაციო კავშირს, აერთიანებენ ინფორმაციის მატარებელ პარამეტრებს, ორგანიზებას უკეთებენ ინფორმაციის გაცვლის კონტროლის ავტომატური სისტემის მოწყობილობებს შორის და ა.შ. ინტერფეისული საშუალებების საფუძველს შეადგენს ციფრული კომპუტატორები. ინტერფეისული საშუალებებიდან კონტროლის პარამეტრები მიეწოდება მიკროპროცესორს, რომელიც განაგებს ყველა ინფორმაციულ ნაკადს. მიკროპროცესორის მეხსიერების ბლოკში ინახება კონტროლირებადი პარამეტრების მინიმალური მნიშვნელობები, მათზე დაშვებები, საკვლევი ობიექტების მასტიმულირებელი სიგნალების და ეტალონური მახასიათებლების სხვადასხვა სახეები. პარამეტრების გარკვეული სახეებისათვის, რომლებიც ფასდება ირიბი მეთოდებით, მიკროპროცესორში ინახება აუცილებელი კონსტანტები და მათი მიღების ქვეპროგრამები. კონტროლის შედეგები მიკროპროცესორიდან მიეწოდება რეგისტრაციის და ინდიკაციის აპარატურას.

რეგისტრაციის აპარატურა იძლევა კონტროლის შედეგების დოკუმენტირების საშუალებას. ამისათვის გამოიყენება ციფრსაბეჭდი მოწყობილობა და მაგნიტური ჩაწერა. ჩამწერი მოწყობილობები ჩვეულებრივ აფიქსირებენ: კონტროლის თარიღს, კონტროლის ობიექტის ნომერს და შიფრს, შემოწმების ნომერს, საკონტროლო პარამეტრის ნომერს, მისი განზომილების მნიშვნელობას და კონტროლის შედეგების განზოგადებულ შეფასებას (გამართულია, გაუმართავია, მუშაუნარიანია, არამუშაუნარიანია, წყობიდან გამოსული ბლოკის ნომერი და ა.შ.)

ინდიკაციის აპარატურა მოიცავს სხვადასხვა ტაბლოს, ციფრულ ინდიკატორულ ხელსაწყოებს, ელექტრონულ-სხივურ მილაკებს და ა.შ., რომლებიც საშუალებას იძლევიან ვიზუალურად შეფასდეს, გაიზომოს და გაანალიზდეს საკონტროლო პარამეტრები და სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების მახასიათებლები და ოპერატორმა მიიღოს გადაწყვეტილება ტექნიკური სისტემის მდგომარეობაზე.

კონტროლის ავტომატური სისტემის მართვის პულტი შეიცავს მართვის ორგანოებს მთელი აპარატურით. ისინი საშუალებას აძლევენ ოპერატორს დაიწყოს ან შეწყვიტოს კონტროლის პროცესი, გადავიდეს კონტროლის ერთი რეჟიმიდან

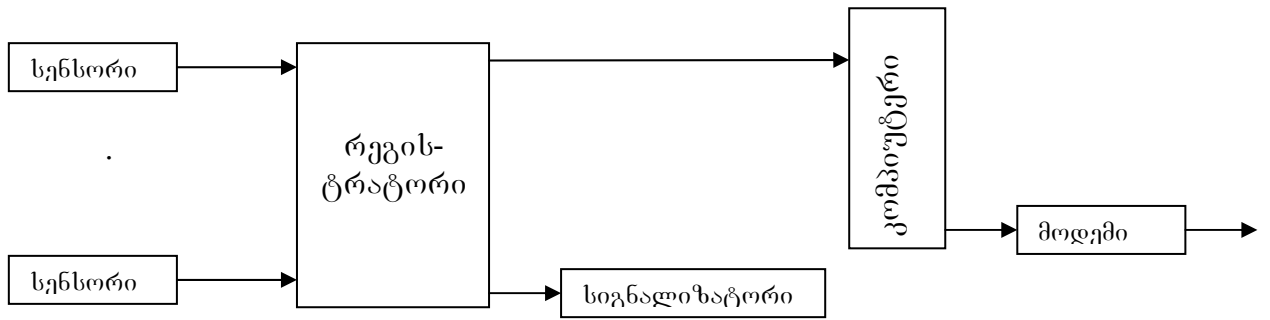
მეორეზე, გადართოს ინდიკატორული მოწყობილობები კონტროლის კრიტიკულ პარამეტრების დაკვირვებაზე, ჩაატაროს მთელი სისტემის ან მისი ცალკეული მოწყობილობების თვითკონტროლი, უტყუარობის გასაზრდელად გაიმეოროს ერთი პარამეტრის კონტროლის ოპერაცია და ა.შ.

#### **4.4 ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების ბლოკ-სქემები**

სისტემის მოწყობის წარმოდგენილი ვარიანტი მდგომარეობს ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკის და კონტროლის ავტომატური მიკროპროცესორული სისტემის შექმნაში – ავტონომიური მიკროპროცესორული რეგისტრატორ-სიგნალიზატორების ბაზაზე, რომლებიც დაკავშირებულია სატელეფონო ან რადიოხაზებით დისპეჩერის პერსონალურ კომპიუტერთან და მუშაობენ ავტონომიურად კონსტრუქციების მაჩვენებლებიდან ინფორმაციის შეგროვების ავტომატურ რეჟიმში ავტონომიურ მმართველ პროგრამასთან შესაბამისად. ერთ ავტონომიურ მიკროპროცესორულ რეგისტრატორს შეიძლება შეუერთდეს სხვადასხვა პარამეტრები (წნევა, ტუმაკრატურა, გადაადგილება და ა.შ.), შესაძლებელია ათამდე მაჩვენებლის დაფიქსირება.

სისტემის საბაზო ელემენტად ითვლება ავტონომიური მიკროპროცესორული რეგისტრატორ-სიგნალიზატორი, რომელიც დისკრეტიზაციის მოცემული სიხშირით აწარმოებს მიღებული სიგნალების გარდაქმნას ციფრულ კოდებად. არეგისტრირებს მათ ნახევარგამტარულ მეხსიერებაში და გადასცემს შემდგომი დამუშავებისათვის კომპიუტერში. დამუშავებული სისტემის რამდენიმე ვარიანტი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება მოცემული ფუნქციების რეალიზაციის საშუალებით.

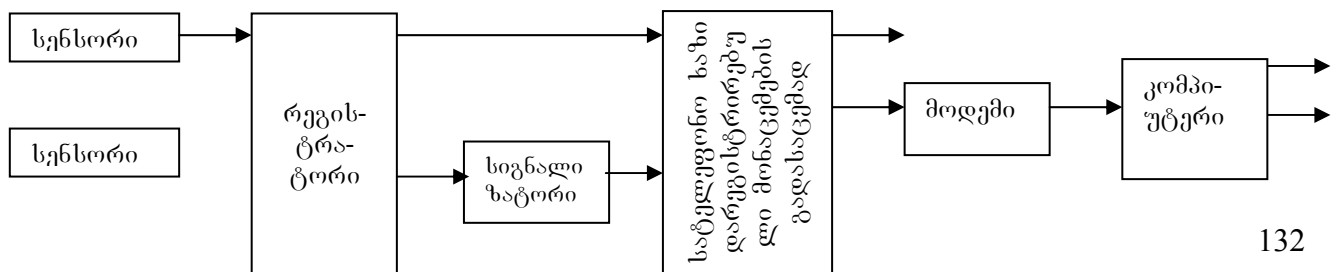
პირველი ვარიანტი (ნახ.4.4) გულისხმობს მიკროპროცესორული რეგისტრატორის კავშირს დისპეჩერის პერსონალურ კომპიუტერთან სტანდარტული ინტერფეისით RS232C. კომპიუტერი ღებულობს რეგისტრირებულ მონაცემებს, აწარმოებს მათ დამუშავებას, გამოსახვას და გადაცემას დიაგნოსტიკური ცენტრის (შტაბის) კომპიუტერზე მოდემის საშუალებით სატელეფონო ხაზით.



ნახ. 4.4 ავტომატიზირებული სისტემის ავტომატური მიკროპროცესორული რეგისტრატორების ბაზაზე მოწყობის პირველი ვარიანტი.

კომპიუტერი, რომელიც მუშაობს დღე-ღამურ რეჟიმში და შეუძლია რეგულარულად საკუთარი ინიციატივით რეგისტრატორის კომპიუტერის შეკვეთით ინფორმაციის მიღება რეგისტრატორიდან არა ნაკლებ ერთი მიღებისა დღე-ღამის განმავლობაში. კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობისას რეგისტრატორი დაუყოვნებლივ ატყობინებს დისპეჩერის პერსონალურ კომპიუტერს და რთავს ადგილობრივ სიგნალიზაციას. ამასთან დიაგნოსტიკის ცენტრის კომპიუტერში ინფორმაციის გადაცემის ფუნქცია ენიჭება დისპეჩერის კომპიუტერს.

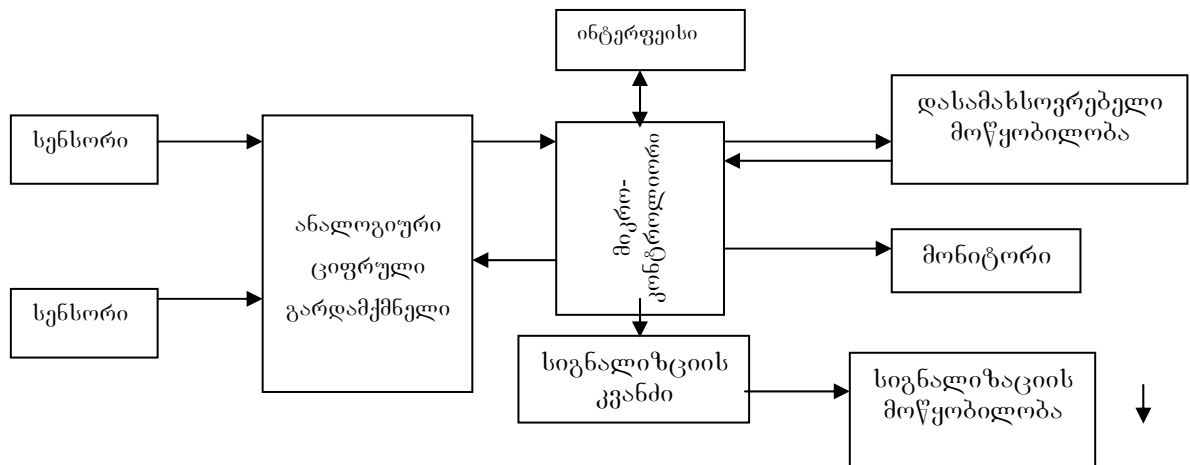
სისტემის მეორე ვარიანტი (ნახ.4.5) გულისხმობს, რომ მიკროპროცესორულ რეგისტრატორს შეუძლია უშუალოდ მართოს მოდემი სატელეფონო ხაზით დარეგისტრირებული მონაცემების გადასაცემად. მეორე ვარიანტის უპირატესობები მდგომარეობს იმაში, რომ სისტემა არ ითხოვს დისპეჩერის პერსონალური კომპიუტერის მუშაობის დღე-ღამურ რეჟიმს, ხოლო შტაბის კომპიუტერში მონაცემების გადაცემის ფუნქცია გადაეცემა რეგისტრატორს, რაც გამორიცხავს ერთ რგოლს მონაცემების გადარიცხვის ჯაჭვში და ამალღებს სისტემის საიმედოობას. ეს ვარიანტი არ საჭიროებს უშუალო სიახლოვეს დისპეჩერის პერსონალური კომპიუტერის დაყენების აუცილებლობას.



ნახ. 4.5 ავტომატიზირებული სისტემის ავტონომიური მიკროპროცესორული რეგისტრატორების ბაზაზე მოწყობის მეორე ვარიანტი

რეგისტრატორი შესრულებულია ერთკრისტალური მიკროკონტროლიორის ბაზაზე, რომელიც მუშაობს საკუთარი ავტონომიური პროგრამის ხელმძღვანელობით და ასრულებს შემდეგ ფუნქციებს:

1. გადამწოდებიდან მიღებული სიგნალების ანალოგიური სიგნალის რეგისტრაციის ალგორითმით გადასცემს ციფრული სახით ნახევარგამტარულ დასამახსოვრებელ მოწყობილობაში;
2. ახდენს რეგისტრირებული მონაცემების გადაცემას ციფრული არხით მონაცემების შემდგომი გადაცემით პერსონალურ კომპიუტერში;
3. ადარებს რეგისტრირებული სიგნალების მნიშვნელობების კონსტრუქციის მდგომარეობის ზღვრულ მნიშვნელობებთან და ახდენს სიგნალის ამპლიტუდის გადაჭარბების სიგნალიზაციას.



ნახ. 4.6 მიკროპროცესორული რეგისტრატორის სტრუქტურული სქემა.

რეგისტრატორის სტრუქტურული სქემა (ნახ.4.6) შეიცავს შემდეგ ფუნქციონალურ კვანძებს: სენსორებს (გადამწოდები); ანალოგიური ციფრული გარდამქმნელი; მიკროკონტროლიორი; მონაცემების მართვის და დამუშავების ძირითადი ელემენტი; დასამახსოვრებელი მოწყობილობა, სენსორიდან შემოსული მონაცემების რეგისტრაციისა და შენახვისათვის; ინტერფეისული კვანძი, რომელიც ახდენს მონაცემების ერთი მიმართულებით თანმიმდევრულ გადაცემას რეგისტრატორის კომპიუტერთან კავშირისათვის RS232C ტიპის პორტის გავლით;

სიგნალიზაციის კვანძი, რომელიც რთავს ზღურბლური დონის მაჩვენებელს და შემსრულებელ მოწყობილობას – რადეს, რომლის გავლით ხდება ბგერითი ან სიგნალიზაციების მოწყობილობის მართვა; ბგერითი ან სინათლის სიგნალიზაციების მოწყობილობა.

#### 4.5 კონტროლის სისტემის ხარისხის განსაზღვრა

კონტროლის ხარისხის ყველაზე განზოგადოებული კრიტერიუმი – ეს არის ეფექტურობა. კონტროლის ეფექტურობაში იგულისხმება მუშაობის ეფექტურობის შეფარდება კონტროლის არსებობის და მისი არ არსებობის შემთხვევაში. ეს განმარტება გვაძლევს საშუალებას განვიხილოთ კონტროლი, როგორც ტექნიკური სისტემის ექსპლოატაციის ერთ-ერთი ელემენტთაგანი და შევაფასოთ მისი ეფექტურობა საკონტროლო ობიექტის ეფექტურობის მეშვეობით.

კას-ის ეფექტურობის კრიტერიუმის მაჩვენებლები შეიძლება გავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: ტექნიკური, რომელიც ახასიათებს ტექნიკურ თვისებებს და ეკონომიკური. მართო ტექნიკური მაჩვენებლების გამოყენება კას-ის შეფარდებისათვის არ იძლევა საშუალებას შეფასდეს დანაკარგები მისი გამოყენებისას. მხოლოდ ეკონომიკური მაჩვენებლების გამოყენება არ იძლევა საშუალებას გათვალისწინებულ იქნას ობიექტის მუშაობაზე კას-ის გამოყენების გავლენის უმნიშვნელოვანესი მხარეები, რადგან ზოგიერთ მის მაჩვენებელს არ გააჩნია ღირებულების ექვივალენტი (მაგ. ფრენის უსფრთხოების მაჩვენებელი) ამასთან დაკავშირებით კას-ის ეფექტურობის შესაფასებლად უფრო ხშირად იღებენ ტექნიკურ-ეკონომიკურ კრიტერიუმს, რომლებშიც გამოიყენება როგორც მინიმუმ ორი მაჩვენებელი. პირველი მათგანი (ტაქტიკურ—ტექნიკური) უჩვენებს კას-ის გამოყენების შეფარდებით სარგებლიანობას, მეორე ასახავს იმ დანახარჯებს, რითაც განპირობებულია პირველი მაჩვენებელი. შედეგად ჩნდება ამოცანა ერთ-ერთი მათგანის ექსტრემალურად დანიშვნისა, მეორეზე ზოგიერთი დასაბუთებული შეზღუდვის დადებით. ტექნიკური სისტემის ექსპლოატაციის დროს წარმოქმნილი გარკვეული ამოცანების გადასაწყვეტად კას-ის სხვადასხვა ვარიანტების შერჩევისას ძირითადად გამოიყენება კრიტერიუმი:

$$E(t) \geq E, \text{ როცა } C \text{ მინიმალურია.} \quad (4.4)$$

სადაც  $E(t)$  არის მოცემული კას-ის ტაქტიკო-ტექნიკური მაჩვენებლის მნიშვნელობა,  $E$  – ტექნიკური სისტემის ექსპლუატაციის გარკვეული ამოცანის გადაჭრისთვის ტაქტიკო-ტექნიკური მაჩვენებლის საჭირო მნიშვნელობა,  $C - E(t)$  - ს მიღებასთან დაკავშირებული დანახარჯები.

იმასთან დაკავშირებით, რომ კას-ის დანიშნულებაა კონტროლის ობიექტის მუშაობის უნარიანობის ალბათობა დროის გარკვეულ  $t$  მონაკვეთზე შეიძლება განისაზღვროს კას-ის დახმარებით თითოეული შემოწმების მიხედვით. ალბათობა იმისა, რომ ყველა  $n$  პარამეტრის სათითაოდ შემოწმების შემდეგ, რომლებიც ახასიათებენ კონტროლის ობიექტის ტექნიკურ მდგომარეობას, ის კლასიფიცირდება როგორც მუშაობის უნარიანი.

$$P(t) = \prod_{i=1}^n D_i P_i(t) [1 - P_c], \quad (4.5)$$

სადაც  $D_i$  არის ალბათობა  $i$  - ური პარამეტრის სწორი დიაგნოსტიკის;

$P_i(t)$  - ალბათობა იმისა, რომ  $i$ -ური პარამეტრის მიხედვით სათითაოდ შემოწმების შემდეგ კონტროლის ობიექტი იქნება მუშაობის უნარიანი;

$P_c$  - ალბათობა კას-ის შემთხვევითი შეფერხების წარმოშობის  $i$ -ური პარამეტრის კონტროლის მომენტში.

$D_i$  - ის მნიშვნელობა განისაზღვრება ასე:

$$D_i = 1 - \alpha_{v,1} - \beta_{v,1} \quad (4.6)$$

$P_i(t)$  -ს მნიშვნელობა კონტროლის ობიექტში დაზიანების ორდინალური ნაკადის გათვალისწინებით შეიძლება მივიღოთ გამოსახულებიდან.

$$p_i(t) = \exp(-\lambda_{ip} \tau_p - \lambda_{iH} \tau_H) \quad (4.7)$$

სადაც  $t = \tau_p - \tau_H$  არის დრო, რომლის განმავლობაში კონტროლის ობიექტმა უნდა შეასრულოს მისთვის დამახასიათებელი ფუნქციები;  $\tau_p$  - კონტროლის ობიექტის მუშაობის დრო უკანასკნელი შემოწმების ან აღდგენის შემდეგ.  $\tau_H$  - უკანასკნელი შემოწმების ან აღდგენის მომენტის შემდეგ გასული დრო, რომლის განმავლობაში კონტროლის ობიექტი იმყოფებოდა არამუშა მდგომარეობაში.  $\lambda_{ip}, \lambda_{iH}$  - კონტროლის ობიექტის დაზიანების ინტენსივობის შესაბამისობები  $i$ -ური პარამეტრის მიხედვით მუშა და არამუშა მდგომარეობაში. თუ ვივარაუდებთ, რომ კას-ის შემთხვევითი შეფერხების წარმოშობის მომენტი განაწილებულია

ინტერვალის  $t = \tau_p + \tau_H$  საზღვრებში თანაბარი სიმკვრივის კანონის მიხედვით  $i$ -ური შემოწმების მიმართ, შეიძლება ჩავწეროთ

$$P_c = (\tau_p + \tau_H) / (t_j - t_{j-1}) \quad (4.8)$$

თუ კას-ი აფიქსირებს პარამეტრების თითოეული მნიშვნელობას გარკვეული ხარვეზებით, რომლის განაწილების სიმკვრივე ექვემდებარება განაწილების ნორმალურ კანონს, გამოსახულებაში (4.5) ფორმულების (4.6) და (4.8) ჩასმით  $j$ -ური შემოწმებისათვის მივიღებთ

$$P_j(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - \alpha_{v,i} - \beta_{v,i}\} \left(1 - \frac{\tau_p \tau_H}{t_j - t_{j-1}}\right) \exp(-\lambda_{pH} \tau_p - \lambda_{HH} \tau_H). \quad (4.9)$$

ოპერატორის მიერ საჭირო საკონტროლო-შესამოწმებელი აპარატურის დახმარებით დანადგარების შემოწმების ჩატარებისას მიიღება ალბათობა ამ დანადგარის როგორც მუშაუნარიანის ყველა პარამეტრის  $j$ -ური შემოწმების შედარების მიხედვით.

$$P_{oj}(t) = p_t \prod_{i=1}^n D_{oi} P_s P_i(t), \quad (4.10)$$

სადაც  $P_i(t)$  არის ალბათობა იმისა, რომ კონტროლის ობიექტის  $i$ -ური შემოწმებისას ოპერატორს არ დაუშვია შეცდომა ამ პარამეტრის ჭეშმარიტი მნიშვნელობის შეფასებისას.

$P_t$  - ალბათობა იმისა, რომ ოპერატორმა შეასრულა შემოწმების მთელი კომპლექსი დროში, რომელიც არ აღემაება ერთგვარ დასაშვებ მნიშვნელობას.

$P_s$  - ალბათობა იმისა, რომ ოპერატორი სწორად გადავიდა მორიგი საკონტროლო ოპერაციის შესრულებაზე და რომ მას არ დაუშვია შეცდომები შემდგომი გაზომვისათვის აუცილებელი მმართველობითი ზემოქმედების ფორმირებისას.

ითვლება, რომ საკონტროლო ოპერაციების შესრულების დრო, ოპერატორის პროფესიული მომზადების მოცემული დონის შესაბამისად, განაწილებულია პუასონის კანონის მიხედვით. აღმოჩნდა, რომ საკონტროლო ოპერატორის შესრულების მათემატიკური მოლოდინის დროის და დისპერსიის მნიშვნელობები თითოეულ პარამეტრზე პრაქტიკაში ერთმანეთთან ახლოა. ამასთან თუ ოპერატორი აკონტროლებს  $q$  პარამეტერს დროის ერთეულში, მაშინ ალბათობა იმისა, რომ  $T_{დამ}$



დროში  $i$  - ური შემოწმების პროცესში ის განახორციელებს  $n$  - პარამეტრის კონტროლს.

$$P_t = \frac{(qT_{don})^n}{n!} \exp(-qT_{დამ}) \quad (4.11)$$

$D_{oi}$  - განისაზღვრება (4.6) იმ პარამეტრების გამოყენებით, რომლებიც გააჩნია საკონტროლო-შესამოწმებელ აპარატურას.

ალბათობა

$$P_s = \frac{V \prod \beta^1 K^{11}}{1 - \prod (\beta^1 K^{10} - \beta^0 K^{00})}, \quad (4.12)$$

სადაც  $V$  არის ალბათობა იმისა, რომ  $i$ -ური პარამეტრი მდებარეობს მისთვის დადგენილ დაშვების ზღვრებში.

$\Pi$  - ალბათობა  $i$ -ური პარამეტრის მიხედვით შემოწმებული ობიექტის გამართულად ცნობისა მისი ფაქტიურად გამართული მდგომარეობის შემთხვევაში;

$\beta^1, \beta^0$  - ალბათობები სენსომოტორული ოპერაციების სწორი და არასწორი შესრულების, რომლებიც დაკავშირებულია რიგით შემდეგი პარამეტრის კონტროლზე გადასვლასთან;

$K^{11}, K^{10}$  - ალბათობა იმისა, რომ ოპერატორი უშეცდომოდ აღიქვამს მის მიერ შესრულებულ რიგით შემდეგი პარამეტრის კონტროლზე გადასვლასთან დაკავშირებული ოპერაციების თანმიმდევრობას, როგორც შესრულებულს სწორად ან არასწორად.

$K^{00}$  - ალბათობა იმისა, რომ ოპერატორის მიერ დაშვებული შეცდომა აღმოჩენილ იქნება მის მიერ თვითკონტროლის პროცესში.

(4.11) და (4.12)-ს ჩასმით გამოსახულებაში (7.6) მივიღებთ

$$P_{oj}(t) = \frac{(qT_{don})^n}{n!} \exp(-qT_{don}) \prod_{i=1}^n [1 - (\alpha_{0,v,1} - \beta_{0,v,1})] \times \frac{V \prod \beta^1 K^{11}}{1 - \prod (\beta^1 K^{10} - \beta^0 K^{00})} \exp(-\lambda_{ip} \tau_p - \tau_{iH} \lambda_H) \quad (4.12)$$

გვაქვს რა ალბათობების მნიშვნელობები  $P_j(t)$  და  $P_{oj}(t)$ , გადავიდეთ ინფორმაციული კრიტერიუმის მნიშვნელობის განსაზღვრაზე, რომელიც განისაზღვრება როგორც შეფარდება შესამოწმებელი სისტემის ენტროპიის ყველა  $n$  პარამეტრის მიხედვით მათი  $j$ -ური შემოწმების შემდეგ კონტროლის პროცედურის ჩატარებისას კას-ის

დახმარებით და მის გარეშე. მაშინ თუ გამოვსახავთ  $H_j$  და  $H_o$  ენტროპიებს  $P_j(t)$  და  $P_{oj}(t)$ -ის მეშვეობით, მივიღებთ

$$\begin{aligned} H_j(t) &= -\{P_j(t)\log_2 P_j(t) + [1-P_j(t)]\log_2 [1-P_j(t)]\} \\ H_{oj}(t) &= -\{P_{oj}(t)\log_2 P_{oj}(t) + [1-P_{oj}(t)]\log_2 [1-P_{oj}(t)]\} \end{aligned} \quad (4.13)$$

შედეგად კრიტერიუმის ტაქტიკურ ტექნიკური მაჩვენებლის მნიშვნელობა განისაზღვრება როგორც

$$E(t) = H_j(t) / H_{oj}(t)$$

კრიტერიუმის ეკონომიკური მაჩვენებლის განსაზღვრა შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$C = \sum_{S=1}^m C_S P_S^o = \sum_{S=1}^m P_S^o \sum_{e=1}^k C_{S,e} P_e^c, \quad (4.14)$$

სადაც  $C_S$  - ობიექტის დიაგნოსტიკების საშუალო ღირებულება  $S$  მდგომარეობის დროს;  $C_{S,l}$  - ობიექტის დიაგნოსტიკების ღირებულება,  $S$  მდგომარეობისას იმ პირობებში, რომ დიაგნოსტიკების საშუალებები  $l$  მდგომარეობაში იმყოფება.

#### 4.6 მეოთხე თავის დასკვნები

1. გაკეთებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების კლასიფიკაცია. ძირითადი ნიშნები, რომლითაც მოხდა კლასიფიკაცია არის შემდეგი განლაგების ან დადგმის ადგილი, დანიშნულება ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემაში, გადასაჭრელი ამოცანების ხასიათი, ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის რეჟიმი, ინფორმაციის შეგროვებისა და გადამუშავების წესი, ტექნიკური სისტემის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის წარდგენის წესი;
2. დამუშავებულია კონტროლის ლოგიკური მოწყობილობის სტრუქტურული სქემები, მაკოდირებელი მოწყობილობის და იმპულსის კადრში ჩაწერის განლაგების სქემები, ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის პირობებში კონტროლის ავტომატური სისტემის უნიკალური სქემა და ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის სისტემების ბლოკ-სქემები;

3. განსაზღვრულია კონტროლის სისტემის ხარისხი და განხილულია კონტროლის ავტომატური სისტემების გამოყენების მაგალითები.

### ძირითადი დაკვნები

1. შესწავლილია ტექნიკურ სისტემებში წარმოშობილი დეფექტების სახეები, გაკეთებულია მათი კლასიფიკაცია, განხილულია ტექნიკურ სისტემებში პირველი ბზარებისა და დაზიანებიათა დაგროვების პროცესის აღმოჩენის თანამედროვე ექსპერიმენტული მეთოდები;
2. დამტკიცდა, რომ მასალების რეოლოგიური მახასიათებლები დამოკიდებულია მისი დეფორმაციის სიჩქარეზე, თვით რღვევა კი შეიძლება მიმდინარეობდეს სიმტკიცის ზღვარზე ნაკლები დამაბულობისას, როცა დატვირთვისას ქმედება გაწეულია დროში;
3. თეორიულად შესწავლილია ბზარების გავრცელების მექანიზმი ხაზობრივ ბლანტდრეკად გარემოში ხანგრძლივი სტატიკური დატვირთვისას, ბზარის ზრდის მექანიკა, რეალურ მასალებში ნორმალური გახლეჩის ბზარებისთვის პლასტიკური დინების ლოკალიზაციის ეფექტი უნდა იყოს უფრო ძლიერი რამდენადაც ბზარის სიჩქარე იწვევს მის წვერთან მასალის დეფორმირების სიჩქარის გაზრდას, რასაც თავის მხრივ მიყვავართ პლასტიკურობის ზღვრის ამალღებისაკენ;
4. ტექნიკური მდგომარეობის ნიშნებად მიჩნეულია ობიექტის ხარისხობრივ და რაოდენობრივ თვისებათა განსაზღვრა, დამუშავებულია ტექნიკური დიაგნოსტიკის მოდელის აგების და ანალიზის მეთოდები, პარამეტრების შერჩევის პრინციპები და დიაგნოსტიკის მაჩვენებლები;
5. გაკეთებულია კონტროლის ავტომატიზირებული საშუალებების კლასიფიკაცია, ძირითადი ნიშნები, რომლითაც მოხდა კლასიფიკაცია. კლასიფიკაცია არის შემდეგი განლაგების და დადგმის ადგილი, დანიშნულება ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემაში, გადაჭრილი ამოცანების ხასიათი, ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის რეჟიმი, ინფორმაციის შეგროვებისა და გადამუშავების წესი, ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის წარდგენის წესი;

6. დამუშავებულია კონტროლის ლოგიკური მოწყობილობის სტრუქტურული სქემები, მაკოდირებელი მოწყობილობის და იმპულსის კადრში ჩაწერის განლაგების სქემები, ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის პირობებში კონტროლის ავტომატური სისტემის უნიკალური სქემა და ავარიების პროგნოზირების ავტომატური კონტროლის ბლოკ-სქემები;
7. განსაზღვრულია კონტროლის სისტემის ხარისხი და განხილულია კონტროლის ავტომატური სისტემების გამოყენების მაგალითები.

### ლიტერატურა

1. ბახტაძე ჯ. ბოჭკოვან-ოპტიკური გამოსახულების გარდამქმნელები, როგორც სისტემის შემადგენელი ელემენტები დარტყმითი მექანიზმების დეფორმაციების გაზომვისათვის. საკავშირო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია «გასაზომი სისტემები დიელექტრიკულ ტალღა-სატარებზე ოპტიკურ დიაპაზონში», მოხსენებათა თეზისები, მაგილიოვი, 1983.
2. ბახტაძე ჯ. სინათლის ნაკადის ანგარიშის ხერხი ფოტომეტრიული მეთოდით დეფორმაციის გაზომვისას. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული, მანქანათმშენებლობის ტექნოლოგია, №10(280), -თბილისი, 1984.
3. ბახტაძე ჯ. სინათლის ნაკადის ანგარიშის ხერხი დეფორმაციის ფოტომეტრიული მეთოდით გაზომვისას. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაცნე. №1, 117, -თბილისი, 1985.
4. ბახტაძე ჯ. რეალურ დროში მცირე ხანგრძლივობის არასტაციონალური პროცესების გამოკვლევა, ვიდეოოპტიკური სისტემა იმპულსური განათებით ბოჭკოვან-ოპტიკურ ინსტრუმენტში ინფორმაციის გარდაქმნის მეტროლოგიური შეფასება. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაცნე. №4, 117, -თბილისი, 1985.
5. ბახტაძე ჯ. დინამიკური დეფორმადი პროცესები მანქანათა სამუშაო ორგანოებში და მათი ოპტიმიზაციის გზები ბოჭკოვან-ოპტიკური ელემენტების გამოყენებით. სადოქტორო დისერტაციის მაცნე. -ლენინგრადი, 1986 (სამსახურებრივი სარგებლობისთვის).

6. ბახტაძე ჯ. ბოჭკოვანი ოპტიკა დეფორმაციის გამოკვლევაში. მონოგრაფია, - გამომცემლობა «საბჭოთა საქართველო», 1990 (სამსახურებრივი სარგებლობისათვის).
7. ბახტაძე ჯ. ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების ფუნქციონირების მეთოდების დამუშავება, ოპტიკურ ბოჭკოებზე გაზომვისა და მართვის გამოთვლითი ლოკალური ქსელით კონსტრუქციების დაზიანების დიაგნოსტიკის ცენტრების მშენებლობის მიზნით. საქართველოს სიმპოზიუმში პროექტების შემ. და კონვერს. შესახებ, მოხსენებათა კრებული (ინგ. ენაზე), - თბილისი, 15-18 მაისი, 1995.
8. ბახტაძე ჯ., სამადაშვილი მ., აბრამიძე ლ., ლალუნდარიძე გ. საკვლევ ობიექტში გაბმითი ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდის დამაგრების ხერხი. განაცხადი, №3103 07.08.2000, დადებითი გადაწყვეტილება.
9. ბახტაძე ჯ., სამადაშვილი მ., აბრამიძე ლ., ლალუნდარიძე გ. მოწყობილობა ბლოკოვანი ობიექტის სტრუქტურის მთლიანობის მონიტორინგისათვის. განაცხადი, №3104 14.08.2000, დადებითი გადაწყვეტილება.
10. ლალუნდარიძე გ., მანჯავიძე მ. ოპტიკურ ბოჭკოებზე გაზომვისა და მართვის გამოთვლითი ლოკალური ქსელის ფუნქციონირების მეთოდი ხიდში დაზიანების დიაგნოსტიკისათვის. საერთაშორისო სიმპოზიუმში უწყვეტ ტანთა მექანიკის პრობლემებზე . -თბილისი. 1997.
11. ლალუნდარიძე გ., კენჭაძე ლ., მეტრეველი გ. დაზიანების დიაგნოსტიკის უბანი ავტომობილების ტექნიკური დათვალიერების ცენტრებში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 75-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი პროფესორ-მასწავლებელთა ღია სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები. - თბილისი, 1997.
12. Агафонов П.А. Идентификация системы, предназначенной для динамических измерений Автореферат диссертации. – М., 1974, -с. 15-35.
13. Агдреев А.В. Расчёт деталей машин при сложном напряженном состоянии. – М. Машиностроение, 1981, -с. 37-95.
14. Адамиа Р.Ш. Динамика машин. –Тбилиси: Мецნიერება, 1997. - 339 с

15. Адамиа РШ Михайленко Ф.Ф. Об оптимизации переходных процессов в механических системах методом интегрального. -Сообщения АН ГССР, т. 56, №1, 1969, -с. 165-168.
16. Адамиа Р.Ш., Лиховид П.И. К вопросу расчёта систем, оптимальных по коэффициенту динамичности. -Труды IV научно-технической конференции ГПИ, вып. 10, Тбилиси, 1970, -с. 10-15.
17. Адамиа Р.Ш., Бардзеладзе Б.Р. Оптимизационный синтез переходных процессов некоторых сероительных конструкций. -Сообщения АН ГССР, 134, №3, 1989. -с. 78-81.
18. Андрейкив А.Е. Пространственные задачи теории трещин. - Киев: Наук. думка, 1982. – 346с.
19. Аршевский А.М., Вольперт А.Я., Шейнбаум. Силовые импульсные системы. - М.: Машиностроение, 1978, -с. 3-18, 171-178.
20. Афанасьев В.А., Жилкин А.М., Усов В.С. Автокалимационные приборы. – М.: Недра, 1982, -с. 67-95.
21. Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимеров. – М.: Высшая школа, 1983. – 391с.
22. Бартеньев Г.М. Термофлуктуационная теория прочности и критерий Гриффитса. - Проблемы прочности, 1989. №11. – с. 78-83.
23. Бартеньев Г.М. Термофдуктуационная теоря прочности и критерии Гриффитса. Проблемы прочности, №11. – с. 78-83.
24. Балк М.Б., Болтянский В.Г. Геометрия масс. – М.: Наука, 1987, -с. 81-179.
25. Белл Дж. Р. Экспериментальные основы механики деформационных твёрдых тел. - М.: Наука, т. 1,2. 1984, -с. 233-251, 25-54.
26. Беснократные измерители параметров вибраций: -Экспресс-информация: Контрольно-изтерительная техника 1981, №4, -с. 10-17.
27. Бесурин В.И. и др. Приборы и системы управления. – М., 1981. №5, -с. 21-22.
28. Больших А.С. Приборы и системы для имерения вибрации, шума и удара. - М.: Машиностроение, 1976, -с. 5-45.
29. Ботусов Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Фкдосов А.С. Инженерные методы исследования ударных процессов. - М. Машиностроение, 1969, -с. 25-38.
30. Ботусов М.М., Галкин С.Л., Оробинский С.П. Волоконная оптика в приборостроении. - Л.: Машиностроение, 1987, -с. 81-179.
31. Быковский Б.А., Максакин А.В. и др. Оптический Тензодатчик. Авт. свид. №702801 (СССР). – Оpubл. в Б.И., 1981, №24.

32. Быковский Ю.А. и др. Квантовая электроника. – М., 1980, №1, -с. 194-195.
33. Быковский Ю.А., Смирнов В.П., Сороковников В.Н. Тензодатчик. – А.с. 844997 (СССР). – Оpubл. в Б.И., 1981, №25.
34. Быковский Ю.А., Смирнов В.П., Толстопятов И. Интегрально- оптический тензодатчик. А.с. 815488 (СССР). – Оп. в Б.И., 1981, №7.
35. Вейнберг В.Б., Саттров Д.К. Оптика световодов. Л.: Машиностроение, 1969, -с. 15.
36. Веселов Ю.В. и др. Аппаратура воспроизведения и регистрации случайных вибраций и ударов. – Л.: Знание, 1979, -с. 10-25.
37. Вест Ч. Голографическая интерферометрия. – М.: Мир, 1982, -с. 108-118, 272-475.
38. Вейбулл В. Усталостные испытания и анализ из результатов. М.: Машгиз, 1964, -с. 269.
39. Влияние размеров образцов и асимметрии цикла на закономерности нестабильного развития трещины при циклическом нагружении. Трощенко В.Т., Покровский В.В., Каплуненко В.Г. и др. // Там же. – 1987. - №3. - с. 8-12.
40. Высокоскоростные ударные явления. /Под ред. Николаевского В.Н. – М.: Мир, 1973, -с. 24-50.
41. Глесстон С., Лейдлер К., Эйринг Т. Теория абсолютных скоростей реакций. – М.: Иностранная литература, 1948. – 386с.
42. Гречинский Д.А., Ригалин В.Г. Состояние и направление развития бесконечных методов и приборов для измерения механических величин. – М., ЦНИИТЭИ, 1980, -с. 15-20.
43. Гуревич С.Е. Анализ точек бифуркаций при росте трещины с использованием амплитуды  $j$ -интеграла  $\Delta j$ , синергетика и усталостное разрушение металлов. – М.: Наука, 1989. – с. 98-112.
44. Дейвис Р.М. Волны напряжений в твёрдых телах. М.: Ил. 1961, -с. 66-97.
45. Емельянов Н.В. Методы составления алгоритмов и программ в задачах небесной механики. – М.: Наука, 1983, -с. 4-22.
46. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Metallургия, 1975. - 455с.
47. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. – М.: Гостехиздат, 1963. – 272с.
48. Иванова В.С., Шенявский А.А. Количественная фрактография. Усталостные разрушения. - Челябинск: Metallургия, 1988. – 397 с.
49. Ионов В.Н., Огибалов П.М. Напряжения в телах при импульсном нагружении.
50. Испытательная техника: Справочник. Под ред. Ключева В.В. Кн1. – М.: Машиностроение, 1982, -с. 241-281.

51. Испытательная техника: Справочник. Под ред. Клюева В.В. Кн2. –М.: Машиностроение, 1982, -с. 117-129, 336-454.
52. Каминский А.А. Механика разрушения вязкоупругих тел. – Киев: Наук. думка, 1980. – 160с.
53. Карзов Г.П., Марголин Б.З., Швецова В.А. Некоторые физико-механические подходы к анализу макроскопических критериев разрушения. Сообщ. 1. Усталостное разрушение. -Пробл. прочности. – 1989.- №6.- с. 7-14.
54. Катус Г.П. Методы и системы автоматического контроля нестационарных параметров и параметрических полей. – М.: Машиник, 1963, -с. 360-362.
55. Карнасов В.Н. Измерение механических характеристик материалов. – М.: Стандарты, 1972, -с. 5-58.
56. В.В. Клюева. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделия –М.: Машиностроение, 1986.
57. Койтер В.Т. Общие теоремы теории упруго-пластических сред. – М.: ИЛ, 1961, -с. 31-41.
58. Корн Г., Корн Н. Справочник по математике. М.: Изд. «Наука». 1984, -831с.
59. Красовский А.Я. Хрупкость Металлов при низких температурах. – Киев: Наук. думка, 1980. – 397 с.
60. Крюков В.А. Разработка и исследование системы съема и преобразования информации для определения динамических характеристик механических объектов. – Автореферат кандидатской диссертации, 1975, -с. 75-80.
61. Колен Г.Н. Исследование в области методики определения микротвёрдости. – Канд. дис., 1967, -с. 54-75.
62. Кузьмичек Д.А., Редкевич И.В., Смирнов А.Д. Автоматизация экспериментальных исследований. – М.: Наука, 1983, -с. 327-376
63. Ленк А. Электромеханические системы. – М.: Мир, 1978, -с. 15-41.
64. Махутов Н.А. Деформационные критерии малоциклового и крупного разрушения и расчёты на прочность. – М.: Машиностроение, 1981, -с. 18-50.
65. Махутов Н.А. Поле деформации при малоцикловом нагружении. – М.: Наука, 1981, -с. 16-52.
66. Махутов Н.А. Проблемы разрушения, ресурса и безопасности технологических систем. -Сборник научных трудов Красноярск Ассоциация кодакс Сиб. ЭРА, 1997, 520.
67. Методы неразрушающих испытаний. /Под ред. Шарпа Р.М. – М.: Мир, 1972, -с. 176-202, 251-255.



68. Некоторые физико- механические подходы к анализу макроскопических критериев разрушения. Сообщ. 1/ Карзов Г.П., Марголин Б.З., Швецова В.А. и др.// Там же. - №6 – с. 7-14; Сообщ. 2. - №7. – С. 12-21; Сообщ. 3. - №8. – с. 3-10.
69. Новожилов В.В. К основам теории равновесных трещин в упругих телах // Там же. – с. 797-812.
70. Новожилов В.В. О необходимом и достаточном критерии хрупкой прочности. - Прикл. математика и механика. – 1969. – 33. – с. 212-222.
71. О структурных параметрах и характеристиках прочности металлов. Федоров В.В., Чекурова Г.А., Коновалова Г.М.и др. Изв. АН СССР. Металлы, 1988. - №2. – с.131-136.
72. Панасюк В.В., Андрейкив А.Е., Ковчик С.Е. Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов. – Киев: Наук. думка, 1977. – 277с.
73. Панасюк В.В., Ратыч Л.В., Дыттрах И.Н. О некоторых задачах исследования циклической трещиностойкости матерьялов в жидких средах. Там же. - №6, -с.42-49.
74. Панасюк В.В., Романив О.Н. Механика коррозионно-усталостного разрушения. - Коррозионная усталость матерьялов. - Киев: Наук. думка, 1982. – с. 39-66.
75. Панин В.Е., Федоров В.В., Ромашов Р.В. Явление структурно-энергетической аналогии процессов механического разрушения и плавления металлов и сплавов. - Синергетика и усталостное разрушение металлов. – М.: Наука, 1989. – с. 29-44.
76. Партон В.З., Борисковский В.Г. Динамическая механика разрушения. - М.:Машиностроение, 1985.- 264с.
77. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. - М.: Наука, 1985. -504 с.
78. Работнов Ю.Н. . Механика деформируемого твёрдого тела. - М.: Наука, 1979. -743 с.
79. РД 50-345-82. Методические указания. Расчёты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 96 с.
80. Регель Р.В., Слущкер А.Н., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М. : Наука, 1974. – 560с.
81. Трощенко В.Т. Усталость и неупругость иеталлов. - Киев: Наук. думка, 1971. – 267с.
82. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. – Ташкент, ФАН, 1985. – 167с.
83. Федоров В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел. -

- Ташкент: ФАН, 1979. – 168с.
84. Федоров В.В., Чекунова Г.А., Ромашов Р.В. Структурно-энергетические аспекты механики разрушения // I Всесоюз. конф. „Механика разрушения материалов» (Львов, сентябрь 1987 г.): Тез. докл. – Львов: Б. и., 1987. – с. 75.
  85. Федоров В.В. Эргодинамическая концепция прочности и разрушения твердых тел. Всесоюз. съезд теорет. и прикл. механики: Аннот. докл. – Ташкент: Б. И., 1986. – с. 610-611.
  86. Федоров В.В. Эргодинамическая концепция разрушения. Сообщ. 1. Основные положения эргодинамики деформируемых тел. - Пробл. прочности. – 1991. - №8. –с. 48-52.
  87. Федоров В.В. Эргодинамика и синергетика деформируемых тел. -Физ.-хим. механика материалов. – 1988. - №1 – с. 32-36.
  88. Фрибель Ж.. Дислокации. – М.: Мир, 1967. – 365с.
  89. Хеккель Н. Техническое применение механики разрушения. – М.: Metallurgiya, 1974. – 63 с.
  90. Черепанов Г.П. Механика разрушения и кинетическая теория прочности. -Там же, 1989. - №11. – с. 3-8.
  91. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. - М.: Наука, 1974. -640 с.
  92. Черепанов Г.П. Современные проблемы механики разрушения. -Пробл. прочности, 1987, №8, – с. 3-13.
  93. Ярема С.Я. Исследование роста усталостных трещин и кинетические диаграммы усталостного разрушения. -Там же, 1977, №4, - с. 3-22.
  94. Ярема С.Я., Мальничок Л.С. Исследование математических моделей роста усталостных трещин. -Физ.-хим. механика матерьялов, 1982, №4 -с.55-61.
  95. Ярема С.Я. Некоторые вопросы методики испытаний матерьялов на циклическую трещиностойкость. -Физ.-хим. механика матерьялов. – 1978, №4, -с.68-77.
  96. Ярема С.Я., Ратыч Л.В., Попович В.В. Диаграммы усталостного разрушения стали 65Г различных термообработок. -Физ.-хим. механика материалов, 1975, №3. – с 45-51.
  97. Archbold E., Ennoe A.E., Viedos M.S. Speckle protography for strain measurement – a critical assement. -Prac. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng, 1978, 136, -pp.158-164.
  98. Argyris I.M., Aicher W., Elerke K., Kieschstein M. Die dnwendung von lichtucullenlieteen und optoelektronischen wanderbel vertormungs und dehnungmessungen.

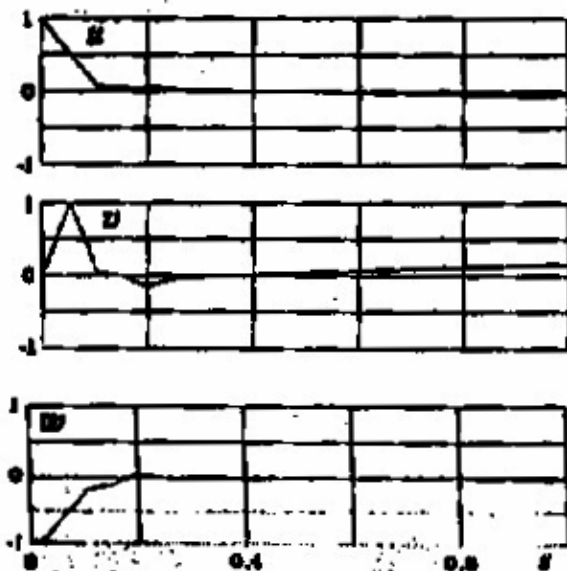
99. Belan-Gaiko V. N. Experimental Study of Polymer Material under Conditions of Complex Stressed State.
100. Betz A. Konforme Abbildung. Zweite noubearbeifate Auflage. Berlin. 1964.
101. Butter Charles D. Lazer-fiber optic interferometric strain gauge [Heney-well. Inc.] Пат. США, заявл. 18.09.78, №943588, опубл. 4.03.80.
102. Butter Charles D. Lazer-fiber optic interferometric strain gauge [Monoywell. Inc.]. Пат. США, кл. 356,35.5G01; B11/16 #4191470. заявл. 18.09.78, №943588, опубл. 4.03.80.
103. Chernets M. V. Approximate Estimate of the Characteristics of Contact of the axial Cylinders with a Constraint.
104. Del G. D., Rozenberg O. A., Soloviev O. V., Tsekhanov Yu. A. Strength of Pipe Parts under Cyclic Expansion.
105. Engineering Fracture Mexanics, 1986, 23. № 1.
106. Estimation of the Steel Crack Resistanse.
107. Experiments in the Computation of Conforal mars. Ed. by I. Todd. National Buezeau of Standarts Appl. Mat., Ser., 1955.э
108. Fedorov V. V. Ergodinamic concept of Failure. Kinetics of Crack Propagation.
109. Fedorov V. V. ergodinamic Concept ef Failure. Main Propositions of Ergodinamics of the Derermed bodies. Failure Toughness.
110. Gaier P. Konstruktive Methoden der konformen Abbildung Springen-Verlag. Berlin. 1964.
111. Gorulya P. E., Pochtman Yu. M. Probabilistic Estimate of the Interatomic Bond Breakage in a Solid.
112. Hartman A., Schijve J. The effects of environments and load frequency on the crack propagation law for macro fatigie crack growth in aluminium alloys. -End. Fracture Mech. №4.- 1970, -pp. 615.
113. Internacional Journal of Fracture, 1985, 27, N 3/4.
114. Joseph Friebele, Fible Briebele. Fibre Bridge Greating Optocs and photonics News. August 1998.
115. Kaisand L. R., Mowbray D.F. Relationships between low-cycle fatigue and fatigue-crack growth properties. - J. Test. and Eval, 1979, №5. - pp. 270-280.
116. Klesnil M., Lukas P. Effect of stress cycle asymetry on fatigue crack growth. Mater.Sci. and Eng., 1972, № 4. - pp.231-240.
117. Kober H. Dictionary of conformal representations. Dover Publications. 1952. New York, 1957.
118. Lebedev A.A., Chausov N., Zaitseva L.V. – Effect of the Type of a Strassed State on

- Failure Kinetics and Crack Resistance.
119. Lebedev A. A., Chausov N.G., Zaitseva L.V. Effect of the Type of a Stressed State on Failure Kinetics and Crack Resistance.
  120. Margolin B. Z., Gulenko A. G. Effect of the Strain rate on the Failure Pattern Under Long-Term Static and Cyclic Loading. Examples of Calculation.
  121. Matochin G. V., Naumenko L. F., Matochin A. V., Gridasov A. V. Statistical Estimations of the Grain Structure Evolution of AMr6 Alloy under High-Frequency Loading.
  122. McClintock F.A., Irwin G.R. Symposium on fracture toughness testing. -ASTM Spec. Techn. Publ. 1965, № 381. – pp. 84-113.
  123. Mizonov M. V., Platinin V. M., Lysenko S. V. Strength of the Welded Metal-Class Enamel Coating composite under Conditions of Complex Stressed state.
  124. Kosi T. and so on Fine optical sensors (translated from Japan) Leningrad 1990, -256 p.
  125. Peter L Fuhn, Fibre-optical sensors in smart Civil structures University of Vermont. SENSORS August 1995.
  126. Patent U.S.A. 21566917, 2000. 09.27.
  127. Patent, Great Britain, 2145516, 27 March 1985.
  128. Patent U.S.A. RU2141102, 1999. –pp.11-10.
  129. Patent, Great Britain. 2145517. 17 March 1985.
  130. Rivkin E. Yu., Ovchinnikov A. V., Fedosova E. A. Interpolation Formulas for Calculation of strength in Viscous Bodies with Crack.
  131. Serikov S. V. Estimation of a Level of Residual Stresses in Fin Pipes.
  132. Sneddon I.N. Strength of ceramic crystals / Phys. and Chem. Ceram. – New York; London, 1963.
  133. Troshchenko V. T., Pokrovsky V. V., Yarusevich V. L., Mixailov V. I. Shcher V. A. Effect of the Interstitial Impurities on Crack Resistance of Ductile Titanium Alloys.
  134. Troshchenko V. T., Pokrovsky V. V., Yarusevich V. L. effect of the Interstitial Impurities on crack Resistance of Ductile Titanium Alloys.
  135. Tsybanev G. V., Belas O. N. procedure for Fatigue Tests of the Materials of the Tribosystem Elements.
  136. Veremchuk S. S. calculation of the metal-Coating Composite.
  137. Westergaard H.M. Bearing pressings and cracks // J. Appl. Mech. 1939. №6, -pp.12.
  138. Yatsenko V. K. calculation of the Coefficient for Strengthening of GTE Parts with Balls in the Ultra sound Field.
  139. Zhuk N. V., Markashova L. I. Study of the Fracture Morphology of ESR Metal.

# დანართი

## კონტროლის ავტომატური სისტემების გამოყენების მაგალითები

მაგალითი 1. მანქანის ძრავაზე ინერციული ზემოქმედებების განსაზღვრა 1 ტონა ფეთქებადი ნივთიერებების საწყობის აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი საჰაერო დარტყმითი ტალღის ფრონტზე  $\Delta P_{\text{ფ}} 1,2 \cdot 10^5$  კპა წნევის დროს. ზემოქმედების პარამეტრები განსაზღვრულია დამუშავებული პროგრამის დახმარებით (ნახ.1.1.1) მივიღოთ, რომ ძრავის გადატვირთვა არ უნდა აღემატებოდეს 25 ერთ., ხოლო გ ფარდობითი გადაადგილება – 2მმ-ს.



ნახ. 1.1.1 მანქანის აჩქარებების გრაფიკი, მიღებული

გამოთვლით (დიფერაციის ფაზის ხანგრძლივობა  $t_k = 0,2c; s = t/t_k$ ): მივიღებთ

$$u = \ddot{X}_c(s) / \alpha_1; \alpha_1 = 16263 \quad \text{სმ/წმ}^2$$

$$v = \ddot{Y}_c(s) / \alpha_2; \alpha_2 = 3732,7 \text{ სმ/წმ}^2$$

$$w = \ddot{\phi}(s) / \alpha_3; \alpha_3 = 56,36 \text{ რად./სმ}^2$$

გამოთვლის შედეგად მიღებულია, რომ ყველაზე დიდი მნიშვნელობები აქვთ ჰორიზონტალურ აჩქარებებს მაქსიმუმით  $\ddot{x}_c = 16263 \text{ სმ/წმ}^2 = 16,6 \text{ ერთ. } g$ , როცა  $t = 0$ . ვერტიკალური აჩქარებების მაქსიმუმი ტოლია  $3,8 \text{ ერთ. } g$ . კუთხური აჩქარებები მაქსიმალური მნიშვნელობით  $56,36 \text{ რად./სმ}^2$ , რომლებიც მოქმედებენ დიფრაქციის ფაზაში საათის ისრის მიმართულებით. ძრავი დამაგრებულია  $14 \text{ მმ}$  დიამეტრის რვა ჭანჭიკის საშუალებით შველერებისაგან და ფიგურული ფურცლოვანი გვერდებისაგან შედგენილ საყრდენ ჩარჩოზე, რომელიც მიდუღებულია მანქანის ფსკერზე. ჭანჭიკები სიგრძით  $130 \text{ მმ} - 30 \text{ მმ}$  ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით  $8500 \cdot 10^6 \text{ პა}$ . ნახვრეტებს ჭანჭიკების ქვეშ ძრავის თათებში და საყრდენ ჩარჩოში აქვთ დიამეტრი  $14,5 \text{ მმ}$ ; შესაბამისად, ძრავის შესაძლო ჰორიზონტალური გადაადგილება შეერთებაში ღრეჩოს შერჩევისას შეადგენს  $0,5 \text{ მმ-ს}$ . ძრავის წონა  $m = 950 \text{ კგ}$ , მანქანის გასწვრივი ღერძის პარალელური ცენტრალური ღერძის მიმართ ინერციის მომენტი,  $I_z = 8^9 \text{ კგ/მ}^2$ .

რადგან ძრავი მანქანის გასწვრივ ღერძის მიმართ გადანაცვლებულია ჰორიზონტალზე  $0,16 \text{ მ-ზე}$ , გამოსათვლელად ითვლება დამრტყმის ტალღის მოქმედება მარჯვენა გვერდზე შემდეგი მოსაზრების გამო. ინერციული ზემოქმედების განსაკუთრებით მნიშვნელოვან კომპონენტად ითვლებიან მანქანის კორპუსის ჰორიზონტალური აჩქარებები. შესაბამისად ძრავისთვის ჭანჭიკების არასაკმარისი მოჭერისას სახიფათოა შესაძლო დარტყმა ჭანჭიკურ შეერთებებში ჰორიზონტალური გასრიალების პროცესში გამოთვლითი ღრეჩოს არჩევისას. დარტყმის უდიდეს სიჩქარეს ექნება ადგილი, როცა კუთხური აჩქარებების მოქმედების შედეგად საათის ისრის მიმართულებით მოჭერის ძალები, ძრავის განლაგებისას უკანა გვერდთან ახლოს, შემცირდებიან. ზემოთ თქმულის საფუძველზე, მანქანაში ძრავის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები ( $M$  წერტილში) მოცემულია სიდიდეებით:  $x_M = 0,16; y_M = -0,24$ .

რადგან ელემენტის დამაგრების წერტილების რაოდენობა ორია, თითოეულს შეესაბამება ოთხი ჭანჭიკი. დამაგრების წერტილების კოორდინატები ( $j = 1,2$ ) ელემენტის სისტემაში  $x_1 = -0,43; y_1 = -0,35; x_2 = 0,43; y_2 = -0,35 \text{ მ}$ . თითოეული ჭანჭიკის კვეთა

$F_6 = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^2$ , დრეკადობის მოდული  $E_6 = 2 \cdot 10^{11}$  პა. შესაბამისად ოთხი ჭანჭიკის სიხისტე  $C_6 = 4 \cdot E_6 F_6 / l_6 = 4 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1,54 \cdot 10^{-4} / 0,13 = 9,48 \cdot 10^8$ . შესაერთებელი დეტალების სიხისტე სადგომის საპროექტო კონსტრუქციისათვის საცნობარო მონაცემებით  $c_6 = 5,74 \cdot 10^9$

ჭანჭიკების მოჭერის კონტროლირებადი ძალა ტოლია

$$R_3 = 4 \cdot 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 \cdot 8500 \cdot 10^5 = 36,6 \cdot 10^4$$

საწყისი საყრდენი რექცია

$$R_0 = mg / 2 = 950 \cdot 9,81 / 2 = 0,466 \cdot 10^4$$

შეპირაპირების გახსნის და მე-2 სტადიაში გადასვლის დეფორმაცია ტოლია

$$\Delta p = (36,6 \cdot 10^4 - 0,466 \cdot 10^4) / 5,74 \cdot 10^9 = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ მ}$$

მაღალმტკიცე ფოლადისათვის დენადობის დინამიურ ზღვარს ღებულობენ სტატიკურის ტოლად, ე.ი. დინამიური დენადობის ძალა ოთხი ჭანჭიკისგან შეერთებისათვის

$$R_{m\sigma} = 4 \cdot 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot 8500 \cdot 10^5 = 52,3 \cdot 10^4 \text{ H.}$$

3 სტადიაში გადასვლის შესაბამისი დეფორმაცია ტოლია:

$$\Delta_m = (52,3 \cdot 10^4 - 36,6 \cdot 10^4) / 9,48 \cdot 10^8 = 1,66 \cdot 10^{-4} \text{ მ.}$$

ჩამოჭრისგან ჭანჭიკების დაზიანების დამაბულობა

$$\sigma_{საშ} = 0,6 \sigma_m = 0,6 \cdot 8500 \cdot 10^5 = 5100 \cdot 10^5 \text{ პა}$$

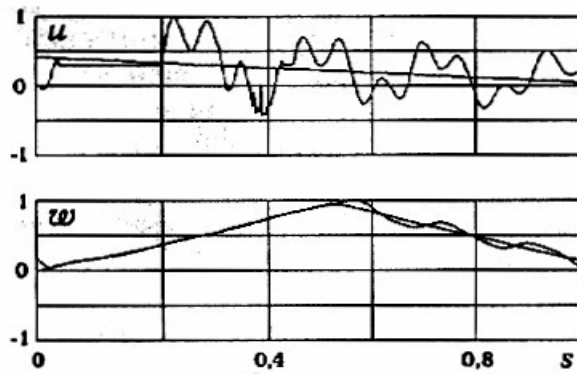
შესაბამისი ჭრის ძალა ტოლია

$$R_{საშ} = 4 F_6 \sigma_{საშ} = 4 \cdot 1,54 \cdot 10^{-4} \cdot 5100 \cdot 10^5 = 31,4 \cdot 10^4 \text{ ნ}$$

ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს საყრდენის მიმართ ძრავის გასრიალების წინაღობას,  $k_m = 0,15$ .

ძრავის მოძრაობის პარამეტრებს ვსაზღვრავთ მისი სიმძიმის ცენტრისთვის ( $x_k, y_k = 0$ ). მანქანაში ორიენტაციის კუთხე  $\varphi_0 = 0$ . საყრდენის სიხისტე ჭანჭიკების ღერძების მიმართულებით  $C_{2y} = 2 \cdot 10^9 \text{ ნ/მ}$ , დამაგრებების სიბრტყეში  $2,6 \cdot 10^9 \text{ ნ/მ}$ . რხევების ლოგარითმული დეკრემენტი D მოჭერილი ჭანჭიკური შეერთებისათვის და შედუღებული საყრდენისთვის მივიღოთ 0,02-ის ტოლად. ბიჯების რაოდენობა

ძრავის საკუთარი რხევების ერთი ყველაზე მცირე პერიოდისთვის მის ჩამაგრებებზე მივიღოთ 250.



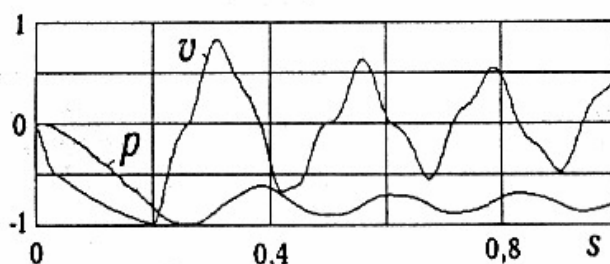
ნახ. 1.1.2 ძრავის სიმძიმის ცენტრის აჩქარებები:

$$\text{შეხებითი } u = \ddot{U}_M(S)/a_1; a_1 = 39,66g$$

$$\text{ნორმალური } w = \ddot{W}_M(S)/a_1; a_1 = 3,95g$$

ჩატარებული გამოთვლებით მიღებული ძრავის სიმძიმის ცენტრის ხაზური აჩქარებები, როცა  $t_k = 0,02$ , მოცემულია 1.1.2 ნახაზზე. გამოთვლითი ელემენტის აჩქარებების გრაფიკები მოცემულია ობიექტის აჩქარებების შესაბამისი გრაფიკის მიხედვით. ძრავის მაქსიმალური შეხებითი (ჰორიზონტალური) აჩქარება, რომელიც დაახლოებით უდრის  $40_{\text{ერთ. } g}$ , არსებითად ამაღლებს დასაშვებ ზღვრულ მნიშვნელობას, ე.ი. ძრავამ შეიძლება მიიღოს დაზიანებები. ვერტიკალური გადატვირთვა ( $4_{\text{ერთ. } g}$ ) ითვლება დასაშვებად.

1.1.3 ნახაზზე მოცემულია ძრავის ფარდობითი სიჩქარეები და გადაადგილებები. ჰორიზონტალური გადანაცვლების მაქსიმუმი  $x_M = 0,65$  მმ სამჯერ ნაკლებია დასაშვებ 2 მმ-ზე. ვერტიკალური გადანაცვლებები უმნიშვნელოა.



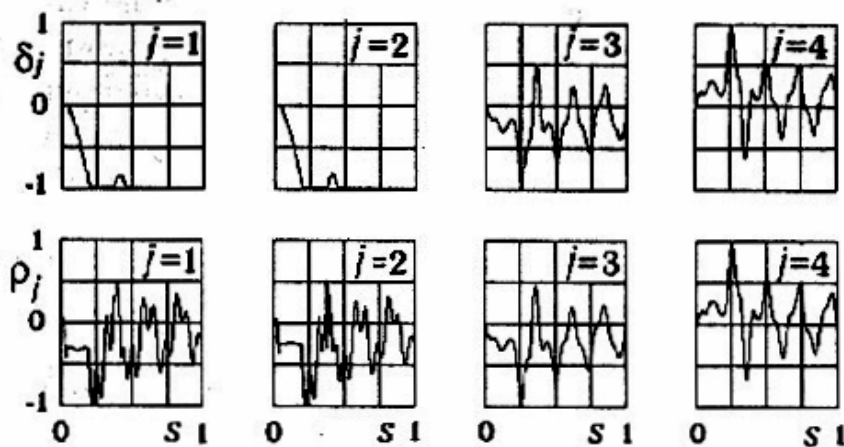


ნახ. 1.1.3 ძრავის ფარდობითი სიჩქარეები:

$$v = \dot{x}_M(s) / a_1, a_1 = 0,19 \text{ მ/წ} \text{ და გადანაცვლებები: } p = \bar{x}_M(s) / a_2, a_2 = 0,065 \text{ სმ}$$

ზემოქმედების ძრავის ჭანჭიკური შეერთება აგრძელებს გაჭიმულ მდგომარეობაში დრეკად მუშაობას (ნახ 1.1.4) ჭანჭიკების გაჭიმვის მაქსიმალური დეფორმაცია  $\Delta_{1,2} = 3,16 \cdot 10^{-5}$  მ ნაკლებია შეპირაპირების გახსნის დეფორმაციაზე  $6,3 \cdot 10^{-5}$  მ, მაგრამ განივი მიმართულებით ძრავის გასრიალება საყრდენის მიმართ 0,5მმ-იანი ღრეჩოს მთლიანი არჩევით ჭანჭიკისა და ნახვრეტის კედლებს შორის. ამ დროს მოქმედი დარტყმა არის ჰორიზონტალზე დიდი გადატვირთვის მიზეზი. ერთი კავშირის ჭანჭიკებში ჩამოჭრის მაქსიმალური მცდელობა  $R_{1,2} = 1,88 \cdot 10^5$  ნ არ აღემატება ჩამოჭრაზე სიმტკიცეს, რომელიც უდრის  $3,14 \cdot 10^5$  ნ.

სახიფათო გადატვირთვის შესამცირებლად მიზანშეწონილია შეერთებაში ღრეჩოს ზომის გაზრდა. ამით უნდა გაიზარდოს გასრიალების დრო მშრალი ხახუნის წინაღობის გადალახვით და შესაბამისად შეამციროს აჩქარებების უდიდესი პიკები, რომლებიც წარმოიქმნება დრეკადი რხევების პროცესში დარტყმისას.



ნახ 1.1.4 შეერთების დეფორმაციები  $\delta_j = \Delta_j(s) / a_j$ ,

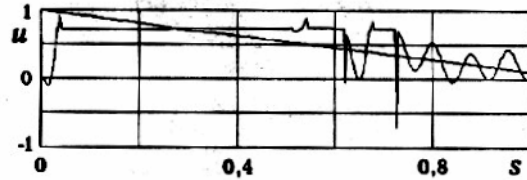
როცა  $j = 1, 2, 3, 4$  და  $a_1 = 5,02 \cdot 10^{-2}$ ;  $a_2 = 5,01 \cdot 10^{-2}$ ;  $a_3 = 3,43 \cdot 10^{-3}$ ;  $a_4 = 3,16 \cdot 10^{-3}$  სმ;

მცდელობები შეერთებებში

$$\rho_j = R_j(s) / b_j (b_1 = 1,88 \cdot 10^4; b_2 = 1,88 \cdot 10^4; b_3 = 2,34 \cdot 10^4; b_4 = 2,07 \cdot 10^4)$$

მაგალითად, თუ გავზრდით ჭანჭიკების ქვეშ ნახვრეტების დიამეტრს 14,5-დან 16მმ-მდე და ღრეჩის სიდიდეს 0,5-დან 2მმ-მდე, გადატვირთვის მაქსიმუმი

შემცირდება 15ერთ. გ-მდე და ხდება მანქანის მაქსიმალურ აჩქარებებზე ნაკლები (ნახ 1.1.5). ამასთან, ძრავის წანაცვლების ნორმირებული სიდიდე მართალია იზრდება, მაგრამ ხდება მხოლოდ სიდიდის 2მმ-ის ტოლი. ორჯერ მცირდება ჩამოჭრის მცდელობა ჭანჭიკებისთვისაც.



ნახ 1.1.5 აჩქარებები ღრეჩოს 2მმ-მდე გადიდებისას:  $u = \ddot{U}_M(s)/a; a=16,58g$

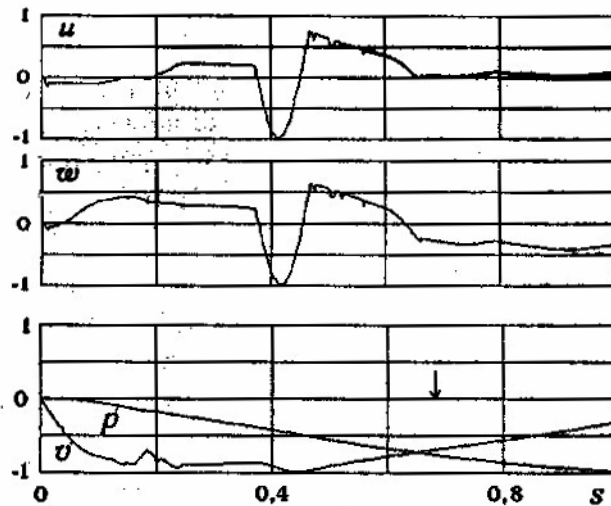
**მაგალითი 2.** მიახლოებით განვსაზღვროთ ინერციული ძალების საშიშროება მანქანის ოპერატორისათვის მასზე და მოძრაობის პარამეტრებზე ზემოქმედებისას, როგორც 1 მაგალითში.

ოპერატორი განლაგებულია მანქანის მარცხენა გვერდთან ახლოს, რომელზეც მოდის დარტყმითი ტალღის ზემოქმედება, რადგან ის იმყოფება კაბინის მარცხენა კედელთან ახლოს, რომელთან ერთადაც შეიძლება განიცადოს ერთდროული დარტყმა. სიმძიმის ცენტრის შესაბამისი კოორდინატები სხეულის ნაწილისა, რომელიც ეყრდნობა სავარძელს  $x_M=-0,36$ მ,  $y_M=0,65$ მ. ოპერატორის თავის დაშორება კაბინის კედლიდან შეადგენს 0,31 მ-ს, სხეულის წონა  $m=70$  კგ, ინერციის მომენტი  $I_z=5$  კგ.მ<sup>2</sup>. მჯდომარე ადამიანის გადაადგილება კედლის მხარეს შეზღუდულია პირადი ნივთების იდაყვეკვეშა ყუთით, სადამდე მანძილიც არის 7 სმ.

ელემენტის სისტემაში დაყრდნობის წერტილების კოორდინატები:  $x_1=-0,15$ ,  $y_1=-0,3$ ,  $x_2=0,15$ ,  $y_2=-0,3$ მ. თავის K წერტილის კოორდინატები, რომლისთვისაც განისაზღვრება გადატვირთვა და გადაადგილება:  $x_K=-0,12$ ,  $y_K=0,5$ მ.

სავარძლის ბალიშის სიხისტე  $C_1=4 \cdot 10^4$  ნ/მ. მის ზედაპირზე გასრიალების დროს ხახუნის კოეფიციენტი  $k_m=0,5$ . თავისუფალი სახვეების დროს ადამიანის თანმიმდევრული ასტამების თანაფარდობა სავარძელზე ტოლია 2-ის, რასაც შეესაბამება ლოგარითმული დეკრემენტის მნიშვნელობა  $D=\ln 2=0,7$ . საკუთარი სახვეების ყველაზე მცირე პერიოდისათვის ნაბიჯების რაოდენობას ვსაზღვრავთ 300-

ით. გამოთვლის დამთავრების დრო  $t_k=0,2$ წმ. გადატვირთვების, სიჩქარის და ოპერატორის თავის (K წერტილის) გადაადგილების ცვლილებები მოცემულია 2.1.1 ნახაზზე. ინერციული ზემოქმედებისგან ხდება ვარდნა კაბინის ფრონტალური კედლის მხარეს, თავით დარტყმით 0,136 წმ-ის შემდეგ დაახლოებით 2 მ/წმ სიჩქარით. უდიდესი გადატვირთვა 3,2 ერთ. g



ნახ 2.1.1 ოპერატორის თავის მოძრაობის პარამეტრები:

აჩქარებები  $u = \ddot{U}_k(s)/a_1$ ;  $a_1 = 3,2g$ ;  $\ddot{W}_k(s)/a_2$ ;  $a_2 = 2,34g$ ; და ა.შ;

სიჩქარეები  $v = \dot{X}_k(s)/a_3$ ;  $a_3 = 2,78$ მ/წმ; გადანაცვლებები  $p = \bar{X}_k(s)/a_4$ ;  $a_4 = 404$ სმ.

დარტყმა (დარტყმის მომენტი ნაჩვენებია ისრით):

$$t_{y\theta} = 0,136 \text{ წმ}; \bar{X}_k = -31,1 \text{ წმ}; \dot{x}_k = -1,95 \text{ მ/წმ}$$

ოპერატორის სავარძელთან კავშირის დეფორმაციის ცვლილებებიდან ჩანს, რომ ზემოქმედების დაწყებისთანავე ხდება სავარძლის ზედაპირზე გასრიალება იდაყვეკვეშა ყუთზე დარტყმით 7 სმ მანძილზე, რაც ქმნის სხეულის ბრუნვის აჩქარებების დამატებით იმპულსს და ზრდის დარტყმის სიჩქარეს.

**მაგალითი 3.** დიაგნოსტიკების მაჩვენებლების გასაანგარიშებლად საწყისი მონაცემებია:

დიაგნოსტიკების ობიექტი (დო) არის მართვის საბორტო სისტემა, რომელიც შედგება ორი ბლოკისაგან. დიაგნოსტიკების სისტემა განსაზღვრავს დო-ს ტექნიკურ მდგომარეობას, ანუ აფიქსირებს თითოეული ბლოკის მუშაობისუნარიან და

არამუშაობისუნარიან მდგომარეობას. თითოეული ბლოკის ტექნიკურ მდგომარეობას განსაზღვრავენ ოთხი დიაგნოსტიკური პარამეტრის (დპ) ერთობლიობით, რომელთა დახასიათებები მოყვანილია ცხრილში 3.1.

ცხრილი 3.1

ბლოკის ნომერი	დპ ნომერი	მინიმა-ლური მნიშვნე-ლობა $N_{M,\nu}$	ზღვრული გადახრა $\Delta M_{,\nu}$	საშუალო კვადრატული გადახრა	
				დიაგნოს-ტიკური პარამეტრის	გაზომვის ცდომილების
1	1-1	10	3	1	0,2
	1-2	2	$\pm 1$	0,2	0,02
	1-3	30	$\pm 10$	5	0,1
	1-4	27	$\pm 3$	1	0,3
2	2-1	115	$\pm 15$	5	2
	2-2	10	$\pm 3$	1	0,3
	2-3	100	$\pm 10$	6	2
	2-4	50	$\pm 7$	3	0,4

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ ყველა დპ-ს აქვს ნორმალური განაწილება მათემატიკურ მოლოდინებთან, რომლებიც ემთხვევა დპ-ს ნომინალურ მნიშვნელობებს და საშუალო კვადრატულ გადახრებთან  $\sigma_{n,\mu,\nu}$ , სადაც

$\mu$  არის ბლოკის ნომერი,  $\nu$  – დპ-ს ნომერი.

დიაგნოსტიკების საშუალებები (დს) ხასიათდებიან დპ-ს განზომილების ცდომილებებით, რომლებსაც აქვთ ნორმალური განაწილება ნულოვან მათემატიკურ მოლოდინებთან და საშუალო კვადრატულ გადახრებთან  $\sigma_{n,\mu,\nu}$ .

დს-ში წარმოქმნილი დაზიანებების ანალიზმა აჩვენა, რომ დს დიაგნოსტიკების დროს შეიძლება იყოს: ალბათობით  $P_1^c = 0,98$  მდგომარეობაში  $l=1$ ; ალბათობით  $P_2^c = 0,01$  მდგომარეობაში  $l=2$ , ალბათობით  $P_3^c = 0,01$  მდგომარეობაში  $l=3$

$X_{\mu,\nu} = |\Delta_{\mu,\nu}| / \sigma_{n,\mu,\nu}$  – დიაგნოსტიკური პარამეტრისთვის ორმხრივი დაშვებით;

$X_{\mu,\nu} = |\delta_{\mu,\nu} - N_{\mu,\nu}| / \sigma_{n,\mu,\nu}$  – დიაგნოსტიკური პარამეტრისთვის ცალმხრივი დაშვებით.

$$Z_{\mu, \nu} = \sigma_{n, \mu, \nu} / \sigma_{n, \mu, \nu} \quad (2)$$

გამოვთვალოთ ალბათობები  $\alpha_{\mu, \nu, 1}$  და  $\beta_{\mu, \nu, 1}$ :

$$\alpha_{\mu, \nu, 1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-x_{\mu, \nu}}^{x_{\mu, \nu}} e^{-y^2/2} \left[ \int_{-\infty}^{-(x_{\mu, \nu} - y)/z_{\mu, \nu}} e^{-t^2/2} dt + \int_{(x_{\mu, \nu} - y)/z_{\mu, \nu}}^{\infty} e^{-t^2/2} dt \right] dy \quad (3)$$

$$\beta_{\mu, \nu, 1} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{-x_{\mu, \nu}} e^{-y^2/2} \left[ \int_{(x_{\mu, \nu} - y)/z_{\mu, \nu}}^{(x_{\mu, \nu} - y)/z_{\mu, \nu}} e^{-t^2/2} dt \right] dy + \int_{x_{\mu, \nu}}^{+\infty} \left[ \int_{-(x_{\mu, \nu} - y)/z_{\mu, \nu}}^{(x_{\mu, \nu} - y)/z_{\mu, \nu}} e^{-t^2/2} dt \right] dy \right\} \quad (4)$$

ცხრილი 3.2

დო-ს ტექნიკური მდგომარეობის ნომერი	დო-ს ტექნიკური მდგომარეობა	ხანგრძლივობა		დიაგნოსტიკების საშუალო ღირებულება $C_s$ პირობით ერთეულებში	ტექნიკური მდგომარეობის ალბათობა $P_s^0$
		თვითონ დიაგნოსტიკების $\tau_{1,5}$	დამხმარე ოპერა-ციების $\tau_{2,5}$		
1	11	0,2	0,6	3	0,8595
2	10	0,2	0,6	2	0,0645
3	01	0,3	1	2	0,0707
4	00	0,3	1	4	0,0053

ვპოულობთ აპრიორულ ალბათობას იმისა, რომ დიაგნოსტიკური პარამეტრი მდებარეობს დასაშვებ ზღვრებში:

$$P_{\mu, \nu} = 2 \Phi_{10}(x_{\mu, \nu}) - \text{დიაგნოსტიკური პარამეტრისათვის ორმხრივი}$$

დაშვებით;  $P_{\mu, \nu} = 0,5 + \Phi_0(x_{\mu, \nu}) - \text{დიაგნოსტიკური პარამეტრისათვის ცალმხრივი დაშვებით;}$

სადაც  $\Phi_0(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^a e^{-t^2/2} dt$  - არის ლაპლასის ნორმირებული ფუნქცია.

დო-ს თითოეული ბლოკის მუშაობისუნარიანობის აპრიორული ალბათობა

$$P_{\mu} = \prod_{\nu=1}^4 P_{\mu, \nu} \quad (6)$$

განვსაზღვროთ თითოეული ბლოკისათვის ალბათობები  $P_{1,2,\mu}$  და  $P_{2,1,\mu}$  ფორმულებით:

$$P_{1,2,\mu} = \alpha_{\mu,1} = P_{\mu} - \prod_{\nu=1}^4 (P_{\mu,\nu} - \alpha_{\mu,\nu,1});$$

$$P_{2,1,\mu} = \beta_{\mu,1} = \prod_{\nu=1}^4 (P_{\mu,\nu} - \alpha_{\mu,\nu,1} + \beta_{\mu,\nu,1}) - \prod_{\nu=1}^4 (P_{\mu,\nu} - \alpha_{\mu,\nu,1})$$

გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 4.3

ცხრილი 3.3

დპ-ს ნომერი	$x_{\mu,\nu}$	$Z_{\mu,\nu}$	$P_{\mu,\nu}$	$P_{\nu}$	$\alpha_{\mu,\nu,1}$	$\beta_{\mu,\nu,1}$	$P_{1,2,\mu}$	$P_{2,1,\mu}$
1-1	5	0,2	0,99994		$4,05 \cdot 10^{-5}$	$3,15 \cdot 10^{-5}$	$9,9268 \cdot 10^{-3}$	$7,83 \cdot 10^{-3}$
1-2	5	0,1	0,9994	0,95171	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$7,68 \cdot 10^{-3}$		
1-3	2	0,02	0,9544		$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$		
1-4	3	0,03	0,9973		$6,8 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$		
2-1	3	0,4	0,9973		$6,3 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$		
2-2	3	0,3	0,9973	0,8828	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,65 \cdot 10^{-3}$	$2,2456 \cdot 10^{-3}$	$1,67564 \cdot 10^{-3}$
2-3	1,67	0,33	0,9050		$1,71 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$		
2-4	2,34	0,133	0,9808		$1,46 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$		

მუშაობისუნარიანობის შემოწმებისას სწორი დიაგნოსტიკების ალბათობა

$$D = 1 - P_{1,2} - P_{2,1} = 0,96717.$$

განვსაზღვროთ დო-ს მდგომარეობის აპრიორული ალბათობა

$$P_1^0 = P_1 P_2; P_2^0 = P_1(1 - P_2); P_3^0 = (1 - P_1)P_2; P_4^0 = (1 - P_1)(1 - P_2).$$

დიაგნოსტიკების საშუალო ოპერატიული ხანგრძლივობა (საათებში) ტოლია

$$\tau_{\text{დ}} = \sum_{s=1}^4 P_s^0 (\tau_{1,s} + \tau_{2,s}) = 0,838$$

დიაგნოსტიკების საშუალო ოპერატიული შრომატევადობა (საათებში) ტოლია

$$T_{\text{დ}} = \sum_{s=1}^4 P_s^0 (T_{1,s} + T_{2,s}) = 1,18$$

დიაგნოსტიკის საშუალო ოპერატიული დირებულება (საათებში) ტოლია

$$C_{\text{д}} = \sum_{i=1}^4 P_i^0 C_i = 2,87$$