

ნ. აბელაშვილი

**ტექნიკური სისტემების  
დიაგნოსტიკა**

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

## 6. აბელაშვილი

# ტექნიკური სისტემების დიაგნოსტიკა



რეკომენდებულია სტუ-ის  
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს  
მიერ. 03.04.2013, ოქმი №2

თბილისი  
2013

საერთაშორისო პრაქტიკაში დიაგნოსტიკების ფართოდ გავრცელებული მეთოდების გადმოცემა, გაცნობიერება და შესწავლა, რომლებიც ფუნდამენტურ მეცნიერებათა უკანასკნელ მიღწევებზეა დამყარებული დამხმარე სახელმძღვანელოს განხილულის ძირითად საგანს წარმოადგენს.

ნაშრომი განკუთვნილია ტექნიკური სისტემების პროექტირების, ექსპლუატაციის, დიაგნოსტიკისა და სარემონტო სამუშაოების ასევე მათი გამოცდისა და კონტროლის შემსწავლელი ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტებისათვის. სახელმძღვანელო ასევე ქმედით დახმარებას გაუწევს აღნიშნული საკითხებით დაინტერესებულ ყველა მკითხველს.

რეცენზენტები: სრული პროფესორი ზ. აზმაიფარაშვილი,  
ასოც. პროფოსორი ი. მოდებაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2013

ISBN 978-9941-20-388-6

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის ნებისმიერი ნაწილის (ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არც ერთი ფორმითა და საშუალებით (ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.



**შინაარსი**

<b>შესავალი</b>	5
<b>1. ტექნიკური დიაგნოსტიკის ამოცანის ჩამოყალიბება</b>	<b>10</b>
1.1. ამოცანის ჩამოყალიბების მათემატიკური მხარე	10
1.2. დიაგნოსტიკის სტატისტიკური მეთოდები.	12
1.3. ბაიესის განზოგადებული ფორმულა	13
1.4. დიაგნოსტიკური მატრიცა	14
1.5. ბაიესის მეთოდის გამოყენების კონკრეტული მაგალითი	15
1.6. დიაგნოსტიკის გადამწვევტი წესი	17
<b>2 ვიბროდიაგნოსტიკა</b>	<b>18</b>
2.1. ზოგადი ცნობები ვიბროდიაგნოსტიკის შესახებ	18
2.2. ვიბრაციული გარდამქმნელების ტიპები	20
2.3. ვიბროდიაგნოსტიკის მეთოდები	22
<b>3 ულტრაბგერითი კონტროლი. ზოგადი ცნობები</b>	<b>26</b>
3.1. აკუსტიკური მეთოდების კლასიფიკაცია	29
3.1.1 აკუსტიკური დიაგნოსტიკის აქტიური მეთოდები. გავლის მეთოდი	29
3.1.2. აკუსტიკური სიგნალის არეკვლის მეთოდები	31
3.1.3. აკუსტიკური კონტროლის კომბინირებული მეთოდი	32
3.1.4. აკუსტიკური კონტროლის საკუთარი სიხშირეების მეთოდი	33
3.1.5. აკუსტიკური დიაგნოსტიკის იმპედანსური მეთოდი	35
3.2. დიაგნოსტიკის პასიური აკუსტიკური მეთოდები	36
3.3. აკუსტიკური მეთოდების გამოყენების სფეროები	37
<b>4. გამა-დეფექტოსკოპია</b>	<b>39</b>
4.1. რადიოგრაფიული მეთოდები	39
4.2. კონტროლის მეთოდიკა და ტექნიკა	40
4.3. დასხივების სქემები	42
4.4. რადიოგრაფიული სურათების გაშიფვრა	45
4.5. საკონტროლო ობიექტის ხარისხის შეფასება სურათის მიხედვით	48
<b>5. კაპილარული დეფექტოსკოპია. ძირითადი ცნობები</b>	<b>50</b>
5.1. დეფექტოსკოპიური მასალები	51
5.2. კაპილარული კონტროლის ჩატარების ორგანიზაცია.	53
5.3. კონტროლის შედეგების მგრძობიარობა და შეფასება	56
<b>6. სპექტრული ანალიზი</b>	<b>57</b>
6.1. სპექტრული ანალიზის ძირითადი მახასიათებლები და მისი გამოყენების სფერო	60
<b>7. მექანიკური გამოცდები</b>	<b>63</b>
<b>8. მეტალოგრაფია</b>	<b>68</b>
<b>9. ზოგადი ცნობები აკუსტიკური ემისიის შესახებ</b>	<b>71</b>
9.1 აკუსტიკური ემისიის ფიზიკური არსი	72
<b>10. თერმოგრაფია</b>	<b>75</b>
<b>ლიტერატურა</b>	<b>77</b>

## შესავალი

ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ამოცანებმა, ხარისხის, საიმედოობის, უავარიო მუშაობის, შესასრულებელი ფუნქციების სიზუსტისა და ტექნოლოგიურობისადმი გაზრდილმა მოთხოვნებმა მკვეთრად გაზარდა ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეთოდების შექმნისა და დიაგნოსტიკური საშუალებების გამოყენების აუცილებლობა, რითაც იგი ჩამოყალიბდა, როგორც ტექნიკური უზრუნველყოფის დამოუკიდებელი მიმართულება. სამომხმარებლო ბაზრის მაღალი კონკურენტული გარემო, რომელიც მკვეთრად ზრდის პროდუქციის ხარისხისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს ტექნიკური სისტემების თვითღირებულების შემცირებისაკენაა ორიენტირებული (მასალების, ტექნოლოგიურობის, დამუშავებისა და დამზადების დროის შეზღუდული რესურსების პირობებში), ამასთან უსაფრთხოების, შეუფერხებელი მუშაობის, ხანგამძლეობის მოთხოვნები არავითარ შედავას არ ითვალისწინებს განსაკუთრებით რთული და ძვირად ღირებული სისტემების მიმართ. ამიტომ ტექნიკური დიაგნოსტიკის მიმართულება რჩება ერთადერთ გონივრულ გადაწყვეტილებად ტექნიკურ სისტემებში ასეთი ურთიერთგამომრიცხავი ამოცანების გადაწყვეტისას.

ტექნიკური დიაგნოსტიკა წარმოადგენს ტექნიკური ბუნების ობიექტების დეფექტების მოკვლევასა და აღმოჩენის თეორიას, მეთოდებსა და საშუალებებს. დეფექტი განიხილება, როგორც ობიექტის მოცემულ, მოთხოვნილ ან მოსალოდნელ ნებისმიერ თვისებასთან შეუსაბამობა. დიაგნოსტიკა არის ობიექტში დეფექტის არსებობისა თუ არარსებობის ფაქტის დადასტურება. დეფექტის მოძიება გულისხმობს გარკვეული ალბათობით (სიზუსტით) მისი ადგილმდებარეობის მითითებას ობიექტში.

ტერმინი “დიაგნოსტიკა” წარმოდგება ბერძნული სიტყვა “დიაგნოზისაგან”, რაც ქართულში გარჩევას, განსაზღვრას ნიშნავს. სადიაგნოსტიკო პროცესში დგინდება დიაგნოზი, ეს შეიძლება იყოს ავადმყოფის მდგომარეობის განსაზღვრა (სამედიცინო დიაგნოსტიკა) ან ტექნიკური სისტემის მდგომარეობის დადგენა (ტექნიკური დიაგნოსტიკა).

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ძირითადი დანიშნულებაა ობიექტის საიმედოობის ამოღება მისი დამზადების, ექსპლუატაციის და შენახვის დროს.

დიაგნოსტიკური უზრუნველყოფა საშუალებას იძლევა გავზარდოთ ობიექტის სწორი ფუნქციონირების სანდოობა, გავზარდოთ მისი მუშაობის ხანგრძლივობა და შეუფერხებელი მუშაობის დრო.

მოთხოვნები, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდნენ დამზადებული (ახალი) ან ექსპლუატაციაში მყოფი ობიექტები, განისაზღვრება შესაბამისი ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციით. ითვლება, რომ ობიექტი, რომელიც აკმაყოფილებს ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციის ყველა მოთხოვნას ტექნიკურად გამართულია.

ექსპლუატაციის პირობებისათვის მნიშვნელოვანია ცნება ობიექტის მუშა ტექნიკური მდგომარეობა. ობიექტი მუშა მდგომარეობაშია, თუ მას შეუძლია შეასრულოს ყველა დაკისრებული ფუნქცია მოცემული პარამეტრების (ნიშან-თვისებების) შენარჩუნებით მოთხოვნილ საზღვრებში.

თუ ობიექტის დანიშნულების მიხედვით გამოყენების მომენტში მისი პარამეტრები (ნიშან-თვისებები) მოთხოვნილ საზღვრებშია, მაშინ ის სწორად ფუნქციონირებადი ობიექტია.

სადიაგნოსტიკო ობიექტები შეიძლება დაიყოს გაუმართავ, არამუშა ტექნიკური მდგომარეობის ან არასწორი ფუნქციონირების ტექნიკური მდგომარეობის ობიექტებად, თუ მითითებული იქნება ობიექტის ერთ ან რამდენიმე შემადგენელი ნაწილის ან მთლიანად ობიექტის შესაბამისი დეფექტები, რომლებიც გამართულობას, მუშაობისუნარიანობას ან სწორად ფუნქციონირების პირობას არღვევენ.

დეფექტების ძიება და აღმოჩენა ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის პროცესებია. ისინი ერთიანდებიან საერთო ტერმინით “დიაგნოსტიკა”. დიაგნოზი დიაგნოსტიკის შედეგია.

ნებისმიერი ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკა ხორციელდება ამა თუ იმ სადიაგნოსტიკო საშუალებებით. სადიაგნოსტიკო საშუალებები შეიძლება იყოს აპარატურული ან პროგრამული; სადიაგნოსტიკო საშუალების როლში შეიძლება

ადამიანი-ოპერატორი, კონტროლიორი ან გამწყობი მოგვევლინოს. სადიაგნოსტიკო საშუალებები და სადიაგნოსტიკო ობიექტები ერთობლივი მოქმედებისას ქმნიან სადიაგნოსტიკო სისტემას. განასხვავებენ ტესტურ და ფუნქციური დიაგნოსტიკის სისტემებს. ტესტური სადიაგნოსტიკო სისტემების გამოყენებისას ობიექტზე ხდება სპეციალურად ორგანიზებული ტესტური ზემოქმედება. ფუნქციური სადიაგნოსტიკო სისტემაში, რომელსაც ობიექტის დანიშნულების მიხედვით მუშაობისას გამოიყენებენ, ტესტური ზემოქმედება, როგორც წესი, გამორიცხულია; ობიექტზე ზემოქმედებენ მხოლოდ ფუნქციონირების ალგორითმის შესაბამისად.

სადიაგნოსტიკო სისტემა ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის პროცესში ახდენს ტესტური ან ფუნქციური სადიაგნოსტიკო ალგორითმის რეალიზაციას. სადიაგნოსტიკო ალგორითმი ზოგადად შედგება ე.წ. ელემენტარული შემოწმებების გარკვეული ერთიანობისაგან, ასევე ობიექტის ელემენტარული შემოწმებების თანმიმდევრობის და დიაგნოსტიკის შედეგების ანალიზის წესებისაგან. თითოეული ელემენტარული შემოწმება ხასიათდება თავისი მიწოდებული ან შემოსული ტესტური ან მუშა ზემოქმედებით და საკონტროლო წერტილების შედგენილობით, რომელთაგანაც იხსნება ობიექტის პასუხები ზემოქმედების ფაქტორების შესახებ.

სადიაგნოსტიკო სისტემის შექმნისას გადასაწყვეტია ობიექტის შესწავლის, შესაძლო დეფექტებისა და გამოვლენების ნიშნების, ობიექტის ქცევის გამართული და გაუმართავი მოდიფიკაციის მოდელის აგების ან არჩევის ამოცანები.

ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრის პროცესში განიხილება ცნებები "მართვა", "კონტროლი" და "დიაგნოსტიკა".

"მართვა" გულისხმობს მიზანმიმართული მმართველი გადაწყვეტილების გამომუშავებისა და ობიექტზე ზემოქმედების განხორციელების პროცესს.

"კონტროლი" არის ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ მონაცემთა შეგროვებისა და დამუშავების პროცესი მოვლენის განსაზღვრის მიზნით. თუ მოვლენა გულისხმობს ობიექტის რომელიმე პარამეტრის მიერ წინასწარ განსაზღვრული მნიშვნელობის მიღწევის ფაქტს, მაშინ შეიძლება ვისაუბროთ მოცემული პარამეტრის კონტროლის შესახებ. თუ დასაფიქსირებელია ობიექტის გამართული თუ გაუმართავი, მუშა ან არამუშა, სწორი ან არასწორი ფუნქციონირების მდგომარეობა, მაშინ საქმე გვაქვს ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლთან.

ტესტური სადიაგნოსტიკო სისტემები მართვის სისტემებია, რადგანაც მათში რეალიზებულია, ობიექტზე სპეციალურად ორგანიზებული ტესტური (მმართველი) ზემოქმედების გამომუშავება და განხორციელება, მისი ტექნიკური მდგომარეობის დასადგენად.

ფუნქციური სადიაგნოსტიკო სისტემები კონტროლის სისტემებია (ფართო გაგებით), ობიექტზე მიზანმიმართული ზემოქმედების აუცილებლობის გარეშე. ამ თვალსაზრისით, მაგალითად, არარღვევითი (არადამაზიანებელი, არარღვევადი) კონტროლის სისტემები გვევლინება ტესტური სადიაგნოსტიკო კლასად, ხოლო ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლის ვიბროაკუსტიკური სისტემები - ფუნქციური სადიაგნოსტიკო სისტემებია.

ობიექტის (ან პროცესის) ფორმალიზებული მოდელი არის მისი ანალიზური, გრაფიკული, ცხრილური ან სხვა ფორმით აღწერა. სადიაგნოსტიკო მარტივი ობიექტებისათვის მოსახერხებელია ე.წ. აშკარა მოდელის გამოყენება, რომელიც გამართული ობიექტის აღწერასთან ერთად შეიცავს გაუმართავი მოდიფიკაციის აღწერასაც.

სადიაგნოსტიკო ობიექტის ცალსახა მოდელი გულისხმობს მის მხოლოდ ერთი აღწერილობის არსებობას, მაგალითად გამართული ობიექტის აღწერილობას, ხოლო ფორმალიზებული მოდელი დეფექტების და მათი მიღების წესის აღწერას დეფექტების მოდელის მიხედვით ობიექტის ყველა გაუმართავი მოდიფიკაციისათვის.

არსებობენ ობიექტის ფუნქციური და სტრუქტურული მოდელები. პირველი ასახავს ობიექტის მუშა შესასვლელებსა და გამოსასვლელებზე გამართული ან გაუმართავი ობიექტის ყველა ფუნქციას, ხოლო მეორე, ამის გარდა, შეიცავს ინფორმაციას ობიექტის შიგა ორგანიზაციის, მისი სტრუქტურის შესახებ. ფუნქციური მოდელი საშუალებას გვაძლევს გადავწყვიტოთ ობიექტის

მუშაობის უნარიანობისა და სწორი ფუნქციონირების ამოცანა. ობიექტის გამართულობის შესამოწმებლად (ზოგადად) და უფრო ღრმად მიმავალი დეფექტების ძიებისათვის, გამოიყენებენ სტრუქტურულ მოდელებს.

სადიაგნოსტიკო ობიექტის მოდელები შეიძლება იყოს დეტერმინირებული და ალბათური. დეტერმინირებულ მოდელებს მიმართავენ, როდესაც შეუძლებელია ობიექტის ქცევის დეტერმინირებული აღწერა.

სადიაგნოსტიკო ობიექტის მოდელები საჭიროა ფორმალისებული მოდელების სადიაგნოსტიკო ალგორითმის შესაქმნელად.

სადიაგნოსტიკო ალგორითმის შექმნა გულისხმობს ისეთი ელემენტარული შემოწმებების შერჩევას, რომელთა შედეგების მიხედვით დეფექტების აღმოჩენის ამოცანაში შესაძლებელი იქნება ობიექტის გამართული და გაუმართავი მდგომარეობის ან ობიექტის გამართული და გაუმართავი ფუნქციონირების მდგომარეობის და დეფექტების ძიების ამოცანებში გაუმართავი მდგომარეობის გარჩევა.

ობიექტის სადიაგნოსტიკო არაცალსახა მოდელების სადიაგნოსტიკო ალგორითმის აგებისას ელემენტარული შემოწმებები შეირჩევა ტექნიკური მდგომარეობის აღწერის იმ წყვილთა შედარებით, რომელთა ტექნიკური მდგომარეობის განსხვავების დადგენაცაა მოთხოვნილი. ტესტურ სადიაგნოსტიკო ამოცანაში ობიექტის საკონტროლო წერტილების შედგენილობა ხშირად წინასწარ განსაზღვრული და ერთნაირია ყველა ელემენტარული შემოწმებისათვის. ასეთ შემთხვევაში ირჩევენ ელემენტარული შემოწმებების მხოლოდ შესასვლელ ზემოქმედებებს - ეს ტესტების აგების ამოცანაა. ფუნქციურ სადიაგნოსტიკო ამოცანებში, პირიქით, ელემენტარული შემოწმებების შესასვლელი ზემოქმედებები წინასწარ შერჩეულია ობიექტის ფუნქციონირების მუშა ალგორითმით და არჩევას ექვემდებარება მხოლოდ საკონტროლო წერტილების შედგენილობა.

სადიაგნოსტიკო ერთი და იმავე ამოცანის გადაწყვეტისას (მაგ. გამართულობის შემოწმება) შეიძლება აიგოს რამდენიმე ალგორითმი, რომელთა რეალიზაცია შესაძლებელია ან ელემენტარული შემოწმების საშუალებით ან მათი თანმიმდევრობითი რეალიზაციით.

სადიაგნოსტიკო ოპერაციების შრომის ნაყოფიერების გაზრდის, დეფექტების მოძიებისა და აღმოფხვრის, სადიაგნოსტიკო საშუალებების მოცულობისა და სირთულის შემცირების აუცილებლობა, გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს ისეთი ოპტიმალური ალგორითმების მეთოდების შექმნისას, რომელთა რეალიზაცია მინიმალურ დანახარჯს მოითხოვს.

სადიაგნოსტიკო საშუალებები შეიძლება იყოს აპარატურული ან პროგრამული, გარეგანი ან ჩაშენებული, ხელის, ავტომატიზებული ან ავტომატური, სპეციალისებული ან უნივერსალური.

ფუნქციური სადიაგნოსტიკო საშუალებები, როგორც წესი, ჩაშენებულია, ამიტომაც მათი დამუშავება და შექმნა ობიექტთან ერთად მიმდინარეობს.

ობიექტის კონტროლვარვისიანობას უზრუნველყოფს შესამოწმებელი ობიექტის სტრუქტურის გარდაქმნა სადიაგნოსტიკოდ მოსახერხებელ ფორმად. ამიტომ ობიექტში ჯერ კიდევ დაპროექტების ეტაპზე შეკვავთ ტესტური სადიაგნოსტიკო დამატებითი ჩაშენებული საშუალებები.

სადიაგნოსტიკო ამოცანები – დროის მოცემულ მომენტში ან მომავალში ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის დადგენის ამოცანებია.

პირველი ტიპის ამოცანები ფორმალურად შეიძლება მივაკუთვნოთ ტექნიკურ დიაგნოსტიკას, ხოლო მეორე ტიპის ამოცანები ტექნიკურ პროგნოსტიკას. არსებობს მესამე ტიპის ამოცანებიც - ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრა წარსულის რომელიღაც მომენტში, რომელიც ტექნიკური გენეტიკის სახელითაა ცნობილი. ტექნიკური გენეტიკის ამოცანები შეისწავლება ავარიის მიზეზების გამოკვლევისას, როდესაც ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობა, დროის განსახილველ მომენტში, განსხვავდება წარსულში ავარიის გამომწვევი პირველადი მიზეზის წარმოშობის მდგომარეობისაგან. ამ ამოცანების გადაწყვეტა დაფუძნებულია ობიექტის დღევანდელი მდგომარეობის გამომწვევი ალბათური წინაისტორიების განსაზღვრაზე. ტექნიკური პროგნოსტიკის ამოცანებს მიეკუთვნება ობიექტის მუშაობის ხანგრძლივობის ან პროფილაქტიკური შემოწმებისა და რემონტის ვადის დადგენის

ამოცანები. ამ ამოცანათა გადაჭრა ხორციელდება დროის მოცემული მომენტიდან დაწყებული ობიექტის მდგომარეობის შესაძლო ან ალბათური ევოლუციის განსაზღვრით.

პროგნოზირების ამოცანათა გადაჭრა მეტად მნიშვნელოვანია, კერძოდ, ობიექტის ტექნიკური მომსახურების ორგანიზაციისათვის მოცემული მომენტისათვის მისი მდგომარეობის მიხედვით (ნაცვლად სარესურსო მომსახურებისა). სადიაგნოსტიკო ამოცანათა უშუალო გადატანა პროგნოზირების ამოცანებზე დაუშვებელია, მუშა მოდელთა განსხვავების გამო, კერძოდ: მოდელით დიაგნოსტიკას ჩვეულებრივ იყენებენ ობიექტის აღწერილობას, მაშინ როდესაც პროგნოზირებისას აუცილებელია ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის მახასიათებლების დროში ევოლუციის პროცესის განხილვა.

სადიაგნოსტიკო სისტემის ხარისხის მთავარი მაჩვენებელია დეფექტის გარანტირებული და სრული აღმოჩენა და ძიების სიღრმე.

გარჩევადობის მეთოდების ზოგადი თეორიისა და დიაგნოსტიკის მათემატიკური თეორიის საკითხების დაუფლება საშუალებას გვაძლევს უფრო დასაბუთებულად შევარჩიოთ დიაგნოსტიკის კონკრეტული ხერხები და მათი შესაბამისი გადაწყვეტის წესები.

**ტექნიკური დიაგნოსტიკა არის მეცნიერება ტექნიკური სისტემის მდგომარეობის გარჩევის შესახებ, რომელიც დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მოპოვებისა და შეფასების პრობლემათა ფართო წრეს მოიცავს.**

როგორც განმარტებიდან ჩანს ტექნიკური დიაგნოსტიკა შეისწავლის დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მოპოვებისა და შეფასების მეთოდებს, დიაგნოსტიკურ მოდელებსა და გადაწყვეტილების მიღების ალგორითმებს. ტექნიკური დიაგნოსტიკის მიზანია ტექნიკური სისტემების საიმედოობისა და სამუშაო რესურსის გაზრდა.

როგორც ცნობილია, საიმედოობის ყველაზე მნიშვნელოვანი მაჩვენებელი ტექნიკური სისტემის მუშაობის პროცესში შეფერხებების არარასებობაა. მაგალითისთვის შეიძლება წარმოვიდგინოთ რა შედეგებამდე შეიძლება მიგვიყვანოს თვითმფრინავის ან გემის ძრავას მტყუნებამ ფრენისას და ცურვისას, რომ არაფერი ვთქვათ ენერგეტიკულ დანადგარებში წარმოქმნილი მტყუნების შესახებ (ჩერნობილი, ფუკუშიმა).

ტექნიკურ სისტემებში ადრეულ სტადიებზე დეფექტებისა და გაუმართაობების აღმოჩენა საშუალებას იძლევა მკვეთრად შემცირდეს შეფერხებების რიცხვი და თავიდან ავიცილოთ შესაძლო მძიმე შედეგები, რაც მკვეთრად ზრდის ტექნიკური სისტემების ეფექტურობასა და საექსპლუატაციო საიმედოობას, ასევე საშუალებას იძლევა დარჩეს ექსპლუატაციაში სისტემა ფაქტობრივი მდგომარეობის განსაზღვრის შემდეგ. პრაქტიკაში ასეთი სისტემის რესურსი განისაზღვრება ნაკეთობის ყველაზე “სუსტი” ეგზემპლარების საშუალებით. თითოეული ეგზემპლარი ექსპლუატაციაშია ტექნიკური სისტემის დიაგნოსტიკის ზღვრული მნიშვნელობის რეკომენდაციის მიხედვით. ასეთი სახის, ტექნიკური მდგომარეობის მიხედვით, ექსპლუატაციას შეუძლია მოიტანოს ეკონომიკური ეფექტი, ამ ტიპის ექსპლუატაციაში მყოფ მანქანათა პარკის საერთო ღირებულების 30 %-ის ფარგლებში.

ტექნიკური დიაგნოსტიკა ამოცანათა ძალიან ფართო წრეს განიხილავს, რომელთაგან უმეტესობა მჭიდრო კავშირშია მომიჯნავე დისციპლინების ამოცანებთან. **ტექნიკური დიაგნოსტიკის ძირითადი ამოცანაა შეზღუდული დიაგნოსტიკური ინფორმაციის პირობებში ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის გარჩევადობა.** ტექნიკურ დიაგნოსტიკას ხშირად დაუშვებელ დიაგნოსტიკასაც უწოდებენ ანუ დიაგნოსტიკას, როდესაც ობიექტის მდგომარეობის ანალიზი ექსპლუატაციის პირობებში ხორციელდება, ნაკეთობის დაშლის გარეშე. ხშირად ინფორმაციის სიმცირის გამო შეუძლებელია მსჯელობა ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ ასეთ დროს სრულყოფილი ანალიზის ჩასატარებლად მიზანშეწონილია სტატისტიკური მეთოდების გამოყენება.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ძირითადი ამოცანის გადაჭრის თეორიული საფუძველია **სახეთა გარჩევის ზოგადი თეორია**. ეს თეორია, რომელიც ტექნიკური კიბერნეტიკისა და ინფორმაციული ტექნოლოგიების მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს შეისწავლის ნებისმიერი ბუნების (გეომეტრიული, ბევრითი, ოპტიკური და სხვა.) სახეთა გარჩევის



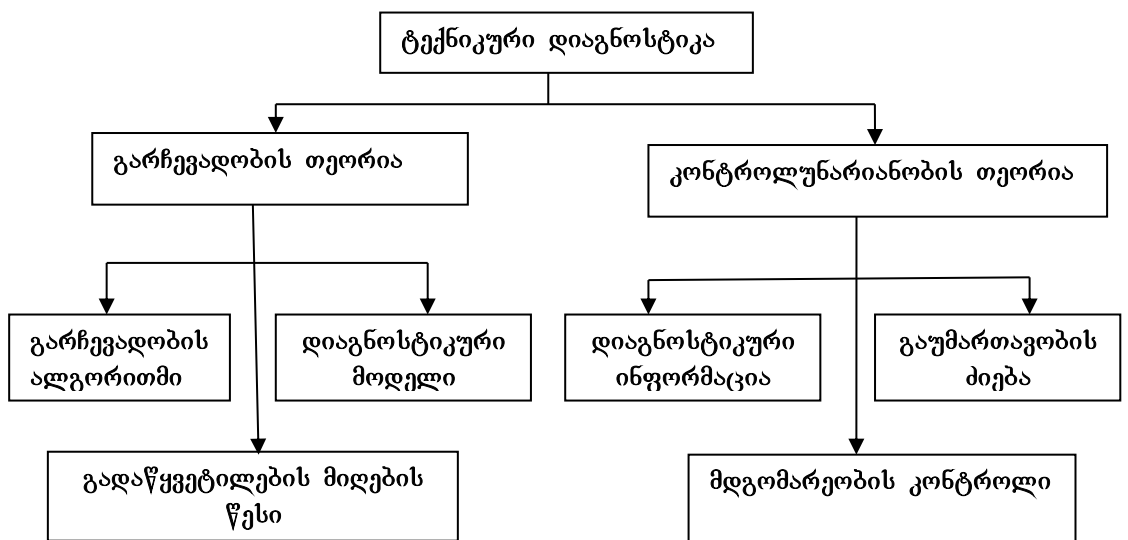
(მეტყველების, ნაბეჭდი და ხელნაწერი ტექსტების და სხ.) ალგორითმებს დიაგნოსტიკურ ამოცანებთან მიმართებაში.

სახეთა გარჩევის ალგორითმები ტექნიკურ დიაგნოსტიკაში უმეტესად ეფუძნება **დიაგნოსტიკურ მოდელებს**, რომლებიც ამყარებენ კავშირს ტექნიკური სისტემის მდგომარეობასა და მათ ასახეებს შორის დიაგნოსტიკური სიგნალების სივრცეში. დიაგნოსტიკური ამოცანის გადაწყვეტა (ობიექტისთვის გამართული თუ გაუმართავი მდგომარეობის მინიჭება) ყოველთვის დაკავშირებულია ყალბი განგაშის ან მიზნის გამოტოვების გარკვეულ რისკთან. დასაბუთებული გადაწყვეტილების მისაღებად მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას **სტატისტიკური გადაწყვეტის მეთოდი**.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ამოცანების ამოხსნა ყოველთვის დაკავშირებულია საიმედოობის პროგნოზებთან ექსპლუატაციის უახლოესი პერიოდისათვის (შემდეგ ტექნიკურ დათვალიერებამდე). ამ შემთხვევაში გადაწყვეტები დაფუძნებული უნდა იყოს საიმედოობის თეორიიდან ცნობილ უარების მოდელებზე.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეორე მნიშვნელოვანი მიმართულებაა ნაკეთობის **კონტროლუნარიანობის თეორია**. კონტროლუნარიანობა ნაკეთობის თვისებაა უზრუნველყოს მისი ტექნიკური მდგომარეობის, ადრე აღმოჩენილი გაუმართაობებისა და შეფერხების სანდო შეფასება. კონტროლუნარიანობის თეორიის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მიღების მეთოდებისა და საშუალებების შესწავლა. რთულ ტექნიკურ სისტემაში გამოიყენება ტექნიკური მდგომარეობის ავტომატიზებული კონტროლის სისტემა, რომელიც გულისხმობს დიაგნოსტიკური სიგნალის მიღების, დამუშავებისა და მმართველი სიგნალის ფორმირების ავტომატიზებულ მექანიზმს. ასევე ძალიან მნიშვნელოვანია კონტროლუნარიანობის თეორიის ამოცანა, რომელიც გულისხმობს გაუმართაობების აღმოჩენის ალგორითმების შექმნას, დიაგნოსტიკური ტესტების დამუშავებას და დასკვნის გამოტანის პროცესის მინიმიზაციას.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის სტრუქტურა მოიცავს ორ ურთიერთგადამფარავ და ურთიერთდაკავშირებულ მიმართულებას – სახეთა გარჩევის და კონტროლუნარიანობის თეორიებს (სურ.1). გარჩევადობის თეორია მოიცავს სტრუქტურებს, რომელიც დაკავშირებულია ალგორითმების აგებასთან, გადაწყვეტილების მიღების წესებთან და დიაგნოსტიკური მოდელების შექმნასთან. კონტროლუნარიანობის თეორია მოიცავს დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მიღების, გაუმართაობების ავტომატიზებული კონტროლისა და მოძიების მეთოდებისა და საშუალებების შექმნას.



სურ.1. ტექნიკური დიაგნოსტიკის სტრუქტურა

ზემოთქმულის გათვალისწინებით ტექნიკური დიაგნოსტიკა შესაძლებელია განხილული იქნას, როგორც საიმედოობის ზოგადი თეორიის შემადგენელი ნაწილი.

# 1. ტექნიკური დიაგნოსტიკის ამოცანის ჩამოყალიბება

**საწყისი ცნებები.** პრაქტიკაში ხშირია შემთხვევები, როდესაც აუცილებელია ამა თუ იმ კვანძის დეფექტის დადგენა მოწყობილობის ექსპლუატაციის პირობებში. მაგალითად რთული მექანიზმის კბილანების ღერძებისა და კბილების ცვეთის ხარისხის დადგენა. მათ ცვეთას შეუძლია გამოიწვიოს ნომინალური გეომეტრიული ზომებიდან არასასურველი გადახრები, რაც შესაძლებელია ლითონის დაღლილობის გამო, კვანძის რღვევის მიზეზი გახდეს. ექსპლუატაციის პროცესში რედუქტორის დაშლის გარეშე მისი შიგთავსის უშუალო დათვალიერება შეუძლებელია ანუ აუცილებელია კვანძის და შესაბამისად მანქანის ექსპლუატაციის შეჩერება, ეს კი მანქანის საექსპლუატაციო ხარჯის ზრდას გამოიწვევს. აღნიშნულმა გაუმართაობამ შესაძლებელია თავი იჩინოს რედუქტორის აკუსტიკური ფონის ზრდით, კორპუსის რხევის სპექტრში შესაბამისი მდგენელების გააქტიურებით, ნამუშევარ ზეთში ლითონის შემცველობის ზრდით და სხვა პარამეტრების ცვლილებით.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ამოცანაა არაპირდაპირი პარამეტრების გაზომვის მონაცემების მიხედვით კბილანის კბილებისა და ღერძის ცვეთის (ზედაპირული ფენის დაზიანება) ხარისხის დადგენა. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ტექნიკური დიაგნოსტიკის ერთერთი თავისებურებაა გარჩევადობა ინფორმაციის შეზღუდული რაოდენობის პირობებში, ამიტომაც აუცილებელია საფუძვლიანი გადაწყვეტილების მიღებისას ვიხელმძღვანელოთ გარკვეული ხერხებითა და წესებით.

**სისტემის მდგომარეობა** აიწერება მისი მდგომარეობის მაჩვენებელი ნიშნების (პარამეტრების) ერთობლიობით (სიმრავლით). იგულისხმება, რომ განმსაზღვრელი პარამეტრების სიმრავლე ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, პირველ რიგში, თვით გარჩევის ამოცანიდან გამომდინარე. მაგალითად, განხილული სისტემის მდგომარეობის გასარკვევად საკმარისია პარამეტრების რამდენიმე ჯგუფი, მგრამ თუ სადიაგნოსტიკო ობიექტი სხვა დეტალებიცაა მაშინ აუცილებელია სხვა ჯგუფის პარამეტრების დამატებაც.

**სისტემის მდგომარეობის გარჩევადობა** ნიშნავს სისტემის მდგომარეობის მიკუთვნებას რომელიმე შესაძლებელი კლასისთვის (დიაგნოზისთვის). დიაგნოზების რაოდენობა (კლასები, ტიპური მდგომარეობები, ეტალონები) დამოკიდებულია ამოცანის თავისებურებებსა და კვლევის მიზნებზე.

ხშირად აუცილებელი ხდება არჩევანის გაკეთება ორ დიაგნოზს შორის (დიფერენციაური დიაგნოსტიკა ან დიქტომია; მაგალითად, “გამართული მდგომარეობა” და “გაუმართავი მდგომარეობა”. სხვა შემთხვევებში აუცულებელია უფრო დაწვრილებით დახასიათდეს გაუმართავი მდგომარეობა, მაგალითად კბილანის კბილების მომატებული ცვეთა, ტურბინის ფრთების მომატებული ვიბრაცია და სხვა. თუ დიაგნოსტიკის ამოცანაში წინასწარ დადგენილია დიგნოზი (კლასი), მაშინ გარჩევადობის ამოცანა დაიყვანება გაუმართაობის კლასიფიკაციის ამოცანაზე.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის მრავალი ამოცანის გადაჭრა დაკავშირებულია ინფორმაციის დიდი რაოდენობის დამუშავებასთან, ამიტომ დიგნოსტიკური ნიშნის გარჩევადობის ამოცანის გადაწყვეტისათვის აუცილებელია მონაცემთა დამუშავების ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და მეთოდების გამოყენება.

**გარჩევადობის ალგორითმი** არის გარჩევადობის პროცესის თანამიმდევრულ მოქმედებათა ერთიანობა. ამ პროცესის არსებითი ნაწილია **დიაგნოსტიკური პარამეტრების** რაციონალური შერჩევა, რომელიც სისტემის მდგომარეობას აღეკვამურად აღწერს. მათ მოეთხოვებათ მაღალი ინფორმაციულობა დიაგნოზების არსებული შესაძლო რაოდენობიდან დიაგნოსტიკური პროცესის განხორციელებისათვის.

## 1.1. ამოცანის ჩამოყალიბების მათემატიკური მხარე

დიაგნოსტიკის ამოცანებში სისტემის მდგომარეობა ხშირად აიწერება დიაგნოსტიკური ნიშნების (პარამეტრების) კომპლექსით

$$K = (k_1, k_2, \dots, k_j, \dots, k_v)$$

სადაც  $k_j$  არის დიაგნოსტიკური პარამეტრი  $m_j$  – თანრიგების რაოდენობით.

ვთქვათ, დიაგნოსტიკური პარამეტრი (ნიშანი)  $k_j$  წარმოადგენს სამთანრიგიან პარამეტრს ( $m_j = 3$ ), რომელიც ახასიათებს აირის ტემპერატურას ტურბინის გარეთ სამი მახასიათებელი მდგომარეობით დაბალი, ნორმალური, მაღალი.  $k_j$  პარამეტრის თითოეული თანრიგი (ინტერვალი) აღინიშნება  $k_{js}$  – ით, მაგალითად, ტურბინის გარეთ აირის მაღალი ტემპერატურა  $k_{j3}$ . ფაქტობრივად დაკვირვების მდგომარეობა შეესაბამება პარამეტრის რეალიზაციის გარკვეულ მნიშვნელობას, რომელიც ასეთი სახის (\*) ზედა ინდექსით აღინიშნება. მაგალითად, მაღალი ტემპერატურის დროს პარამეტრის რეალიზაცია  $k_j^* = k_{j3}$ .

ზოგადად სისტემის თითოეული ეგზემპლარი შეესაბამება პარამეტრების კომპლექსის რომელიღაც რეალიზაციას:

$$K^* = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_j^*, \dots, k_v^*).$$

გარჩევადობის მრავალ ალგორითმში სისტემის დახასიათება მოსახერხებელია  $X_j$  პარამეტრით, რომელიც წარმოქმნის  $v$ -განზომილებიან ვექტორს ან წერტილს  $v$ -განზომილებიან სივრცეში:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_v)$$

უმეტეს შემთხვევაში  $x_j$  პარამეტრს გააჩნია უწყვეტი განაწილება. თუ  $x_j$  პარამეტრი აირის ტემპერატურას აღნიშნავს ტურბინის გარეთ მაშინ  $x_j(^{\circ}\text{C})$  პარამეტრსა და სამთანრიგიან  $k_j$  დიაგნოსტიკურ პარამეტრს შორის შესაბამისობას ექნება ასეთი სახე:

$< 450$	$k_{j1}$
$450 - 550$	$k_{j2}$
$> 500$	$k_{j3}$

ამ შემთხვევაში  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნის საშუალებით მიიღება დისკრეტული აღწერა, მაშინ როდესაც პარამეტრი  $x_j$  იძლევა უწყვეტ აღწერას. აღსანიშნავია, რომ უწყვეტი აღწერისათვის საჭიროა ბევრად მეტი მოცულობის წინასწარი ინფორმაცია, რითაც ბევრად უფრო მაღალი სიზუსტის აღწერილობა მიიღება. თუ ცნობილია პარამეტრის განაწილების სტატისტიკური სახე, მაშინ წინასწარი ინფორმაციის რაოდენობა მკვეთრად კლებულობს.

ზემოაღნიშნულიდან ნათელია, რომ სისტემის დიაგნოსტიკური და პარამეტრული ნიშნებით აღწერის შემთხვევებს შორის პრინციპული ხასიათის წინააღმდეგობა არ არსებობს, ამიტომ შემდგომში გამოყენებული ქნება აღწერის ორივე სახეობა.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ამოცანებში სისტემის დიაგნოსტიკური მდგომარეობა – დიაგნოზები  $D_i$  ითვლება ცნობილად.

გარჩევადობის ამოცანებში არსებობს ორი ძირითადი მიდგომა: **ალბათური** და **დეტერმინირებული**.

ალბათური მეთოდების გამოყენებისას ამოცანის დასმის ხასიათი ასე ჩამოყალიბდება: მოცემულია, რომელიმე  $n$  შემთხვევით მდგომარეობაში მყოფი  $D_i$  სისტემა. ცნობილია პარამეტრების ერთობლიობა, რომელთაგან თითოეული გარკვეული ალბათობით ახასიათებს სისტემის მდგომარეობას. მოთხოვნილია აიგოს **გადამწყვეტი წესი**, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელი იქნება დიაგნოსტიკური ნიშნების ერთობლიობა მიეკუთვნოს ერთ რომელიმე შესაძლებელ მდგომარეობას (დიაგნოზს). სასურველია ასევე შევაფასოთ მიღებული გადაწყვეტილების საიმედოობა და მცდარი გადაწყვეტილების რისკის ხარისხი.

დეტერმინირებული მეთოდებით დიაგნოსტიკებისას მოსახერხებელია ამოცანის გეომეტრიული ფორმულირება. თუ სისტემა ხასიათდება  $v$ -განზომილებიანი ვექტორით  $X$ , მაშინ სისტემის ნებისმიერი მდგომარეობა წარმოადგენს წერტილს პარამეტრების  $v$ -განზომილებიან სივრცეში. იგულისხმება, რომ დიაგნოზი  $D_i$  შეესაბამება განხილული პარამეტრების სივრცეს. მოთხოვნილია ვიპოვოთ **გადამწყვეტი წესი**, რომლის თანახმადაც წარდგენილი ვექტორი  $X^*$  (სადიაგნოსტიკო ობიექტი) მიკუთვნებული იქნება გარკვეულ დიაგნოსტიკურ სივრცეს. ამრიგად ამოცანა დაიყვანება დიაგნოსტიკური

ნიშნების სივრცის დაყოფაზე დიაგნოსტიკურ ზონებად. ამ მეთოდის გამოყენებისას ითვლება, რომ დიაგნოსტიკური ზონები ერთმანეთს არ “გადაკვეთენ” ე.ი. ერთი დიაგნოზის ალბათობა (ზონა რომელშიც მოხვედება დიაგნოსტიკური წერტილი) უდრის ერთს, ხოლო სხვა წერტილების მოხვედრის ალბათობა ნულის ტოლია ანუ ერთ ზონაში შესაძლებელია მხოლოდ ერთი დიაგნოსტიკური წერტილის არსებობა, რაც ნიშნავს, რომ მოცემული დიაგნოსტიკური ნიშანი ან გვაქვს მოცემული დიაგნოზის შემთხვევაში ან არ გვაქვს.

დიაგნოსტიკის ალბათური და დეტერმინირებული მიდგომები პრინციპულად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ალბათური მეთოდი უფრო ზოგადი სახისაა, მაგრამ იგი ხშირად წინასწარი ინფორმაციის საგრძნობლად მეტ რაოდენობას მოითხოვს. დეტერმინირებული მიდგომით შედარებით მოკლედ აიწერება მიმდინარე გარჩევადობის პროცესების არსი, ის უმნიშვნელოდაა დამოკიდებული ზედმეტ არაღირებულ ინფორმაციაზე და მეტად შეესაბამება ადამიანის აზროვნების ლოგიკას. ხატოვნად შეიძლება ვთქვათ, რომ პირველ შემთხვევაში მნიშვნელოვანია ყველა გამოვლენილი დიაგნოსტიკური ნიშნის გამოკვლევა, გათვალისწინება, ხოლო მეორე შემთხვევაში ხორციელდება მნიშვნელოვანი დიაგნოსტიკური ნიშნების გამორჩევა კვლევაზე დამყარებული ინტუიციური, მკვლევარის გამოცდილებასა და კვალიფიკაციაზე დამყარებული მიდგომებით.

## 1.2. დიაგნოსტიკის სტატისტიკური მეთოდები

• **ბაიესის მეთოდი.** დიაგნოსტიკის სტატისტიკური მეთოდების ძირითადი უპირატესობა სხვა მეთოდებთან შედარებით არის მისი შესაძლებლობა ერთდროულად აღრიცხოს სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების მქონე დიაგნოსტიკური ნიშნები, რადგან ისინი ხასიათდებიან უგანზომილებო სიდიდეებით – სისტემის სხვადასხვა მდგომარეობის დროს მათი გამოჩენის ალბათობით.

სიმარტივეთა და ეფექტურობით ბაიესის მეთოდს გამორჩეული ადგილი უჭირავს დიაგნოსტიკის სტატისტიკურ მეთოდებს შორის, თუმცა გარკვეული ხასიათის ხარვეზები ამ მეთოდსაც გააჩნია, რაც წინასწარი დიაგნოსტიკური ინფორმაციის დიდი რაოდენობის აუცილებლობით, “არაპოპულარული” დაზიანებების წინასწარი უგულვებელყოფით და სხვა სახის ნაკლოვანებებით გამოიხატება. მაგრამ იმ შემთხვევებში, როდესაც სტატისტიკური მონაცემების მოცულობა საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ბაიესის მეთოდი მიზანშეწონილია მისი გამოყენება, როგორც ერთ-ერთი საიმედო და ეფექტური მეთოდისა.

მეთოდი დამყარებულია ბაიესის მარტივი ფორმულის გამოყენებაზე. თუ მოცემულია დიაგნოზი  $D_i$  და უბრალო დიაგნოსტიკური ნიშანი  $k_j$ , რომელიც ამ დიაგნოზისას გვხვდება, მაშინ ამ სიდიდეების (ობიექტისათვის  $D_i$  მდგომარეობის და  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნის) ერთდროულად გამოჩენის ალბათობის ხდომილება იქნება:

$$P(D_i, k_j) = P(D_i)P(k_j/D_i) = P(k_j)P(D_i/k_j). \quad (1.1)$$

ამ ტოლობიდან გამომდინარეობს ბაიესის ფორმულა

$$P(D_i, k_j) = P(D_i) \frac{P(k_j/D_i)}{P(k_j)}. \quad (1.2)$$

ძალიან მნიშვნელოვანია ზუსტად განისაზღვროს ფორმულაში შემავალი ყველა სიდიდის არსი.

$P(D_i)$  –  $D_i$  დიაგნოზის ალბათობაა, რომელიც განისაზღვრება სტატისტიკური მონაცემებით (დიაგნოზის აპრიორული ალბათობა), რაც გულისხმობს, რომ თუ წინასწარ გამოკვლეულია  $N$  ობიექტი და  $N_i$  ობიექტს გააჩნდა  $D_i$  მდგომარეობა, მაშინ

$$P(D_i) = N_i/N. \quad (1.3)$$

$P(k_j/D_i)$  არის  $D_i$  მდგომარეობაში მყოფი ობიექტის  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნის გამოჩენის ალბათობა. თუ  $D_i$  - დიაგნოზიანი  $N_i$  ობიექტიდან რომელიმეს  $N_{ij}$  აღმოაჩნდა დიაგნოსტიკური ნიშანი  $k_j$ , მაშინ

$$P(k_j/D_i) = \frac{N_{ij}}{N_i} . \quad (1.4)$$

$P(k_j)$  არის ყველა ობიექტზე  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნის გამოჩენის ალბათობა ობიექტის მდგომარეობისაგან (დიაგნოზისაგან) დამოუკიდებლად. ვთქვათ  $N$  ობიექტების საერთო რაოდენობიდან  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნი აღმოაჩნდა  $N_j$  ობიექტს, მაშინ

$$P(k_j) = N_j/N. \quad (1.5)$$

დიაგნოზის დასასმევლად  $P(k_j)$  -ს სპეციალური გამოთვლა არ არის აუცილებელი, როგორც ამას შემდგომ ვნახავთ  $P(D_i)$  და  $P(k_j/D_i)$  მნიშვნელობები ცნობილია ყველა შესაძლო მდგომარეობისათვის, რომლებიც განსაზღვრავენ  $P(k_j)$  სიდიდის მნიშვნელობას.

(1.2) ტოლობაში  $P(D_i, k_j)$  არის  $D_i$  დიაგნოზის ალბათობის მნიშვნელობა მას შემდეგ, რაც ცნობილი გახდა განსახილველი ობიექტისათვის  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნის არსებობა (აპოსტორიარული დიაგნოზის ალბათობა).

### 1.3. ბაიესის განზოგადებული ფორმულა

განზოგადებული ფორმულა მიეკუთვნება შემთხვევას, როდესაც გამოკვლევა ტარდება დიაგნოსტიკური ნიშნების  $K$  კომპლექსთან, რომელიც შეიცავს  $k_1, k_2, \dots, k_v$  ნიშნებს. ყოველ  $k_j$  ნიშანს გააჩნია  $m_j$  თანრიგი ( $k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{js}, \dots, k_{jm_j}$ ). კვლევის შედეგებით ცნობილი ხდება დიაგნოსტიკური ნიშნის რეალიზაცია

$$k_j^* = k_{js}. \quad (1.6)$$

ისევე, როგორც ნიშნების მთელი კომპლექსის რეალიზაცია  $K^*$ . ინდექსი \* როგორც წინა შემთხვევაში აღნიშნავს დიაგნოსტიკური ნიშნის კონკრეტულ მნიშვნელობას (რეალიზაციას). ბაიესის ფორმულა დიაგნოსტიკური ნიშნების კომპლექსისათვის მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$P(D_i/K^*) = P(D_i)P(K^*/D_i)/P(K^*), \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.7)$$

სადაც  $P(D_i/K^*)$  არის  $D_i$  დიაგნოზის ალბათობა მას შემდეგ, რაც ცნობილი გახდა კომპლექსური დიაგნოსტიკური ნიშნების  $K$  მიხედვით კვლევის შედეგები.

$P(D_i)$  არის  $D_i$  დიაგნოზის წინასწარი ალბათობა (ადრინდელი სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით).

მიღებული (1.7) ფორმულა შეესაბამება სისტემის ნებისმიერ  $n$  მდგომარეობას (დიაგნოზს). იგულისხმება, რომ სისტემა იმყოფება მხოლოდ ერთ რომელიმე მითითებულ მდგომარეობაში და ამიტომ

$$\sum_{s=1}^n P(D_s) = 1. \quad (1.8)$$

პრაქტიკულ ამოცანებში ხშირია რამდენიმე მდგომარეობის (დიაგნოზის) შესაძლებლობა  $A_1, A_2, \dots, A_r$ , ამასთან ზოგიერთი მათგანი შეიძლება სხვებთან ერთად გარკვეულ კომბინაციაში არსებობდეს. ასეთ შემთხვევაში სხვადასხვა  $D_i$  დიაგნოზებად განხილული უნდა იყოს ცალკეული მდგომარეობები  $D_1=A_1, \dots, D_r=A_r$  და მათი კომბინაციები  $D_{r+1} = A_1 \wedge A_2, \dots$  და ა.შ.

განვსაზღვროთ (1.7) ფორმულაში შემავალი  $P(K^*/D_i)$  გამოსახულების მნიშვნელობა. თუ დიაგნოსტიკური ნიშნების კომპლექსი შედგება  $v$  ნიშნისაგან მაშინ

$$P(K^*/D_i) = P(k_1^*/D_i)P(k_2^*/k_1^*D_i) \dots P(k_v^*/k_1^* \dots k_{v-1}^*/D_i), \quad (1.9)$$

სადაც  $k_j^* = k_{js}$  არის კვლევების შედეგად გამოვლენილი დიაგნოსტიკური ნიშნის თანრიგი. დამოუკიდებელი დიაგნოსტიკური ნიშნებისათვის

$$P(K^*/D_i) = P(k_1^*/D_i)(k_2^*/D_i) \dots (k_v^*/D_i). \quad (1.10)$$

პრაქტიკული ამოცანების უმეტესობისათვის, განსაკუთრებით დიაგნოსტიკური ნიშნების დიდი რაოდენობისას, შეიძლება გამოვიყენოთ დიაგნოსტიკური ნიშნების დამოუკიდებლობის პირობა თუნდაც მათ შორის არსებობდეს არსებითი კორელაციური კავშირები.

$K^*$  დიაგნოსტიკური ნიშნების გამოჩენის ალბათობა

$$P(K^*) = \sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^*/D_s). \quad (1.11)$$

აღნიშნულის გათვალისწინებით ბაიესის განზოგადებული ფორმულა შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$P(D_i/K^*) = P(D_i)P(K^*/D_i)/\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^*/D_s), \quad (1.12)$$

სადაც  $P(D_i/K^*)$  გამოსახულება (1.9) ან (1.10) ტოლობით განისაზღვრება. (1.12) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\sum_{i=1}^n P(D_i/K^*) = 1. \quad (1.13)$$

რაც, რა თქმა უნდა, მოსალოდნელია, რადგან სადიაგნოსტიკო პროცესში ერთ-ერთ მათგანს მაინც ექნება ადგილი (რეალიზდება), ამასთან ორი დიაგნოზის ერთდროული რეალიზაცია შეუძლებელია.

ყურადღება უნდა მიექცეს იმ ფაქტს, რომ ბაიესის ფორმულის მნიშვნელოვანი ყველა სახის დიაგნოზისათვის ერთნაირია. ეს საშუალებას გვაძლევს თავდაპირველად განისაზღვროს მოცემულ რეალიზაციაში დიაგნოსტიკური ნიშნების კომპლექსიდან  $i$ -ური დიაგნოზის ერთდროული გამოჩენის ალბათობა.

$$P(D_i, K^*) = P(D_i)P(K^*/D_i), \quad (1.14)$$

ხოლო შემდეგ დიაგნოზის აპოსტერუდი ალბათობა

$$P(D_i, K^*) = P(D_i, K^*)/\sum_{s=1}^n P(D_s, K^*). \quad (1.15)$$

აღსანიშნავია, რომ ზოგჯერ მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას ფორმულა (1.12)-ის წინასწარ გალოგარითმებული სახე, რადგან (1.10) გამოსახულება შეიცავს მცირე სიდიდეების ნამრავლს.

თუ რაიმე დიაგნოსტიკური კომპლექსის ნიშნების  $K^*$  რეალიზაცია არის მადეტერმინირებული (განმსაზღვრელი)  $D_p$  დიაგნოზისათვის, მაშინ ეს კომპლექსი სხვა დიაგნოზების შემთხვევაში არ გვხვდება:

$$P(K^*/D_i) = \begin{cases} = 0 & \text{როდესაც } s \neq p \\ \neq 0 & \text{როდესაც } s = p \end{cases}$$

ასეთ შემთხვევაში (1.12) ტოლობის ძალით გვექნება, რომ:

$$P(K^*/D_i) = \begin{cases} 0 & \text{როდესაც } s \neq p \\ 1 & \text{როდესაც } s = p \end{cases} \quad (1.16)$$

როგორც ვხედავთ, დიაგნოზის დასმის დეტერმინისტული ლოგიკა ალბათური ლოგიკის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს. ბაიესის ფორმულის გამოყენება შესაძლებელია იმ შემთხვევაშიც, როდესაც დიაგნოსტიკური ნიშნების ერთ ნაწილს დისკრეტული განაწილების სახე აქვს, ხოლო მეორეს – უწყვეტი განაწილების. უწყვეტი განაწილებისათვის გამოყენება განაწილების სიმკვრივეები, მაგრამ გამოთვლებისათვის დიაგნოსტიკური ნიშნების ეს განსხვავება არსებითი არ არის, თუ უწყვეტი მრუდი მოცემულია დისკრეტული მნიშვნელობების ერთობლიობით.

## 14. დიაგნოსტიკური მატრიცა

ბაიესის მეთოდით დიაგნოზების ალბათობების განსაზღვრისათვის აუცილებელია დიაგნოსტიკური მატრიცის შედგენა (ცხ.1), რომელიც ფორმირებულია წინასწარი სტატისტიკური მასალის ბაზაზე. ამ ცხრილში მოცემულია დიაგნოსტიკური ნიშნების თანრიგების ალბათობა სხვადასხვა დიაგნოზისათვის.

იმ შემთხვევაში თუ დიაგნოსტიკური ნიშნები ორთაწილიანია “დიახ-არა”, მაშინ საკმარისია ცხრილში ვაჩვენოთ ნიშნის გამოჩენის ალბათობა  $P(k_j/D_i)$ . დიაგნოსტიკური ნიშნის არარსებობის ალბათობა ორივე თანრიგისათვის ერთგვაროვნად გამოსახულია ფორმით

$$P(k_j/D_i) = P(k_{j1}/D_i);$$

$$P(\bar{k}_j/D_i) = P(k_{j2}/D_i).$$

ცხრილი 1. ბაიესის მეთოდის დიაგნოსტიკური მატრიცა

დიაგნოზი $D_i$	დიაგნოსტიკური ნიშანი $k_j$								$P(D_i)$	
	$P(k_{11}/D_i)$	$P(k_{12}/D_i)$	$P(k_{13}/D_i)$	$P(k_{21}/D_i)$	$P(k_{22}/D_i)$	$P(k_{23}/D_i)$	$P(k_{24}/D_i)$	$P(k_{31}/D_i)$		$P(k_{32}/D_i)$
$D_1$	0,8	0,2	0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,8	0,3
$D_2$	0,1	0,7	0,2	0	0	0,3	0,7	0,1	0,9	0,1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

აღსანიშნავია, რომ ყველა შესაძლო ალბათობის ჯამი ერთის ტოლია  $\sum_{s=1}^{m_j} P(k_{js}/D_i) = 1$ , სადაც  $m_j$  არის  $k_j$  დიაგნოსტიკური ნიშნის თანრიგების რაოდენობა.

დიაგნოსტიკურ მატრიცაში ჩართულია დიაგნოზების აპრიორული ალბათობები. ბაიესის მატრიცის შედგენისას მნიშვნელოვანია დიაგნოსტიკის პროცესში გათვალისწინებული იქნეს ცხრილის დაზუსტების შესაძლებლობა. ამისათვის კომპიუტერის მეხსიერებაში შენახული უნდა იყოს არა მხოლოდ  $P(k_{js}/D_i)$  მნიშვნელობები, არამედ შემდეგი სიდიდეებიც:  $N$  – დიაგნოსტიკური მატრიცის შესადგენი ობიექტების საერთო რაოდენობა;  $N_i$  – ობიექტების რაოდენობა, რომელთა დიაგნოზია  $D_i$ ;  $N_{ij}$  – დიაგნოსტიკური ნიშნით  $k_j$ -ის მიხედვით გამოკვლეული  $D_i$  დიაგნოზის მქონე ობიექტების რაოდენობა. თუ გამოჩნდება ახალი ობიექტი დიაგნოზით  $D_\mu$ , მაშინ ხორციელდება წინა აპრიორული დიაგნოზების კორექცია შემდეგი სახით:

$$P(D_i) = \begin{cases} \frac{N_i}{N+1} = P(D_i) \frac{N}{N+1}; & i = 1, 2, \dots, n; i \neq \mu; \\ \frac{N_\mu+1}{N+1} = P(D_\mu) \frac{N}{N+1} + \frac{1}{N+1}; & i = \mu \end{cases} \quad (1.17)$$

ამის შემდეგ დიაგნოსტიკური ნიშნებისათვის შემოგვაქვს შესწორებები. ვთქვათ, ახალი ობიექტისთვის დიაგნოზით  $D_\mu$  აღმოჩენილია  $r$  თანრიგის დიაგნოსტიკური ნიშანი  $k_j$ , მაშინ შემდგომი დიაგნოსტიკისათვის მიიღება ახალი მნიშვნელობა დიაგნოსტიკური ნიშნების ინტერვალების ალბათობა  $k_i$  ახალი  $D_\mu$  დიაგნოზისათვის:

$$P(k_{js}/D_\mu) = \begin{cases} P(k_{js}/D_\mu) \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j}+1}; & s \neq r; \\ P(k_{jr}/D_\mu) \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j}+1} + \frac{1}{N_{\mu j}+1}; & s = r \end{cases} \quad (1.18)$$

სხვა დიაგნოზების შემთხვევაში პირობითი ალბათობები კორექტირებას არ საჭიროებენ.

### 1.5. ბაიესის მეთოდის გამოყენების კონკრეტული მაგალითი

ვთქვათ, აირტურბინული ძრავას დაკვირვებისას კონტროლირდება ორი დიაგნოსტიკური ნიშანი:  $k_1$  – აირის ტემპერატურის ზრდა ტურბინის გარეთ  $50^\circ\text{C}$  –ის ზემოთ და  $k_2$  –მაქსიმალური ბრუნთა რიცხვისას აირის გამოსვლის დროის ზრდა 5

წმ-ზე მეტი დროის განმავლობაში. დაუშვათ, რომ მოცემული ტიპის ძრავასათვის ამ ნიშნების გამოვლენა დაკავშირებულია ან სითბოს რეგულიატორის გაუმართავობასთან (მდგომარეობა  $D_1$ ) ან ტურბინაში რადიალური ღრეჩოს ზრდასთან (მდგომარეობა  $D_2$ ).

ძრავას ნორმალური მდგომარეობისათვის (მდგომარეობა  $D_3$ ) დიაგნოსტიკურ  $k_1$  ნიშანს არა აქვს ადგილი, ხოლო ნიშანი  $k_2$  დამახასიათებელია შემთხვევათა 5%-ისათვის. სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით ცნობილია, რომ ძრავების 80%-ისათვის რესურსს ამოწურავს ნორმალურ მდგომარეობაში მუშაობით, ძრავების 5%-ისთვის დამახასიათებელია  $D_1$  მდგომარეობა, ხოლო 15%-ისთვის  $D_2$  მდგომარეობა. ცნობილია ასევე, რომ დიაგნოსტიკური  $k_1$  ნიშანი გვხვდება  $D_1$  მდგომარეობისათვის შემთხვევათა 20%-ის, ხოლო  $D_2$  მდგომარეობის 40%-ის შემთხვევაში; დიაგნოსტიკური ნიშანი  $k_2$ ,  $D_1$  მდგომარეობისათვის გვხვდება 30%-ის, ხოლო  $D_2$  მდგომარეობისათვის 50%-ის შემთხვევაში. მოცემული მონაცემები და ამ მონაცემებით განსაზღვრული დიაგნოსტიკური ნიშნების ალბათობათა მაჩვენებლები შევიტანოთ დიაგნოსტიკურ მატრიცაში (ცხრილი 1.2).

თავდაპირველად ვიპოვოთ ძრავას მდგომარეობების ალბათობები, როდესაც ერთდროულად აღმოჩენილია ორივე,  $k_1$  და  $k_2$ , დიაგნოსტიკური ნიშანი. ამისათვის ჩავთვალოთ ეს ნიშნები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელად და 1.12 ფორმულის გამოყენებით ვიპოვოთ ძრავას ალბათური მდგომარეობა:

$$P(D_1/k_1k_2) = \frac{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,3}{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,3 + 0,15 \cdot 0,4 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0 \cdot 0,05} = 0,09 \cdot$$

ანალოგიურად მივიღებთ  $P(D_2/k_1k_2) = 0,91$ ;  $P(D_3/k_1k_2) = 0$ .

განვსაზღვროთ ძრავას მდგომარეობის ალბათობა, თუ გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ტემპერატურის მომატებას არა აქვს ადგილი ( $k_1 = 0$ ), მაგრამ აირრდილია გამოსვლის დრო ბრუნთა მაქსიმალური რიცხვისათვის ( $k_2$  ნიშანი არსებობს).  $k_1$  ნიშნის არ არსებობა არის  $\bar{k}_1$  ნიშნის არსებობის დადასტურება (საწინააღმდეგო ხდომილობა), ამასთან

$$P(\bar{k}_1/D_i) = 1 - P(k_1/D_i) \cdot$$

გაანგარიშებისათვის ასევე იყენებენ (1.12) ფორმულას. მაგრამ დიაგნოსტიკურ ცხრილში  $P(k_1/D_i)$  მნიშვნელობას ცვლიან  $P(\bar{k}_1/D_i)$  მნიშვნელობით. ამ შემთხვევაში

$$P(D_1/\bar{k}_1k_2) = \frac{0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,3}{0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,3 + 0,15 \cdot 0,6 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 1 \cdot 0,05} = 0,12 \cdot$$

ანალოგიურად მივიღებთ  $P(D_2/\bar{k}_1k_2) = 0,46$ ;  $P(D_3/\bar{k}_1k_2) = 0,41$ . გამოვითვალოთ ალბათური მდგომარეობა ორივე დიაგნოსტიკური ნიშანის არ გამოვლინების შემთხვევაში. გამოთვლას ჩავატარებთ წინა გამოთვლის ანალოგიურად, რის შედეგადაც მივიღებთ:

$$P(D_1/\bar{k}_1\bar{k}_2) = \frac{0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,7}{0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,7 + 0,15 \cdot 0,6 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 1 \cdot 0,15} = 0,03 \cdot$$

შესაბამისად  $P(D_2/\bar{k}_1\bar{k}_2) = 0,05$  და  $P(D_3/\bar{k}_1\bar{k}_2) = 0,92$ .

აღსანიშნავია, რომ  $D_1$  და  $D_2$  ალბათური მდგომარეობები განსხვავებულია ნულისაგან, რადგან განსახილველი ნიშნები მათთვის მადეტერმინირებული ნიშნები არ არის. ჩატარებული გამოთვლების საშუალებით შეიძლება დადგინდეს, რომ  $k_1$  და  $k_2$  ნიშნების არსებობისას ძრავში 0,91 ალბათობით გვაქვს  $D_1$  მდგომარეობა ანუ რადიალური ღრეჩოს გადიდება. ორივე ნიშნის არარსებობისას ყველაზე ალბათურია ნორმალური მდგომარეობა ალბათობით 0,92.  $k_1$  ნიშნის არარსებობისას, როდესაც გვაქვს  $k_2$  ნიშანი,  $D_2$  და  $D_3$  მდგომარეობა თითქმის თანაბარალბათურია 0,46 და 0,41 ამიტომ ძრავას მდგომარეობის უფრო ზუსტი სურათის მისაღებად აუცილებელია დამატებითი გამოკვლევების ჩატარება.

(ცხრილი 2. დიაგნოსტიკური მატრიცა)

$D_i$	$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(D_i)$
$D_1$	0,2	0,3	0,05
$D_2$	0,4	0,5	0,15



$D_3$	0,0	0,05	0,8
-------	-----	------	-----

### 1.6. დიაგნოსტიკის გადამწყვეტი წესი

ბაიესის მეთოდისათვის გადამწყვეტი წესის მიხედვით მიიღება გადაწყვეტილება დიაგნოზის შესახებ. როგორც აღნიშნეთ ამ მეთოდის მიხედვით  $K^*$  კომპლექსურ-ნიშნებიანი ობიექტისათვის რომელიმე დიაგნოზის მიკუთვნების შესახებ შესახებ გადაწყვეტილება, მიიღება უდიდესი (აპოსტერიორული) ალბათობის მიხედვით.

$$K^* \in D_i \text{ თუ } P(D_i/K^*) > P(D_j/K^*) \quad (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j) \quad (1.19)$$

ფუნქციურ ანალიზში გამოყენებული  $\in$  სიმბოლო აქაც ელემენტის სიმრავლესათვის მიკუთვნებაზე მიუთითებს. (1.19) პირობა გვაჩვენებს, რომ ობიექტს, რომელსაც გააჩნია მოცემული რეალიზაციის დიაგნოსტიკური ნიშნების კომპლექსი  $K^*$ , ან მოკლედ რომ ვთქვათ  $K^*$  ეკუთვნის  $D_i$  მდგომარეობას (დიაგნოზს). (1.19) წესი ჩვეულებრივ დაზუსტებულია დიაგნოზის ალბათობის ზღვრული მნიშვნელობით:

$$P(D_i/K^*) \geq P_i \quad (1.20)$$

სადაც  $P_i$  არის გარჩევადობის შერჩეული დონე  $D_i$  დიაგნოზისათვის. ამასთან მასთან ყველაზე ახლოს მდგომი სხვა დიაგნოზის ალბათობა არ აღემატება  $1 - P_i$ . ჩვეულებრივ, მიღებულია,  $P_i \geq 0,9$  იმ პირობით, რომ:

$$P(D_i/K^*) < P_i \quad (1.21)$$

ამ შემთხვევაში დიაგნოზის შესახებ გადაწყვეტილება არ მიიღება (უარი გარჩევადობაზე) და აუცილებელი ხდება დამატებითი ინფორმაციის მოძიება. კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება ბაიესის მეთოდის გამოყენებისას მნიშვნელოვნად აჩქარებს სადიაგნოსტიკო პროცესს. მაგალითად, დიაგნოზის დასმას 24 მდგომარეობისათვის 80 მრავალთანრიგიანი დიაგნოსტიკური ნიშნის შემთხვევაში თანამედროვე საყოფაცხოვრებო დონის კომპიუტერისათვის იკავებს 1 წამზე ნაკლებ დროს.

როგორც აღნიშნული იყო, ბაიესის მეთოდს გააჩნია გარკვეული სახის ნაკლოვანებები, მაგალითად იშვიათი დიაგნოზების გარჩევადობის კუთხით. პრაქტიკული გაანგარიშებისას მიზანშეწონილია დიაგნოსტიკა ჩავატაროთ თანაბარალბათური დიაგნოზების შემთხვევებისთვისაც თუ მივიღებთ, რომ

$$P(D_i) = 1/n \quad (1.22)$$

ამ დროს აპოსტერული ალბათობის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობა ექნება დიაგნოზს  $D_i$ , რომლისთვისაც  $P(K^*/D_i)$  მაქსიმალურია:

$$K^* \in D_i \text{ თუ } P(K^*/D_i) > P(K^*/D_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j) \quad (1.23)$$

სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, დგინდება დიაგნოზი  $D_i$  თუ დიაგნოსტიკური ნიშნების მოცემული ერთობლიობა უფრო ხშირად გვხვდება  $D_i$  დიაგნოზის დროს ვიდრე სხვა სახის დიაგნოზისას. ასეთი სახით მოცემული გადამწყვეტი წესი შეესაბამება მაქსიმალური სიმართლის მსგავსების მეთოდს. აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ “ხშირი” და “იშვიათი” დიაგნოზები თანაბარმნიშვნელოვანია.

## 2. ვიბროდიაგნოსტიკა

### 2.1. ზოგადი ცნობები ვიბროდიაგნოსტიკის შესახებ

მანქანისა და მექანიზმის საიმედოობის აირრდის ერთ-ერთი ეფექტური მეთოდი ამ მოწყობილობებისა და მათი შემადგენელი კვანძების დაზიანების საფრთხის შეფასებაა ვიბრაციული კონტროლის მონაცემების მიხედვით.

საკვლევი ობიექტის ვიბრაციული დიაგნოსტიკა სამ ეტაპად სრულდება: ობიექტის პირველადი აღწერა, დიაგნოსტიკური ნიშნების გამოყოფა და გადაწყვეტილების მიღება.

სადიაგნოსტიკო ინფორმაციული ნიშნების მოძიების ეტაპზე ზუსტდება და განისაზღვრება ვიბრაციის, ხმაურისა და დარტყმის გასაზომი პარამეტრების რიცხვი. ამასთან იმ მრავალი პარამეტრიდან, რომლებიც ვიბრაციულ პროცესებს ახასიათებენ, გამოყოფენ მხოლოდ იმ პარამეტრებს, რომლებიც პირდაპირ ან არაპირდაპირ ახასიათებს ობიექტის მდგომარეობას. ამ პარამეტრების მიხედვით ფორმირდება ინფორმაციული ნიშნების სისტემა, რომელსაც სადიაგნოსტიკო პროცესში იყენებენ.

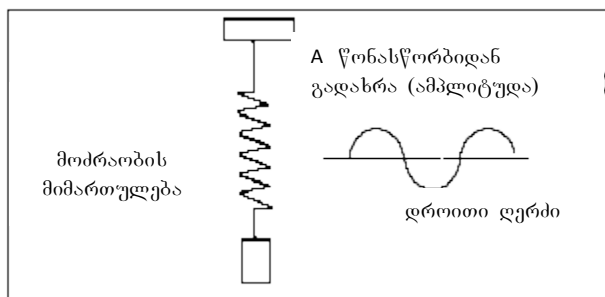
ვიბრაციის დიაგნოსტიკური პარამეტრების არჩევა დამოკიდებულია გამოსაკვლევი მექანიზმის ტიპების, ასევე გასაზომი რხევების ამპლიტუდურ და სიხშირულ დიაპაზონზე.

ვიბრაცია სხეულის მექანიკური რხევაა წონასწორობის მდებარეობის ირგვლივ. წონასწორობა სხეულის ისეთ მდგომარეობაა, რომელსაც მასზე არ მოქმედებს გარე ძალები ან მათი ზემოქმედების ჯამური სიდიდე ნულის ტოლია.

მყარი სხეულის რხევითი მოძრაობა სულად აიწერება ექვსი მარტივი ტიპის მოძრაობის კომბინაციით: გადატანითი – სამი უთიერთმართობული (x,y,z) ღერძების მიმართულებით და ამ ღერძების მიმართ (Ox,Oy,Oz) ბრუნვითი მოძრაობით, რის გამოც ამბობენ, რომ მერხვე სხეულს გააჩნია ექვსი თავისუფლების ხარისხი.

სხეულის ვიბრაციის მიზეზი ყოველთვის აღმძვრელი ძალებია, რომელებიც სხეულზე შეიძლება მოქმედებდნენ როგორც გარედან, ასევე შეიძლება აღიძვრან სხეულის შიგნითაც. ამ ძალების მოქმედების მიმართულება, სიდიდე და სიხშირე მთლიანად განსაზღვრავს სხეულის ვიბრაციას. ამიტომაც ვიბრაციული ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვაგლინოთ მანქანის მუშაობის პროცესში წარმოშობილი აღმძვრელი ძალები, რომელთა სიდიდე მანქანის მდგომარეობაზეა დამოკიდებული, რაც, თავის მხრივ, მათი წარმოშობის მიზეზის დადგენასა და შესაბამისად დიაგნოსტიკაში გვეხმარება.

ბუნებაში არსებულ ვიბრაციულ პროცესებს შორის ყველაზე მარტივია სხეულის დრეკადი წრფივი გადაადგილებები, რომლის საილუსტრაციოდ შეიძლება ზამბარაზე დაკიდებული სხეულის რხევები გამოვიყენოთ.



სურ.2. უმარტივესი პარმონიული ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე მერხვევი სისტემის მაგალითი

ნებისმიერი პარმონიული გადაადგილება აიწერება შემდეგი პარამეტრებით:

A – რხევის ამპლიტუდა, არის წონასწორობის მდგომარეობიდან სხეულის მაქსიმალური გადახრა;

F – რხევის სიხშირე. დროის ერთეულში შესრულებული რხევათა რიცხვი;

$T$  – რხევის პერიოდი. დროის ინტერვალი, რომელშიც ერთი სრული რხევა სრულდება;

განმარტებებიდან გამომდინარე აშკარაა, რომ  $F = 1/T$ .

რხევის სიხშირის ერთეულია ჰერცი. ერცი ისეთი რხევის სიხშირეა, როდესაც ერთ წამში ერთ სრული რხევა სრულდება. თუ საუბარია ბრუნვითი მოძრაობის შესახებ მაშინ თვლიან, რომ ძირითადი რხევის სიხშირე შეესაბამება ბრუნვის სიხშირეს, რომელიც იზომება ერთეულით ბრუნი/წუთში და განისაზღვრება  $\omega = F \cdot 60$ . ამ ტოლობაში 60 მიუთითებს წამების რაოდენობას წუთში.

თუ გრაფიკის ვერტიკალურ ღერძზე გადავხომავთ ჰარმონიული რხევისას მოძრაი სხეულის გადაადგილებას, ხოლო ჰორიზონტალურზე დროს შედეგად მივიღებთ სინუსოიდას (სურ.2.1), რომელიც აიწერება განტოლებით:

$$s = S \sin(\omega t)$$

სადაც  $s$  – მყისიერი გადაადგილება;

$S$  – მაქსიმალური გადაადგილება;

$\omega t$  – კუთხური სიჩქარე;

$\omega = 2\pi F$  კუთხური სიხშირე.

როგორც მათემატიკის კურსიდანაა ცნობილი გადაადგილების სიჩქარე არის გადაადგილების დროითი წარმოებული, ამიტომ

$$v = ds/dt = \omega S \cos(\omega t),$$

სადაც  $v$  – მყისი სიჩქარეა. ფორმულიდან ჩანს, რომ ჰარმონიული რხევის დროს სიჩქარეც სინუსოიდური კანონით იცვლება.

აჩქარება სიჩქარის ცვლილების სიჩქარეა, შესაბამისად გვექნება

$$a = dv/dt = -\omega^2 S \sin(\omega t),$$

სადაც  $a$  მყისი აჩქარებაა.

ვიბრაციის დაბალსიხშირულ სპექტრში ირჩევენ ვიბროგადაადგილების პარამეტრს, საშუალო სიხშირულ სპექტრში ვიბროსიჩქარეს, ხოლო მაღალ სიხშირულ სპექტრში ვიბროაჩქარებას.

ვიბროგადაადგილება საშუალებას გვაძლევს დავახასიათოთ ობიექტი იმ შემთხვევებში, როდესაც მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ მისი ან მისი შემადგენელი კვანძების ფარდობითი გადაადგილება ან დეფორმაცია.

ვიბრომანქანის ეფექტურობის კვლევისას ან ვიბრაციის ადამიანის ორგანიზმზე გავლენის შესწავლისას, მიზანშეწონილია ვიბროსიჩქარის შესწავლა, რადგან იგი განსაზღვრავს ძალის იმპულსის მნიშვნელობას და კინეტიკურ ენერგიას.

ობიექტების საიმედოობის კვლევისას მისი შესაფასებისათვის ძირითადი პარამეტრი ვიბროაჩქარებაა.

სპექტრული შემდგენების, ვიბრაციის დონის დროით და სიხშირულ განაწილებაზე დამოკიდებულებით, ასევე ნორმირებული დასაშვები დონის შემთხვევაში ზომავენ არჩეული ვიბრაციის პარამეტრების ამპლიტუდურ, საშუალო ან საშუალო კვადრატულ მნიშვნელობას. საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის გაზომვის ძირითადი უპირატესობაა, გაზომვის შედეგის დამოუკიდებლობა ვიბრაციის სპექტრის ცალკეულ შემდგენებს შორის არსებული ფაზათა ძვრისაგან.

ვიბრაციის პარამეტრების გაზომვისას იყენებენ ორ მეთოდს: კინემატიკურს და დინამიკურს.

კინემატიკური მეთოდის გამოყენებისას ობიექტის ცალკეულ წერტილების კოორდინატებს ზომავენ რომელიმე უძრავ კოორდინატთა სისტემის მიმართ. გამზომი გარდამქმნელები, რომელთა მოქმედების პრინციპი დამყარებულია გაზომვის აღნიშნულ მეთოდზე იწოდებიან ფარდობითი ვიბრაციის გარდამქმნელებად.

დინამიკური მეთოდი დამყარებულია ვიბრაციის პარამეტრების გაზომვაზე პირობითად უძრავ კოორდინატთა სისტემის მიმართ, უმეტეს შემთხვევაში ეს შეიძლება იყოს ინერციული ელემენტი, რომელიც ობიექტთან დრეკადი ბმითაა დაკავშირებული. ასეთ ხელსაწყოებს აბსოლუტური ვიბრაციის გარდამქმნელები ეწოდებათ, ხშირად მათ სეისმურ სისტემებსაც უწოდებენ.

## 2.2. ვიბრაციული გარდამქმნელების ტიპები

ვიბრაციის გასაზომი გარდამქმნელის მუშაობა დამყარებულია სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენის მოქმედების პრინციპზე, სადაც ხორციელდება მექანიკური გადაადგილების (რხევების) გარდაქმნა ელექტრულ სიგნალად. ფიზიკური სიდიდის გარდაქმნის პრინციპის მიხედვით ისინი შეიძლება იყოს:

გენერატორული ტიპის:

- პიეზოელექტრული;
- ინდუქციური;
- ჰოლის ეფექტზე მომუშავე;

პარამეტრული:

- რეზისტორული;
- პიეზორეზისტორული;
- ინდუქციური;
- ტრანსფორმატორული;
- მაგნიტოდრეკადი;
- ტევადური;
- ელექტრონულ - მექანიკური;
- ვიბრაციულ - სისწრული;
- ზღვრული კონტაქტური;
- იმპედანსური.

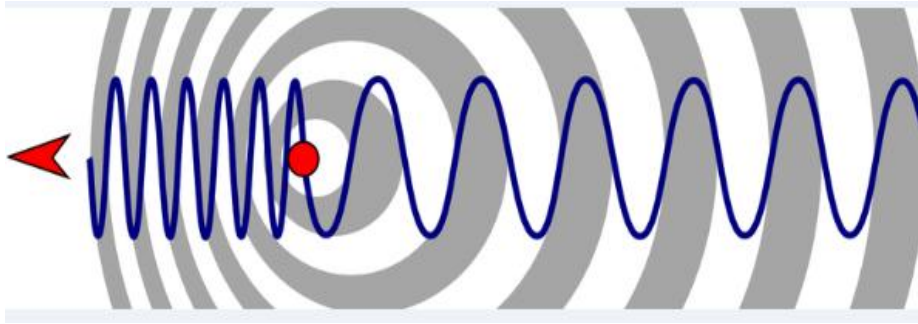
ფარდობითი ვიბრაციის გასაზომი უკონტაქტო გარდამქმნელები:

- მაგნიტური;
- რადიოსისწრული;
- ელექტრომაგნიტური;
- აკუსტიკური;
- რადიაციული;
- ოპტიკური.

უკონტაქტო გასაზომი გარდამქმნელებში გამოიყენება ფარდობითი ვიბრაციის პარამეტრების გაზომვის კინემატიკური მეთოდი ოპტიკურ, რადიოსისწრულ, ელექტრომაგნიტურ და სხვა ეფექტებზე მომუშავე მოწყობილობებისათვის. ვიბროდიაგნოსტიკის უკონტაქტო გამზომი გარდამქმნელებში ყველაზე ფართო გამოყენება მოიპოვეს ვიბრაციის პარამეტრების გაზომვის ოპტიკურმა მეთოდებმა და საშუალებებმა, რომლებიც გასაზომი ობიექტზე ინფორმაციის წარმოდგენის მიხედვით იყოფა ამპლიტუდურ და სისწრულ ხერხებად. გაზომვის ამპლიტუდურ მეთოდებს მიეკუთვნება ფოტოელექტრონული, დიფრაქციული და ინტერფერენციული ხერხები, ასევე სხივური ნაკადის სივრცული მოდულაციის გამოყენების მეთოდები.

ობიექტიდან არეკლილი, ოპტიკურ კვანტური გენერატორის მიერ გამოსხივებული სისწირის გაზომვაზე დამყარებული ვიბრაციის პარამეტრები იზომება საზომი მოწყობილობებით, რომელთა მოქმედების პრინციპი დამყარებულია დოპლერის ეფექტის გამოყენებაზე.

პრაქტიკაში დოპლერის ეფექტს შეიძლება დავაკვირდეთ, როდესაც დამკვირვებელს ჩაუვლის ერთ გარკვეულ ტონალობაზე სირენაჩართული ავტომობილი. სანამ მანქანა არ მოძრაობს დამკვირვებლის მიმართ, მაშინ მას ესმის იმ ტონის სიგნალი, რომელსაც სირენა გამოსცემს. დამკვირვებელთან მანქანის მოახლოებასთან ერთად სირენის ხმის სისწირე გაიზრდება (შესაბამისად შემცირდება ტალღის სიგრძე) და დამკვირვებელი გაიგონებს რეალურთან შედარებით უფრო მაღალი ტონის სიგნალს. დამკვირვებელთან მიახლოებისას სიგნალის ტონი თანდათან მიუახლოვდება რეალურს, ხოლო დაცილებისას სიგნალის ტონი შემცირდება და ის გაიგონებს უფრო დაბალი ტონის სიგნალს. ანალოგიური ეფექტი შენარჩუნდება დამოუკიდებლად იმისაგან ტალღების წყარო გადაადგილდება დამკვირვებლისაკენ თუ დამკვირვებელი ტალღების წყაროსკენ. სურ.2.2.



სურ.3. დოპლერის ეფექტის ილუსტრაცია

არსებობს ვიბრაციული სიგნალის ელექტრულ სიგნალად გარდამქმნელების ორი კლასი:

გენერატორული – მექანიკური რხევის ენერჯის ელექტრულ ენერჯიად გარდამქმნელები;

პარამეტრული – მექანიკური რხევების ელექტრული წრედის პარამეტრების ცვლილებად გარდამქმნელები, მაგ. ინდუქციურობა, ტევადობა, აქტიური წინაღობა, სისშირე, ფაზათა ძვრა და სხვა.

მანქანისა და მექანიზმის ვიბროდიაგნოსტიკისათვის ძირითადად გამოიყენება გენერატორული ტიპის პიეზოელექტრული და ელექტროდინამიკური გარდამქმნელები, აგრეთვე პარამეტრული ტიპის ინდუქციური, ტევადური და გრიგალურდენიანი გარდამქმნელები.

პიეზოელექტრული გარდამქმნელები გამოიყენება მექანიზმების აბსოლუტური რხევის ვიბრაციული პარამეტრების გასაზომად. პიეზოელექტრულ გარდამქმნელებს აქვთ კარგი მეტროლოგიური თვისებები, ფართო ამპლტუდურ - სისშირული დიაპაზონი, მაღალი საიმედოობა და შედარებით დაბალი ღირებულება. მათი ძირითადი უარყოფითი მხარეა დიდი გამოსასვლელი წინაღობა და ხელშეშლებისადმი დაცულობის დაბალი დონე. პიეზორეზისტორულ გარდამქმნელებს, რომლებიც პარამეტრული გარდამქმნელების კლასს განეკუთვნებიან, აღნიშნული უარყოფითი თვისებები შედარებით ნაკლები ხარისხით ახასიათებთ.

უმარტივესი პიეზოელექტრული გარდამქმნელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც კვარცის ან ხელოვნური პიეზოკერამიკის ფირფიტა. პიეზოკერამიკის დასამზადებლად გამოიყენება ტყვიატიტანის ცირკონატი, ბისმუტის ტიტანატი და სხვა. ფირფიტას ამაგრებენ გარე რხევების მიმღებ საფუძველზე, ხოლო მეორე მხრიდან განათავსებენ  $m$  მასის ტვირთს. სეისმური სისტემის ასეთი გარდამქმნელის საკუთარი სისშირე

$$f_0 = (1/2\pi) (C_1/m)^{1/2}$$

სადაც:  $C_1$  პიეზოელემენტის დრეკადობს კოეფიციენტია  $m$  მასის ტვირთის ინერციის ძალის მოდების მიმართულებით.

სისშირულ დიაპაზონში  $f_i \ll f_0$  გარდამქმნელის გამოსასვლელზე წარმოშვება  $q(t)$  მუხტი, რომელიც მიღებული  $\alpha(t)$  ვიბროაჩქარების პროპორციულია.

$$q(t) = d_{11} k \alpha(t).$$

სადაც  $d_{11}$  და  $k$  - შესაბამისად პიეზომოდული და გარდაქმნის კოეფიციენტი.  $q(t)$  სიდიდე გარდაიქმნება ელექტრულ დენად ან ძაბვად.

პიეზოელექტრული გარდამქმნელის შერჩევისას კონკრეტული გამოცდბისათვის აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იქნას მათი ტემპერატურული, ამპლიტუდური და სისშირული დიაპაზონები, გარდაქმნის კოეფიციენტები, დამყარებული რეზონანსის სისშირე და სხვა.

ელექტროდინამიკური გარდამქმნელები გამოიყენება ვიბრაციის გასაზომად 1 ჰც - 2კჰც სისშირულ დიაპაზონში.

ელექტროდინამიკური გარდამქმნელები შეიცავენ მაგნიტურ სისტემას, რომლის საკაერო ღრეჩოში მოთავსებულია გამტარიანი კოჭა. ჩვეულებრივ, მაგნიტური სისტემა დამაგრებულია გარდამქმნელის ფუძეზე, ხოლო კოჭაზე ხისტადაა მიმაგრებული ინერციული (სეისმური) მასა. გარე ვიბრაციული ძალის მოქმედებისას და მის მიერ

გამოწვეული ფარდობითი  $x(t)$  რხევების შედეგად კოჭაში აღიძვრება ელექტრომაგნიტური ძალა (ემძ)  $e(t)$ .

$$e(t) = B W_{ლსა} (d x(t)/dt),$$

სადაც:  $B W_{ლსა}$  არის ღრეხოს მაგნიტური ინდუქცია, ხვიათა რიცხვი და მოძრავი კოჭას ხვიათა საშუალო დიამეტრი შესაბამისად.

ელექტროდინამიური გარდამქმნელების მუშა სიხშირული დიაპაზონი რამდენიმეჯერ აღემატება ინერციული (სეისმური) სისტემის საკუთარ სიხშირეს.

ელექტროდინამიური გარდამქმნელის კოჭას გამოსასვლელზე ემძ ჰარმონიული რხევების ვიბროსინქარის პროპორციულია

$$e(t) = k w e_a \cos \omega t, \quad \text{სადაც: } k = B W_{ლსა}.$$

ელექტროდინამიური გარდამქმნელების უპირატესობებს მიეკუთვნება ფართოდ ამპლიტუდური დიაპაზონი, დაბალი გამოძავალი წინაღობა და გამოძავალი სიგნალების კავშირის გრძელი ხაზით გადაცემის შესაძლებლობა.

### 2.3. ვიბროდიაგნოსტიკის მეთოდები

ვიბროდიაგნოსტიკის მეთოდის შერჩვა დამოკიდებულია ობიექტის სტრუქტურულ, ფუნქციურ და ვიბრაციულ მდგომარეობაზე.

სტრუქტურული მდგომარეობა განპირობებულია მანქანისა და მექანიზმის კონსტრუქციული თავისებურებით მათი ელემენტების გეომეტრიით და მათ შორის ურთიერთკავშირით. ობიექტის ეს მდგომარეობა, ჩვეულებრივ ხასიათდება, ძრითადი რხევითი პროცესებით. ამ შემთხვევაში ადეკვატურ მეთოდად შეიძლება ჩაითვალოს მეთვალყურე სპექტრული ანალიზის მეთოდი.

ვიბრაციის ჰარმონიკების განაწილების წესის მიხედვით შესაძლებელია მათი წარმოშობის წყაროების იდენტიფიცირება; ჰარმონიკების ამპლიტუდები ახასიათებს ენერჯის განაწილებას, რაც დამოკიდებულია ობიექტის ტექნიკურ მდგომარეობაზე. დეფექტის წარმოშობისა და განვითარებისას რხევის ენერჯია იზრდება. მბრუნავკვანძებიან (როტორულ) და კბილანებიან მექანიზმებში მათი სტრუქტურული მდგომარეობა ხასიათდება დარტყმითი პროცესებით. ამ შემთხვევაში ადეკვატურია კონკრეტული დეფექტის დაგროვების მეთოდი, როდესაც გამოყოფენ სადიაგნოსტიკო კბილანის თითოეული კბილის დარტყმით იმპულსებს. იმპულსების თანმიმდევრობის სიხშირე განსაზღვრავს წყაროს (კბილანას), სიგნალის დონეებს შორის სხვაობა - დეფექტის მიზეზს (დეფექტური კბილანა), ხოლო იმპულსების დონეების აბსოლუტური მნიშვნელობა - დაზიანების ხარისხს.

ობიექტის ვიბრაციული მდგომარეობა განისაზღვრება ვიბრაციული მახასიათებლების ერთობლიობით, რაც მისი დინამიური თვისებების სტრუქტურული ფუნქციური მდგომარეობის შედეგია. ნორმალური სტრუქტურულ ფუნქციური მდგომარეობის შემთხვევაშიც კი ვიბრაციული მდგომარეობა შესაძლებელია არადამაკმაყოფილებელი იყოს რეზონანსული და პარაზიტული რხევების ეფექტიდან გამომდინარე.

პერსპექტიულად ითვლება მეთოდი, რომელიც იყენებს ობიექტში დინამიკურ ცვლილებებს, მათ შორის უმარტივესია - სინქარისა და პროცესების ხასიათის ნიშნის ცვლა, რომელიც დეფექტის დროში განვითარებაზე მიუთითებენ, რაც საშუალებას იძლევა გააკეთდეს მომავლის პროგნოზი ობიექტის შრომისუნარიანობის შესახებ.

ვიბრაციული სიგნალის კორელაციურ - სპექტრული ალგორითმის ანალიზი აერთიანებს: ვიბროსიგნალის დისკრეტიზაციას, ციფრულ გაფილტვრას, საინფორმაციო პარამეტრების გამოთვლას და ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრას. ობიექტის მოდელირების პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას

იძლევა იმიტირებულ იქნას სიგნალები, რომლებიც ახასიათებენ მექანიზმის როგორც გამართულ, ისე გაუმართავ მდგომარობას.

ვიბრაციული პროცესების კვლევის ერთ-ერთი ეფექტური ინსტრუმენტი, ობიექტის მექანიკური კონსტრუქციის მოდელირება. მოდელის აგებისას განსაზღვრავენ ობიექტის ელემენტებს შორის ძირითად კავშირებსა და მათ კანონზომიერებას. კვლევისათვის მოსახერხებელია მათმატიკური, ელექტრომექანიკური და ვირტუალური მოდელების გამოყენება.

ვიბროაკუსტიკური სიგნალის სპექტრის ერთი ან რამდენიმე სისშირით მოდულირების შემთხვევაში, რაც დამახასიათებელია კინემატიკური და კბილანური წყვილების შემცველი ობიექტებისათვის, ეფექტურია ინფორმაციის შემჭიდროება გალოგარითმებისა და მისი ძალოვანი სპექტრის ფურიეს გარდაქმნის განხორციელებით, რასაც კეპსტრი ეწოდება.

კეპსტრი –  $Ln[S(\omega)]^2$  ენერგეტიკული ფუნქციის სპექტრია, რომელიც განისაზღვრება გამოსახულებით

$$C_s(q) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Ln[S(\omega)]^2 e^{i\omega q} d\omega.$$

სხვაგვარად კეპსტრი განსაზღვრავს  $Lg[\Phi(z)]$  ფუნქციის ხარისხოვან მწკრივად გაშლის კოეფიციენტების თანმიმდევრობას.

ასეთი მეთოდი საშუალებას გვაძლევს გამოვეყოთ ინფორმაცია სიგნალის შესახებ, მოდულაციის არაწრფივი, მრავალჯერადი გარდასახვის შედეგიდან. ამასთან, ვიბროაკუსტიკური სიგნალის მთლიანი ენერგია, რომელიც გაბნეულია მრავალ პარმონიკას შორის სპექტრულ მეთოდში, ლოკალიზებულია ერთ მდგენელში სიგნალის ანალიზის კეპსტრული მეთოდის გამოყენებისას.

კეპსტრული მეთოდი დიაგნოსტიკური ნიშნების ფორმირებისას გამოიყენება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც რხევით პროცესს გააჩნია პერიოდული მოდულირებული სპექტრი, რომელიც შეიმჩნევა მექანიზმების კვანძებისა და დეტალების არაწრფივი ურთირთომქმედების შედეგად, ამპლიტუდური და სისშირული მოდულაციის არსებობისას, ასევე მექანიზმის ფიზიკური პარამეტრების ცვლილებისას ცვეთის, სიხისტის ცვლილების და დარტყმითი ურთიერთ მოქმედებისას.

კეპსტრულმა მეთოდმა ყველაზე ფართო გამოყენება პოვა რედუქტორის მექანიზმებში კბილანური თვლების დიაგნოსტიკას, რომელსაც ზედაპირის სხვადასხვაგვარი ცვეთა ახასიათებს.

ვიბროგამზომი აპარატურა მოიცავს:

1. სტაციონარული ლაბორატორიული ხელსაწყოების კომპლექსს, მათ შორის:

მრავალარხიანი ხელსაწყოები:

- მიმდევრობითი მოქმედების;
- პარალელური მოქმედების.

მრავალფუნქციური ხელსაწყოები:

- ვიბრაციული ანალიზატორი;
- მიკროპროცესორი.

2. გადასატანი ლაბორატორიული და სამრეწველო ხელსაწყოები.

3. ხელსაწყოების კომპლექსი საგამოცდო ტექნიკისათვის:

- ხელსაწყოები ვიბრაციული პროცესების მართვისათვის;
- მრავალკომპონენტიანი ხელსაწყოები;
- ხელსაწყოები ფართოზოლოვანი შემთხვევითი პროცესების ფორმირებისა

და გაზომვისათვის.

სტაციონარული ლაბორატორიული ხელსაწყოების კომპლექსის დანიშნულებაა სხვადასხვა ობიექტისა და ელემენტის კვლევა და შესაბამის კონდიციამდე მიყვანა, დამუშავება მათზე მექანიკური ფაქტორების ზემოქმედებისას.

გადასატანი ლაბორატორიული და სამრეწველო ხელსაწყოების დანიშნულებაა ვიბრაციისა და ხმაურის დონის მიმდევრობითი და პარალელური კონტროლი ობიექტის ერთ ან რამდენიმე წერტილში, მანქანისა და მექანიზმის მბრუნავი ნაწილების ტექნიკური დიაგნოსტიკა და ბალანსირება, რაც

აერთიანებს საკონტროლო-სასიგნალო, ბალანსირებისა და ვიბროდიაგნოსტიკურ აპარატურას.

ხელსაწყოების კომპლექსი საგამოცდო ტექნიკისათვის გამოიყენება პროდუქციის გამოსაცდელად ვიბრაციულ, დარტყმით და აკუსტიკურ ხმაურზე, რომელიც მოიცავს ხელსაწყოებისა და მექანიკური დატვირთვების შექმნისა და აღწარმოების საშუალებებს, საზომ-საკონტროლო და მართვის აპარატურას. ამ ხელსაწყოებმა უნდა უზრუნველყონ გამოცდის ჩატარების სანდოობა, მათი შესაბამისობა ობიექტის ტექნიკურ რეგლამენტსა და ექსპლუატაციის პირობებთან.

მრავალარხიანი ვიბროგამზომი აპარატურა ფართოდ გამოიყენება ვიბროდიაგნოსტიკის სისტემებში, რომელიც კლასიფიცირებულია გაზომვის ძირითადი პრინციპების მიხედვით:

- ვიბრაციის პარამეტრების მიმდევრობითი გაზომვა ობიექტის ცალკულ წერტილებში;
- ვიბრაციის პარამეტრების პარალელური გაზომვა ობიექტის ყველა საკონტროლო წერტილში ერთდროულად;
- კომბინირებული ხელსაწყოები ვიბრაციის პარამეტრების პარალელური ჩაწერით ყველა გამოსაკვლევი წერტილში და ამ პარამეტრის მიმდევრობითი გაზომვით თითოეულ წერტილში.

ვიბრაციის პარამეტრების მიმდევრობითი გაზომვის აპარატურის გამოყენებისას ობიექტის საკონტროლო წერტილებში ამაგრებენ გადამწოდებს, ისინი წინასწარი გამაძლიერებლის გავლით მიერთებულია ელექტომექანიკურ ან ელექტრონულ კომუტატორთან, რომლის საშუალებითაც მიმდევრობით ერთვებიან საზომ ხელსაწყოსთან.

ვიბრაციის პარამეტრების პარალელური გაზომვის აპარატურას გააჩნია იმდენი გამაძლიერებელი და გამზომი არხი, რამდენი გადამწოდიცაა დამაგრებული ობიექტზე. ასეთი აპარატურა წარმოადგენს ერთარხიანი ვიბროგამზომი ხელსაწყოების ნაკრებს.

კომბინირებული ხელსაწყოები გამოსაყენებლად უფრო პერსპექტიულია, რამდენადაც ისინი საშუალებას გვაძლევენ ვაკონტროლოთ ვიბრაციის პარამეტრები ობიექტის ყველა წერტილში, ოპერატიულად შევაფასოთ მათი ექსტრემალური მნიშვნელობა, მოვახდინოთ ვიბრაციის დასაშვებ დონესთან კომპარირება (შედარება), რითაც საშუალება გვქვია გამოვრიცხოთ ცალკეული, მაგრამ ობიექტისათვის დამახასიათებელი საკონტროლო წერტილები. ასეთი აპარატურა ფართოდ გამოიყენება რთული მექანიკური კონსტრუქციის ობიექტების დიაგნოსტიკათვის.

ვიბროდიაგნოსტიკის საკონტროლო მოწყობილობების განვითარების ძირითადი ტენდენციაა სიგნალების პარალელური სელექციის მრავალარხიანი სისტემების შექმნა.

კომბინირებული სელექტორები საშუალებას გვაძლევენ ვმართოთ გამოცდის რეჟიმები ვიბრაციის მინიმალური, საშუალო და მაღალი დონეების მიხედვით.

აპარატურის შერჩვისას პირველ რიგში აუცილებელია დავადგინოთ საკონტროლო წერტილების აუცილებელი და საკმარისი რაოდენობა, მათი ადგილმდებარეობა, გაზომვის კომპონენტების რაოდენობა თითოეულ წერტილში, ვიბრაციის საკონტროლო პარამეტრი, სისწორული დიაპაზონი, რომელშიც დამახასიათებელ, მნიშვნელოვან და სახიფათო დეფექტს მიყვავართ სპექტრის ცალკეული შემადგენელი კარმონიკების ამპლიტუდის ან მთლიანად ვიბრაციის დონის შეცვლისაკენ.

ვიბრაციული კვლევის მასალების სტატისტიკური დამუშავება საშუალებას გვაძლევს შევადგინოთ დეფექტის გარჩევის რუკები. ამ მონაცემების მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ დეფექტის ნიშნების შესახებ და შევარჩიოთ აპარატურის სისწორული დიაპაზონი, რომელიც აუცილებელი იქნება მანქანის დამახასიათებელი დეფექტის აღმოსაჩნად. ყველა შემთხვევაში სისწორული დიაპაზონის ზედა ზღვარი არ უნდა იყოს ნაკლები როტორის მუშა ბრუნთა რიცხვის გაორმაგებული მნიშვნელობაზე.

ანალოგური მეთოდით ვიბრაციის გაზომვისა და ანალიზისათვის მონაცემთა დამუშავების ციფრული ხერხის გამოყენებისას გამოსასვლელზე ვიბრაციის დონის



განაწილების ჰისტოგრამის, ფაზური დიაგრამების, ვიბრაციის ფაზის სიხშირისა და დროითი დამიკიდებულების მისაღებად გამოიყენება მრავალფუნქციური სისტემები.

ავტომატიზებული სისტემები იყოფა სამ ძირითად ჯგუფად.

- პირველ ჯგუფში ინფორმაციულ საშუალებებს გამოიყენებენ სიგნალების ოპერატიული დამუშავებისათვის;
- მეორე ჯგუფში ინფორმაციული საშუალება დაამუშავებს მიღებულ სიგნალს და გამოიმუშავებს კორელაციის შეტყობინებას გამოცდის რეჟიმის შეცვლისას.
- მესამე ჯგუფს განეკუთვნება მთლიანად ავტომატიზებული სისტემები, სადაც საინფორმაციო საშუალება ჩართულია სიგნალის დამუშავების, ანალიზისა და მართვის წრედში გამოცდისა და კვლევის პროგრამის სრული სამუშაო რეჟიმით. უმარტივესი ავტომატიზებული სისტემები ოპერატიულად ზომავენ და აანალიზებენ დამახასიათებელ ვიბრაციებს და ადარებენ ეტალონურ მნიშვნელობას.

შემთხვევითი ვიბრაცია. რეალურად ვიბრაციული პროცესები შემთხვევით ხასიათს ატარებს, ამიტომ სადიაგნოსტიკო ობიექტების ანალიზისათვის საჭიროა გაიზომოს ფართოზოლოვანი შემთხვევითი ვიბრაციის პარამეტრები. შემთხვევითი ვიბრაციის პარამეტრების საზომი აპარატურის თავისებურებაა მათში სიხშირულ-ამორჩევითი სქემების არსებობა.

დეფექტის წარმოშობისას სიხშირის  $\Delta\omega$  ზოლში ადგილი აქვს ვიბრაციის დონის ცვლილებას. ვობროსაზომ ხლსაწყობებში ვიბრაციის პარამეტრების ინფორმაციულობის გაზრდის მიზნით გამოიყენება ფილტრები, რომლებიც ატარებენ სპექტრის შესაბამის მდგენელებს  $\Delta\omega$  ზღვრებში. ამ შემთხვევაში ფილტრის გამოსასვლელზე სიგნალი შედგება ისეთი ჰარმონიული სიგნალების ჯამისაგან, რომელთა ამპლიტუდაა  $A_0$  და ხმაური  $P(t)$ .

ვიბროდიაგნოსტიკურ აპარატურაში მრავალი სახვადასხვა ფილტრი გამოიყენება მათ შორის:

- აქტიური ანალოგური ფილტრები;
- მამრავლებელ- ამორჩევითი მოწყობილობები;
- ციფრული ფილტრები;
- მექანიკური ფილტრები და სხვა.

სადიაგნოსტიკო ობიექტის შემთხვევითი ვიბრაციის ანალიზი მიზანშეწონილია ჩატარდეს ორარხიანი ანალიზატორების გამოყენებით დროის რეალურ მასშტაბში. ანალიზატორის ყოველ არხში ჩამონტაჟებულია მიკროპროცესორი მონაცემთა ოპერატიული დამუშავებისა და ფურიეს სწრაფი გარდაქმნის განსახორციელებლად. ორი არხის არსებობა უზრუნველყოფს ობიექტის სპექტრულ-კორელაციური და კვანძური მდგომარეობების შეფასებას, ანალიზის შედეგების დისპლეის საშუალებით ასახვის შესაძლებლობით.

### 3. ულტრაბგერითი კონტროლი. ზოგადი ცნობები

აკუსტიკური ეწოდება მეთოდს, რომელიც დამყარებულია ნებისმიერი სიხშირის დრეკადი რხევებისა და ტალღების გამოყენებაზე. მეთოდები, სადაც გამოყენებულია სიხშირეები 20 kHz -დან 100 MHz-მდე იწოდება ულტრაბგერით მეთოდებად.

დრეკადი ტალღა წარმოადგენს გარემოში მექანიკური ძალების აღძვრის გავრცელების პროცესს, რომელიც განპირობებულია გარემოს ნაწილაკების დრეკადი ურთიერთმოქმედებით. გარემოს მნიშვნელოვანი პარამეტრია მისი მახასიათებელი იმპედანსა ან კუთრი ტალღური წინააღობა.

რხევითი სიჩქარე. არის  $p$  ბგერითი წნევით განპირობებული ნაწილაკების რხევის სიჩქარე, რომელიც  $p_a$  მყისიერ და  $p_0$  სტატიკურ წნევებს შორის წნევათა სხვაობით  $p = p_a - p_0$  წარმოიშობა გარემოს მოცემულ წერტილში. წონასწორობის მდგომარეობიდან ნაწილაკის გადახრას  $\xi$  წანაცვლება ეწოდება, ხოლო სიდიდეს  $v = d\xi/dt$  - რხევითი სიჩქარე.

დრეკადი ტალღა წარმოადგენს გარემოში მექანიკური ძალების აღძვრის გავრცელების პროცესს, რომელიც განპირობებულია გარემოს ნაწილაკების დრეკადი ურთიერთმოქმედებით.

გარემოს მნიშვნელოვანი პარამეტრია მისი მახასიათებელი იმპედანსა ან კუთრი ტალღური წინააღობა. იგი განისაზღვრება, როგორც ბგერითი წნევის კომპლექსური ამპლიტუდის  $p$  ფარდობა რხევის სიჩქარესთან  $v$  ჰარმონიულ მორბენალ ტალღაში:

$$z = p/v.$$

ჩვეულებრივ, ის გამოისახება  $p$  გარემოს სიმკვრივის ნამრავლით ტალღის გავრცელების სიჩქარეზე:

$$z = \rho c$$

იმ გარემოსათვის, სადაც  $z$  მნიშვნელობის დანაკარგი დიდი არ არის, ის შეიძლება ჩაითვალოს ნამდვილ სიდიდედ.

ნებისმიერ ჰარმონიულ ტალღაში კომპლექსური ამპლიტუდების  $p/v$  ფარდობას აკუსტიკურ იმპედანსას  $z_a$ -ს უწოდებენ.

$$z_a = p/v.$$

ზოგადად  $z_a$  კომპლექსური სიდიდეა.

არარღვევადი კონტროლის პრაქტიკაში გვხვდება მექანიკური იმპედანსის ცნებაც, რაც გულისხმობს აღმძვრელი ჰარმონიული ძალის კომპლექსური ამპლიტუდების ფარდობას ამ ძალის მიმართულების მქონე რხევის  $v$  სიჩქარესთან.

$$z = F/v.$$

განსხვავებით  $\rho c$  ნამრავლისაგან, რომელიც ახასიათებს გარემოს, მექანიკური იმპედანსი კონსტრუქციის პარამეტრია.

დრეკადი ტალღის ენერგეტიკული მახასიათებელი არის ინტენსივობა. მორბენალი ჰარმონიული ტალღისათვის ინტენსივობა გამოისახება ფორმულით:

$$j = \rho c (v_m)^2 / 2 = (p_m)^2 / 2\rho c.$$

სადაც  $v_m$  და  $p_m$  შესაბამისად რხევითი სიჩქარისა და ბგერითი წნევის ამპლიტუდებია.

განსახილველი სიდიდეების ერთეულები SI ერთეულთა სისტემაში შემდეგია: წანაცვლება -  $m$ , რხევითი სიჩქარე -  $m/s$ , ბგერითი წნევა -  $Pa$ , ინტენსივობა -  $V_T/m^2$ , მახასიათებელი და აკუსტიკური იმპედანსები -  $Pa \cdot s/m$ , მექანიკური იმპედანსა -  $H \cdot s/m$ .

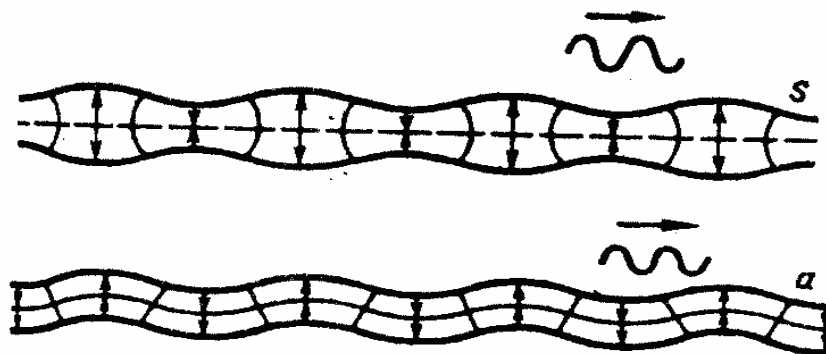
სითხეებსა და აირებში ვრცელდება მხოლოდ გრძივი ტალღები. უსაზღვროდ მკვრივ სხეულებში შესაძლებელია მხოლოდ გრძივი და განივი (გადამაადგილებელი) ტალღების არსებობა. გრძივ ტალღებში გარემოს ნაწილაკების რხევითი მოძრაობის მიმართულება ემთხვევა (ან საწინააღმდეგოა) ტალღის გავრცელების მიმართულებისა, განივ ტალღებში კი გავრცელების მიმართულების მართობულია.

ნაკლებად მკვრივ სხეულებში შესაძლებელია სხვა ტიპის ტალღების გავრცელებაც. მათ შორის მნიშვნელოვანია: ზედაპირული ტალღები (რელეის

ტალღები), ნორმალური ტალღები ფენებში (ღემბის ტალღები), ღუნვადი ტალღები, ნორმალური დეროვანი ტალღები (პოხჰამერის ტალღები).

ზედაპირული ტალღა ვრცელდება მყარი სხეულის თავისუფალ ზედაპირულ ფენაში, რომლის სისქე ტალღის სიგრძის რიგისია. გარემოს ნაწილაკები მოძრაობენ ეკლიპტიკურ ტრაექტორიაზე.

ღემბის ტალღები აღიძვრება ფურცლოვან, დრუ კედლებისა და სხვა ფენებში და გააჩნიათ ტალღამტარი გავრცელების მექანიზმი. ამ ტალღების გავრცელების სიჩქარე არ არის დამოკიდებული ფენის სისქეზე და სისშირეზე. სიმეტრიული და არასიმეტრიული ტალღის მოდელები (რხევებს ტალღური ვექტორს გარკვეული მნიშვნელობით ეწოდება ტალღის მოდა, რომელიც მაგალითად დაჭიმული სიმის რხევის შემთხვევაში გარკვეული მნიშვნელობით განსაზღვრავს მის ძირითად ტონს და ობერტონებს) განსხვავდებიან ტალღის შუაკვეთის ფენის მიმართ სიმეტრიული და არასიმეტრიული მოძრაობით (სურ.4). ტალღის სხვადასხვა მოდა ვრცელდება სხვადასხვა სიჩქარით. ღუნვადი ტალღები ღემბის ნულოვანი რიგის  $\alpha_0$  არასიმეტრიული ტალღების კერძო შემთხვევას წარმოადგენს, როდესაც ტალღების ამპლიტუდა ბევრად აღემატება გავრცელების ფენის სისქეს.



სურ.4. ფენების დეფორმაცია სიმეტრიული და არასიმეტრიული ტალღების გავრცელებისას

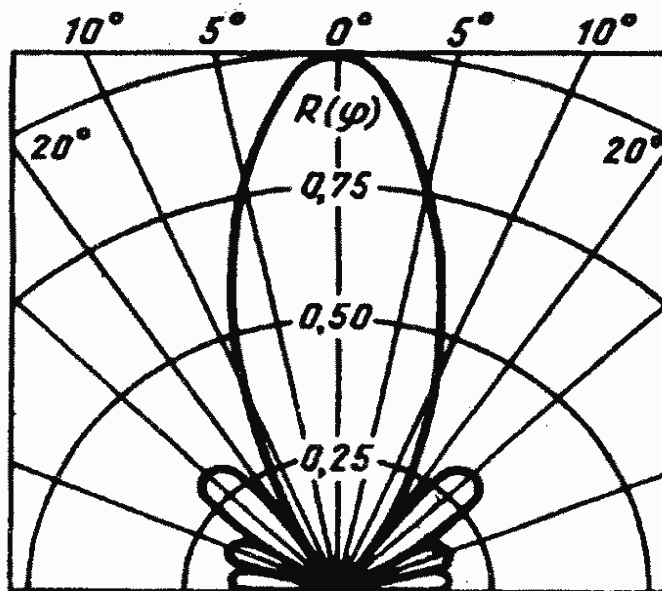
დეროვანი ტალღები ბევრი რამით ჰგავს ღემბის ტალღებს. ისინიც იყოფიან სიმეტრიულ და არასიმეტრიულ ტალღებად და გააჩნიათ მრავალგვარი სახის მოდა.

გრძივი, განივი და ზედაპირული ტალღების სიჩქარეები მასალათა უმრავლესობაში არ არის დამოკიდებული სისშირეზე. ტალღის სიჩქარე ფირფიტებსა და დეროვებში დამოკიდებულია ნაკეთობის სისქისა და სისშირის ნამრაველზე. ამ მოვლენას სიჩქარის დისპერსიას უწოდებენ.

ნებისმიერი ტალღა გავრცელების სიჩქარე განისაზღვრება გარემოს სიმკვრივით და მისი დრეკადობის შემდგენის არსებობით.

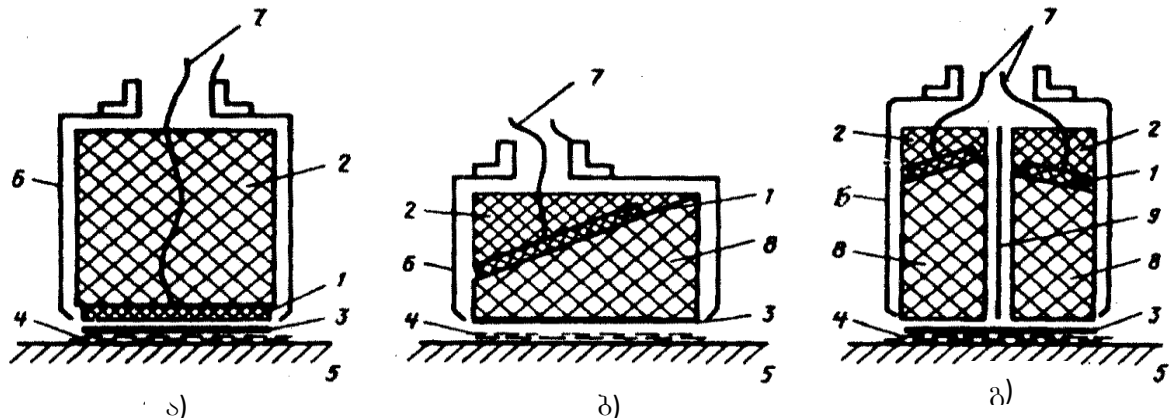
დრეკადი ტალღები გარემოში გავრცელებისას სუსტდება სივრცეში ენერჯიის გაბნევის და ამ გარემოში მიღწევადობის გამო. ულტრაბგერით დეფექტოსკოპიაში გამოიყენება მაღალი სისშირეები ( $f > 0,5 \text{ MHz}$ ). როდესაც გარდამქმნელის განივი ზომის ფარდობა  $2a$  მეტია ტალღის სიგრძეზე ( $2a > \lambda$ , სადაც  $\lambda$  - ტალღის სიგრძეა). ამ შემთხვევაში გამოსხივება ხასიათდება მიმართულებით, ანუ ძირითადი ენერჯია თავმოყრილია შედარებით ვიწრო ზოლის ფარგლებში. გამომსხივებლის აკუსტიკურ ველს გააჩნია ახლო და შორეული ზონები.  $a$  რადიუსის წრიული გარდამქმნელისათვის ახლო ზონის საზღვარი არის  $r_b = a^2/\lambda$  მანძილი. ახლო ზონაში  $r < r_b$  ბგერითი წნევა იცვლება არამონოტონურად, ხოლო შორეულ ზონაში მონოტონურად მცირდება.  $r \gg r_b$  მანძილებზე ბგერითი წნევის დამოკიდებულება გამოსხივების დერძის  $\theta$  კუთხეზე წარმოდგენილია მიმართულების დიაგრამაზე (სურ.5), რომელსაც გააჩნია ძირითადი და რამდენიმე გვერდითი ფურცელი. ამ დიაგრამის ძირითადი ფურცლის გაშლის კუთხე

$$\theta = \arcsin 0,6 (\lambda/a).$$



სურ.5. ბადროს ფორმის გარდამქმნელის გამოსხივების ველის მიმართულების დიაგრამა  $2a/\lambda = 5$  პოლარულ კოორდინატებით.

დრეკადი რხევების აღძვრისა და მიღებისათვის იყენებენ ელექტროაკუსტიკურ გარდამქმნელებს. მათ შორის ყველაზე უფრო გავრცელებულია პიეზოელექტრული გარდამქმნელები. ისინი სხვადასხვაგვარია და განსხვავდებიან დანიშნულების, შესრულების, მუშა სიხშირით და სხვა პარამეტრებით.



სურ.6. პიეზოგარდამქმნელების კონსტრუქციები:

ა) - პირდაპირი შეთავსების; ბ) - დახრილი შეთავსების; გ) გაყოფილ-შეთავსებული.

1 - პიეზოელემენტი; 2 - დემპფერი; 3 - პროტექტორი; 4 - საკონტაქტო სითხის ფენა; 5 - საკონტროლო ობიექტი; 6 - კორპუსი; 7 - გამომყვანი; 8 - პრიზმა; 9 - აკუსტიკური ეკრანი.

პირდაპირი შეთავსების გარდამქმნელები (სურ.6.ა) დანიშნულებაა გრძივი ტალღების გამოსხივება და მიღება. ამ ორივე ფუნქციას ასრულებს ერთი პიეზოელემენტი.

დახრილი გარდამქმნელები (სურ.6.ბ) გამოიყენება განივ და ღეშის ხედაპირულ ტალღებთან სამუშაოდ. საკონტროლო ნაკეთობაში ყველა ეს ტალღა აღიძვრება გრძივი ტალღების ტრანსფორმაციის შედეგად, რომელიც მიეწოდება გარდამქმნელი-ნაკეთობის გაყოფის საზღვარზე სხვადასხვა კუთხით. მიღებისას ხორციელდება უკუ ტრანსფორმაცია.

გაყოფილ-შეთავსებული (სურ.6.გ) გარდამქმნელები გრძივი ტალღების მიღებისა და გამოსხივებისათვის იყენებენ სხვადასხვა პიეზოელემენტს, რომლებიც ერთ

კორპუსშია დამონტაჟებული. გამოიყენება ასევე გრძივი ტალღების ცალკე გამომსახვებელი და ცალკე მიმღები გარდამქმნელები.

გამოიყენება სხვა სახის გარდამქმნელებიც - ფართოლზოლოვანი, დახრის სარეგულირებელი კუთხეებით, ფოკუსირებადი, მრავალელებმენტიანი (მატრიცული) და სხვ. დრეკადი ტალღების გადაცემისათვის გარდამქმნელის ელემენტებსა და საკონტროლო ობიექტს შორის აუცილებელია აკუსტიკური კონტაქტის შესაქმნელი მატერიალური გარემოს არსებობა. ასეთი კონტაქტი შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი მასალების გამოყენებით:

- სითხის თხელი ფენა (კონტაქტური მეთოდი);
- $h$  სისქის სითხის ფენით, როდესაც  $h$  არის  $\lambda$  ტალღის სიგრძის რიგის (დრეჩოს მეთოდი);
- სითხის სქელი ფენა (შრე)  $h \gg \lambda$  (იმერსიული მეთოდი);
- ელასტიკური პლასტიკის ფენით (მშრალი მეთოდი).

დაბალ სიხშირეებზე (60 – 100 kHz), გამოიყენება წერტილოვანი მშრალი კონტაქტი გარდამქმნელის გამოსასვლელის დაბოლოების ამოზნექილი ზედაპირიდან.

სპეციალური ამოცანის გადაწყვეტისას დრეკადი რხევების გამოსხივებისა და მიღებისათვის იყენებენ არასაკონტაქტო (უკონტაქტო) გარდამქმნელებს მათ შორის:

- ელექტრომაგნიტური ველის ეფექტზე დამყარებულ – ელექტრომაგნიტურ-აკუსტიკურს (ემა);
- ოპტიკურს, ლაზერული ალგზებითა და დრეკადი რხევების ინტერფერენციული მიღებით;
- პიეზოელექტრულს, ჰაერის სქელი ფენის ( $h \gg \lambda$ ) საშუალებით დრეკადი ტალღების გამოსხივებითა და მიღებით.

მგრძობიარობის მიხედვით არაკონტაქტური გარდამქმნელები ჩამორჩებიან გამოსაკვლევი ობიექტთან შითხითი კავშირის მქონე პიეზოელექტრულ გარდამქმნელებს.

### 3.1 აკუსტიკური მეთოდების კლასიფიკაცია

არარღვევადი კონტროლის აკუსტიკური მეთოდები იყოფა ორ დიდ ჯგუფად - აქტიურ და პასიურ მეთოდებად.

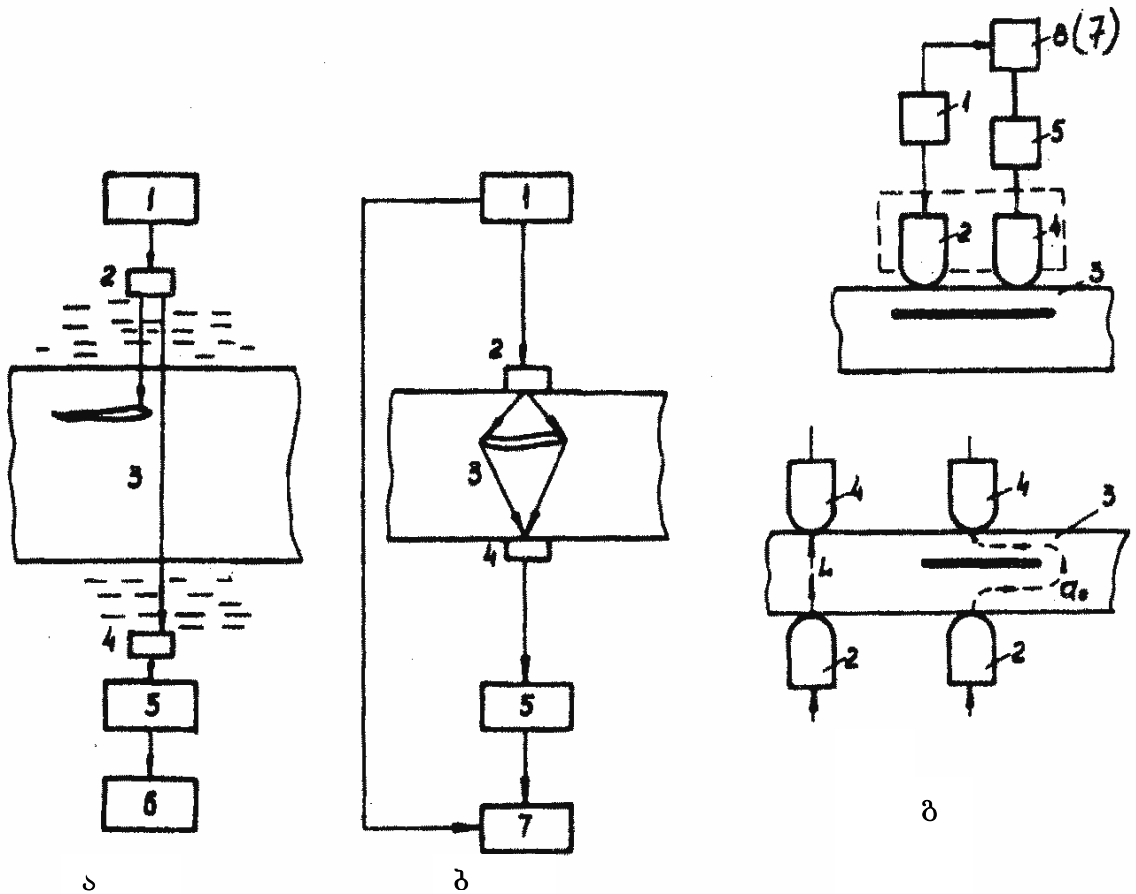
აქტიური მეთოდები იყოფა გავლის, არეკვლის, კომბინირებულ (გავლისა და არეკვლის გამოყენებით), იმპედანსურ და საკუთარი სიხშირეების მეთოდებად.

გავლის მეთოდები გამოიყენებენ გამომსხივებელ და მიმღებ გარდამქმნელებს, რომლებიც გამოსაკვლევი ობიექტის სხვადასხვა ან ერთ მხარესაა განლაგებული. გამოიყენებენ იმპულსურ ან უწყვეტ (იშვიათად) გამოსხივებას და ობექტში გავლილ სიგნალს ანალიზებენ.

#### 3.1.1. აკუსტიკური დიაგნოსტიკის აქტიური მეთოდები. გავლის მეთოდი

აკუსტიკური სადიაგნოსტიკოსა და კონტროლის მეთოდებიდან ყველაზე ფართოდ გამოიყენება აკუსტიკური სიგნალის საკვლევი ობიექტში გავლის მეთოდი, აღნიშნული მეთოდი აკუსტიკური სიგნალის ობიექტში გავლისას მისი ფიზიკური მახასიათებლების ცვლილებისა და რეგისტრაციის ხასიათის მიხედვით არსებობს შემდეგი სახის:

- ა) ამპლიტუდურ ჩრდილოვანი მეთოდი, დაფუძნებულია კონტროლირებად ობიექტში დეფექტის არსებობით გამოწვეული გავლილი ტალღის ამპლიტუდის ცვლილების რეგისტრაციაზე (სურ.7.ა)



სურ.7. გავლის მეთოდები

ა) ჩრდილოვანი;      ბ) დროებით ჩრდილოვანი;      გ) ველოსიმეტრული;

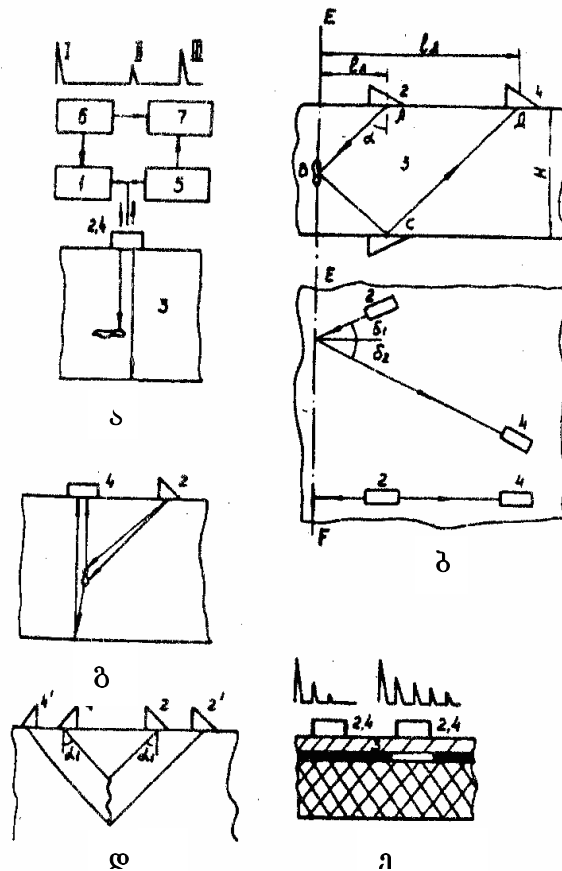
1. გენერატორი; 2. გამომსხივებელი; 3. საკონტროლო ობიექტი; 4. მიმღები; 5. გამაძლიერებელი; 6. ამპლიტუდის გამზომი; 7. გავლის დროის მრიცხველი; 8. ფაზის გამზომი.

დროებით ჩრდილოვანი მეთოდი, დაფუძნებულია იმპულსის მიერ საკონტროლო ობიექტში დეფექტის გარშემოვლის გამო, გავლილი გზის გაზრდით გამოწვეული დაგვიანების ცვლილების რეგისტრაციაზე, ამასთან ტალღის ტიპი არ იცვლება (სურ.7.ბ).

ველოსიმეტრული მეთოდი, დაფუძნებულია დეფექტის ზონაში დრეკადი ტალღების დისპერსიული მოღების სიჩქარის ცვლილების რეგისტრაციაზე და გამოიყენება საკონტროლო ობიექტთან ცალმხრივი და ორმხრივი მიდგომის დროს (სურ.7.გ). ამ მეთოდის რეალიზაციისას, ჩვეულებრივ, გამოიყენება წერტილოვანი მშრალკონტაქტიანი გარდამქმნელები. ცალმხრივი მიდგომის ვარიანტში (სურ.7. გ, ზედა) გამომსხივებლის მიერ აღძრული ნულოვანი რივის  $a_0$  არასიმეტრული ტალღების სიჩქარე ცალკეულ დეფექტურ შრეში ნაკლებია, ვიდრე არადეფექტურ ზონაში. ორმხრივი მიდგომის დროს (სურ.7.გ, ქვედა) არადეფექტურ ზონაში ენერგია გადაეცემა გრძივი ტალღის საშუალებით, დეფექტის ზონაში -  $a_0$  ტალღით, რომელიც გაივლის მეტ მანძილს და ვრცელდება ნაკლები სიჩქარით, ვიდრე გრძივი ტალღა. საკონტროლო ობიექტის დეფექტის დაფიქსირება ხდება ფაზის ცვლილებით ან გავლის დროის აირრდის ხარჯზე (მხოლოდ იმპულსური რეჟიმისათვის).

### 3.1.2. აკუსტიკური სიგნალის არეკვლის მეთოდები.

ულტრაბგერითი დიაგნოსტიკების აკუსტიკური არეკვლის მეთოდების რეალიზაციას გამოიყენებენ, როგორც ერთ, ასევე ორ გარდამქმნელს.



სურ.8. არეკვლის მეთოდები

- ა. ექო;      ბ. ექო-სარკისებური;      გ. დელტა მეთოდი;      დ. დიფრაქციულ-დროითი;      ე. რეფერბრაციული;
- 1 - გენერატორი; 2 - გამომსხივებელი; 3 - საკონტროლო ობიექტი; 4 - მიმღები; 5 - გამაძლიერებელი; 6 - სინქრონიზატორი; 7 - ინდიკატორი.

ამ მეთოდებში გამოიყენება იმპულსური გამოსხივება და ისინი იყოფიან დეფექტოსკოპიის მეთოდების შემდეგ ქვეჯგუფებად:

• ექო-მეთოდი (სურ.8.ა) დაფუძნებულია დეფექტიდან ექოსიგნალების რეგისტრაციაზე. ინდიკატორის ეკრანზე ჩვეულებრივ აისახება ზონდირებული (გაგზავნილი) სიგნალი I, საწინააღმდეგო ზედაპირიდან (ფსკერიდან) არეკლილი სიგნალი იმპულსი III, და დეფექტიდან არეკლილი ექო - სიგნალი II. II და III სიგნალების მოსვლის დრო პროპორციულია დეფექტის განლაგების სიღრმისა და ნაკეთობის სისქისა. კონტროლის შეთავსებული რეჟიმის სქემით (სურ.8.ა) ერთი და იმავე გარდამქმნელი ასრულებს გამომსხივებლისა და მიმღების როლს. თუ ამ ფუნქციებს ასრულებს სხვადასხვა გარდამახი მაშინ მას გაყოფილ სქემას უწოდებენ.

• ექო-სარკისებური მეთოდი (სურ.8.ბ) დაფუძნებულია ნაკეთობის ფსკერისა და დეფექტიდან სარკისებურად არეკლილი სიგნალების ანალიზზე, ე.ი. ისეთი სიგნალის ანალიზზე, რომელმაც გაიარა A,B,C, მანძილი. ამ მეთოდის ვარიანტი, რომელიც გათვლილია ვერტიკალური დეფექტების გამოვლინებაზე EF სიბრტყეში, ცნობილია ტანდემის მეთოდის სახელწოდებით. მისი რეალიზაციისათვის და გარდამქმნელების გადაადგილებისას მუდმივად ტოვებენ მნიშვნელობას  $l_A + l_D = 2H \operatorname{tg} \alpha$ , ხოლო ვერტიკალური დეფექტების სარკისებური ანარეკლის მისაღებად ახდენენ  $l_A + l_D$  მნიშვნელობის ვარირებას. მეთოდის ერთ-ერთი ვარიანტი, რომელიც "მრუდე ტანდემის" სახელითაა ცნობილი, გულისხმობს გამომსხივებლისა და მიმღების არა ერთ, არამედ

სხვადასხვა სიბრტყეში განლაგებას (სურ.3.5.ბ, სქემატური ხედი ქვევით), მაგრამ ისე, რომ მიიღოს სარკისებრი ანარეკლი დეფექტიდან. კიდევ ერთი ვარიანტი, რომელიც K-მეთოდის სახელითაა ცნობილი, გულისხმობს მათ განლაგებას ნაკეთობის სხვადასხვა მხარეს, მაგალითად მიმდებს ათავსებენ C წერტილში.

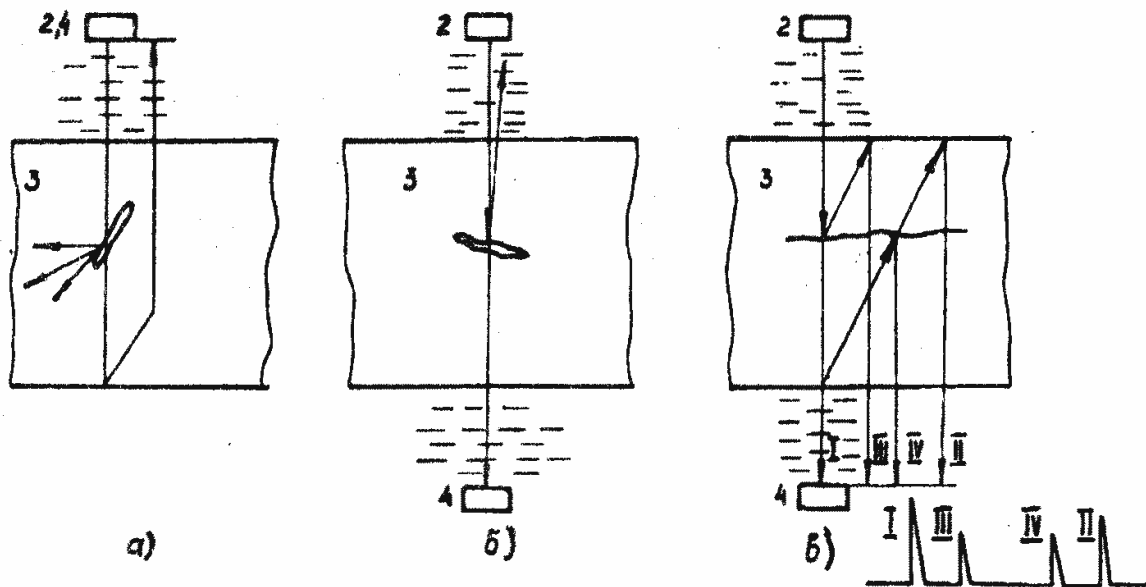
- დელტა-მეთოდი (სურ.8.გ) დაფუძნებულია დეფექტის თავზე განლაგებული გრძივი ტალღების (4) გარდამქმნელით, გარდამქმნელიდან გამოსხივებული და დეფექტიდან გაფანტული განივი ტალღების (2) მიღებაზე.

- დიფრაქციულ-დროითი მეთოდი (სურ.8.დ), რომელშიც გამომსხივებლებს (2) და (2'), მიმდებებს (4) და (4') შეუძლიათ გამოასხივონ ან მიიღონ გრძივი ან განივი ტალღები, ამასთან შეუძლიათ გამოასხივონ და მიიღონ სხვადასხვა ტიპის ტალღები. გარდამქმნელები ისეა განლაგებული, რომ ტალღების ექო-სიგნალების მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღონ, რომლებიც დეფექტის ბოლოებშია თავმოყრილი. ზომავენ დეფექტის თავსა და ბოლოდან სიგნალების მოსვლის დროსა და ამპლიტუდას.

- რევერბერაციული მეთოდში (სურ.8.ე) იყენებენ დეფექტის გავლენას საკონტროლო ობიექტში მრავალჯერ არეკლილი ულტრაბგერითი იმპულსებს მიღების დროზე. მაგალითად, გარე მეტალური შრისა და შიგა პოლიმერული შრის შეწყობილი კონსტრუქციისათვის შეერთების დეფექტი ხელს უშლის ენერჯის გადაცემას შიგა შრეში, რაც ზრდის მრავალჯერადი ექო-სიგნალების მიღების ხანგრძლივობას გარეთა შრეში. ულტრაბგერის დიდი მიღვევადობის გამო პოლიმერულ შრეში არეკლილი იმპულსები, ჩვეულებრივ, არ არის.

### 3.1.3. აკუსტიკური კონტროლის კომბინირებული მეთოდები.

ეს მეთოდი უკვე განხილული წინა ორი მეთოდის ერთგვარ კომბინაციას წარმოადგენს, რომლის რეალიზაციისასაც იყენებენ, ულტრაბგერითი ტალღის, როგორც გავლის ისე არეკვლის პრინციპებს.



სურ.9. კომბინირებული მეთოდები, გავლისა და არეკვლის გამოყენებით:

ა) სარკისებურ - ჩრდილოვანი; ბ) ექო-ჩრდილოვანი; გ) ექო-გამჭოლი;

1- დეფექტი; 2- გამომსხივებელი; 3 - საკონტროლო ობიექტი; 4 - მიმდები

ა) სარკისებურ - ჩრდილოვანი მეთოდი დაფუძნებულია ფსკერული სიგნალის ამპლიტუდის გაზომვაზე. არეკლილი სიგნალი სურ.3.9 -ზე პირობითად წანაცვლებულია. შესრულების ტექნიკის მიხედვით (ექო - სიგნალის დაფიქსირება) მას მიაკუთვნებენ არეკვლის მეთოდებს, ხოლო კონტროლის ფიზიკური არსის მიხედვით



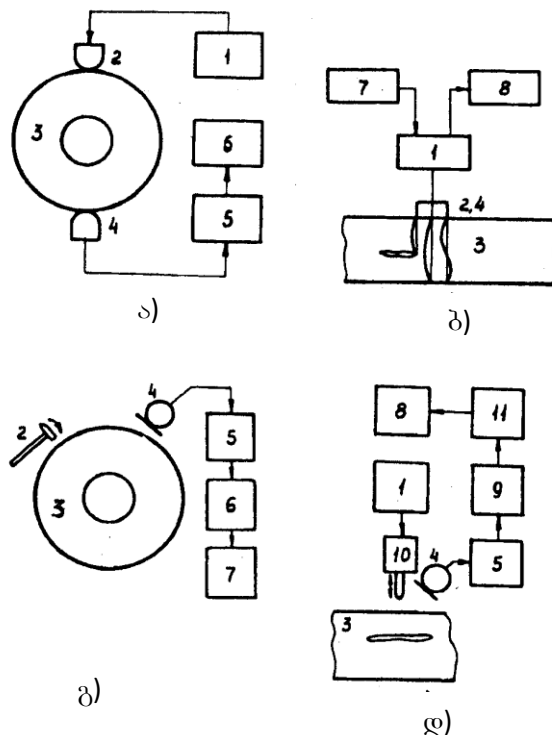
(იზომება სიგნალის შესუსტება, რომელმაც ორჯერ გაიარა დეფექტის ზონა) ის უახლოვდება ჩრდილოვან მეთოდს.

ბ) ექო-ჩრდილოვანი მეთოდი დამყარებულია როგორც გამავალი, ისე არეკლილი სიგნალის ანალიზზე. (სურ.3.6.ბ).

გ) ექო-გამჭოლ მეთოდში ფიქსირდება ნაკეთობაში ორჯერ არეკლილი გამჭოლი სიგნალი, ხოლო ნახევრად გამჭვირვალე დეფექტის აღმოჩენისას - დეფექტიდან არეკლილი სიგნალიც, რომელიც ასევე აირეკლა შესაბამისად ნაკეთობის ზედა და ქვედა ზედაპირებიდან. დიდი გაუმჭვირვალე დეფექტის აღმოჩენა ხდება სიგნალის გაქრობის (დაკარგვის) ან მკვეთრი შემცირების დაფიქსირებით, ე.ი. ჩრდილოვანი მეთოდით.

### 3.14. აკუსტიკური კონტროლის საკუთარი სიხშირეების მეთოდი

საკონტროლო ობიექტის რხევის საკუთარი სიხშირის გაზომვა წარმოადგენს აკუსტიკური კონტროლის საკუთარი სიხშირეების მეთოდის საფუძველს. ნაკეთობაში საკუთარ სიხშირეებს ზომავენ როგორც იძულებითი, ისე თავისუფალი რხევების აღძვრისას. თავისუფალი რხევები, ჩვეულებრივ, აღიძვრება მექანიკური დარტყმის შედეგად, იძულებითი - ცვლადსიხშირიანი ჰარმონიული ძალის მოქმედებით.



სურ.10. საკუთარი სიხშირეების მეთოდები:

იძულებითი რხევების გამოყენებით ა) - ინტეგრალური; ბ) - ლოკალური; თავისუფალი რხევების გამოყენებით გ) - ინტეგრალური; დ) - ლოკალური.

1. ცვლადსიხშირიანი უწყვეტი მოქმედების გენერატორი; 2. გამომსხივებელი; 3. კონტროლის ობიექტი; 4. მიმღები; 5. გამაძლიერებელი; 6. რეზონანსული ინდიკატორი; 7. სიხშირის მოდულატორი; 8. ინდიკატორი; 9. სპექტრული ანალიზატორი. 10. დარტყმითი ვიბრატორი; 11. ინფორმაციის დამუშავების ბლოკი. განასხვავებენ ინტეგრალურ და ლოკალურ მეთოდებს. ინტეგრალურ მეთოდებში აანალიზებენ ისეთი ნაკეთობის რხევის საკუთარ სიხშირეებს, რომელიც ირხევა

როგორც ერთი მთლიანი, ლოკალურში ანალიზს ექვემდებარება ნაკეთობის ცალკეული მონაკეთების (ნაწილების) რხევები.

საკუთარი სიხშირების მეთოდი ხორციელდება იძულებითი რხევების გამოყენებით. ინტეგრალურ მეთოდში რეგულირებადსიხშირიანი, ჩვეულებრივ საკონტროლო ობიექტზე (3) მოქმედი, გრძივი ან დრეკადი ტალღების აღმძვრელი გენერატორი (1) (სურ.10.ა) მიერთებულია გამომსხივებელთან (2). მიმღები (4) გარდაქმნის მიღებულ რხევებს ელექტრულ სიგნალში, რომელიც ძლიერდება გამაძლიერებლით (5) და მიეწოდება რეზონანსის ინდიკატორზე (6). გენერატორი (1)-ის სიხშირის რეგულირებით, ზომავენ ნაკეთობა (3)-ის საკუთარ სიხშირეს. გამოყენებული სიხშირის დიაპაზონი შეადგენს 500 kHz.

ლოკალური მეთოდს იძულებითი რხევების გამოყენებით (ულტრაბგერით რეზონანსულ მეთოდს) ძირითადად იყენებენ ნაკეთობის სისქის გასაზომად. ნაკეთობაში (3) (სურ.10.ბ) გარდამქმნელი (2) და მიმღები (4), ჩვეულებრივ, აღძრავენ უწყვეტ ცვლადსიხშირიან გრძივ დრეკად ტალღებს, აფიქსირებენ სიხშირეებს, რომლებზედაც აღინიშნება “გარდამქმნელი-ნაკეთობის” სისტემის რეზონანსი. რეზონანსული სიხშირეების მიხედვით განსაზღვრავენ ნაკეთობის კედლის სისქეს და მასში დეფექტის არსებობას. ზედაპირის პარალელურ დეფექტებს გააჩნიათ გაზომვადი სისქე, ხოლო ზედაპირის მიმართ კუთხით განლაგებული დეფექტები იწვევენ რეზონანსის გაქრობას. ლოკალურ მეთოდში გამოყენებული სიხშირის დიაპაზონი რამდენიმე მეგაჰერცს (MHz) აღწევს.

საკუთარი სიხშირის მეთოდები თავისუფალი რხევების გამოყენებით. ასევე იყოფა ინტეგრალურ და ლოკალურ მეთოდებად.

ინტეგრალური მეთოდის გამოყენებისას ნაკეთობაში (3) (სურ.10.გ.) ჩაქუჩის (1) დარტყმით აღიძვრება თავისუფალი მიღევადი რხევები. ამ რხევებს აღიქვამს მიკროფონი, სიგნალს გააძლიერებენ და გაფილტრავენ ზოლური ფილტრის გამოყენებით, რომლებიც გამოყოფენ სიგნალს იმ სიხშირეებით, რომლებიც შეესაბამება რხევების ამორჩეულ მოდას, რომელსაც ზომავენ მოდულატორი (7) საშუალებით. დეფექტის არსებობის ნიშანი სიხშირის ცვლილებაა (ჩვეულებრივ, შემცირება), როგორც წესი, მეთოდს გამოიყენებენ საკუთარი სიხშირეებისათვის რომლებიც არ აღემატება 15 კილოჰერცს (kHz).

ლოკალურ მეთოდში (სურ.10.დ) გენერატორით (1) აღზნებული ვიბრატორი (10) ახორციელებს საკონტროლო ობიექტზე პერიოდულ დარტყმებს. მიმღები მიკროფონიდან (4) გამაძლიერებლის (5) გავლით ელექტრული სიგნალები მიეწოდება სპექტრულ ანალიზატორს (9). სიგნალის გამოყოფილი სპექტრი გადაეცემა ინფორმაციის დამუშავების ბლოკს (11), ინდიკატორზე ხდება დამუშავების შედეგების წარმოდგენა. მიმღებ მოწყობილობად მიკროფონებში გამოიყენებენ პიეზომიმღებებს. დეფექტის დაფიქსირება ხდება მიღებული იმპულსური სიგნალის სპექტრის ცვლილების მიხედვით. ინტეგრალური მეთოდისაგან განსხვავებით კონტროლი ხორციელდება ნაკეთობის სკანირების გზით. მუშა სიხშირეების დიაპაზონი, ჩვეულებრივ, შეადგენს 0,3-დან 20 kHz-მდე სიხშირეს.

აკუსტიკურ-ტოპოგრაფიულ მეთოდს გააჩნია ლოკალური და ინტეგრალური მეთოდების ნიშნები. იგი დაფუძნებულია ნაკეთობაში ინტენსიური სიხშირის უწყვეტი ცვლილების ღუნვადი ტალღების აღძვრაზე და რხევის ამპლიტუდების განაწილების რეგისტრაციაზე, ზედაპირზე დატანილი ფხვნილის საშუალებით. დრეკადი ტალღები აღიძვრება მშრალ ნაკეთობაზე მიჭერილი გარდამქმნელით. გარდამქმნელი იკვებება მძლავრი (0,4 kW) სიხშირის უწყვეტი ცვლილების გენერატორიდან. თუ დეფექტით (განშრევა, შეერთების დარღვევა) გამოწვეული ზონის საკუთარი სიხშირე მოხვდება აღძრული სიხშირეების დიაპაზონში, მაშინ ამ ზონის რხევები ძლიერდება, ნაკეთობის ზედაპირის დამფარავი ფხვნილი წაინაცვლებს დეფექტის საზღვრებისაკენ, რაც მას თვალსაჩინოს ხდის. გამოყენებული რხევების სიხშირის დიაპაზონი 40 - 150 kHz შეადგენს.

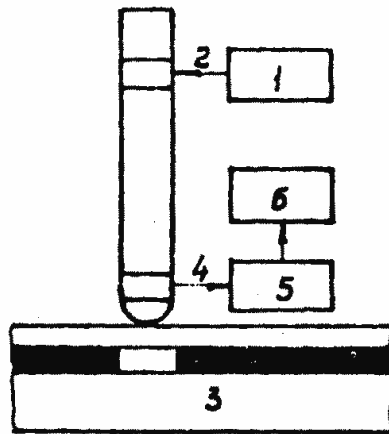
### 3.1.5. აკუსტიკური დიაგნოსტიკის იმპედანსური მეთოდი

ნაკეთობაში დეფექტების არსებობისას მეთოდის რეალიზაციისათვის დრეკადი რხევებისას იყენებენ ნაკეთობის იმპედანსების დამოკიდებულებას ამ ნაკეთობის პარამეტრებზე. ჩვეულებრივ, აფასებენ მექანიკურ იმპედანს

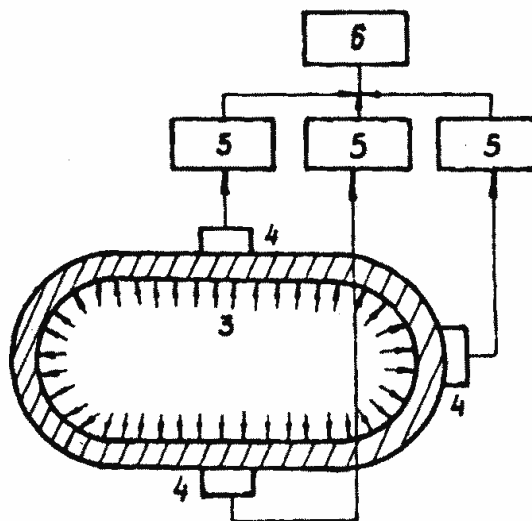
$$Z = F/V,$$

სადაც  $F$  და  $V$  - აღმძვრელი ძალის და სიჩქარის კომპლექსური ამპლიტუდებია შესაბამისად. იმპედანსურ მეთოდებში გამოიყენება ღუნვადი და გრძივი ტალღები.

ღუნვადი ტალღების გამოყენებისას ღეროვანი გარდამქმნელი (სურ.11.ა) შეიცავს გენერატორთან (1) მიერთებულ გამომსხივებელს (2) და მიმღებ (4) პიეზოელემენტებს. გარდამქმნელი (3) წერტილოვანი მშრალი კონტაქტით ნაკეთობაში აღძრავს ღუნვად ჰარმონიულ რხევებს. შეერთების დეფექტის ზონაში მექანიკური იმპედანსის  $Z = |Z|e^{j\varphi}$  მოდული  $|Z|$  მცირდება და იცვლება მისი არგუმენტი  $\varphi$ . ეს ცვლილებები რეგისტრირდება ელექტრონული აპარატურის საშუალებით. ამ მეთოდის იმპულსურ ვარიანტში სისტემაში ნაკეთობა-გარდამქმნელი აღძრავს თავისუფალი რხევის მიღევად იმპულსებს. დეფექტის არსებობის ნიშანი იქნება ამ რხევების მზიდი სისშირის ამპლიტუდის შემცირება.



ა



ბ

სურ.11. კონტროლის მეთოდები:

ა - იმპედანსური; ბ - აკუსტიკურ - ემისიური;

1 - გენერატორი; 2 - გამომსხივებელი; 3 - კონტროლის ობიექტი; 4 - მიმღები; 5 - გამაძლიერებელი; 6 - მონაცემთა დამუშავების ბლოკი ინდიკატორით.

შეთავსებული გარდამქმნელების გარდა იყენებენ საერთო კორპუსში ცალ-ცალკე შეთავსებულ, დამოუკიდებელ გამომსხივებელი და მიმღები ვიბრატორებით აღჭურვილ გარდამქმნელებსაც, ეს გარდამქმნელები იმპულსურ რეჟიმში მუშაობენ. შეთავსებულ გარდამქმნელებთან მუშაობისას იყენებენ 8 kHz-მდე სიხშირეს, ცალ-ცალკე შეთავსებული გარდამქმნელების შემთხვევაში იმპულსებს მზიდი სიხშირით 15 -35 kHz.

სხვა შემთხვევაში მრავალშრიან საკონტროლო კონსტრუქციაში ბრტყელი ფირფიტისებური პიეზოგარდამქმნელით აღძრავენ ფიქსირებული სიხშირის გრძივ დრეკად ტალღებს. დეფექტების დაფიქსირება ხდება გარდამქმნელის შესასვლელი ელექტრული იმპედანსის  $Z_e$  ცვლილების მიხედვით.  $Z_e$  იმპედანსის ცვლილებებს გამოსახავენ წერტილის სახით კომპლექსურ სიბრტყეზე, რომლის მდებარეობა დამოკიდებულია დეფექტის ხასიათზე. იმ მეთოდებისაგან განსხვავებით, სადაც ღუნვად ტალღებს იყენებენ, ამ მეთოდის გამოყენებისას, გარდამქმნელის კონტაქტი ნაკეთობასთან ხორციელდება საკონტაქტო საცხის საშუალებით.

კონტაქტური იმპედანსის მეთოდი, გამოიყენება სიმტკიცის კონტროლისათვის და დამყარებულია საკონტროლო ობიექტთან მუდმივი ძალით მიჭერილი ღეროვანი გარდამქმნელის ალმასის ინდენტორის კონტაქტის ზონის მექანიკური იმპედანსის შეფასებაზე. სიმტკიცის შემცირება ზრდის საკონტაქტო ზონის ფართობს, იწვევს მისი დრეკადი მექანიკური იმპედანსის ზრდას, რაც აღინიშნება გრძივად შერხევი გარდამქმნელის საკუთარი სიხშირის ზრდით, რაც ცალსახადაა დაკავშირებული გასაზომ სიმტკიცესთან.

სიმტკიცის საზომების მუშა სიხშირეებია 25 – 80 kHz, სიმტკიცის გაზომვის დიაპაზონი 20—68 HRC,(50—990 HV). ულტრაბგერითი სიმტკიცის საზომები პორტატიული ხელსაწყოებია (1,5 – 3 kg), რაც საშუალებას იძლევა გაიზომოს სიმტკიცე ძნელად მისადგომ ადგილებში (კბილანის კბილები).

### 3.2. დიაგნოსტიკის პასიური აკუსტიკური მეთოდები

დიაგნოსტიკის პასიური კონტროლის მეთოდი დაფუძნებულია საკონტროლო ობიექტში აღძრული ტალღების დრეკადი რხევების ანალიზზე.

პასიური მეთოდებიდან ყველაზე დამახასიათებელია აკუსტიკურ - ემისიური მეთოდი (სურ.3.8.ბ). აკუსტიკურ – ემისიური მოვლენის არსი დრეკადი ტალღების თვით საკონტროლო მასალის გამოსხივების შედეგია სტრუქტურის მიერ შინაგანი ლოკალური დინამიკური გადაწყობის გამო. ისეთი მოვლენები, როგორცაა ბზარის წარმოქმნა და განვითარება გარეგანი დატვირთვის ზემოქმედებით, ალოტროპიული გარდაქმნა გაცხელებისას ან გაცივებისას, დისლოკაციური გროვების მოძრაობა, - აკუსტიკური ემისიის ყველაზე დამახასიათებელი წყაროებია. ნაკეთობასთან კონტაქტში პიეზოგარდამქმნელები იღებენ დრეკად ტალღებს, რითაც საშუალებას გვაძლევენ დავადგინოთ მათი (დეფექტის) წარმოშობის ადგილი და წყარო.

ვიბრაციულ-დიაგნოსტიკური და ბგერით-დიაგნოსტიკური მეთოდებიც დიაგნოსტიკის პასიურ აკუსტიკურ მეთოდებს განეკუთვნება. პირველ შემთხვევაში აანალიზებენ რომელიმე ცალკეული დეტალის ან კვანძის (როტორი, საკისრების, ტურბინის ფრთების) ვიბრაციულ პარამეტრებს კონტაქტური ტიპის მიმღებების საშუალებით, მეორე შემთხვევაში სწავლობენ ხმაურის სპექტრს მექანიზმის მუშაობისას, ჩვეულებრივ, მიკროფონული მიმღებების საშუალებით.

აკუსტიკური მეთოდები სიხშირული ნიშნების მიხედვით იყოფა დაბალსიხშირულად და მაღალსიხშირულად. პირველ მათგანს მიაკუთვნებენ რხევებს ბგერით და დაბალსიხშირულ (რამდენიმე ათეულ kHz - მდე) სიხშირის ულტრაბგერით დიაპაზონში. მეორეს - მაღალსიხშირულ ულტრაბგერით სიხშირულ დიაპაზონში: ჩვეულებრივ რამდენიმე ასეული kHz - დან 20 MHz -მდე. მაღალსიხშირულ მეთოდებს, ჩვეულებრივ, ულტრაბგერით მეთოდებს უწოდებენ.

### 3.3. აკუსტიკური მეთოდების გამოყენების სფეროები

განხილული აკუსტიკური კონტროლის მეთოდებიდან პრაქტიკული მიზნით ყველაზე ხშირად გამოიყენება ექო-მეთოდი, რომელსაც ობიექტების 90% ემორჩილება. სხვადასხვა ტიპის ტალღების გამოყენებით დეფექტოსკოპიის სხვადასხვა ამოცანის გადაჭრაა შესაძლებელი მათ შორის: ნაჭედობის, სხმულების, შედუღების შეერთების და სხვა მეტალური და არამეტალური მასალებისათვის. ექო - მეთოდი ასევე გამოიყენება ნაკეთობის ზომების დასადგენად, ამისათვის ზომავენ ფსკერული სიგნალის მოსვლის დროს, ულტრაბგერის გავრცელების ცნობილი სიჩქარის პირობებში (მოცემული მასალისათვის) და გამოიანგარიშებენ ნაკეთობის (მასალის) სისქეს მასთან ცალმხრივად მიდგომის შესაძლებლობისას. შესაძლებელია ასევე მასალის უცნობი სისქის შესაფასებლად განისაზღვროს ულტრაბგერის მიღების დრო და მისი საშუალებით განისაზღვროს მასალის ფიზიკურ-მქანიკური თვისებები.

სარკულ-ჩრდილოვანი მეთოდი გამოიყენება ექო-მეთოდის ნაცვლად ან დამატებით იმ დეფექტების აღმოსაჩენად, რომლებიც არეკვლის სუსტ სიგნალს იძლევიან გაყოფილ - შეთავსებული გარდამქმნელის მიმართულებით.

ექო-სარკისებური მეთოდი ასევე გამოიყენება შესასვლელი მიმართულების მართობულად ორიენტირებული დეფექტების აღმოსაჩენად. ამ მეთოდის "ტანდემის" ვარიანტი გამოიყენება ვერტიკალური ბზარების და შეუდუღებელი ადგილების აღმოსაჩენად შედუღების შეერთების კონტროლისას. ზოგიერთი სახეობის შედუღების დეფექტებს, მაგალითად, ელექტრონულ-სხივური შედუღების დეფექტებს გააჩნიათ გლუვი არეკვლის ზედაპირი, რომელიც ძალიან მცირედ გააბნევს ულტრაბგერით ტალღებს, მაგრამ ასეთი დეფექტი ექო-სარკისებური მეთოდით კარგად გამოვლინდება. მომრგვალებული ფორმის დეფექტები (წიღოვანი ჩანართები, ჰაერის ბუშტუკები) იძლევიან ძლიერ გაბნევის სიგნალს და კარგად რეგისტრირდება შეთავსებული გარდამქმნელებით.

დეტა და დიფრაქციულ-დროითი მეთოდები ასევე გამოიყენება დამატებითი ინფორმაციის მისაღებად შედუღებული შეერთების დეფექტების კონტროლისათვის.

კარგი ხარისხის კონტაქტის მისაღებად მიძღებ პირდაპირ გარდამქმნელსა და შედუღების შეერთების ზედაპირს შორის გამაძლიერებლის თავაკს ასუფთავებენ. ამ მეთოდის გამოყენებით საკმაოდ ზუსტად განსაზღვრავენ შედუღების შეერთების დეფექტის მდებარეობას, რაც მნიშვნელოვანია მისი ავტომატური რეგისტრაციისათვის.

ექო-ჩრდილოვანი მეთოდი ასევე გამოიყენება შედუღების შეერთების კონტროლისათვის. მაგალითად, შედუღების შეერთების ავტომატური კონტროლისათვის დეფექტის მაძიებლებს განაღებენ შეერთების ნაწიბურის ორივე მხარეს და გამოიყენებენ როგორც არეკვლილ, ისე გამავალ სიგნალს. ეს უკანასკნელი გამოიყენება აკუსტიკური კონტაქტის კონტროლისა და ძალიან სუსტი გამომავალი ექო - სიგნალების მქონე განსაკუთრებული ორიენტაციის მქონე დეფექტების აღმოსაჩენად.

ჩრდილოვანი ექო-გამჭოლ მეთოდს იყენებენ ნაკეთობასთან ორმხრივი მისადგომის არსებობისას, მარტივი ფორმის ნაკეთობის ავტომატური კონტროლისათვის, მაგალითად, იმერსიულ აბაზანაში ფურცლების კონტროლისას. ამ მეთოდის დეფექტებისადმი მგრძობიარობა 10 -100 -ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ექო მეთოდებისა, რაც ხელშეშლების დიდი გავლენითაა გამოწვეული. ექო-გამჭოლი მეთოდის გამოყენება ამ ნაკლს მნიშვნელოვნად ამცირებს.

ჩრდილოვანი მეთოდებს იყენებენ ავთოვე სტრუქტურული რევერბაციების ე.ი. ხმაურის მაღალი დონის შემთხვევაში, რომელიც არაერთგვაროვანი ზედაპირიდან ულტრაბგერის არეკვლის არაერთგვაროვნებით, დეფექტის მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის და ნაკეთობის მრავალშრიანი კონსტრუქციების ფენოვანი პლასტიკების არსებობითაა გამოწვეული. თხელი ნაკეთობების კონტროლისას სტრუქტურული ხმაურის ძალიან მაღალი დონით ჩრდილოვანი და დროითი მეთოდები უზუნველყოფენ უფრო მაღალ მგრძობიარობას. ეს მეთოდები საშუალებას გვაძლევს გამოვაგლინოთ მსხვილი დეფექტები მასალებში, სადაც სხვა აკუსტიკური მეთოდებით კონტროლი აირნელებული ან შეუძლებელია ასეთებია: მსხვილმარცვლოვანი აუსტენიტური ფოლადი, რუხი თუჯი, ბეტონი, ცეცხლგამძლე აგური.

ჩრდილოვანი მეთოდს იყენებენ ექო-მეთოდის სანაცვლოდ მასალების ფიზიკურ-მქანიკური თვისებების გამოკვლევისას აკუსტიკური ტალღების დიდი მიღვეადობისა

და გაბნევის შემთხვევაში, მაგალითად, ბეტონის სიმტკიცის განსაზღვრისას ულტრაბეტონის სინქარის მიხედვით. ამ მიზნისათვის გამოიყენება არა მხოლოდ ჩრდილოვანი მეთოდი, არამედ (უფო ზოგადი სახით) გავლის მეთოდიც. მაგალითად, გამომსხივებელსა და მიმღებს მოათავსებენ ნაკეთობის ერთ მხარეს, ერთ ზედაპირზე ზომავენ მთავარი ტალღის გამჭოლი სიგნალის დროსა და ამპლიტუდას.

იძულებითი რხევების ლოკალურ მთოდს იყენებენ საკონტროლო ობიექტთან ცალმხრივი მიდგომის შესაძლებლობისას მცირე სისქეების გასაზომად. დღეს დღეობით, საკონტროლოდ გამოიყენება ხელის იმპულსური სისქმზომები. თხელკედლიანი მილის კედლის სისქის გასაზომად ავტომატურ რეჟიმში საუკეთესო შედეგებს იძლევა იმერსიული რეზონანსული სისქმზომი.

იძულებითი რხევების ინტეგრალურ მეთოდს იყენებენ ნაკეთობის მასალისაგან ამოჭრილი მარტივი ფორმის ნიმუშების დრეკადობის მოდულის გასაზომად გრძივი, ღუნვის და ბრუნვის რეზონანსული სისქირეების მიხედვით, ე.ი. რღვევითი გამოცდების ჩატარებისას.

თავისუფალი რხევების ინტეგრალური მეთოდი გამოიყენება ვაგონის ბორბლების საღტეების ან მინის ჭურჭლის შემოწმებისას ”ზმის სისუფთავის” მიხედვით სმენით სუბიექტური შეფასებით.

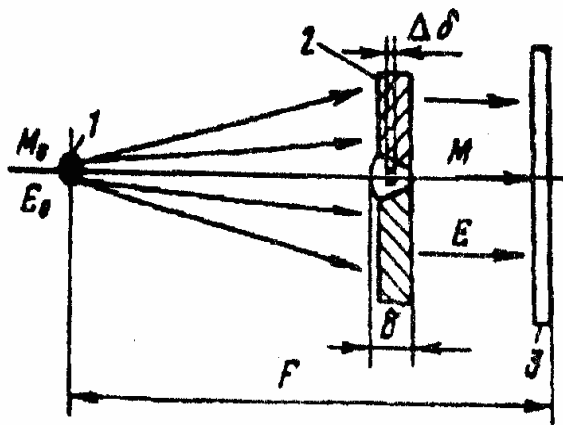
რევერბერაციულ, იმპედანსურ, ველო-სიმეტრულ, აკუსტიკურ-ტოპოგრაფიულ მეთოდებს და თავისუფალი რხევების ლოკალურ მეთოდებს ძირითადად იყენებენ მრავალშრიანი კონსტრუქციების კონტროლისას. აკუსტიკურ-ტოპოგრაფიულ მეთოდს იყენებენ უპირატესად ლითონს მრავალშრიან კონსტრუქციებში (ფიჭური პანელები, ბიმეტალური კონსტრუქციები და სხვ.) დეფექტის აღმოსაჩენად.

ვიბრაციულ-დიაგნოსტიკურ და ბგერით-დიაგნოსტიკური მეთოდები ემსახურება მექანიზმებში მუშაობის დროს დეფექტის აღმოჩენას. აკუსტიკური ემისიის მეთოდს იყენებენ, როგორც სადიაგნოსტიკო საშუალებას მასალების, კონსტრუქციების, ნაკეთობების კონტროლის (მაგალითად ჰიდროგამოცდების ჩატარებისას) და ექსპლუატაციის დროს. მეთოდის მნიშვნელოვანი უპირატესობა კონტროლის სხვა მეთოდებთან შედარებით არის მისი რეაგირების უნარი მხოლოდ განვითარებად, ნამდვილად საშიშ დეფექტებზე, ასევე შესაძლებლობა იმისა, რომ დიდი მონაკვეთები ან მთლიანად ნაკეთობა შეამოწმოს გარდამქმნელით სკანირების გარეშე.

## 4. გამა-დეფექტოსკოპია

გამა-დეფექტოსკოპია რადიაციული კონტროლის განხორციელების საშუალებაა, რომელსაც იყენებენ მაღალი საიმედოობის, ტექნიკური, ეკონომიკური და ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად მნიშვნელოვანი პროექტების ცალკეული კვანძებისა და ელემენტების კონტროლისა და დიაგნოსტიკისთვის.

რადიაციული კონტროლის ზოგად სქემაში (სურ.12.) გამოიყენება, როგორც მინიმუმ, სამი ელემენტი: რადიაციის წყარო, საკონტროლო ობიექტი და დეტექტორი.



სურ.12. დასხივების ზოგადი სქემა:

1 - რადიაციის წყარო; 2 - საკონტროლო ობიექტი; 3 - დეტექტორი

ნაკეთობაში გავლისას მაიონიზებელი გამოსხივება სუსტდება, შთაინთქმება და გაიბნევა. შესუსტების ხარისხი დამოკიდებულია საკონტროლო ობიექტის (2) სისქეზე, სიმკვრივეზე ( $\rho$ ) და საკონტროლო ობიექტის მასალის ატომურ ნომერზე ( $Z$ ), ასევე გამოსხივების ინტენსივობაზე ( $M$ ) და გამოსხივების ენერგიაზე ( $E$ ). ნივთიერებაში  $\Delta\rho$  ზომის შინაგანი დეფექტების არსებობისას იცვლება გამოსხივების სხივთა კონის ინტენსივობა და ენერგია.

რადიაციული კონტროლის მეთოდი დეფექტოსკოპიური ინფორმაციის დეტექტირების ხერხების მიხედვით არსებობს რადიოგრაფიული, რადიოსკოპიური და რადიომეტრიული.

ნაკეთობების დასხივება ხდება სხვადასხვა სახის მაიონიზებელი გამოსხივებით, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია მაღალი სიმკვრივის ნივთიერებების მათ შორის 1-დან 70 mm-მდე სისქის ფოლადის ნაკეთობის გაშუქება.

### 2.4. რადიოგრაფიული მეთოდები

რადიოგრაფიული მეთოდები არის არარღვევადი რადიაციული კონტროლის მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია საკონტროლო ობიექტის რადიაციული გამოსახულების გარდაქმნაზე რადიოგრაფულ სურათად, ან ამ გამოსახულების ჩაწერაზე დამახსოვებელი მოწყობილობის გამოყენებით, შემდგომ მისი ხილულ გამოსახულებად გარდაქმნის შესაძლებლობით. ეს მეთოდი პრაქტიკაში ყველაზე უფრო გავრცელებულია მისი სიმარტივისა და მიღებული შედეგების დოკუმენტურად დადასტურების შესაძლებლობის გამო. გამოყენებული დეტექტორების მიხედვით განასხვავებენ ფოტორადიოგრაფიას და ქსერორადიოგრაფიას (ელექტრორადიოგრაფია). პირველ შემთხვევაში დაფარული გამოსახულების დეტექტორის როლს ასრულებს ფოტომგრძობიარე ფირი მეორე შემთხვევაში – ნახევარგამტარული ფირფიტა, ხოლო რეგისტრაციისათვის იყენებენ ჩვეულებრივ ქაღალდს.

გამოყენებულ გამოსხივებისაზე დამოკიდებულებით არსებობს რამდენიმე სახეობის სამრეწველო რადიოგრაფია: რეტგენოგრაფია, გამაგრაფია, ამანქარებლური

და ნეიტრონული რადიოგრაფია. თითოეულ ჩამოთვლილ მეთოდს გააჩნია თავისი გამოყენების სფერო.

რადიაციული ინტროსკოპია არის რადიაციული არარღვევადი კონტროლის მეთოდი, რომელიც დამყარებულია საკონტროლო ობიექტის რადიაციული გამოსახულების გარდაქმნაზე სინათლის გამოსახულებად რადიაციულ - ოპტიკური გარდამქმნელის გამოსასვლელ ეკრანზე, ამასთან მიღებული გამოსახულების ანალიზი ხორციელდება კონტროლის პროცესში.

ამ მეთოდის მგრძობიარობა რამდენადმე მცირეა, ვიდრე რადიოგრაფიისა, მაგრამ მისი უპირატესობაა მიღებული შედეგების მაღალი სანდოობა, რაც დეფექტის სტერეოსკოპიული ხედვისა და ნაკეთობის სხვადასხვა კუთხით დათვალიერების შესაძლებლობით, ასევე მეთოდის ექსპრესს შესაძლებლობითა და კონტროლის უწყვეტობით არის განპირობებული.

რადიომეტრიული დეფექტოსკოპია არის მაიონიზებული გამოსხივების საშუალებით საკონტროლო ნაკეთობის შინაგანი მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის ელექტრული სიგნალების სახით (სხვადასხვა სიდიდის, ხანგრძლივობის ან რაოდენობის) მიღების მეთოდი.

რადიომეტრიული დეფექტოსკოპიის მეთოდი უზრუნველყოფს კონტროლისა და ნაკეთობის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციისა და ავტომატური უკუკავშირის განხორციელების საუკეთესო შესაძლებლობას. მეთოდის უპირატესობაა ის, რომ მისი გამოყენებისას შესაძლებელია უწყვეტ რაჟიმში განახორციელდეს ნაკეთობის ხარისხის მაღალმწარმოებლური კონტროლი, რაც გამოყენებული აპარატურის სწრაფქმედებითაა განპირობებული. მგრძობიარობის მიხედვით ეს მეთოდი ჩამორჩება რადიოგრაფიულ მეთოდს.

## 4.2 კონტროლის მეთოდიკა და ტექნიკა

ვიზუალური კონტროლისათვის ნაკეთობის დეტალები და კვანძები დასასხივებლად მიეწოდება ზეთის, წიდის და სხვა ჭუჭყისაგან გასუფთავების შემდეგ. საკონტროლო ნაკეთობის კვანძებისათვის მუშავდება კონტროლის ტექნოლოგიური რუკები, რომლებიც განსაზღვრავენ მაიონიზებული გამოსხივების გამოყენებით კონტროლის ტექნიკასა და წესს.

ახალი ობიექტების დასხივების წინ სრულდება შემდეგი ოპერაციები:

- კონსტრუქციის გაანალიზებით განისაზღვრება დასხივების მონაკვეთები და სქემა;
- ირჩევენ დასხივების წყაროს, რენტგენოგრაფიული ფირის ტიპს, გამაძლიერებელ ეკრანს;
- ირჩევენ დასხივების რეჟიმს (რენტგენული მილაკის ძაბვა და დენის ძალა, რადიოაქტიური წყაროს ტიპი, ამანქარბლის ტიპსა და დასხივების ენერგიას, ფოკუსურ მანძილს, დასხივების დროს);
- ტარდება ღონისძიება ადამიანების დასაცავად მაიონიზებული დასხივებისაგან, ასევე ელექტრო და სახანძრო უსაფრთხოების სხვა ღონისძიებები.
- იტენება კასეტები;
- აყენებენ მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის საშუალებებს, დასხივების წყაროებს და საკონტროლო ობიექტებს დასხივების მდგომარეობაში, ასევე კასეტს, მარკირების ეკრანებს, მგრძობიარობის ეტალონებს და კომპენსატორებს.
- ხორციელდება კასეტის დაცვა გაბნევის გამოსხივებისაგან;
- ჩასართავად ამზადებენ რენტგენის აპარატებს, ბეტატრონებს, გამა - დეფექტოსკოპებს.

დასხივებით კონტროლს დაქვემდებარებული ნაკეთობის დეტალებსა და კვანძებზე ფერადი ფანქრებით ან ცარცით მონიშნავენ სურათის ზომის ცალკეულ უბნებს, რომლებსაც უკეთებენ მარკირებას პირობითი ნიშნებით. მარკირების ნიშნებს (ციფრები, ასოები, ისრები) ამზადებენ შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტაციის მიხედვით. ამჟამად საქართველოში მოქმედებს GOCT 1843-70). მეორეული



კონტროლისას სადიაგნოსტიკო უბანზე სურათის მარკირებას უმატებენ ასო "R" (Repeate - გამეორება).

დასხივების ჩატარებისას აუცილებელია ფირის კასეტის დაცვა გარეშე გაბნევის გამოსხივებისა და მეორეული დასხივებისაგან, ამისათვის კასეტის უკანა მხარეს მოთავსებულია (1-3) მმ სისქის ფურცლოვანი ტყვიის ფირფიტა. ან შესაბამისი სისქის ექვივალენტური მასალის ფირფიტა. დატენილი კასეტა ტყვიის ფირფიტასთან ერთად საკონტროლო ობიექტზე მაგრდება სპეციალური სამარჯვების საშუალებით, რაც უზრუნველყოფს კასეტის მჭიდრო კონტაქტს დასასხივებელ უბანთან. სტაციონარულ პირობებში ბრტყელი დეტალების დასხივებისას კასეტას შედებილი ტყვიის ფირფიტის სპეციალურ მაგიდაზე ან ისეთ ტყვიის ფირფიტაზე ათავსებენ, რომლის ზომებიც დასასხივებელი ველის ზომებზე მეტია. დასხივებისას კასეტებს მჭიდროდ აკრავენ საკონტროლო ობიექტის დასასხივებელ უბანს, ამასთან მთელი დასხივების პერიოდის განმავლობაში ობიექტიც და კასეტაც დაცული უნდა იყოს ნჯღრევისა და ვიბრაციისაგან.

რადიოგრაფიული კონტროლი აუცილებელია ტარდებოდეს ძირითადი და მოსამზადებელი ოპერაციების მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის საშუალებების ოპტიმალური გამოყენებით, რენტგენული ფირფიტის ფოტო დამუშავების, ასევე ძირითადი აღჭურვილობის საექსპლუატაციო მახასიათებლების ასამაღლებელი სამარჯვებისა და მოწყობილობების გამოყენებით.

რადიოგრაფიული კონტროლის ოპერაციების მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის ჩასატარებელი მოწყობილობების შექმნა და არჩევა, კონკრეტული პირობებიდან გამომდინარე - საკონტროლო ობიექტის კონსტრუქციის, მათი დანერგვის ტექნიკურ - ეკონომიკური ეფექტურობისა და საკონტროლო ოპერაციების შრომის ნაყოფიერების აირრდისა და თვითღირებულების შემცირების, წარმოების კულტურისა და პირობების გაუმჯობესების, საწარმოო ფართის რაციონალური გამოყენების პირობების გათვალისწინებით უნდა ჩატარდეს.

პრაქტიკულ საქმიანობაში რადიოგრაფები მუდმივად დგანან კონკრეტული ნაკეთობის კონტროლის ახალი ამოცანების წინაშე, როდესაც დასხივების გამოყენება ჩვეულებრივი ფორმით ამოცანას ვერ გადაჭრის. მაგალითად, რადიოგრაფიული სურათით მთლიანად მირჩილული შეერთება ზოგჯერ ძნელი გასარჩევია მთლიანად არამთლიანად მირჩილულისაგან. ამ შემთხვევაში ყურადღება უნდა მიექცეს ფენების (შრეები) განლაგებას, მათი არსებობა სურათზე შეიძლება მირჩილული უბნის არსებობის ნიშანი იყოს.

აღუმიწის შენადნობის შედუღებული ნაწიბურის ხარისხის რადიოგრაფიული კონტროლის დროს სურათებზე ხანდახან შეიმჩნევა ზოლები შედუღების ნაწიბურის გასწვრივ, რომელიც ე.წ. "ცრუ დეფექტის" სახელითაა ცნობილი. მათი გამოჩენის ძირითადი მიზეზი - რენტგენის გამოსხივების დიფრაქცია ლითონს ნაწიბურის მარცვლოვან სტრუქტურაზე.

ცნობილია, რომ სიბრტყითი ფორმის დეფექტი დეფექტის მართობული მდგომარეობიდან დასხივებისას ძნელად გამოვლინდება. ეს ეხება წერტილოვანი შედუღებით შეერთებულ უბნებს, წებოვან, წებოშედუღებით და წებომექანიკურ შეერთებების შემთხვევაში წებოს არ არსებობას. ასეთ შემთხვევებში შესაერთებელ ზედაპირებს შორის (ან წებოში) შეყავთ გამოსხივების კარგად შთამნთქმელი კონტრასტული მასალა (მაგალითად ლითონური პუდრა), რომლის გადანაწილება თვალსაჩინოდ გამოვლინდება რადიოგრაფიული სურათების მიხედვით.

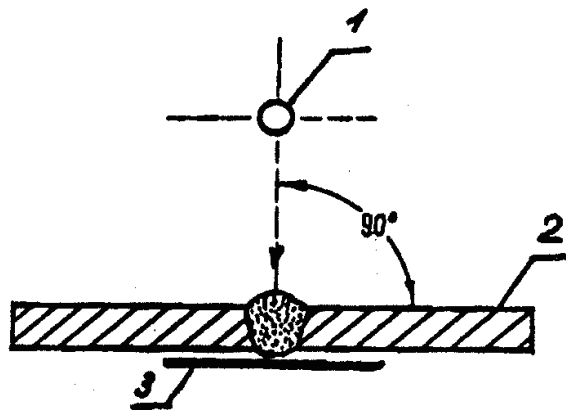
დეფექტების განლაგების სიღრმე შეიძლება განისაზღვროს, სტერეოსკოპიის პრინციპების გამოყენებით. ამ მიზნით გამოსხივების წყაროს ერთმანეთისაგან დაძრული ორი მდგომარეობისას იღებენ სურათებს ან ერთ სურათს ერთ ფირფიტაზე ორჯერადი დასხივებით სხვადასხვა მდგომარეობაში. ნაკეთობის ზედაპირზე განლაგებენ ტყვიის ნიშნულებს. დეფექტის განლაგების სიღრმეს განსაზღვრავენ გამოთვლის საშუალებით ან სურათების სტერეოსკოპული წყვილის სპეციალური სტერეოსკოპიული ლინზების სისტემით დათვალიერებისას.

არარღვევითი კონტროლის სპეციალისტები უნდა მუშაობდნენ ნაკეთობის კონსტრუქტორებთან, მასალათმცოდნეებთან და ტექნოლოგებთან კონტაქტში. აუცილებლად ითვლება მეტალოგრაფიული ანალიზისას მიღებული შედეგების

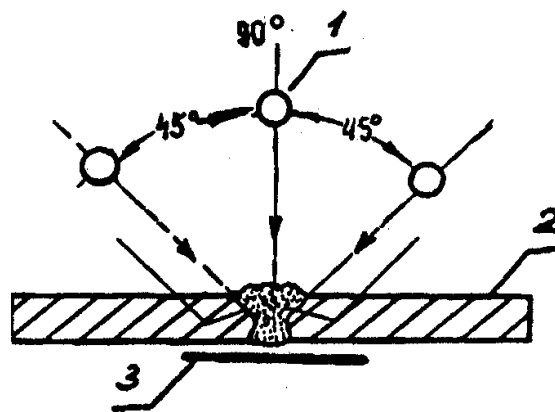
გამოყენებული ხერხების საიმედოობის შემოწმება, დამზადების ტექნოლოგიაში შეტანილი ცვლილებების შეფასება ნაკეთობის სიმტკიცის თვისებაზე. თვისებების ცვლილებას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს, შეერთებაში კონტრასტული მასალების შეტანის გამო. რადიოგრაფიული კონტროლის საიმედოობა იზრდება არარღვევადი კონტროლის მეთოდების სპეციალისტების მოწვევით, ახლად შექმნილი კონსტრუქციების დეფექტოსკოპიური ტექნოლოგიურობის ანალიზისათვის, პროექტირების ადრეულ ეტაპებზე.

### 4.3. დასხივების სქემები

ნაკეთობის კონტროლისა და დიაგნოსტიკათვის მისი გეომეტრიული ზომების, შემადგენელი მასალის, კონსტრუქციის, საკონტროლო პარამეტრის სახეობისა და მისი ადგილმდებარეობის გათვალისწინებით გამოიყენებენ დასხივების სხვადასხვა სქემას.

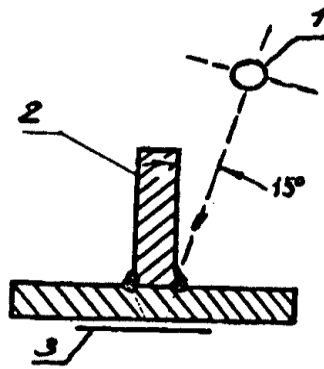


ა

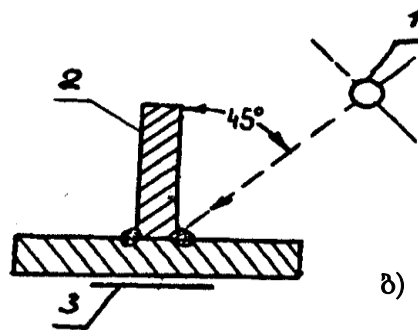


ბ

სურ.13. საკონტროლო ობიექტის შედუღების ნაწიბურის დასხივების სქემა:  
 ა. შესაერთებელი გვერდების ირიბი ჩაჭრის გარეშე; ბ. შესაერთებელი გვერდების X-ის მაგვარი ჩაჭრით;  
 1. დასხივების წყარო; 2. საკონტროლო ობიექტი; 3. ფირი.

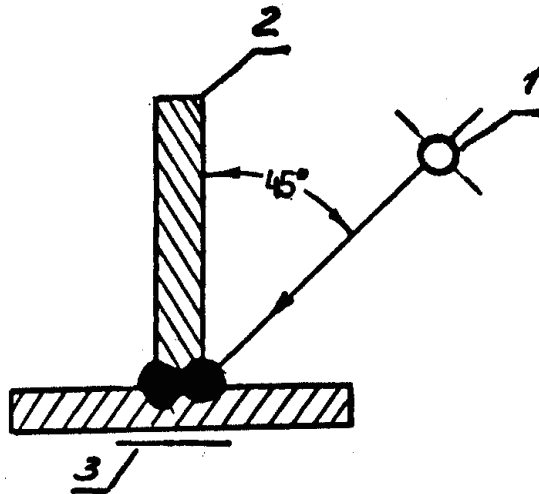


ა)

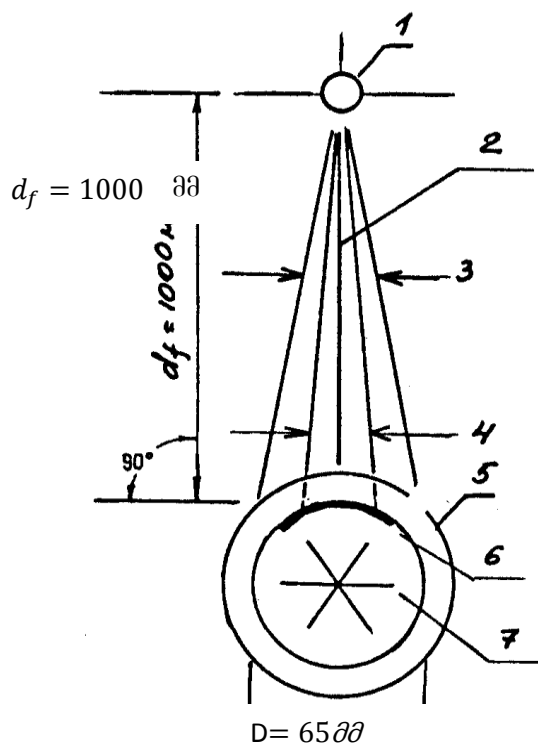


ბ)

სურ.14. T-სებრი შეერთების ნაწიბურის კონტროლი კუთხის არასრული შედუღებისას: ა) სწორი; ბ) არასწორი;  
 1. დასხივების წყარო; 2. საკონტროლო ობიექტი; 3. ფირი

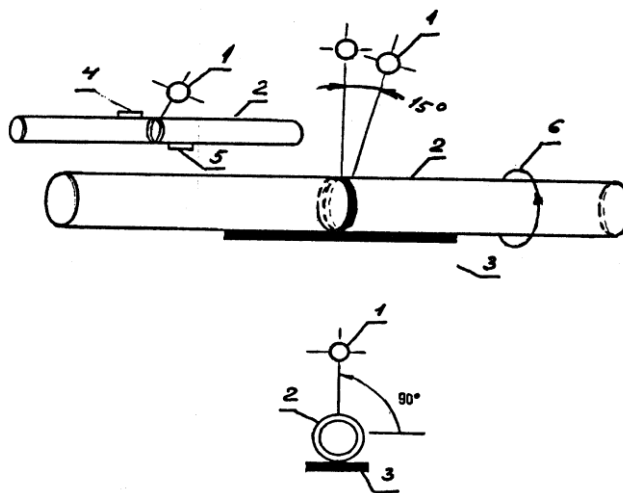


სურ.15. T-სებრი შეერთების ნაწიბურის კონტროლი კუთხის სრული შედუღებისას:  
 1. დასხივების წყარო; 2. საკონტროლო ობიექტი; 3. ფირი

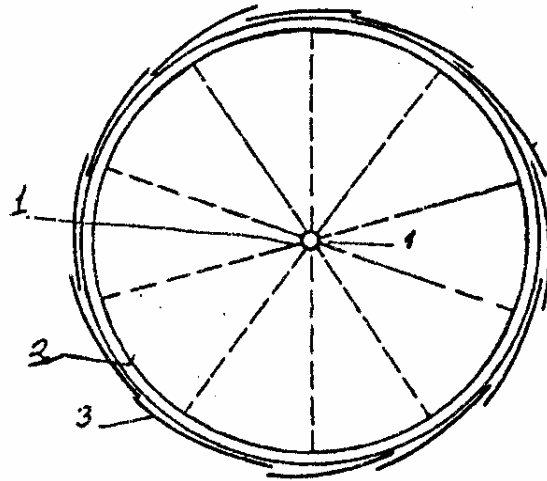


სურ.16. რგოლური შეპირაპირების და შედუღებული შეერთების ერთი კედლიდან დასხივების სქემა:

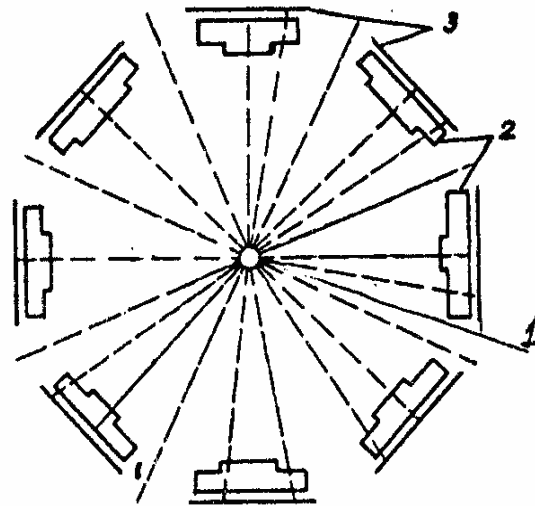
- ენერგიის წყარო; 2. მუშა სხივთა კონის ღერძი. საკონტროლო ობიექტის, რადიაციული გამოსახულების დიდი დისტორსიის გამომწვევი, სხივთა კონის აპერტურა; 4. გამოსხივების მუშა სხივთა კონის აპარატურა; 5. საკონტროლო ობიექტი; 6. ტყვისეკრანიანი ფირი, უკუგაბნევის გამოსხივებისაგან დასაცავად; 7. კონტროლის ექსპოზიციის უბნები (არანაკლებ 6)



სურ.17. რგოლური შეპირაპირების, შედუღებული შეერთების, დასხივების სქემა, გარე დიამეტრით 32...64 მმ, ორი კედლის გაველით: 1. გამოსხივების წყარო; 2. საკონტროლო ობიექტი; 3. ფირი; 4. მგრძნობიარობის ეტალონური ფირფიტა, რომლის სისქეა კედლის გაორმაგებული სისქის 2%. 5. მგრძნობიარობის ეტალონური ფირფიტა, რომლის სისქეა კედლის ერთმაგი სისქის 2%. 6. კონტროლის ექსპოზიციის უბნები (არანაკლებ 6).



სურ.18. დიდი დიამეტრის მიღების დასხივების სქემა  
1. დასხივების წყარო; 2. საკონტროლო ობიექტი; 3. ფირი



სურ.19. ერთნაირი (მსგავსი) საკონტროლო ობიექტების დასხივების სქემა  
1. დასხივების წყარო; 2. საკონტროლო ობიექტი; 3. ფირი

#### 4.4. რადიოგრაფიული სურათების გაშიფვრა

გაშიფვრის პროცესის სირთულე შეიძლება შეფასდეს არა პროცესზე ზემოქმედების ფაქტორების ჩამონათვალით, არამედ მათი მახასიათებლების მიხედვით, რომლებიც წარმოშობის წყაროს მიხედვით შესაძლებელია წარმოდგენილი იქნას შემდეგი სახით:

- საკონტროლო ობიექტი: ფორმა, სისქე, მასალა, ორიენტაცია, ყველაზე ალბათური დეფექტების ტიპები;
- კონტროლის საშუალება: გამოსხივების წყარო, რეგისტრაციის საშუალებები და მათი დამუშავების მეთოდები;
- სურათები: ფონის განათებულობა, დაბრკოლებების და ცრუ განგაშის სიმკვრივე;

• ოპერატორის: თვალის სიმახვილე, გაწაფულობა, მოქმედების მოტივაცია, დადლილობა, წინასწარი ინსტრუქტაჟის მიღება, ასაკი, ინტელექტი, ინდივიდუალური შესაძლებლობები, სამუშაო დატვირთვა, ძიების მეთოდი;

• სხვადასხვა ფაქტორი: სათავის განათებულობა, ხმაური და ვიბრაცია გაშიფვრისას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ოპერატორი აღმოაჩენს დეფექტებს ალბათური სახით. რადიოგრაფიული სურათების გაშიფვრის შედეგების გაბნევა ინფორმაციის მოპოვების შესაძლებლობიდან შეადგენს 30%. ნათელია, რომ სწავლების საუკეთესო პირობების და გამოცდილების შემთხვევაშიც კი ფირებზე გამოსახულების გაშიფვრელები 90 – 95%-იან თანხმობას იშვიათად თუ მიაღწევენ. ამიტომ ყველა შემთხვევაში, როდესაც მზა პროდუქციის უსაფრთხოების ფაქტორის ხარისხი მნიშვნელოვანია, მინიმუმ ორმა კვალიფიცირებულმა ოპერატორმა უნდა შეაფასოს საკონტროლო ობიექტის ხარისხი და რადიოგრაფიული სურათების მიხედვით მოამზადოს დასკვნა.

საკონტროლო რადიოგრაფიული სურათები ფასეული სახელმძღვანელოა სწავლებისა და გაშიფვრისათვის. ამას გარდა, რეკომენდებულია რადიოგრაფიული სურათების და საკონტროლო ობიექტის დეფექტის უბნების-მიკრომიხეხვების საკუთარი ბიბლიოთეკის შექმნაც.

მახვილი მხედველობა გაშიფვრის სამეტაპიანი პროცესის (აღმოჩენა, ამოცნობა, შეფასება) პირველი ეტაპის, მნიშვნელოვანი პარამეტრია. ადამიანის მხედველობის სიმახვილე შეიძლება შეიცვალოს ყოველდღიურად ფიზიოლოგიურ ფაქტორებზე დამოკიდებულებით, რაც მნიშვნელოვანი სტიმულატორი უნდა იყოს მხედველობის სიმახვილის ყოველდღიური შემოწმებისათვის. მაგალითად წრფივი დეფექტების გამოსახულებით მკვეთრი და ბუნდოვანი საზღვრების მონაცვლეობით. გაშიფვრის პროცესისათვის მნიშვნელოვანია სურათების დათვალიერების პირობებიც.

ნეგატოსკოპები რეგულირებადი განათებულობითა და განათების ველის ზომებით იყოფა ოთხ ჯგუფად:

• სურათის ლოკალური დათვალიერებისათვის განკუთვნილი (განათებული ველის დიამეტრი 7 – 10 cm);

- დიდი ფართობის დასათვალიერებელი (35x45 cm);
- ლენტისებრი რენტგენის ფირის დასათვალიერებელი;
- კომბინირებული (დიდი ფართობის ლოკალური დათვალიერებისათვის).

გამოსახულება რენტგენულ ფირზე შეიძლება ეფექტურად შეფასდეს გამადიდებელი მოწყობილობების საშუალებით: ლუპით (დანაყოფის ფასით 1მმ. და ნაკლები), შტატივზე დამაგრებული გამადიდებელი ობიექტივით და სხვა.

რადიოგრაფიული ფირის დათვალიერების პირველ ეტაპზე ხდება რადიოგრაფიული გამოსახულების ხარისხის შეფასება, რაც შემდეგი ფაქტორების განსაზღვრას გულისხმობს:

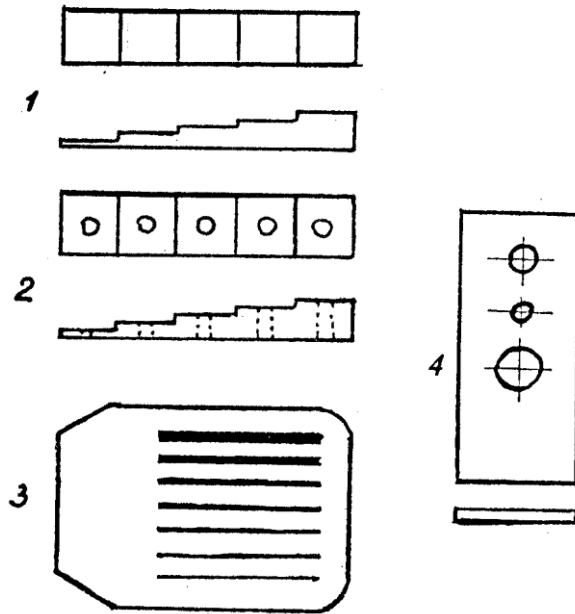
• არის თუ არა სურათის ემულსიურ შრეზე ლაქები, ზოლები, გაჭუჭყიანებული და დაზიანებული უბნები;

• არის თუ არა სურათზე შემზღუდველი ნიშნების, მარკირებისა და მგრძნობიარობის ეტალონის გამოსახულებები;

- დასაშვებ ნორმებშია თუ არა ოპტიკური სიშავის სიმკვრივე.

რადიაციული კონტროლის მგრძნობიარობა. სურათების ხარისხის შესაფასებლად იყენებენ მგრძნობიარობის ეტალონს, რომელიც ნორმატიული დოკუმენტებით მოცემული ზომის, ფორმის, შედგენილობისა და გამოყენების წესით დადგენილი საგამოცდო - ნიმუშებია (ტესტ-ნიმუშები). ქიმიური შედგენილობისა და სიმკვრივის მიხედვით ეტალონები იდენტური უნდა იყოს საკონტროლო ობიექტის. მე-20 სურათზე გამოსახულია მგრძნობიარობის ეტალონები.

მგრძნობიარობის ეტალონები კონსტრუქციული შესრულების, ფორმის, ზომისა და დანიშნულების მიხედვით შეიძლება იყოს: საფეხუროვანი, საფეხუროვან - ხვრელური, მავთულიანი და ფირფიტული.



შურ.20. რადიაციული კონტროლის ეტალონები

1. საფეხუროვანი; 2. საფეხუროვან - ხვრელური; 3. მავთულიანი; 4. ფირფიტული

მგრძნობიარობის საფეხუროვან ეტალონებს არ გააჩნიათ სტანდარტული კონსტრუქცია, მაგრამ ტიპური შეიძლება ეწოდოს კონსტრუქციას, რომელსაც გააჩნია კვადრატული ფორმის ხუთი საფეხური ზომით: მაგალითად 10x10მმ. თითოეული საფეხურების სისქე 0,2; 0,5; 1,0; და 1,25 მმ.

მგრძნობიარობის ღარებიანი ეტალონი წარმოადგენს ფირფიტას, რომელსაც აქვს დადგენილი ფორმისა და ზომის ღარები.

მავთულიანი ეტალონი - არის მავთულის დადგენილი ზომის სწორი ნაჭრების ნაკრები, რომლებიც სტანდარტიზირებულია საქართველოში მოქმედი სტანდარტის GOCT 7512-82 მიხედვით, დიდბრიტანეთში BS3971.1980, გერმანიაში DIN 54109, სკანდინავიის ქვეყნებში UCO ISO/R-1027,1969 და შედუღების საერთაშორისო ინსტიტუტის მიხედვით - IIS/IIW - 62-60 . ეტალონებს შორის კონსტრუქციული უმნიშვნელო სხვაობებია.

საფეხუროვან-ხვრელური ეტალონი შეიცავს ფირფიტების ნაკრებს, რომელთაგან თითოეულს აქვს ზედაპირისადმი მართი კუთხით გამჭოლი ერთი ან ორი ნახვრეტი. ნახვრეტის დიამეტრი ფირფიტის სისქის ტოლია.

რადიაციული კონტროლის მგრძნობიარობის ფირფიტული ეტალონი წარმოადგენს განსაზღვრული ზომისა და ფორმის ცილინდრულ ხვრელებიან ფირფიტას, რომელიც საქართველოში სტანდარტიზებულია GOCT 7512-82 და მასალების გამოცდის ამერიკული საზოგადოების (ASTM) სტანდარტით E 142.

მრავალი საერთაშორისო მათ შორის აშშ-ის ნორმები ისეა ფორმულირებული, რომ ფირფიტის სისქე შეადგენს საკონტროლო ობიექტის სისქის 2%-ს, რათა რადიოგრაფიულ სურათზე ჩანდეს ხვრელი, რომლის დიამეტრი ორჯერ მეტია ფირფიტის სიგანეზე (2T). ეტალონს სტანდარტით E 142 გარდა 2T დიამეტრიანი ხვრელისა, გააჩნია ასევე ხვრელები დიამეტრით 1T და 4T.

რადიაციული კონტროლის აბსოლუტური მგრძნობიარობა, რომლის მიხედვითაც ღარული ეტალონის მიერ სურათზე გამოვლენილი ღარის უმცირესი სიღრმე, მავთულის ეტალონის მიერ სურათზე გამოვლენილი მავთულის უმცირესი დიამეტრი, ფირფიტული ეტალონის უმცირესი სისქე, რომლის დროსაც სურათზე გამოვლენდება ხვრელი ეტალონის გაორმაგებული სისქის დიამეტრით, უნდა შეესაბამებოდეს საკონტროლო ობიექტის ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნებს.

საკონტროლო ობიექტზე ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნები შეიძლება მოცემული იყოს აგრეთვე კონტროლის ფარდობითი მგრძნობიარობის სახით K (%)

$$K = 100 \delta / x,$$

სადაც - კონტროლიის აბსოლუტური მგრძობიარობა; ხ- საკონტროლო ობიექტის რადიაციული სისქე.

ჩვეულებრივ, მგრძობიარობის ეტალონებს აყენებენ საკონტროლო ობიექტის მხარეს და მიმართავენ გამოსხივების წყაროსაკენ. როგორც ცნობილია, საკონტროლო ობიექტის შინაგანი სტრუქტურის სურათის ფორმირებისას ყველაზე მეტად დეგრადირდება სტრუქტურები, რომლებიც გამოსხივების წყაროსთან ახლოსაა განლაგებული, ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად შემოტანილია შემდეგი მოთხოვნა. თუ საკონტროლო ობიექტს არაერთგვაროვანი სისქე გააჩნია, მაშინ ეტალონებს აყენებენ უფრო მნიშვნელოვან უბნებზე ან საკონტროლო ობიექტზე განათავსებენ რამოდენიმე ეტალონს. საკონტროლო ობიექტზე, შედუღების გაძლიერებული ნაწიბურით, მავთულისა და ფირფიტული ეტალონები შეიძლება განვალაგოთ ისეთი სისქის დამატებით ფირფიტებზე, რომ გაძლიერების რადიაციული სისქე ტოლი იყოს დამატებითი ფირფიტისა და საკონტროლო ობიექტის ეკვივალენტური რადიაციული სისქისა, ეტალონის განლაგების ადგილას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ეტალონების მგრძობიარობის კონტროლსა და გამოვლენილი რეალური დეფექტების მგრძობიარობას შორის არ არის მარტივი დამოკიდებულება. მაგრამ მგრძობიარობის ეტალონების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ ზოგიერთი ტიპის დეფექტების გამოვლენის შესაძლებლობა. ასე მაგალითად, აირით სავსე ფორას, რომლის მოცულობა ფირფიტული ეტალონის 2T დიამეტრის ხვრელის მოცულობის ტოლია 1,8-ჯერ მეტი მოცულობა აქვს ვიდრე ეტალონის სისქეა, ამიტომ ამ ეტალონის მგრძობიარობის 2% შეესაბამება ფორიანობის 3,6%. სხმულებში გაციებისას წარმოშობილი შეკლების (ჩაჯდომის) ნიჟარები წარმოადგენს თითქმის ცილინდრული კვეთის სიცარიელეს. შესაბამისად მგრძობიარობა მავთულიანი ეტალონების მიხედვით შეესაბამება შეკლების ნიჟარების მგრძობიარობას.

#### 4.5. საკონტროლო ობიექტის ხარისხის შეფასება სურათის მიხედვით

დამკვირვებელი ოპერატორის გამოცდილებას, მხედველობის სიმახვილეს და სურათის მიღების პროცესის ცოდნას ამ ეტაპზე გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს. ადამიანის თვალი უკეთ აღიქვამს გამოსახულების მოძრავ ელემენტებს, ამიტომ სურათის მცირე გადაადგილება დამკვირვებელს ეხმარება გაარჩიოს გამოსახულების მცირე დეტალები. ფირის მხედველობის არესთან კუთხით განლაგება ან ხედვის კუთხის ცვლა გამოსახულების კონტრასტულობას ზრდის და საშუალებას იძლევა წარმოჩინდეს გამოსახულების მიკრომარცვლოვანი ელემენტები. განათებულობის ველის კუთხური ზომების შემცირება და გამაღიანებელი ხელსაწყოების გამოყენება ხელს უწყობს საკონტროლო ობიექტის ხარისხის შეფასების ობიექტურობის ზრდას. სხვა მხრივ, განათებული ველის დიდი კუთხური ზომები საშუალებას იძლევა გაიზარდოს კვანძებისა და მექანიზმების დიაგნოსტიკების სიზუსტე.

სურათის გამოსახულების ელემენტების ჩაშავების სიმკვრივის დონე არსებით გავლენას ახდენს საკონტროლო ობიექტის ხარისხის შეფასებაზე. ჩაშავების სიმკვრივის დონეს ზომავენ დენსიტომეტრით, რომლიც საშუალებას იძლევა შევაფასოთ გამოსახულების ოპტიკური სიმკვრივე ზომით 1 – 3 მმ, ხოლო მიკროდენსიტომეტრისა და მიკროფოტომეტრების საშუალებით 3 მკმ-დე.

დენსიტომეტრი – ოპტიკური სიმკვრივის საზომი ხელსაწყოა. ის წარმოადგენს ინფორმაციული კავშირის მქონე სინათლის მგრძობიარე გარდამქმნელისა და ციფრული ბლოკის ერთიანობას. საკმაოდ მნიშვნელოვანი ჩაშავების სიმკვრივის მქონე რენტგენის სურათის მოთავსებისას სინათლის წყაროსა და სინათლის მგრძობიარე გარდამქმნელს შორის ამ უკანასკნელზე იმოქმედებს სინათლის სხივების გარკვეული რაოდენობა რომელიც ციფრული ბლოკით აღიქმება და გამონათდება ინდიკატორზე ოპტიკური სიმკვრივის შესაბამისი (მაღალი)



მნიშვნელობა, რომელიც დამოკიდებულია გამოსაკვლევი რენტგენის სურათის გამჭვირვალობაზე.

ხელსაწყოს კალიბრება. ოპტიკური სიმკვრივის საზომი ხელსაწყოს კალიბრება ხორციელდება ბრტყელი ფოტომასალის ოპტიკური სიმკვრივის, ეტალონური მნიშვნელობების ნაკრების საშუალებით. დენსიტომეტრის სწორი ექსპლუატაციის პირობებში შესაძლებელია გაზომვის ჩატარება 0,02 კლასის სიზუსტით. დენსიტომეტრებისა და სიმკვრივის ოპტიკური ნაკრების დამოწმება ხორციელდება წელიწადში ერთხელ მაინც.

რენტგენის სურათის სპეციალიზებული დენსიტომეტრული კვლევისას (არასიმკვეთრის, გამომსხივებლის ფოკუსური მანძილის გაზომვა) იყენებენ სკანირების მიკროდენსიტომეტრს. სკანირების ტრაექტორიაზე გაზომვით მათ შეუძლიათ სურათის მოცემული უბნის ავტომატური სკანირება და ჩაშვების სიმკვრივის შესაბამისი გრაფიკული გამოსახულების შექმნა.

არტეფაქტები (ლათ. *artefactum* – ხელოვნურად შექმნილი) არის ცრუ, საკონტროლო ობიექტთან ინფორმაციული კავშირის არმქონე, რადიოგრაფიულ სურათებზე აღმოჩენილი ელემენტები ზოლების, ჩრდილების, ხაზების და სხვათა სახით. მათი წარმოშობა შესაძლებელია სარეგისტრაციო საშუალებების ფირების, ეკრანების, არასწორი დამზადების, შენახვის, მოპყრობის და დამუშავების შედეგი იყოს. მრავალი ტიპის არტეფაქტები შეიძლება რეალურ დეფექტში აგვერიოს, ამიტომ მნიშვნელოვანია ოპერატორს შეეძლოს ამ ცრუ ელემენტების იდენტიფიცირება და კონტროლის შედეგების დოკუმენტირებისას მათი არსებობის აღნიშვნა.

## 5. კაპილარული დეფექტოსკოპია. ძირითადი ცნობები

კონტროლის კაპილარული მეთოდები დამყარებულია ინდიკატორული სითხის (პენეტრანტების) კაპილარულ შეღწევაზე საკონტროლო ობიექტის მასალის ზედაპირულ და გამჭოლ არამთლიანობაში, ინდიკატორული კვალის ვიზუალური და გარდამქმნელი რეგისტრაციისათვის.

კაპილარული კონტროლი განკუთვნილია საკონტროლო ობიექტის ზედაპირული და გამჭოლი, შეუიარაღებელი თვალისათვის შეუმჩნეველი ან ოდნავ შესამჩნევი დეფექტების კონტროლის, მათი ადგილმდებარეობის განსაზღვრის, გავრცელების (ბზარის ტიპის დეფექტი) და ზედაპირზე მათი ორიენტაციის აღმოჩენისათვის. ამ სახის კონტროლი საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ, ნებისმიერი ზომისა და ფორმის, ფერადი და შავი ლითონისა და შენადნობებისაგან, პლასტმასის, შუშის, კერამიკის, ასევე სხვა მყარი არაფერომაგნიტური მასალებისაგან დამზადებული ნაკეთობების, დიაგნოსტიკა.

კაპილარულ მეთოდებს იყენებენ ფერომაგნიტური მასალის ნაკეთობების სადიაგნოსტიკოთ, თუ მათი მაგნიტური თვისებები, ფორმა დეფექტების სახე და ადგილმდებარეობა არ იძლევა საშუალებას მიღწეულ იქნას შესაბამისი მგრძობიარობა მაგნიტური ფხვნილის მეთოდის გამოყენებით ან ამ მეთოდის გამოყენება დაუშვებელია ობიექტის ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე.

კაპილარს, რომელიც ობიექტის ზედაპირზე მხოლოდ ერთი მხრიდან გამოდის ზედაპირული არამთლიანობა, ეწოდება ხოლო რომელიც ზედაპირის მოპირდაპირე გვერდებს აერთებს გამჭოლი. თუ ზედაპირული და გამჭოლი არამთლიანობები დეფექტებია მაშინ დასაშვებია ტერმინების "ზედაპირული დეფექტისა" და "გამჭოლი დეფექტის" გამოყენება.

საკონტროლო ობიექტის არამთლიანობის ადგილას პანეტრანტით შექმნილ მსგავსი ფორმის გამოსახულებას ინდიკატორული სურათი (კვალი) ეწოდება. ბზარის ტიპის ერთეულთაგან არამთლიანობისათვის დასაშვებია ტერმინი "ინდიკატორული კვალის" გამოყენება.

არამთლიანობის სიღრმე –საკონტროლო ობიექტის ზედაპირიდან სიღრმისკენ მიმართული არამთლიანობის ზომაა. არამთლიანობის სიგრძე–საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე არამთლიანობის გრძივი ზომაა. არამთლიანობის დიობი - საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე გამომავალი არამთლიანობის განივი ზომაა.

ღრუ კაპილარული კონტროლისას, მასალის მთლიანობის დარღვევის გამოვლინების აუცილებელ პირობად, რომელთაც გააჩნიათ გამოსასვლელი ზედაპირზე მნიშვნელოვნად მეტი გავრცელების სიღრმე ვიდრე დიობის სიგანე, უცხო ნივთიერებებით მათი დანაგვიანების შესაძლებლობის შედარებითი სიმცირეა.

არამთლიანობებისათვის განასხვავებენ სიგრძის, სიღრმის და დიობის სამ კატეგორიას – მაქსიმალურს, მინიმალურს და საშუალოს. თუ არ არსებობს აუცილებლობა წინასწარ განისაზღვროს, რომელ ზომაზეა საუბარი, მაშინ გაუგებრობის თავიდან ასაცილებლად იყენებენ ტერმინს "უპირატესი ზომა". ფორების მომრგვალებული ფორმის მქონე არამთლიანობებისათვის ობიექტის ზედაპირზე დიობი არამთლიანობის დიამეტრის ტოლია.

არარღვევადი კაპილარული კონტროლის ყველა მეთოდი საკონტროლო ობიექტთან შემღწევი პენეტრანტების ურთიერთმოქმედების ხასიათის მიხედვით განიხილება როგორც მოლეკულური.

კაპილარული მეთოდები იყოფა ძირითად და კომბინირებულ მეთოდებად.

კონტროლის ძირითადი კაპილარული მეთოდები შემღწევი ნივთიერებაზე დამოკიდებულების მიხედვით არსებობს შემდეგი სახის:

1. შემღწევი ხსნარის მეთოდი არის კაპილარული არარღვევადი კონტროლის შითხითი მეთოდი, სადაც შემღწევი ნივთიერებად ინდიკატორული სითხე გამოიყენება.

2. ფილტვრადი სუსპენზიის მეთოდი არის კაპილარული არარღვევადი შითხითი კონტროლის მეთოდი, სადაც შემღწევი ნივთიერება ინდიკატორული სუსპენზიაა, რომელიც ინდიკატორულ სურათს ქმნის გაფილტვრული ნაწილაკების დისპერსიული ფაზისაგან.

კაპილარული მეთოდები გამოვლინების მეთოდების მიხედვით იყოფა შემდეგ სახეობებად:

- ლუმინესცენციური, დამყარებულია კონტროლის ობიექტის ფონზე გრძელტალღოვანი ულტრაიისფერი გამოსხივების ზონაში ლუმინესცენცირებული ხილული ინდიკატორული სურათის კონტრასტის რეგისტრაციაზე;

- ფერადი, დამყარებულია ფერადი კონტრასტის რეგისტრაციაზე ინდიკატორული სურათის ხილულ გამოსხივებაში საკონტროლო ობიექტის ფონზე;

- ლუმინესცენტურ – ფერადი, დამყარებულია ფერადი კონტრასტული ან ლუმინესცენციური ინდიკატორული სურათის გამოსხივების ხილულ ან გრძელტალღოვანი ულტრაიისფერი გამოსხივების, საკონტროლო ობიექტის ზედაპირის ფონზე, რეგისტრაციაზე;

- სიკაშკაშის, დამყარებულია, საკონტროლო ობიექტის ფონზე ხილული გამოსხივების აქრომატული (არაქრომატული) კონტრასტის რეგისტრაციაზე.

კაპილარული კონტროლის კომბინირებული მეთოდები აერთიანებენ კონტროლის სხვადასხვა ფიზიკური არსის ორ ან მეტ მეთოდს, რომელთაგან ერთი აუცილებლად სითხითი მეთოდია, ეს მეთოდები ფიზიკური ველის (გამოსხივების) ხასიათის და საკონტროლო ობიექტზე მათი ზემოქმედების თავისებურებების მიხედვით არსებობს ხუთი სახის.

კაპილარულ-ელექტროსტატიკური მეთოდები დამყარებულია არაელექტროგამტარი საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე ან გამჭოლი არამთლიანობის ზონებში, იოგენური პენეტრანტით შევსებული, დამუხტული ელექტრული ნაწილაკების თავმოყრის ინდიკატორული სურათის აღმოჩენაზე.

კაპილარულ-ელექტროინდუქციური მეთოდი დამყარებულია არაელექტროგამტარი საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე ან გამჭოლი არამთლიანობის ზონებში ელექტროგამტარი ინდიკატორული პენეტრანტის აღმოჩენაზე ელექტროინდუქციური მეთოდით.

კაპილარულ-მაგნიტურფხვნილური მეთოდი დამყარებულია დამაგნიტებული ობიექტის კონტროლისას პენეტრანტით ან მაგნიტური ფხვნილით შექმნილი კომპლექსური ინდიკატორული სურათის აღმოჩენაზე.

სითხითი კაპილარულ-რადიაციული მეთოდი დამყარებულია მაიონიზებული პენეტრანტის გამოსხივების რეგისტრაციაზე არაელექტროგამტარი საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე ან გამჭოლი არამთლიანობის ზონებში.

კაპილარულ – რადიაციული შთანთქმის მეთოდი – მაიონიზებული გამოსხივების შთანთქმაზე საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე ან გამჭოლი არამთლიანობის ზონებში.

## 5.1. დეფექტოსკოპიური მასალები

დეფექტოსკოპიურ მასალებს იყენებენ კაპილარული კონტროლისას საკონტროლო ობიექტის ზედაპირის არამთლიანობის შესახებ პირველადი მონაცემების მიღების მიზნით გაუდენტის, ნეიტრალიზაციის ან ზედაპირიდან ზედმეტი შემღწევი ნივთიერების გამოდევნის და მისი ნარჩენის აღმოსაჩენად.

დეფექტოსკოპიურ მასალებს ირჩევენ საკონტროლო ობიექტისადმი წაყენებული მოთხოვნების, მისი მდგომარეობისა და კონტროლის პირობების მიხედვით. მასალების დაკომპლექტებენ მიზნობრივი ნაკრებებად, თითოეულში შედის ნაწილობრივ ან მთლიანად ურთიერთგანპირობებული დეფექტოსკოპიური მასალები, რომელთა ჩამონათვალი მოცემულია ქვემოთ.

დეფექტოსკოპიური მასალების ნაკრები შედგება ურთირთდამოკიდებული მიზნობრივად შეთანხმებული დეფექტოსკოპიური მასალებისაგან, ესენია ინდიკატორული პენეტრანტი, გასამუდავებელი, გამასუფთავებელი და ჩამქრობი.

ინდიკატორული პენეტრანტი II (პენეტრანტი) არის კაპილარული დეფექტოსკოპიური მასალა, რომელსაც გააჩნია ობიექტის არამთლიანობაში შეღწევისა და მისი ინდიცირების უნარი.

პენეტრანტისაგან გამასუფთავებელი M არის კაპილარული დეფექტოსკოპიური მასალა, ორგანულ გამსხნელთან ან წყალთან ერთად საკონტროლო ობიექტის ზედაპირიდან ინდიკატორული პენეტრანტის დამოუკიდებლად მოსაცილებლად.

პენეტრანტის დამაცხრობელი Γ არის კაპილარული დეფექტოსკოპიური მასალა, საკონტროლო ობიექტის ზედაპირიდან შესაბამისი ინდიკატორული პენეტრანტის ლუმინესცენციური ფერის ნარჩენების მოსაცილებლად.

პენეტრანტის სამუდავი Π არის კაპილარული სამუდავი დეფექტოსკოპიური მასალა, რომელიც გამოიყენება საკონტროლო ობიექტის ზედაპირის არამთლიანობის კაპილარული ღრეოდან ინდიკატორული პენეტრანტის ამოსაღებად მკვეთრი ინდიკატორული სურათის და მისთვის კონტრასტული ფონის შექმნის მიზნით.

ქვემოთ მოცემულია კაპილარული დეფექტოსკოპიის მეთოდების გამოყენებით, ზედაპირული დეფექტების გამოვლენის სპეციალიზებული შემადგელობების დანიშნულებების ჯგუფური აღნიშვნები: (აღნიშვნები მოცემულია <http://lnktd-opz.narod.ru/vd.html><http://lnktd-opz.narod.ru/pribor.html> მიხედვით).

• I1–ფერადი პენეტრანტი, რომელსაც აქვს დამახასიათებელი ფერის ტონი ხილული სინათლით დაკვირვებისას;

• I2–გრძელტალღოვანი ულტრაიისფერი გამოსხივების გავლენით სინათლის გამოსხივების ლუმინესცენციური პენეტრანტი.

• I3–ლუმინესცენციური - ფერადი პენეტრანტი, რომელსაც აქვს დამახასიათებელი ფერადი ტონი ხილულ გამოსხივებაზე დაკვირვებისას და ლუმინესცენციური ნათება გრძელტალღოვანი ულტრაიისფერი გამოსხივებისას.

• I4–ქიმიურად აქტიური პინეტრანტი, რომლის დანიშნულებაც არამთლიანობის შესახებ ინფორმაციის მოწოდება სპეციფიკური ინდიკატორული ცვლადი ფერების, ლუმინესცენცირების ან რეაქციის პროდუქტის შექმნის შესაძლებლობის გარემოს შექმნა შესაბამის სამუდავებთან ურთიერთმოქმედებისას.

• I5–აქრომატული პენეტრანტი, რომელიც ხილული გამოსხივების ზემოქმედებისას იძლევა შავ ან რუხი ფერის ჩვენებას.

• I6–სხვა პენეტრანტები;

• M1–ორგანული საწმენდელი;

• M2–წყლიანი საწმენდელი;

• M3– სხვა საწმენდელები;

• Γ – პენეტრანტის დამაცხრობელი;

• Π1–სორბციული (შთამთქმელი) ფხვნილოვანი სამუდავი, რომელიც წარმოადგენს მშრალ, უპირატესად თეთრი ფერის წვრილდისპერსიულ სორბენტს (შთამთქმელს), პენეტრანტის შთანთქმის შესაძლებლობით;

• Π2 –სორბციული სუსპენზიური სამუდავი რომელიც წარმოადგენს თეთრი ფერის აქროლად გამსხნელში, წყალში ან ადვილადშრობად ნარეგებში დისპერგირებულ სორბენტს, პენეტრანტის შთანთქმის შესაძლებლობით;

• Π3 – შესაღები დიფუზიური სამუდავი (ლაქი), რომელიც შედგება პიგმენტის ან უფერო სწრაფადშრობადი შითხითი გამსხნელებისაგან.

• Π4 – პენეტრანტის შთამთქმელი, დიფუზიური სამუდავი ფირი, რომელიც წარმოადგენს თხელ სამუდავებელ წებვადი ფენით დაფარულ თეთრი ფერის ან უფერო საღებ ფირს.

• Π5–სხვა სამუდავები.

ინდიკატორულ პენეტრანტთან ურთიერთ მოქმედების ხასიათის მიხედვით საწმენდელები და დამაცხრობლები გარე ზემოქმედებისას იყოფიან გამსხნელებად, თვითემულგირებადებად და ემულგირებადებად. ინდიკატორულ პენეტრანტებს განასხვავებენ ფიზიკური მდგომარეობისა და სინათლის ფერთა ნიშნების მიხედვით.

ფიზიკური თვისებების მიხედვით პენეტრანტი შეიძლება იყოს: მაგნიტური , ელექტროგამტარული, მაიონიზებელი, კომბინირებული.

მაგნიტური პენეტრანტი სუსპენზიაა, რომლის მყარი ფაზის ნაწილაკებს ფერომაგნიტური თვისებები აქვთ, ხოლო შითხითი შემავსებელი წარმოადგენს ლუმინოფორის, საღებავის ან სხვა ინდიკატორის მოლეკულურ ან კოლოიდურ დისპერსიას,

ელექტროგამტარ პენიტრანტს აქვს ნორმირებული ელექტრული გამტარობა.

მაიონიზებელი პენიტრანტი წარმოშობს მაიონიზებელ გამოსხივებას, ჩამსშობი პენიტრანტი კი შთანთქავს.

კომბინირებულ პენიტრანტს ახასიათებს ორი ან მეტი ინდიკატორული პენიტრანტის თვისებები.

ტექნოლოგიური ნიშნების მიხედვით პენიტრანტები შეიძლება შემდგანიერად დაჯგუფდეს:

ორგანული ჩამოსარეცხი პენიტრანტი საკონტროლო ობიექტის ზედაპირიდან ჩამორეცხება უწყლო ანტიკოროზიული შედგენილობის გამსხნელებით, ზეთებით და მათი შენარევეებით. წყლით ჩამოსარეცხი პენიტრანტი წყლით ან წყლის შემცველი შენარევეებით ჩამორეცხება.

შემდგომ ემულგირებადი პენიტრანტი წყალში ქმნის ემულსიას, რომელიც ასფუფთავებს საკონტროლო ობიექტის ზედაპირს, მისი წინასწარი ურთიერთქმედებისას პენიტრანტის საწმენდელთან.

უზრუნველყოფის პენიტრანტის თავისებურება მისი ლუმინესცენციის ან ფერის გაქრობაა სპეციალურად შერჩეული დამაცხრობელით.

სამუდავნები იყოფა მდგომარეობისა და ინდიკატორულ პენიტრანტთან ურთიერთმოქმედების ხასიითის მიხედვით.

ქიმიურად პასიური სამუდავნი ინდიკატორული პენიტრანტის კოლორისტულ (ფერად) თვისებებს არ ცვლის, ხოლო აქტიური სამუდავნის დანიშნულებაა ინდიკატორულ პენიტრანტთან ქიმიური ურთიერთმოქმედებით ფერის ცვლისა და ლუმინესცირების, ან რეაქციის პროდუქტების შექმნის შესაძლებლობის მქონე სპეციფიკური ინდიკატორული სურათით (კვალით) საკონტროლო ობიექტის ზედაპირის არამთლიანობის ინდუცირება.

მაგნიტური სამუდავნი, ჩვეულებრივ, სორბციული ან დიფუზიური, შეიცავს ფერომაგნიტურ ფხვნილს, რომელიც გამოავლენს დამაგნიტებელი საკონტროლო ობიექტის არამთლიანობებს ინდიკატორული პენიტრანტიდან მაგნიტური ფხვნილის ამოღებითა და მაგნიტურ ველში მისი დაფენით.

## 5.2. კაპილარული კონტროლის ჩატარების ორგანიზაცია

### ძირითადი ოპერაციები.

არარღვევადი კაპილარული კონტროლის ძირითადი ოპერაციები იყოფა შემდეგ ეტაპებად:

- ობიექტის მომზადება კონტროლისათვის;
- საკონტროლო ობიექტის დამუშავება დეფექტოსკოპიური მასალით;
- დეფექტების გამოვლენა;
- დეფექტების აღმოჩენა და კონტროლის შედეგების გაშიფვრა;
- საკონტროლო ობიექტის საბოლოო გაწმენდა.

კონტროლის ოპერაციის რეჟიმებს (ხანგრძლივობა, ტემპერატურა, წნევა) ადგენენ გამოყენებული დეფექტოსკოპიური ნაკრების, კონტროლის ობიექტის თავისებურებების და საძიებელი დეფექტების ტიპების, ასევე გამოყენებული აპარატურის კონტროლის პირობების მიხედვით.

ობიექტის მომზადება კონტროლისათვის გულისხმობს საკონტროლო ზედაპირის გასუფთავებას წინა კონტროლიდან დარჩენილი ლაქ-საღებავის ფენის, სარეცხი ხსნარების და დეფექტოსკოპიური მასალების მოცილებას, ასევე საკონტროლო ობიექტის შრობას.

საკონტროლო ობიექტის ზედაპირს წინასწარ ასუფთავებენ მექანიკური წესით; ქვიშის ჭავლის, საფანტის, კურკის ნამსხვრევის და სხვა გამწმენდი მასალების გამოყენებით ან ჭრით, მათ შორის ზედაპირის ხეხვით დამუშავებას, პოლირების და ჯაგრისით მოხეხვით

საკონტროლო ობიექტის საბოლოო გაწმენდისათვის იყენებენ გასუფთავების შემდეგ ხერხებს:

- ორგანული გამსხნელის ორთქლით;

• საკონტროლო ობიექტზე მოქმედი გამსხნელის გაწმენდას წყლისა და ორგანული გამსხნელების მოსაცილებლად, მათ შორის ჭავჭავური რეცხვით, ჩაძირვით, გაუღვნივით;

• ნარჩენებისა და დაბინძურების მოცილება ქიმიური რეაგენტების წყალხსნარების საშუალებით, საკონტროლო ობიექტის დაუზიანებლად;

• ელექტროქიმიური გაწმენდა ნარჩენებისა და დაბინძურების მოსაცილებლად ქიმიური რეაგენტების წყალხსნარებითა და ელექტრული დენის ერთდროული მოქმედებით;

• ულტრაბგერითი გაწმენდა ორგანული გამსხნელებით, წყლით ან ქიმიური ნაერთების წყალხსნარებით ულტრაბგერის ზემოქმედებისას ულტრაბგერითი კაპილარული ეფექტით. ულტრაბგერითი კაპილარული ეფექტი არის სითხის სიმაღლის დონისა და ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარის ანომალური ზრდა ულტრაბგერის მოქმედების კაპილარულ სივრცეში;

• ანოდურ-ულტრაბგერითი გაწმენდა ქიმიური რეაგენტების წყალხსნარებით ულტრაბგერისა და ელექტრული დენის ერთდროული მოქმედებისას;

• თბური გაწმენდა ტემპერატურაზე, რომელიც არ იწვევს საკონტროლო ობიექტის მასალის დაუშვებელ ცვლილებებს;

• სორბციული გაწმენდა სორბენტისა და ორგანული გამსხნელების ნარევის საშუალებით, გამშრალ და გაწმენდილ ზედაპირზე წასმით.

გაწმენდის აუცილებელ მეთოდებს, მათ შეთანხმებას საკონტროლო ობიექტის ზედაპირის სისუფთავის მოთხოვნებთან განსაზღვრავენ კონტროლის ტექნიკურ დოკუმენტაციაში. კონტროლის მგრძობიარობის მაღალი კლასის შემთხვევაში უპირატესობა ეძლევა არა მექანიკურ, არამედ გასუფთავების ქიმიურ მეთოდებს, მათ შორის ობიექტზე ულტრაბგერით და ელექტრული დენის ეფექტით ზემოქმედებას. ამ მეთოდების ეფექტურობა განპირობებულია გაწმენდი საშუალებების შედგენილობის, გაწმენდის რეჟიმების, მათი ურთიერთშეთანხმებისა და თანმიმდევრობის განსაზღვრის (შრობის ჩათვლით), ოპტიმალური არჩევით. მიღსადენი სისტემის კედლებში, ბალონებში, აგრეგატებში და ანალოგიურ ღრუ სივრცეებში შინაგანი წნევის მქონე, აირით ან სითხით სავსე ობიექტებში გამჭოლი დეფექტების ძიებისას შინაგან სიცარიელეს წინასწარ ათავისუფლებენ შიგთავსისაგან, ხოლო წნევას ატმოსფერულს უტოლებენ.

დეფექტოსკოპიური მასალით დამუშავების ეტაპი გულისხმობს დეფექტის ღრმულების ინდიკატორული პენეტრანტით დაფარვას, მისი ჭარბი რაოდენობის მოცილებას და გამამჟღავნებელი დაფარვას.

ინდიკატორული პენეტრანტით დაფარვისათვის გამოიყენება შემდეგი მეთოდები:

• კაპილარული - ინდიკატორული პენეტრანტით არამთლიანობის ღრუების შევსება, საკონტროლო ზედაპირის დასველებით, ჩაძირვით, ჭავლით, შეკუმშული ჰაერის, ან ინერტული აირის გაფრქვევით;

• ინდიკატორული პენეტრანტით არამთლიანობის ღრუების ვაკუუმური შევსება მათზე ატმოსფერულზე ნაკლები წნევით ზემოქმედებისას;

• ინდიკატორული პენეტრანტით არამთლიანობის ღრუების კომპრესორული შევსება მათზე ატმოსფერულზე მეტი წნევით ზემოქმედებისას;

• ინდიკატორული პენეტრანტით არამთლიანობის ღრუების ულტრაბგერითი შევსება, ულტრაბგერითი კაპილარული ეფექტის გამოყენებით;

• ინდიკატორული პენეტრანტით არამთლიანობის ღრუების დეფორმაციული შევსება საკონტროლო ობიექტზე ღრეკადი, ბგერითი სიხშირის, ტალღების ზემოქმედებისას;

გამჭოლი არამთლიანობის გამოვლენისათვის დასაშვებია პენეტრანტით დაიფაროს საკონტროლო ზედაპირის მოპირდაპირე ზედაპირი.

საკონტროლო ობიექტისა და ინდიკატორული პენეტრანტის ტემპერატურა, ასევე დეფექტების დაფარვის ხანგრძლივობა მოცემულია დეფექტოსკოპიური მასალისა და კონტროლის ობიექტის ტექნიკურ დოკუმენტაციაში.

ჭარბი რაოდენობის ინდიკატორულ პენეტრანტს საკონტროლო ობიექტის ზედაპირიდან მოაცილიან ან დააცხრობენ ერთ - ერთი აქ მოყვანილი მეთოდით:

- აუცილებელ შემთხვევაში საწმენდი შედგენილობის ან გამსხნელის დახმარებით ხელსაწმენდით გასუფთავებით;

- წყლის ნაკადით ჩამორეცხვით, სპეციალური სამწმენდი შედგენილობის ან მათი ნარევის საშუალებით; ჩაძირვით, ჭავლით ან გაფრქვევით;

- ქვიშის, საფანტის, კურკის ნამსხვრევების, ნახერხის ან სხვა ფხვიერი აბრაზიული მასალის ჰაერით დაბერვის საშუალებით;

- პენეტრანტზე ლუმინესცენციური ან ფერის დამაცხრობლის ზემოქმედებით.

ქვემოთ მოყვანილი მეთოდებით ახდენენ სამუდავის საკონტროლო ზედაპირზე დატანას:

- ჰაერით, უჰაეროდ ან ინერტული აირის ნაკადის მეთოდით სამუდავის გაფრქვევა;

- ელექტროსაფრქვეველით ელექტრულ ველში ჰაერის ნაკადით ან მექანიკურად;

- ფხვნილის მსგავსი გამამუდავებლისაგან საჰაერო დრუბელის შექმნით კამერაში მოთავსებული საკონტროლო ობიექტისათვის;

- საკონტროლო ობიექტის თხევად სამუდავში ჩაძირვით;

- შითხითი სამუდავის დასხურებით;

- სამუდავის ელექტრული დაფენით მასში საკონტროლო ობიექტის ჩაძირვით ელექტრული დენის ერთდროული მოქმედებისას;

- საკონტროლო ობიექტის ფხვნილის მსგავსი სამუდავის მოფრქვევით, გაპულვრით ან მოყრით;

- მწებარე ზედაპირით საკონტროლო ობიექტზე მიკრული სამუდავიანი ლენტური ფირის გახურებით.

თვითგამუდავებადი, ფილტვრადი და სხვა მსგავსი ინდიკატორული პენეტრანტების გამოყენებისას საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე სამუდავი არ დაიტანება.

დეფექტის კვალის გამუდავება წარმოადგენს დეფექტის არსებობის ადგილებში ნახატის წარმოშობის პროცესს, რისთვისაც ინდიკატორული კვალის გამუდავების ერთ - ერთ მეთოდს იყენებენ:

- საკონტროლო ობიექტის დაყოვნება ჰაერზე ინდიკატორული სურათის გამომჩენამდე;

- ობიექტის გაცხელების ტემპერატურისა და დაყოვნების დროის ნორმირება ნორმალური ატმოსფერული წნევის პირობებში;

- საკონტროლო ობიექტის ზედაპირზე ვაკუუმის ნორმირებული მნიშვნელობის შექმნა და დაყოვნება;

- ვიბრაციის საშუალებით ობიექტზე დრეკადეფორმაციული ზემოქმედება, ციკლური ან განმეორებადი სტატიკური დატვირთვით.

დეფექტების აღმოჩენა ინდიკატორულ კვალზე დაკვირვებისა და რეგისტრაციის მეთოდების შერწყმით ან მათი დამოუკიდებელი გამოყენებით მიიღწევა.

### **ინდიკატორული კვალის აღმოჩენის მეთოდები:**

- ვიზუალური აღმოჩენა, მათ შორის არამთლიანობის აღმოჩენი ოპერატორის ოპტიკური და ფოტოგრაფიული საშუალებების, ლუმინესცენციური, ფერადი, ლუმინესცენციურ - ფერადი და სიკაშკაშის მეთოდების გამოყენებით;

- ფოტოელექტრული აღმოჩენა და გარდაქმნა ინდიკაციის სხვადასხვა ლუმინესცენციურ, ფერად, ლუმინესცენციურ - ფერად და სიკაშკაშის მეთოდებით, ასევე რეგისტრაციის ირიბი საშუალებების გამოყენებით არამთლიანობის ხილულ ინდიკატორულ კვალში.

- სატელევიზიო აღმოჩენა, გარდაქმნა ანალოგურ ან დისკრეტულ ფორმად ინდიკაციის სხვადასხვა ლუმინესცენციურ, ფერად, ლუმინესცენციურ - ფერად და სიკაშკაშის მეთოდებით, არამთლიანობის ხილული ინდიკატორული კვალის შესაბამისი წარმოდგენით ეკრანზე, დისპლეიზე ან მაგნიტურ ფირზე.

- ირიბი ხერხებით სიგნალის ინსტრუმენტული აღმოჩენა თვალისათვის უხილავი არამთლიანობის ინდიკატორული კვალის ან არამთლიანობის შიგა სივრციდან ინდიკატორული პენეტრანტის სიგნალით;

- საკონტროლო ობიექტების საბოლოო გაწმენდას ახორციელებენ სამუდავების ერთი ან რამდენიმე ტექნოლოგიური ოპერაციით, აუცილებლობის შემთხვევაში ასევე იქცევიან ინდიკატორული პენეტრანტის ნარჩენების მოსაცილებლად;
  - აუცილებლობის შემთხვევაში წყლით ან ორგანული გამსხნელებით გაქვნილი რბილი ხელსაწმენდების გამოყენებით.
  - საკონტროლო ობიექტიდან წყლით ან ორგანული გამსხნელების აუცილებელი დანამატების და დამხმარე საშუალებების გამოყენებით მათ შორის ჯაგრისების, ფლანელის, სარეცხი ღრუბლების გამოყენებით გასუფთავება;
  - ობიექტის ულტრაბგერითი დამუშავება წყლით ან ორგანული გამსხნელებით აუცილებელი დანამატების გამოყენებით;
  - ობიექტის ანოდურ ელექტროქიმიური დამუშავება ქიმიური რეაგენტების ხსნარებით ელექტრული დენის ერთდროული ზემოქმედებისას;
  - სამუდავით დაფარული ობიექტის ფხვიერი აბრაზიული მასალის მაგ. ქვიშით, ფხვიერი მასალის ნამსხვრევებიანი ჰაერის ან ჰიდროჰავლის ნარევით გაწმენდა;
  - საკონტროლო ობიექტის გახურებით სამუდავის გამოწვა;
  - საკონტროლო ზედაპირიდან სამუდავიანი წებოვანი ფირის ლენტის აძრობა არამთლიანობის ინდიკატორული კვალის სურათით;
- ობიექტები, რომლებმაც გაიარეს კაპილარული კონტროლი ანტიკოროზიულ, დაცვას ექვემდებარებიან.

### 5.3. კონტროლის შედეგების მგრძობიარობა და შეფასება.

კაპილარული არარღვევადი კონტროლის მგრძობიარობა ეწოდება კაპილარული კონტროლის ხარისხს, რომელიც ხასიათდება კონტროლის საშუალებების ზღურბლური, კლასით და დიფერენციული მგრძობიარობით ცალ-ცალკე ან მათი გონივრული შეთანხმებით.

კაპილარული არარღვევადი კონტროლის მგრძობიარობის ზღურბლი არის განსაზღვრული სიგრძის ერთეულოვანი, მოცემული გეომეტრიული ან ოპტიკური პარამეტრების მქონე, ბზარის ტიპის კვალის არამთლიანობის გამოვლენა მოცემული ალბათობით. მგრძობიარობის ზედა ზღვარს შეესაბამება გამოვლენის უმცირესი გაბნევა (განშლა), ხოლო ქვედას—უდიდესი.

ინდიკატორული სურათის გეომეტრიული პარამეტრი არის ინდიკატორული კვალის სიგანის საშუალო მნიშვნელობის ფარდობა გამოვლენილი არამთლიანობის გაშლასთან.

ინდიკატორული სურათის ოპტიკური პარამეტრი არის ინდიკატორული კვალის სიკაშკაშის ცალკეული მნიშვნელობის ფარდობა ფონის სიკაშკაშის საშუალო მნიშვნელობასთან.

ზედაპირის ფონი არის დეფექტოსკოპიური მასალებით დამუშავებული საკონტროლო ობიექტის ზედაპირის უდეფექტო ზონაა.

კაპილარული არარღვევადი კონტროლის საშუალების დიფერენციული მგრძობიარობა – ინდიკატორული კვალის ოპტიკური ან გეომეტრიული პარამეტრის ცვლილების ფარდობაა მისი არამთლიანობის გამომწვევ სიგრძისა და სიღრმის ცვლილებასთან ერთეულოვანი ტიპის ბზარის გაშლასთან.

კაპილარული არარღვევადი კონტროლის მგრძობიარობის კლასი – განსაზღვრული სიგრძის ერთეულოვანი ბზარის უპირატესი გაშლის მნიშვნელობის დიაპაზონია კვალის გეომეტრიული და ოპტიკური პარამეტრების გამოვლენის მოცემული ალბათობით.

კონტროლის მგრძობიარობის კლასს განსაზღვრავენ გამოვლენილი დეფექტების მინიმალური ზომების მიხედვით. აუცილებლობის შემთხვევაში მიღწევად მგრძობიარობას განსაზღვრავენ ნატურალურ ობიექტებზე ან ხელოვნურ ნიმუშებზე ბუნებრივი ან იმიტირებული დეფექტებით, რომლის ზომებსაც მეტალოგრაფიული ან ანალიზის სხვა მეთოდებით აზუსტებენ.



## 6. სპექტრული ანალიზი

თანამედროვე მეცნიერება და ტექნიკა წარმოუდგენელია ნივთიერებათა ქიმიური შედგენილობის ცოდნის გარეშე, რაც ადამიანის შემოქმედების ობიექტია. ბუნებაში არსებული მინერალები, სხვა ბუნებრივი ნივთიერებები თუ ხელოვნურად მიღებული ახალი ნივთიერებები თუ მასალები, უპირველესად ხასიათდება ქიმიური შედგენილობის მიხედვით. სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში ტექნოლოგიური პროცესის სწორად წარმართვისათვის აუცილებელია საწყისი ნედლეულის, შუალედური და მზა პროდუქციის ზუსტი ქიმიური შედგენილობის ცოდნა.

ტექნიკისა და ტექნოლოგიების განვითარების ტემპები ახალ ახალ მოთხოვნებს უყენებს ნივთიერების ანალიზის მეთოდებს. ჯერ კიდევ სულ მცირე ხნის წინ შესაძლებელი იყო შეგუებულად ნივთიერებაში მინარევების  $10^{-2} - 10^{-3} \%$  არსებობას. XX საუკუნის მეორე ნახევრიდან ატომური მასალების გამოჩენამ და მისი წარმოების სწრაფმა ზრდამ, მათ შორის მტკიცე, ტემპერატურამდე და სხვა სპეციალური დანიშნულების ფოლადებისა და სხვა შენადნობების შექმნის აუცილებლობამ მოითხოვა ანალიზური მეთოდების სიზუსტის გაზრდა  $10^{-4} \div 10^{-6} \%$  -მდე, რადგან დადგინდა, რომ მინარევების ასეთი მცირე კონცენტრაციით არსებობაც კი, არსებითად ცვლის მასალის თვისებებს და ზოგიერთი ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობას. ბოლო დროს განვითარებული ნახევარგამტარული მასალების წარმოებამ, მიკრო და ნანო ტექნოლოგიების საწარმოო მასშტაბების განვითარების არნახულმა ტემპებმა მასალის სისუფთავეს და შესაბამისად ანალიზური მეთოდების მგრძობიარობას კიდევ უფრო მაღალი მოთხოვნა წაუყენა, ახლა უკვე სისუფთავის სიზუსტის მოთხოვნა განისაზღვრება  $10^{-7} - 10^{-9} \%$ -ით. მართალია მასალის სისუფთავისადმი ასეთი ზემოდადანი მოთხოვნა ცალკეულ შემთხვევებშია სავალდებულო, მაგრამ ანალიზის სიზუსტისადმი მოთხოვნა აუცილებელი გახდა მეცნიერებისა და ტექნიკის თითქმის ყველა სფეროში.

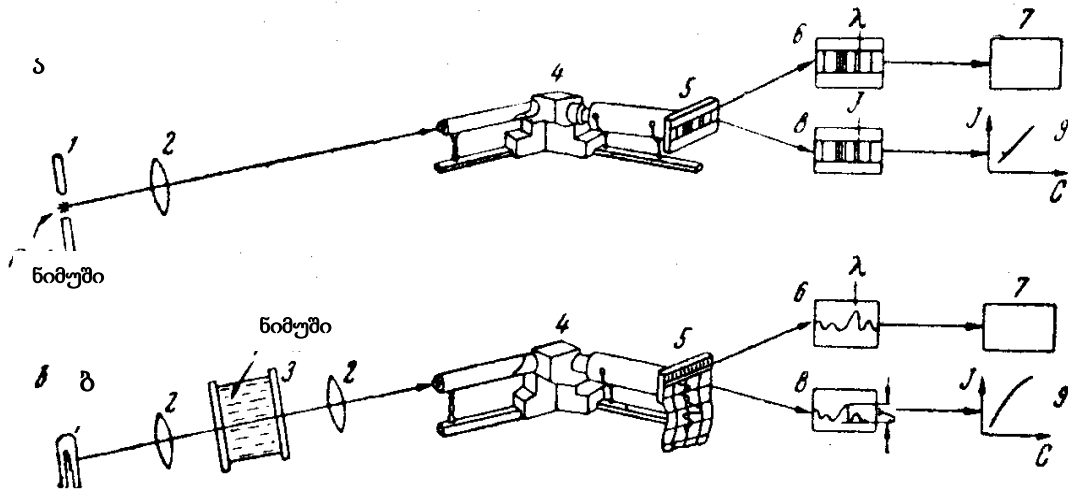
აღსანიშნავია, რომ ტექნოლოგიური პროცესებისათვის პოლიმერული მასალების ნარევის დასაშვები კონცენტრაციის დონე საწყის ნივთიერებაში - მონომერებში საკმაოდ მაღალი იყო, ხშირად პროცენტის მეთადი და პროცენტის მთელი ნაწილიც. ბოლო დროს ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ მრავალი მზა პოლიმერის ხარისხი მკვეთრად იცვლება მათი სისუფთავის მიხედვით. ამიტომ დღესდღეობით საწყის გაუჯერებელ ნაერთებსა და ზოგიერთ მონომერს ამოწმებენ მინარევების არსებობაზე, რომლის შემცველობა  $10^{-2} - 10^{-4} \%$ -ს არ უნდა აღემატებოდეს. გეოლოგიაში სულ უფრო ხშირად იყენებენ საბადოს დაზვერვის ჰიდროქიმიურ მეთოდებს. მისი წარმატებით გამოყენებისათვის აუცილებელია განისაზღვროს ბუნებრივ წყალში ლითონის მარილების კონცენტრაცია  $10^{-4} - 10^{-5} \%$  (გრ/ლ)-ით და უფრო ნაკლებითაც.

ანალიზის სიზუსტის, მგრძობიარობისა და მისი ჩატარების სისწრაფისადმი, ბოლო დროს, აირრდილი მოთხოვნები, რაც ახალი ტექნოლოგიური პროცესების დანერგვითაა გამოწვეული, ანალიზური მეთოდებისაგან მოითხოვს მაღალ მწარმოებლურობას და ცალკეული ოპერაციებისა თუ მთელი ანალიზის პროცესის ჩატარების ავტომატიზაციის შესაძლებლობას. მეცნიერებისა და ტექნიკის დღევანდელი მოთხოვნის დონეს ქიმიური ანალიზის მეთოდები ყოველთვის ვერ პასუხობს. ამიტომ პრაქტიკაში სულ უფრო ხშირად იყენებენ ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრის ფიზიკურ - ქიმიურ და ფიზიკურ მეთოდებს, რომელთაც გააჩნიათ მთელი რიგი დადებითი მახასიათებელი. ამ მეთოდთა შორის ერთ - ერთი მთავარი ადგილი უჭირავს სპექტრულ ანალიზს.

სპექტრული ანალიზის მაღალი გარჩევადობის გამო შესაძლებელია ერთი და იმავე პრინციპული სქემით, ერთ და იმავე ხელსაწყოებით ჩავატაროთ სხვადასხვა ნივთიერების ანალიზი, ამასთან ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში შევარჩიოთ ხელშემწყობი პირობები მაქსიმალური სიჩქარის, მგრძობიარობისა და სიზუსტის მისაღებად. ამიტომ, სხვადასხვა ობიექტის ანალიზისათვის საჭირო ანალიზური, მეთოდების სიმრავლის მიუხედავად, ყველა დაფუძნებულია ერთი საერთო პრინციპული სქემის გამოყენებაზე.

სპექტრული ანალიზის ჩატარების სქემა. სპექტრული ანალიზის ჩატარებას საფუძვლად უდევს საანალიზო ნივთიერების მიერ გამოსხივებული ან შთანთქმული

სინათლის აგებულების შესწავლა, ამიტომ სპექტრული ანალიზის მეთოდები იყოფა ორ ემისიურ (ემისია - გამოშვება) და აბსორბციულ (აბსორბცია - შთანთქმა) მეთოდებად. თავდაპირველად განვიხილოთ ემისიური სპექტრული ანალიზის პრინციპული სქემა (ნახ 21.ა).



სურ.21. სპექტრული ანალიზის პრინციპული სქემა:

ა - ემისიური; ბ - აბსორბციული;

1 - სინათლის წყარო; 2 - გამანათებელი კონდენსორი (სინათლის გამაძლიერებელი); 3 -ღრმული საანალიზო ნიმუშისათვის; 4 - სპექტრული ანალიზის აპარატი; 5 - სპექტრის რეგისტრაცია; 6-სპექტრული ხაზების ან ზოლების ტილდის სიგრძის განსაზღვრა; 7 -ნიმუშის ხარისხობრივი ანალიზი ცხრილებისა და ატლასების საშუალებით; 8 - ხაზების ან ზოლების ინტენსივობის განსაზღვრა; 9 - ნიმუშის რაოდენობრივი ანალიზი დასაგრადუირებელი გრაფიკის საშუალებით.

იმისათვის, რომ საკვლევი ნივთიერება ასხივებდეს სინათლეს, აუცილებელია მას გადავცეთ დამატებითი ენერგია. ამ შემთხვევაში მისი ატომები და მოლეკულები გადადიან აღგზნებულ მდგომარეობაში. საწყის მდგომარეობაში დაბრუნებისას ისინი გასცემენ ჭარბ ენერგიას სინათლის სახით. მყარი სხეულებისა და სითხეების სინათლის ხასიათი ნაკლებადაა დამოკიდებული ქიმიურ შედგენილობაზე, ამიტომ მათი გამოყენება ანალიზისათვის შეუძლებელია. განსხვავებული მახასიათებლები გააჩნია აირების გამოსხივებას, ისინი საანალიზო ნიმუშის შედგენილობითაა განპირობებული. ამიტომ ემისიური ანალიზისათვის ნივთიერების აღძვრის წინ საჭიროა მისი აორთქლება.

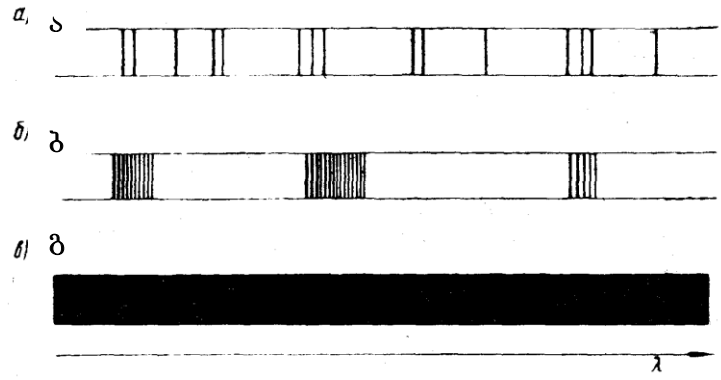
ემისიური სქემის გამოყენებისას აორთქლება და აღგზნება ხორციელდება სინათლის წყაროში, რომელშიც მოთავსებულია საანალიზო ნიმუში. სინათლის წყაროდ გამოიყენება მაღალტემპერატურული ალი ან აირებში სხვადასხვა სახის ელექტრული განმუხტვა: რკალური, ნაპერწკლური და სხვა. საჭირო პარამეტრების მქონე ელექტრული განმუხტვის მიღებას ემსახურება გენერატორი.

სინათლის წყაროში რამდენიმე ათასი და ათეულიათასი გრადუსი ტემპერატურა იწვევს ნიმუშის შემადგენელი უმეტესი ნივთიერებების მოლეკულების დაშლას ატომებად. ამიტომ ემისიური მეთოდები ძირითადად გამოიყენება ატომური ანალიზისათვის და მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში მოლეკულური ანალიზის ჩასატარებლად.

სინათლის წყაროს გამოსხივების სპექტრი ნიმუშის შედგენილობაში შემავალი ყველა ელემენტის ატომების გამოსხივების ჯამია. ანალიზის ჩასატარებლად აუცილებელია თითოეული ელემენტის გამოსხივება. ამის განხორციელება შესაძლებელია ოპტიკური ხელსაწყო-სპექტრული აპარატის გამოყენებით, რომელშიც სხვადასხვა ტალღის სიგრძის სინათლის სხივები ერთმანეთისაგან გამოიყოფა. სინათლის ტალღის სიგრძის მიხედვით დალაგებულ გამოსხივებას, სინათლის სპექტრი ეწოდება.

სპექტრული აპარატები ისეა მოწყობილი, რომ ხელსაწყოში შემავალი თითოეული ტალღის სიგრძის სინათლის რხევა, ქმნის ერთ ხაზს. რამდენი განსხვავებული ტალღაც მონაწილეობდა სინათლის წყაროს გამოსხივებაში, იმდენი ხაზი მიიღება

სპექტრულ აპარატში. ყოველი ზოლი შექმნილია ახლოს განლაგებული ხაზების მიერ. (სურ.22.)



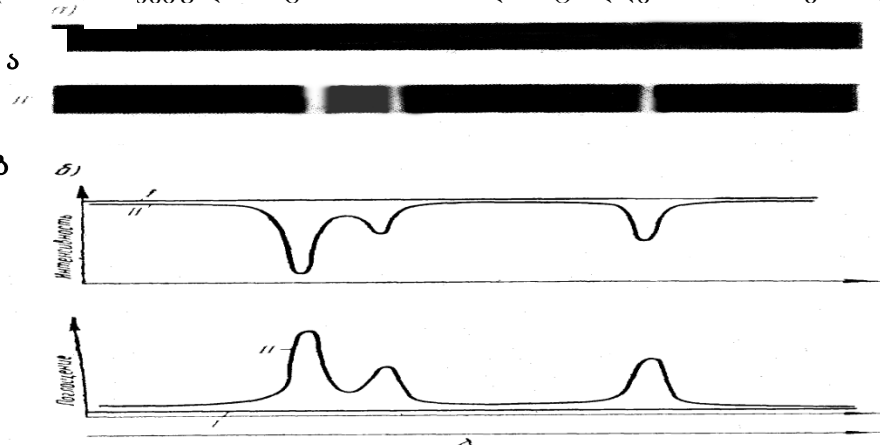
სურ.22. სპექტრის ტიპები

ა. ხაზოვანი; ბ. ზოლოვანი (ჩანს ზოლის შემადგენელი ცალკეული ხაზები); გ. მოლიანი

სპექტრულ აპარატში სპექტრად დაშლილი სინათლის სხივზე შესაძლებელია როგორც ვიზუალური დაკვირვება ისე მისი ფოტოგრაფირება და რეგისტრაცია. შესაბამისად დანიშნულების მიხედვით გამოყოფენ სპექტრულ აპარატებს სპექტროსკოპებს და სტილოსკოპებს – ვიზუალური დაკვირვებისათვის, სპექტროგრაფებს – სპექტრის ფოტოგრაფირებისათვის, მონოქრომატორებს – სპექტრიდან ერთი ტალღის სიგრძის სინათლის სხივის მდგენელების გამოყოფისათვის შემდგომში მისი ელექტრონული წესით დაფიქსირების შესაძლებლობით.

ხარისხობრივი ანალიზის ჩატარებისას აუცილებელია განისაზღვროს საანალიზო ნიმუშის რომელ ელემენტს შეესაბამება სპექტრის ესა თუ ის ხაზი, რისთვისაც განსაზღვრავენ მის ტალღის სიგრძეს და სპეციალური ცხრილების საშუალებით ადგენენ საკვლევი ნიმუშის სახეს.

აბსორბციული სპექტრული ანალიზის ჩატარებისას ნივთიერების სპექტრი შედგება იმ სიგრძის ტალღებისგან, რომლის ინტენსივობა შემცირდა მასში სინათლის სხივის გავლისას გარკვეული სიგრძის სინათლის ტალღების შთანთქმის გამო.



სურ.23. შთანთქმის სპექტრის გამოსახულება:

ა- ფოტოგრაფიული; ბ – გრაფიკული.

I - სინათლის წყაროს შთანთქმის სპექტრი; II - იმავე გამოსხივების სპექტრი საანალიზო ნიმუშის გავლის შემდეგ.

შთანთქმის სპექტრი სპექტრული აპარატების – სპექტროფოტომეტრების საშუალებით მიიღება, მის შედგენილობაში შედის მოლიანი სინათლის წყარო, მონოქრომატორი და სარეგისტრაციო ხელსაწყო.

დანარჩენ შემთხვევაში აბსორბციული და ემისიური ანალიზის ჩატარების სქემები ერთმანეთს ემთხვევა.

ამგვარად, სპექტრული ანალიზი გამოსხივებისა და შთანთქმის სპექტრების მიხედვით შეიცავს შემდეგ ეტაპებს:

საანალიზო ნიმუშის სპექტრის მიღება;

სპექტრული ხაზების ან ზოლების ტალღის სიგრძის განსაზღვრა ხორციელდება მიღებული სპექტრის შედარებით ცხრილების ან ატლასის საშუალებით მოცემულ მონაცემებთან, რითაც ადგენენ რომელი ელემენტიან ნაერთია საანალიზო ნიმუში ე.ი. განსაზღვრავენ ნიმუშის ხარისხობრივ შედგენილობას.

შემდეგ ეტაპზე ცალკეული ელემენტებისა და ნაერთების სპექტრული ხაზების ან ზოლების ინტენსივობის გაზომვით, განისაზღვრება მათი კონცენტრაცია საანალიზო ნიმუშში ეტალონური ნიმუშების მიხედვით წინასწარ აგებული დასაგრადუირებელი გრაფიკების საშუალებით, ე.ი. განისაზღვრება ნიმუშის რაოდენობრივი შედგენილობა.

სპექტრული ანალიზის მთელი პროცესი შედგება, რამდენიმე ეტაპისაგან. ისინი შეიძლება შევიწავლოთ თანმიმდევრობით, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, ხოლო შემდეგ განისაზღვროს მათ შორის ურთიერთკავშირი.

## **6.1. სპექტრული ანალიზის ძირითადი მახასიათებლები და მისი გამოყენების სფერო**

სპექტრული ანალიზის საშუალებით, როგორც ვნახეთ, შესაძლებელია დადგინდეს ნივთიერების როგორც ატომური (ელემენტები), ასევე მოლეკულური შედგენილობა. სპექტრული ანალიზი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საანალიზო ნიმუშის ცალკეული კომპონენტების კონცენტრაციის თვისებრივი და რაოდენობრივი მაჩვენებლები.

ქიმიური შედგენილობით ერთმანეთთან ახლოს მდგომი ნივთიერებები, რომელთა განსხვავება ძნელია ან საერთოდ შეუძლებელი ქიმიური ანალიზით, ადვილად შეიძლება განვასხვავოთ სპექტრული ანალიზით.

ამჟამად ატომური სპექტრული ანალიზის თვისებრივი და რაოდენობრივი მეთოდები, რომელთაც ფართო პრაქტიკული გამოყენება აქვთ, მნიშვნელოვნად უკეთაა დამუშავებული, ვიდრე მოლეკულური. ატომური სპექტრული ანალიზი გამოიყენება სხვადასხვა განსხვავებული ობიექტების ანალიზისათვის. მისი გამოყენების სფერო ძალიან ფართოა: შავი მეტალურგია, მანქანათმშენებლობა, გეოლოგია, ქიმია, ბიოლოგია, ასტროფიზიკა და მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვა მრავალი დარგი.

აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ პერიოდში მკვეთრად გაიზარდა მოლეკულური სპექტრული ანალიზის მოცულობა და პრაქტიკული გამოყენების სფერო, რაც უპირველეს ყოვლისა დაკავშირებულია ამ მეთოდისათვის აუცილებელ სპექტრულ - ანალიზური აპარატურის გამოშვებასთან. მოლეკულურ - სპექტრული ანალიზის მეთოდის გამოყენების სფერო ძირითადად მოიცავს ორგანულ ნივთიერებებს, თუმცა მისი გამოყენება ასეთივე წარმატებით შეიძლება არაორგანული ნივთიერებების სპექტრული ანალიზის ჩასატარებლადაც ისეთ სფეროებში როგორცაა ნავთობგადამამუშავებელი, ქიმიური და ქიმიურ - ფარმაცევტული წარმოებები.

სპექტრული ანალიზის მგრძობიარობა, როგორც წესი, ძალიან მაღალია. სპექტრული მეთოდებით აღმოსაჩენი და გასაზომი ნივთიერების მინიმალური კონცენტრაცია, მერყეობს ფართო დიაპაზონში, იგი დამოკიდებულია საანალიზო ნიმუშის თვისებებსა და შედგენილობაზე. ანალიზის პირდაპირი მეთოდით, შედარებით ადვილად მიიღწევა ლითონების უმეტესობისა და მრავალი სხვა ელემენტის  $10^{-3}$ – $10^{-4}$  % მგრძობიარობა, ხოლო ზოგიერთი ნივთიერებისათვის  $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  %. მხოლოდ განსაკუთრებით არახელსაყრელი პირობების არსებობისას მგრძობიარობა შეიძლება შემცირდეს  $10^{-1}$  –  $10^{-2}$  %-მდე. ნიმუშის წინასწარი გასუფთავება მინარევებისაგან საშუალებას იძლევა მკვეთრად გაიზარდოს (ხშირად ათასჯერ) ანალიზის მგრძობიარობა.

ატომური სპექტრული ანალიზის მაღალი მგრძობიარობის გამო იგი ხშირად გამოიყენება სუფთა და განსაკუთრებით სუფთა ლითონების, გეოქიმიისა და ნიადაგმცოდნეობაში სხვადასხვა ელემენტის მათ შორის იშვიათი ელემენტების, ატომური და ნახევარგამტარულ მასალების მიკროკონცენტრაციის განსაზღვრისათვის.

სხვადასხვა ნივთიერების მოლეკულური სპექტრული ანალიზის მგრძობიარობა იცვლება კიდევ უფრო ფართო ზღვრებში. ხშირ შემთხვევაში საკმაოდ ძნელია ამოცნობა ნივთიერების რომელის შემცველობა საანალიზო ნიმუშში შეადგენს

პროცენტს ან პროცენტის მეათედ ნაწილებს, მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში მოლეკულური სპექტრული ანალიზის მგრძობიარობა  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  %-ს აღწევს.

ატომური სპექტრული ანალიზის სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებულია საანალიზო ობიექტის შედგენილობისა და სტრუქტურაზე. სტრუქტურისა და შედგენილობის მიხედვით ახლოს მდგომი ნიმუშებისათვის შეიძლება ადვილად იქნეს მიღწეული ანალიზის მაღალი სიზუსტე. განსასაზღვრავ სიდიდესთან მიმართებაში ცდომილება არ გადააჭარბებს 1-3%-ს. ამიტომ ლითონებისა და შენადნობებისათვის სერიული სპექტრული ანალიზი საკმაოდ ზუსტია. მეტალურგიასა და მანქანათმშენებლობაში სპექტრული ანალიზი გახდა ძირითადი ანალიზური მეთოდი.

მნიშვნელოვნად ნაკლებია იმ ნივთიერების ანალიზის სიზუსტე, რომლის შედგენილობა და სტრუქტურა მკვეთრად იცვლება ნიმუშიდან ნიმუშამდე, მაგრამ ამ მიმართულებით ბოლო დროს მდგომარეობა შესამჩნევად გაუმჯობესდა. შესაძლებელი გახდა რაოდენობრივი სპექტრული ანალიზის ჩატარება მადნის, მინერალების, წიაღისეულის, შლაკების და მსგავსი ობიექტებისათვის. თუმცა ამოცანა ბოლომდე ჯერ კიდევ არ არის გადაჭრილი, არალითონური ნიმუშების რაოდენობრივი ანალიზი ამჟამად ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის მრავალ დარგში: მეტალურგიაში, გეოლოგიაში, ცეცხლგამძლე მასალების, შუშისა და სხვა სახის პროდუქციის წარმოებაში.

ატომურ სპექტრულ ანალიზში ნივთიერების შედგენილობის განსაზღვრის ფარდობითი ცდომილება ნაკლებადაა დამოკიდებული კონცენტრაციაზე. ის თითქმის მუდმივი რჩება მცირე მინარევების თუ მათი მაღალი კონცენტრაციის დროს ნიმუშის ძირითადი კომპონენტების განსაზღვრისას. ქიმიური ანალიზის მეთოდების სიზუსტე მკვეთრად მცირდება მინარევების განსაზღვრისას. ამიტომ დაბალი კონცენტრაციის დროს ატომური სპექტრული ანალიზი ბევრად ზუსტია ქიმიურ ანალიზთან შედარებით. განსასაზღვრავი ნივთიერების საშუალო კონცენტრაციის დროს (0,1—1%) ორივე მეთოდის სიზუსტე დაახლოებით თანაბარია, მაგრამ მაღალი კონცენტრაციის პირობებში ქიმიური ანალიზის სიზუსტე, როგორც წესი, უფრო მაღალია. მოლეკულური სპექტრული ანალიზი უფრო მაღალი სიზუსტის შედეგებს იძლევა, ვიდრე ატომური და სიზუსტით არ ჩამოუვარდება ქიმიურ ანალიზს მაღალი კონცენტრაციის დროს.

სპექტრული ანალიზის სიჩქარე საგრძობლად აჭარბებს სხვა მეთოდებით ჩატარებული ანალიზის სიჩქარეს, რადგან სპექტრული ანალიზის ჩატარებისას არ არის აუცილებელი ნიმუშის წინასწარი დაყოფა კომპონენტებად. ამას გარდა თვით ანალიზი ძალიან სწრაფად სრულდება, მაგალითად სპექტრული ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით რთულ ნიმუშში რამდენიმე შემადგენელი კომპონენტის რაოდენობრივ განსაზღვრას სულ რამდენიმე წუთი სჭირდება ნიმუშის ლაბორატორიაში მიტანიდან სრული რეზულტატის მიღებამდე. ანალიზის ხანგრძლივობა, რა თქმა უნდა, იზრდება, როდესაც საჭიროა სიზუსტისა და მგრძობიარობის გაზრდა ამ დროს აუცილებელია ნიმუშის წინასწარი დამუშავება.

სპექტრული ანალიზის ჩატარების მნიშვნელოვან სისწრაფესთან პირდაპირ კავშირშია მისი წარმადობა, რაც მეტად მნიშვნელოვანია მასობრივი ანალიზის ოპერაციების ჩატარებისას. მაღალი წარმადობის რეაქტივებისა და სხვა მასალების მცირე ხარჯის გამო ერთი ანალიზის ღირებულება გაცილებით ნაკლებია ვიდრე ტრადიციული მეთოდებით ჩატარებული ანალიზისა, მიუხედავად მნიშვნელოვანი საწყისი კაპიტალდაბანდებისა რასაც მოითხოვს სპექტრული ანალიზისათვის საჭირო აღჭურვილობის შექმნა. უფრო მეტიც, როგორც წესი, რაც მეტია წინასწარი დანახარჯები და რთულია ნიმუშის წინასწარი მომზადების მეთოდიკა, მით უფრო სწრაფი და იაფია მასობრივი ანალიზის ჩატარების ღირებულება.

თავისი არსით სპექტრული ანალიზი აპარატურული მეთოდი. თანამედროვე აპარატურის გამოყენებისას სპექტროსკოპისტის ჩარევის საჭიროება საკმაოდ იშვიათია. დადგენილია, რომ ეს დარჩენილი ოპერაციები შესაძლებელია იყოს ავტომატიზებული, რაც საშუალებას გვაძლევს მივუახლოვდეთ ნივთიერების ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრის სრული ავტომატიზაციის დონეს.

სპექტრული ანალიზის მეთოდი უნივერსალურია. მისი საშუალებით შესაძლებელია ამოვიცნოთ სხვადასხვა მყარი, შითხითი და აირისებრი საანალიზო ობიექტის შემადგენელი პრაქტიკულად ნებისმიერი ელემენტი და ნაერთი.

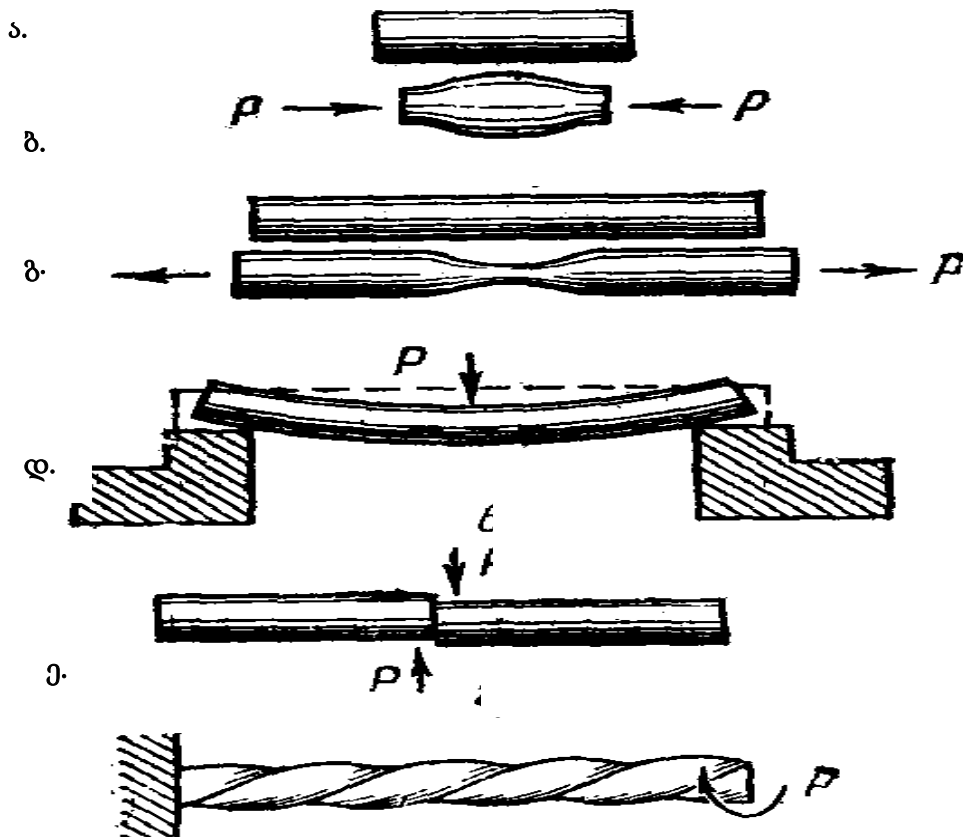
სპექტრულ ანალიზს ახასიათებს მაღალი გარჩევადობა, რაც ნიშნავს, რომ რთული ნიმუშის პრაქტიკულად ყოველი ნივთიერება შეიძლება იქნეს განსაზღვრული მისი დაყოფის გარეშე.

## 7. მექანიკური გამოცდები

მასალის მექანიკურ თვისებებს უწოდებენ მის უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს დეფორმაციას (ფორმისა და ზომების შეცვლა) და გარე დატვირთვის ზემოქმედებით გამოწვეულ ნგრევას. ასეთ თვისებებს განეკუთვნება სიმტკიცე, პლასტიკურობა, სიმაგრე, სიბლანტე (დარტყმითი), დადლილობა, დენადობა.

დეფორმაციას, რომელიც დატვირთვის მოხსნის შემდეგ ქრება (მასალა იბრუნებს პირვანდელ ფორმას, მდგომარეობას), უწოდებენ დრეკად დეფორმაციას. დეფორმაციას, რომელიც დატვირთვის მოხსნის შემდეგ შენარჩუნდება, ნარჩენ დეფორმაციას უწოდებენ.

ნიმუშზე ან ნაკეთობაზე ძალის ზემოქმედების ხასიათზე დამოკიდებულებით განასხვავებენ კუმშვის, ჭიმვის, ღუნვის გადაადგილების (ჭრის), და გრეხვის დეფორმაციებს სურ.24.



სურ.24. დეფორმაციის სახეები დატვირთვის ძალის მოქმედების მიმართულების მიხედვით: ა. კუმშვის; ბ. ჭიმვის; გ. ღუნვის; დ. გადაადგილების (ჭრის); ე. გრეხვის.

მასალის მექანიკური თვისებების განსაზღვრის მიზნით სპეციალურ ნიმუშს ან მზა ნაკეთობას გამოცდებს უტარებენ მოცემული მასალისა და ნაკეთობის მიმართ სტანდარტებისა და სხვა ნორმატიულ - ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნების მიხედვით. ნიმუშს შეიძლება ჩაუტარდეს სტატიკური გამოცდა, როდესაც ნიმუშზე მოქმედებს მუდმივი ან მდოვრედ ცვლადი დატვირთვა, დინამიკური—როდესაც ნიმუშზე მოქმედებს დროში სწრაფად ცვლადი დატვირთვა (დარტყმა, ვიბრაცია), და განმეორებით-ცვლადი (დადლითი)—როდესაც დატვირთვა ნიმუშზე მრავალჯერ იცვლება როგორც სიდიდით, ისე მიმართულებით. მექანიკური ზემოქმედების შეფასება ხდება დაძაბულობის რიცხვითი მნიშვნელობებით.

დაძაბულობა არის შინაგანი ძალების ზომა, რომელიც ნიმუშში აღიძვრება გარე ზემოქმედებით (ძალა, დატვირთვა). დატვირთვის შეფასება ხორციელდება დაძაბულობის მიხედვით, რომელიც დეფორმირებული სხეულის ზომებზე არ არის დამოკიდებული.

დაძაბულობას, რომელიც ნიმუშის ღერძის გასწვრივ მოქმედებს, ნორმალური ეწოდება და აღინიშნება  $\sigma$ -თი. ნორმალური დაძაბულობის ერთეულია პასკალი (Pa), რომელიც ნიმუშის ღერძის გასწვრივ მიქმედი ერთი ნიუტონი (N) ძალის (P) ზემოქმედებაა ერთ კვადრატულ მეტრ ფართობზე (S):

$$\sigma = P/S.$$

ნორმალური დაძაბულობები მოქმედი დაატვირთვების მიმართულების მიხედვით არსებობს კუმშვის (სურ.24.ა) ან ჭიმვის (სურ.24.ბ).

დაძაბულობას რომელიც აბსცისთა ღერძის მართობულად მოქმედებს ეწოდება მხები დაძაბულობა და აღინიშნება  $\tau$ -თი. მისი ზემოქმედებით წარმოიშობა ჭრის დეფორმაცია (სურ.24.დ).

დაძაბულობებს, რომელთა დადგენა ხორციელდება სპეციალურ მანქანებზე მექანიკური ნიმუშების გამოცდის შედეგების მიხედვით, იყენებენ მანქანათა ნაწილების სიმტკიცის გაანგარიშებისას.

დეტალზე მოქმედი ძალა და დატვირთვა მათში წარმოშობს დაძაბულობებს, რომლებიც, თავის მხრივ, იწვევენ დეტალის დეფორმაციას. მაგალითად, საავტომობილო ამწის ბაგირი ტვირთის აწევისას განიცდის ჭიმვის დაძაბულობის ზემოქმედებას, რაც ჭიმვის დეფორმაციის წარმოშობის მიზეზია. კუმშვის დაძაბულობის ზემოქმედებით კუმშვის დეფორმაციას განიცდის ჩარხის დგარები და ფუნდამენტები, საყრდენი კოლონები და ტრაქტორებისა და ტანკების მუხლუხა საგორავები. ტვირთის აწევისას საავტომობილო ან კოშკურა ამწის ისარში აღიძვრება ღუნვის დაძაბულობა (სურ.24.გ), რომელიც იწვევს ისარის დეფორმაციას. ღუნვის დაძაბულობას განიცდის საყრდენი კონსტრუქცია, რომელზედაც განლაგებულია ტვირთი, მაგალითად რელსები, რომელზედაც დგას მატარებლის შედგენილობა ან კოშკურა და ხიდურა ამწე.

ჭრის დაძაბულობა მოქმედებს (სურ.24.დ) და შესაბამისად ჭრის დეფორმაციაზე მუშაობენ მოქლონური შეერთებები.

გრეხის დაძაბულობა იწვევს გრეხის დეფორმაციას (სურ.24.ე) მაგალითად ჭანჭიკზე ქანჩის მოჭერისას.

სიმტკიცე არის მასალის უნარი, დაზიანების გარეშე მიიღოს, შინაგანი დაძაბულობისა და დეფორმაციის გამომწვევი, სხვადასხვა სახის დატვირთვები. გარე ზემოქმედების ძალების მოქმედების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ სიმტკიცეს გაჭიმვის, შეკუმშვის, ღუნვის, გრეხვის სიბლანტის და დაღლის მიმართ.

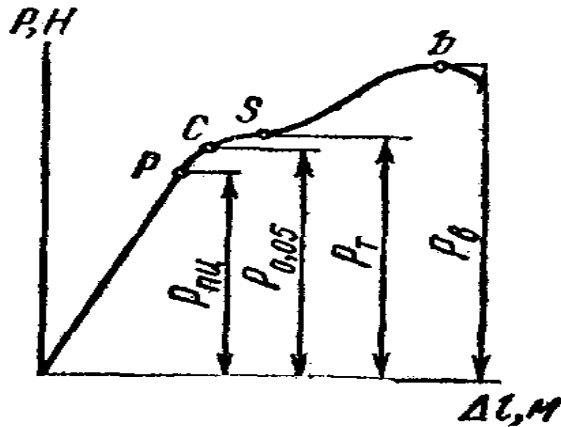
გაჭიმვის მიმართ სიმტკიცის განსაზღვრა - მასალის მექანიკური გამოცდის ყველაზე მნიშვნელოვანი და გავრცელებული სახის გამოცდაა. მასალის გამოცდა ჭიმვაზე ტარდება საერთაშორისო სტანდარტებთან ჰარმონიზებული ნორმატიული დოკუმენტაციის ГОСТ 12004-81, ГОСТ 1497-73 მიხედვით, რომელთა მიხედვითაც განსაზღვრული ფორმისა და ზომის ნიმუშებს გამოსცდიან სპეციალურ გამჭიმავ (გამწვევტ) მანქანაზე. D დიამეტრის სტანდარტული ნიმუშს (სურ.25) თავაკებით ამაგრებენ მანქანის მომჭერებში და მუდმივი სიჩქარით იწყებენ მის დატვირთვას. ზრდადი დატვირთვის შედეგად ნიმუში იჭიმება მანამ, სანამ წვევტის წერტილის დიამეტრი შემცირდება  $d_0$  სიდიდემდე.



სურ.25. ნიმუშის გამოცდა გაჭიმვის მიმართ



გამოცდის მიმდინარეობისას ავტომატურად ხდება გაჭიმვის დიაგრამის რეგისტრაცია (სურ.26), რომელიც წარმოადგენს ნიმუშის სიგრძის  $\Delta l$  ცვლილებას მასზე მოდებული დატვირთვის მიხედვით.



სურ.26. მცირენახშირბადოვანი ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამა

დიაგრამაზე გაჭიმვის  $p, c, s, b$  წერტილების განსაზღვრა სიმტკიცის ყველაზე მნიშვნელოვან მახასიათებლებს ასახავს ესენია: პროპორციულობის ზღვარი, დრეკადობის, დენადობის, სიმტკიცის პირობითი ზღვრები.

პროპორციულობის ზღვარი  $\sigma_p$  ( $p$  წერტილი დიაგრამაზე) არის დაბაბულობის უდიდესი მნიშვნელობა, რომელიც აღიძვრება  $p_p$  დატვირთვის ზემოქმედებით, დეფორმაციის ამ მნიშვნელობამდე დატვირთვის პირდაპირპროპორციულად იზრდება. ამასთან ნიმუშში აღიძვრება მხოლოდ დრეკადი დეფორმაციები. დატვირთვის შემდგომი ზრდისას ნიმუშის დეფორმაცია გადავა ნარჩენი დეფორმაციის ზონაში.

დრეკადობის პირობითი ზღვარი  $\sigma_{0.05}$  (დიაგრამაზე  $c$  წერტილი) არის დაბაბულობა, რომელიც აღიძვრება  $P_{0.05}$  დატვირთვის ზემოქმედებით, როდესაც გამოსაცდელი ნიმუში იღებს საწყისი სიგრძის  $0,05\%$  ნარჩენ წაგრძელებას. პრაქტიკულად დრეკადობის ზღვარი ძალიან ახლოსაა პროპორციულობის ზღვართან.

დენადობის პირობითი ზღვარი  $\sigma_T$  - (დიაგრამაზე  $s$  წერტილი) არის  $P_T$  დატვირთვით აღძრული, როდესაც ნარჩენი წაგრძელება მიაღწევს მოცემულ მნიშვნელობას, ჩვეულებრივ,  $0,2\%$ , ზოგჯერ  $0,1 - 0,3\%$ -სა და მეტს. აღნიშნულის გათვალისწინებით დენადობის პირობითი ზღვარი არის  $-0,1, -0,2, -0,3$  და ა.შ. შესაბამისად, დენადობის პირობითი ზღვარი განსხვავდება დრეკადობის პირობითი ზღვრისაგან მხოლოდ ნარჩენი წაგრძელების მოცემული მნიშვნელობით. დენადობის პირობითი ზღვარი შეესაბამება დაბაბულობას, როდესაც ხდება ლითონის პლასტიკურ დეფორმაციაზე უფრო სრული გადასვლა.

სიმტკიცის პირობითი ზღვარი  $\sigma_b$  - (დიაგრამაზე  $b$  წერტილი) - პირობითად არის უდიდესი ძალა და აღიძვრება  $p_b$  დატვირთვის ზემოქმედებით, როდესაც ხორციელდება ნიმუშის თანაბარი დეფორმაცია მთელ სიგრძეზე.  $s$  წერტილის შემდეგ გაჭიმვის დიაგრამის  $sb$  მონაკვეთზე დატვირთვის შემდგომი ზრდისას ნიმუშში ვითარდება ინტენსიური პლასტიკური დეფორმაცია, რომელიც გრძელდება  $b$  წერტილამდე თანაბრად მთელ სიგრძეზე.  $b$  წერტილში, მცირე მონაკვეთზე, იწყება ნიმუშის განივი კვეთის მკვეთრი შემცირება ე.წ. ყელის წარმოქმნით.

სიმტკიცის ზღვარი გამოითვლება ფორმულით

$$\sigma_b = p_b S_0.$$

სადაც:  $\sigma_b$  - მასალის სიმტკიცის ზღვარია  $Pa$  (პასკალი),  $p_b$  - დატვირთვა  $b$  წერტილში,  $N$ (ნიუტონი);  $S_0$  - ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი გამოცდამდე,  $m^2$ .

სიმტკიცის მახასიათებლებს იყენებენ მანქანის ნაწილების სიმტკიცის გამოთვლისას. პროპორციულობის, დრეკადობის და დენადობის ზღვრების მნიშვნელობების პრაქტიკული გამოყენება დაიყვანება დაბაბულობის რიცხვითი მნიშვნელობების დადგენამდე. ზემოქმედების ძალების ზღვრული მნიშვნელობაზე ნაკლები სიდიდის დაბაბულობის მოქმედების შედეგად შესაძლებელია მანქანის

დეტალები მუშაობდნენ ნარჩენი დეფორმაციის  $\sigma_{0.05}, \sigma_{0.2}$  და სვა. ან დსაშვები დეფორმაციის ფარგლებში  $\sigma_{0.05}, \sigma_{0.2}$  და სვა.

**პლასტიკურობა** არის მასალის თვისება გარე ძალის ზემოქმედებით, განადგურების გარეშე, შეიცვალოს ფორმა და ზომები და შეინარჩუნოს ნარჩენი პლასტიკური დეფორმაცია ამ ძალის ზემოქმედების მოხსნის შემდეგ. გამოსაცდელი ობიექტის პლასტიკურ თვისებებს განისაზღვრება გაჭიმვის მიმართ გამოცდის დროს. დატვირთვის ზემოქმედებით ნიმუში წაგრძელებულია, ამასთან მისი განივი კვეთი შესაბამისად მცირდება. გამოცდისას რაც უფრო მეტად წაგრძელებულია ნიმუში, მით უფრო პლასტიკურია მასალა. მასალის პლასტიკურობის მახასიათებელი მაჩვენებელია ნიმუშის ფარდობითი წაგრძელება და შევიწროება.

ფარდობითი წაგრძელებას უწოდებენ ნიმუშის გაწვევტისას, მისი სიგრძის ნაზრდის ფარდობას, საწყის მდგომარეობასთან. ფარდობითი  $\delta$ , წაგრძელება გამოისახება პროცენტებით და გამოითვლება ფორმულით:

$$\delta = [(l_1 - l_0) / l_0] \cdot 100\%$$

სადაც:  $l_0$  არის ნიმუშის სიგრძე გამოცდამდე, [მ];  $l_1$  - ნიმუშის სიგრძე გაწვევტის შემდეგ, [მ]; (სურ.2).

ფარდობით შევიწროებას უწოდებენ გაწვევტის შემდეგ ნიმუშის განივი კვეთის ფართობის შემცირების ფარდობას ნიმუშის გამოცდამდე განივი კვეთის ფართობთან. ფარდობითი შევიწროება  $\psi$  -ს გამოისახავენ პროცენტით და გამოითვლიან ფორმულით:

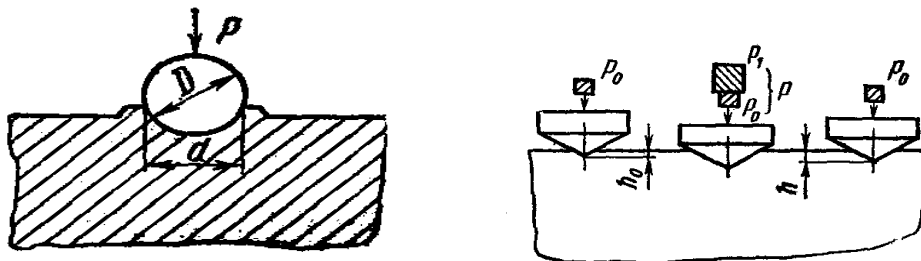
$$\psi = [(S_0 - S_1) / S_0] \cdot 100\%$$

სადაც:  $S_0$  არის გამოცდამდე ნიმუშის განივი კვეთის ფართობია,  $m^2$ ;  $S_1$  - გაწვევტის შემდეგ ნიმუშის განივი კვეთის ფართობია,  $m^2$ .

**სიმაგრე (სისაღე)** არის მასალის თვისება წინააღმდეგობა გაუწიოს პლასტიკურ დეფორმაციას ან ზედაპირულ ფენაში მკვიფრ მსხვრევას ადგილობრივი ძალოვანი დატვირთვებისას. სისაღე, ჩვეულებრივ, ფასდება უფრო მაღალი სისაღის მქონე მასალის ინდიკტორის დაწოლის მიმართ, ლითონის ზედაპირის მიერ წინააღმდეგობის გაწვევის უნარით. სისაღის გაზომვა შესაძლებელია უშუალოდ დეტალის ზედაპირზე მისი დაზიანების გარეშე. ლითონებისა და შენადნობების სისაღის გაზომვას იყენებენ, როგორც მათი მექანიკური თვისებების შეფასების მეთოდს.

მასალის სისაღის მიხედვით მსჯელობენ მისი სხვა თვისებების შესახებ. მაგალითად, მრავალი შენადნობისათვის, რაც მაღალია სისაღე, მით მეტია გაჭიმვის სიმტკიცე, მაღალია ცვეთამდეგობა; როგორც წესი, დაბალი სისაღის შენადნობების ჭრით დამუშავება ადვილია.

პრაქტიკაში სისაღის გაზომვა ორი ხერხით ხორციელდება. თუ გამოსაკვლევი ობიექტის სისაღე ნაკლებია, ვიდრე ნაწრთობი ფოლადისა, მაშინ სისაღეს ზომავენ ბრინელის მეთოდის მიხედვით (სურ.27. ა), თუ გამოსაკვლევი ობიექტის სისაღე მეტია ნაწრთობი ფოლადის სისაღეზე, მაშინ სისაღეს ზომავენ როკველის მეთოდით (სურ.27.ბ). გარკვეული P ძალით ბურთულაზე ან ბუნიკზე დაჭერისას ნიმუშზე მიღებული დრმულის მიხედვით მსჯელობენ ნიმუშის სისაღის შესახებ.



ა)

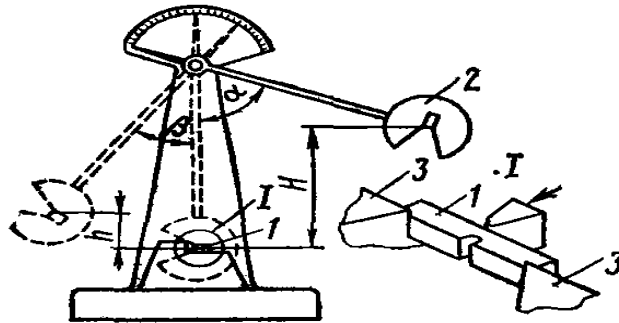
ნახ.27. სისაღის გაზომვის სქემა

ა. ბრინელის ბ. როკველის მიხედვით

**დარტყმითი სიბლანტე** მასალის მახასიათებელია, რომელიც აფასებს მისი წინააღმდეგობის უნარს მკვიფრ (ხისტი) დაზიანების მიმართ. დარტყმითი დატვირთვების

დროს, მასალაში აღძრული დაძაბულობა, მყისიერად მოქმედებს, ამიტომ მისი განსაზღვრა საკმაოდ ძნელია. დარტყმით სიბლანტეს განსაზღვრავენ მასალის დასამსხვრევად, დასაზიანებლად შესრულებული მუშაობის მიხედვით. ნიმუშის დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი მოწყობილობის ქემა ნაჩვენებია 28-ე სურათზე.

დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი მანქანის მრავალი ნაწილი და კონსტრუქცია მუშაობისას განიცდის, მექანიკური ხასიათის, საკმაოდ მაღალი დონის დარტყმით დატვირთვას, რომელთა ზემოქმედება მათზე მყისიერად აისახება. დარტყმით დატვირთვას განიცდიან შტამპის ტიპის ინსტრუმენტები, ზოგიერთი სახის კბილანური გადაცემები და სხვ.



სურ.28. ნიმუშის დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი ქანქარული კოპირის სქემა: 1 - ნიმუში; 2 - ქანქარა; 3 - საყრდენები

დარტყმითი დატვირთვისას მასალის მექანიკური თვისებები შეიძლება რადიკალურად განსხვავდებოდეს მასალის სტატიკური დატვირთვის შემთხვევის ანალოგიური თვისებრივი მანქანებისაგან. მანქანისა და კონსტრუქციის დეტალების მუშაობის ხანგამძლეობის გაანგარიშება დარტყმითი დატვირთვების დროს ხორციელდება დარტყმითი სიბლანტის მონაცემების გათვალისწინებით.

**დაღლილობა** არის მასალის მექანიკური და ფიზიკური თვისებების შეცვლა მასზე დროში ცვლადი ციკლით მოქმედი დაძაბულობისა და დეფორმაციის შედეგად. ასეთი დატვირთვების ზემოქმედებისას მუშა მექანიზმსა და დეტალებში წარმოიქმნება და ვითარდება ბზარები, რომელთაც მათ სრულ დაზიანებამდე მიყვავართ. მსგავსი დაზიანება იმითაა საშიში, რომ ის შეიძლება გამოიწვიოს ისეთი დატვირთვების მოქმედებისამ, რომელთა მნიშვნელობა გაცილებით ნაკლებია სიმტკიცისა და დენადობის დატვირთვის დასაშვებ ზღვარზე.

**ამტანობა** არის მასალის თვისება წინააღმდეგობა გაუწიოს დაღლილობას. დაღლილობის წინაღობა ხასიათდება ამტანობის ზღვრით, ანუ უდიდესი დაძაბულობით, რომელსაც შეუძლია გაუძლოს მასალამ დაზიანების გარეშე.

დაღლილობაზე გამოცდის მიზანი (ГОСТ 2860-65) არის მასალის (ნიმუშის) შესაძლებლობის ციკლურად, ცვლადი დატვირთვის ზემოქმედებისას, დაზიანების გარეშე მუშაობის უნარის რაოდენობრივი შეფასება. დაძაბულობის ციკლი არის ცვლადი დაძაბულობის მნიშვნელობების ერთობლიობა ცვლილების ერთი პერიოდის განმავლობაში. გამოცდებისას დატვირთვის ციკლების მოცემული რაოდენობას გამოცდის ბაზა ეწოდება. ჩვეულებრივ, გამოცდის ბაზა შეადგენს დატვირთვის 105 ციკლს. თუ მასალამ დაზიანების გარეშე გაუძლო ციკლების საბაზო გამოცდას დაზიანების გარეშე, მაშინ მოსალოდნელია რომ ის საჭირო წინააღმდეგობას გაუწევს დაღლას და ამ მასალისაგან დამზადებული დეტალი იმუშავებს საიმედოდ. მუშაობისას ციკლურად ცვლადი დატვირთვებს განიცდის შიგაწვის ძრავას მუხლა ლილვი, დერძები, ბარბაცები და სხვა.

**დენადობა** არის მასალის თვისება განიცადოს ნელი და უწყვეტი პლასტიკური დეფორმაცია მუდმივმოქმედი დატვირთვის ან დაძაბულობისას.

ნაკეთობებს, რომლებიც მუშაობენ მაღალ ტემპერატურაზე, გაანინათ ნაკლები სიმტკიცე, ვიდრე ნორმალურ ტემპერატურაზე მომუშავე ნაკეთობებს. ექსპლუატაციისას მასალა და ნაკეთობა გარკვეულ პირობებში, მაგალითად, მუდმივმოქმედი დატვირთვისას, შესაძლებელია პროგრესულად დეფორმირდებოდეს გარკვეული დროის განმავლობაში.

## 8. მეტალოგრაფია

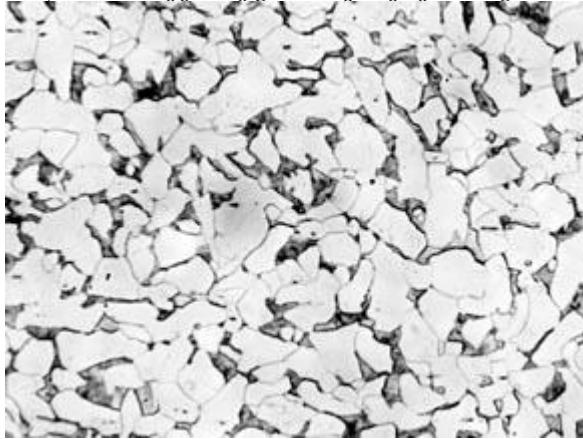
მეტალოგრაფია არის ლითონების შესახებ მეცნიერების ერთ - ერთი უმადგენელი ნაწილი იგი შეისწავლის ქიმიური შედგენილობისა და სხვადასხვა სახის დამუშავების გავლენას ლითონის სტრუქტურაზე.

აგებულების მიხედვით მყარი ნივთიერება არსებობს ამორფული და კრისტალური. ამორფული ეწოდება მყარ ნივთიერებას, რომლის ატომები სივრცეში განლაგებულია ქაოსურად. ასეთი ნივთიერებებია მინა, პლასტმასი, ფისი და სხვა. კრისტალური ეწოდება მყარ ნივთიერებას, რომლის ატომები (იონები) სივრცეში განლაგებულია მკაცრი პერიოდულად განმეორებადი წესით და ქმნიან მესერს. ასეთ ნივთიერებებს განეკუთვნება ლითონები, მარილები და სხვ. კრისტალური მესერი შედგება ლითონის ატომებისაგან შექმნილი მრავალი ერთგვაროვანი უჯრედისაგან. ლითონის ატომები შედგება დადებითად დამუხტული ბირთვისა და უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების - ელექტრონებისაგან. ელექტრონები მოძრაობენ ბირთვის გარშემო სხვადასხვა მანძილზე და ქმნიან ელექტრონულ გარსს. მყარ ან თხევად მდგომარეობაში მყოფი ლითონის ატომის გარე (სავალენტო) ელექტრონები, ბირთვის მიერ სუსტად მიიზიდება და შეუძლიათ "თავისუფლად" გადავიდნენ ერთი ატომიდან მეორეზე. ამრიგად ლითონებში გარე ელექტრონები ერთიანდებიან (კოლექტივიზირდებიან) და ქმნიან ე.წ. "ელექტრონულ აირს".

ლითონების ატომურ-კრისტალური აგებულებით აიხსნება მათი ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური თვისებები: მაღალი ელექტრო და სითბოგამტარობა, ლითონური ბრწყინვალეობა, პლასტიკურობა და სხვა.

ყველა ლითონი პოლიკრისტალური ნივთიერებაა ე.ი. შედგება მრავალი ( $10^1$ – $10^6$  მმ) არასწორი ფორმის კრისტალისაგან. მათ კრისტალიტები ან მარცვლები ეწოდება (სურ.8.1). ლითონის მარცვლებს სივრცეში სხვადასხვაგვარი ორიენტაცია გააჩნიათ.

მრეწველობაში სუფთა ლითონი შეზღუდული რაოდენობით გამოიყენება სპეციალური მიზნით. ყველაზე მეტად გამოიყენება სხვადასხვაგვარი შენადნობები, რომელთაც უფრო მაღალი დონის მექანიკური თვისებებით გამოირჩევიან.



სურ.29. ნახშირბადოვანი ფოლადის სტრუქტურა (გადიდებულია 100 ჯერ)

ყველაზე ხშირად შენადნობი ორი ან რამდენიმე ლითონის ან ლითონისა და არალითონის შენადნობია. ქიმიური ელემენტებს, რომლებიც შენადნობს წარმოქმნიან კომპონენტები ეწოდებათ.

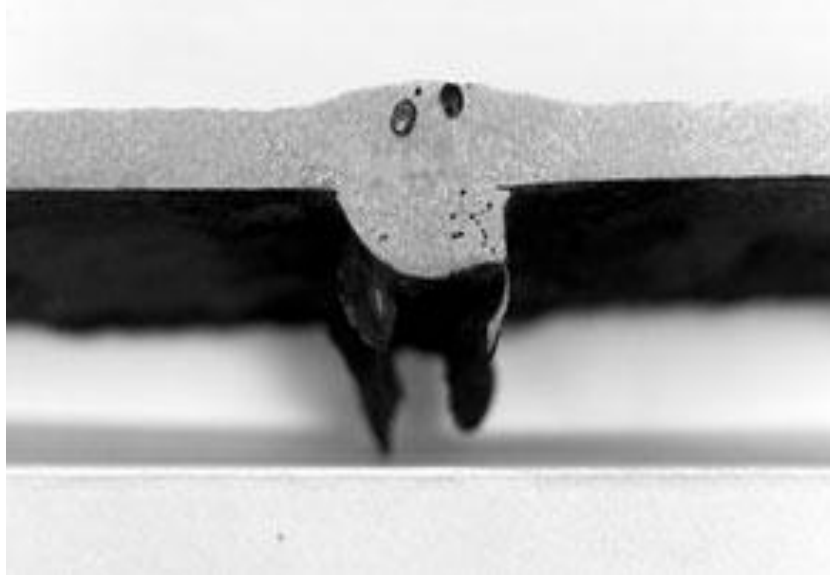
შენადნობი შედგება ერთი ან რამდენიმე ფაზისაგან. ფაზა – შენადნობის ნაწილია, რომელსაც გააჩნია ერთგვაროვანი შედგენილობა და აგრეგატული მდგომარეობა და გამოყოფილია დანარჩენი ნაწილებისაგან გამყოფი ზედაპირით. ასე მაგალითად, სუფთა მყარი ლითონი ერთფაზიანი სისტემაა, ხოლო ნაწილობრივ გამყარებული ლითონი ორფაზიანი, კრისტალები– მყარი ფაზაა, ხოლო ნადნობი - თხევადი. შენადნობის ერთ - ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი მისი სტრუქტურაა. ლითონის სტრუქტურა გულისხმობს სხვადასხვა ფაზის ურთიერთგანლაგებას, მათი უმადგენელი კრისტალების ფორმასა და ზომებს.

ლითონის სტრუქტურის შესწავლა სპეციალურად მომზადებულ ბრტყელ და გლუვ ზედაპირებზე ე.წ. “მიხეხილ” ზედაპირებზე მიმდინარეობს. ლითონის გაპრიალება შეიძლება მექანიკურად ფხვიერი აბრაზიული და ელექტრული (სპეციალურ რეაქტივში გახსნით ელექტრული დენის მოქმედებისას) მეთოდებით.

ლითონის სტრუქტურის გამოვლენის სხვადასხვა მეთოდიდან ყველაზე სწორად იყენებენ მისი ზედაპირის ქიმიურ დამუშავებას (ამოჭმას). ამ მეთოდის გამოყენებისას მიხეხილ ზედაპირს ამუშავებენ სპეციალური რეაგენტის საშუალებით, რომელიც კვლევის მიზნის მიხედვით გამოაავლენს მარცვლების საზღვრებს, სხვადასხვა ფაზას, არალითონურ ჩანართებს, ზედაპირულ მარილებს, ფორებს, ბზარებსა და ლითონის აგებულების სხვა დეტალებს.

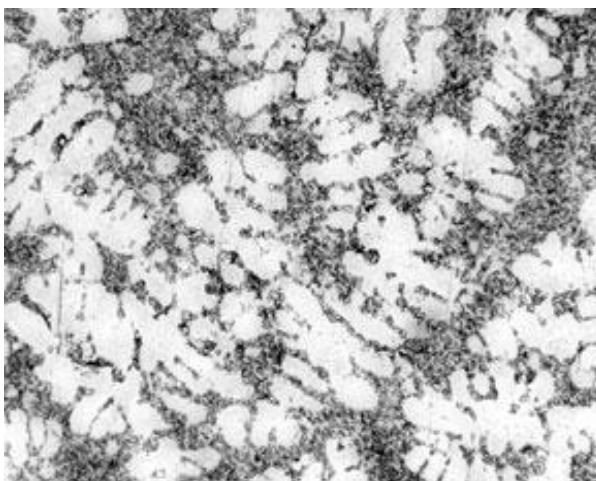
პრაქტიკული მიზნებისათვის, ჩვეულებრივ, ახორციელებენ მოხეხილი ზედაპირის მაკრო, და მიკროსტრუქტურის კვლევას.

მაკროსტრუქტურა არის შეუიარაღებელი ან მცირე (30-40 ჯერადი) გადიდებისას თვალისათვის ხილული ლითონის ან შენადნობის აგებულება (სურ.30). მიკროსტრუქტურის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს ლითონში აღმოვაჩინოთ მსხვილი არალითონური ჩანართები, ფორები, ნიჟარები, ბზარები, გამოვავლინოთ ბოჭკოების მიმართულება ლითონის წნევით დამუშავების შემდეგ, ასევე შედუღების დეფექტები (შეუდუღებელი ადგილები, აირის ბუშტუკები და სხვა.)

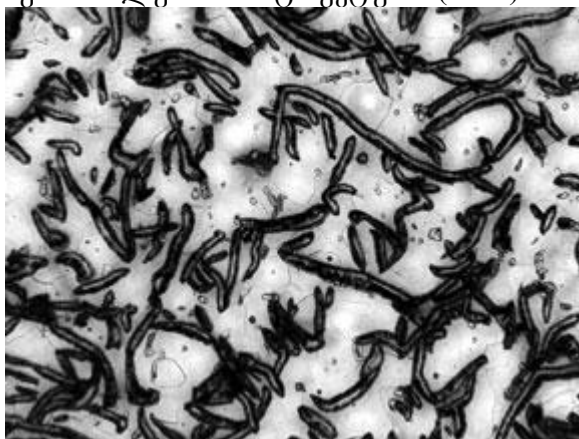


სურ.30. შედუღებით შეერთების მაკრომიხეხილი ზედაპირი (ნატურალური ზომა)

მიკროსტრუქტურა არის მიკროსკოპის საშუალებით, თვალისათვის ხილული ლითონის ან შენადნობის აგებულება (სურ.31, სურ.32). მიკროსტრუქტურის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავარჩიოთ ლითონის მარცვლების სიდიდე და მდებარეობა, მცირე ლითონური ჩანართებისა და ლითონის სხვადასხვა ფაზის ზომები და რაოდენობა, გავაკონტროლოთ ნაკეთობის ზედაპირის ფენის სტრუქტურის მგომარეობა, გამოვავლინოთ მიკროდეფექტები (მცირე ბზარები, ნიჟარები და სხვა), ასევე კრისტალური აგებულების ზოგიერთი დეფექტი (დისლოკაცია და გროვები).



სურ.31. ალუმინის სტრუქტურა (X100)



სურ.32. რუსი თუჯის სტრუქტურა (X100)

მრავალრიცხოვანი კვლევით დადგენილია, რომ ლითონის ნაკეთობათა თვისებების განსაზღვრის ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორი ლითონის სტრუქტურაა. ლითონის, ნამზადის და ნაკეთობის მიკრო და მაკრო ანალიზი საშუალებას გვაძლევს დროულად გამოვაგლინოთ ლითონის დეფექტები, რომელთაც შეუძლიათ შეამცირონ ნაკეთობის მუშაობის საექსპლუატაციო თვისებები და საიმედოობა. ამიტომ სტრუქტურის კონტროლი ნაკეთობის დამზადების ნებისმიერ ეტაპზე ხორციელდება, გამოდნობიდან დაწყებული მზა პროდუქციის თერმულ დამუშავებამდე.

## 9. ზოგადი ცნობები აკუსტიკური ემისიის შესახებ

კონსტრუქციის მასალის ხარისხი მისი შეფერხებელი მუშაობით განისაზღვრება. ამ თვალსაზრისით შეფერხება ნიშნავს განადგურებას, შეზღუდულ დაზიანებას, ჰერმეტიკობის დარღვევას ან მნიშვნელოვანი დეფორმაციების დაგროვებას. მასალის ხარისხის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია დეფორმაცია და განადგურებისათვის წინააღმდეგობის გაწევის უნარი. პირველ რიგში მათ განეკუთვნება ისეთი მახასიათებლები როგორცაა, დენადობის ზღვარი, დროებითი წინააღმდეგობა, წყვეტისადმი ჭეშმარიტი წინააღმდეგობა, პირობითი წაგრძელება გაწვევების შემდეგ.

ამასთან, ექსპლუატაციის დროს მასალის ქცევასა და აღნიშნულ მექანიკურ მახასიათებლებს შორის კვშირის არსებობის გამოვლინება გამონაგარიშების გზით შესაძლებელია მხოლოდ პირველადი და ისიც უხეში მიახლოებით. ეს ფაქტი შემდეგი მოსაზრებით აიხსნება. მექანიკურ მახასიათებლებს პირობითი სახე გააჩნიათ და განისაზღვრებიან პირობით გარემოებებში, რომლებიც გეომეტრიულად არ შეესაბამებიან გამოსაცდელ ობიექტებს, დატვირთვის კანონებს, დაძაბულობა - დეფორმაციების მდგომარეობას, გარე ზემოქმედებისა და დროის ფაქტორების რაოდენობასა და დატვირთვის კანონებს. მუშა დეტალების, კვანძების, აგრეგატების სტრუქტურისა და ქიმიური შედგენილობის ბუნებრივ რხევებს, ასევე მათ ცვლილებებს ექსპლუატაციის პროცესში, მიუხედავად ნიმუშების არჩევითი დამანგრეველი გამოცდების ჩატარებისას მექანიკური მახასიათებლების გაზომვის შედეგების ექსტრაპოლაციის გამო, მათი მაღალი სიზუსტით ჩატარების შეუძლებლობამდე. დასასრულ, გარე ზემოქმედების ფაქტორების შემთხვევითი ხასიათი არ იძლევა მასალისა და კონსტრუქციის ქცევის ზუსტი აღწერის შესაძლებლობას მაშინაც კი, როდესაც ზუსტადაა ცნობილი მასალის მექანიკური მახასიათებლები.

აღნიშნული სირთულეების გადალახვის შესაძლო გზა შეიძლება იყოს:

- მასალის ისეთი მახასიათებლების შერჩევა, რომლებიც უფრო ახლოს იქნება იმ ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებთან, რომლებიც განსაზღვრავენ კონსტრუქციის მასალის წინააღმდეგობისა და დეფორმაციის უნარს ნგრევითი დაზიანების მიმართ;

- არარღვევადი მეთოდებისა და ამ მახასიათებელთა გაზომვისა და ანალიზის საშუალებების დამუშავება;

- ექსპლუატაციის პროცესში კონსტრუქციის მდგომარეობის ცვლილებისა და წინასაავარიო სიტუაციის დამახასიათებელი უწყვეტი მოქმედების მეთვალყურე მეთოდებისა და საშუალებების დამუშავება.

ამ პრობლემების გადაწყვეტა საშუალებას გვაძლევს:

- გაიზარდოს მასალის (კონსტრუქციების) საექსპლუატაციო ქცევის აპრიორული შეფასებების სანდოობა;

- დავადგინოთ სამრეწველო პროდუქციის მიღების მეცნიერულად დამტკიცებული ნორმები;

- საჭიროების შემთხვევაში ორგანიზაცია გაუუკეთოთ მასალისა და კონსტრუქციის მუშა ეგზემპლარების მექანიკური მახასიათებლების ასპროცენტრიან კონტროლს;

- მნიშვნელოვნად შევამციროთ ან სართოდ აღმოვფხვრათ გაუთვალისწინებელი შეფერხების შემთხვევები;

- დავადგინოთ პროფილაქტიკური რემონტის ოპტიმალური ვადები.

ამ პრობლემების გადასაწყვეტად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას დრეკადი აკუსტიკური ტალღები, რომლებიც მასალის დეფორმაციისა და მისი სტრუქტურის მკვეთრი ცვლილებებისას აღიძვრება. **აკუსტიკური ტალღების აღძვრის პროცესი ცნობილია აკუსტიკური ემისიის სახელით (აე)**, ხოლო აკუსტიკური ემისიის შესახებ ინფორმაციის მატარებელი ცვლადი სტოქასტიკური ფიზიკური სიდიდის სიგნალი – აკუსტიკური ემისიის სიგნალის სახელითაა ცნობილი. მასალის სტრუქტურის ლოკალურ გადაწყობასთან დაკავშირებული აკუსტიკური ემისიის სიგნალის პარამეტრები სრულ კოლერაციაში არიან მასალების მთლიანობის რღვევის დეფექტების განვითარების კინეტიკის პარამეტრებთან. დეფორმაციული სიგნალების წარმოშობის ერთ - ერთი წყარო დისლოკაციის მოძრაობის პროცესებია, რომელთა აკუსტიკური ემისიის სიგნალები კოლერირებულია პლასტიკური დეფორმაციის

დისკრეტულ მექანიზმთან და სიმტკიცის დიაგრამაზე ნახტომისებრ ცვლილებებთან. დეფორმაციული სიგნალების გამოყენებით შესაძლებელია მასალებში ფაზური გარდაქმნების დაფიქსირება საკმაოდ მაღალი საიმედოობით. დეფორმაციული სიგნალების რეგისტრაცია ბზარების წარმოშობისა და განვითარების კვლევის ერთ - ერთი მეთოდია.

მასალის დეფორმაციასთან დაკავშირებული აკუსტიკური ტალღების კვლევის ფიზიკური მეთოდები გვიჩვენებენ, რომ ამ მეთოდის საფუძველზე შესაძლებელია შეიქმნას მასალის მდგომარეობის აღწერის არარღვევადი დიაგნოსტიკური კონტროლის ეფექტური მეთოდები საშიშროების აღძვრისა და შეფერხების მომენტის სიახლოვის განსაზღვრისათვის. აღნიშნული მეთოდების გამოყენებით უკვე შექმნილია კონკრეტული ტიპის აპარატურა და სადიაგნოსტიკო მეთოდები მასალათა კონსტრუქციების დიაგნოსტიკათვის. თანამდროვე პირობებში მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი სამუშაოები აკუსტიკური ემისიის გამოსაყენებლად მანქანათმშენებლობის სფეროში სადიაგნოსტიკო არარღვევადი მეთოდების დანერგვისათვის, რომელთაც ფართო გამოყენება ჰპოვეს მაღალი წნევის მილსადენის და საცავეების, შედუღებული და წებოვანი შეერთებების მასალათა დაღლით გამოწვეული ბზარებისა და სტრუქტურული ცვლილებების აღმოჩენაში.

მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ აკუსტიკური ემისიის მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია გაიზომოს მასალისა და კონსტრუქციის დაძაბულობით გამოწვეული დეფორმაციის დონე, აღმოვაჩინოთ განვითარებადი დეფექტები და განვსაზღვროთ მათი კოორდინატები, შევაფასოთ მათი საშიშროების ხარისხი აგრეთვე გადავჭრათ კონსტრუქციებისა და ნაგებობების მდგომარეობის შეფასების სხვა ამოცანები. პრაქტიკულ სამუშაოებში სამწუხაროდ ეს მეთოდები ჯერ კიდევ ვერ გამოიყენება სათანადოდ, რაც მეთოდის სიახლით, თეორიისა და პრაქტიკის გადაუჭრელი საკითხების არსებობით და ფართო მომხმარებლისათვის განკუთვნილი სისტემატიზებული ინფორმაციის ნაკლებობით შეიძლება აიხსნას.

## 9.1. აკუსტიკური ემისიის ფიზიკური არსი

მასალასა და კონსტრუქციაზე სხვადასხვა სახის ზემოქმედებამ (მექანიკური, სითბური) შეიძლება მათ ლოკალურ სტრუქტურულ ცვლილებებამდე მიგვიყვანოს, რაც აკუსტიკური ემისიის წყაროს წარმოადგენს. განვიხილოთ ამ მოვლენის წარმოშობის ზოგიერთი მექანიზმი.

კრისტალების დეფორმაციის ერთ - ერთი ფორმაა გაორმაგება, რომლის არსი კრისტალური მესრის კვანძების ერთი ნაწილის სიმეტრიული შემობრუნებაა მისი მეორე ნაწილის მიმართ. მესრის ახალ მდგომარეობაში გადასვლა ნახტომისებურად მიმდინარეობს დიდი (ბგერასთან მიახლოებული) სიჩქარით, რაც დეფორმაციის დრეკადი ტალღების გამომწვევი მიზეზია. დრეკადი ტალღების წამოშობის მიზეზად გვევლინება ასევე დისლოკაციის ნახტომისებური შეცვლა სრიალის ხაზების გასწვრივ მარცვლების საზღვრების მიმართულებით. მარცვლების საზღვრებზე შესაძლებელია საკმაოდ მნიშვნელოვანი, დისლოკაციების არსებობა, რომლებიც მიკრო ბზარების წარმოშობის წყაროა. გამოცდილება და გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ ბზარის წარმოშობის საწყისი მდგომარეობისათვის საკმარისია 300 დისლოკაციის გადაადგილება და შერწყმა. კრისტალის დეფორმაციის გამომწვევი ძალის და ასეთი მიკრობზარის ყელში დაძაბულობის კონცენტრაციის ზრდა მისი დისკრეტული ზრდის მიზეზი ხდება, რასაც თან სდევს ტალღური გამოსხივება.

მყარ მდგომარეობაში მყოფ მასალაზე, მექანიკური და სითბური მოქმედებით მასში შეიძლება განვითარდეს ფაზური გარდაქმნები. მარტენსიტული ტიპის გარდაქმნები წარმოადგენს ატომების კოლექტიური გადაადგილების ძვრებს, რაც, როგორც წესი, ფორმის ცვლილებით მიმდინარეობს. ამ პროცესთან ერთად შეიმჩნევა გარდაქმნილი სტრუქტურის ზემოქმედება გარემოზე, რაც მასალაში მექანიკური ტალღების წარმოშობის მიზეზია. მასალის პლასტიკური დეფორმაციაც ასევე ნახტომისებურად მიმდინარეობს, რაც ჩვეულებრივ დიაგრამებზედაც შესამჩნევია,



რომელიც ნიმუშის რღვევითი გამოცდისას აპარატურის საშუალებით იწერება. ამ მოვლენის შესწავლა გეინვენებს, რომ ზოგიერთი მასალისათვის ნახტომების ზვავს მიყვავართ აბსოლუტური დეფორმაციის მოკლევადიანი ნაზრდის გაჩენასთან დროის მცირე შუალედში. ამ მოვლენის მექანიზმი დისლოკაციურობის თვალსაზრისით შემდეგნაირად აიხსნება. მასალის პლასტიკური დეფორმაციისას დისლოკაციების მოძრაობისას ხდება ადგილობრივი შეჩერებები სხვადასხვა წინააღმდეგობასთან. დისლოკაციების მიერ ამ წინააღმდეგობების თვითნებურ ან ინიციურებულ გადალახვას მიყვავართ სწრაფ ადგილობრივ ძვრებთან, რაც ჩვეულებრივ იძლევა დეფორმაციულ ნახტომს. საბოლოოდ ხდება დეფორმაციისა და დაძაბულობის დინამიკური გადანაწილება, რაც მასალაში აღძრავს მექანიკურ ტალღებს.

აქ ჩამოთვლილი მექანიზმები ძირეულად ვერ ავსებს ყველა იმ მოვლენას, რომელიც დაკავშირებულია მყარ სხეულებში დეფორმაციისას დაძაბულობის ტალღების გაჩენასთან, მაგრამ მათ ყველას ახასიათებს საერთო ნიშნები, რაც საშუალებას გვაძლევს ჩამოვაყალიბოთ აკუსტიკური ემისიის ცნება:

აკუსტიკური ემისია არის მასალებში აღძვრის შინაგანი დაძაბულობის ტალღებით გამოწვეული, შემადგენელი სტრუქტურის ლოკალური დინამიკური გამოსხივების გავრცელების პროცესი, რომელსაც კრისტალური მესრის ცვლილებისაკენ ან მიკრო და მაკროდეფექტების წარმოშობამდე მიყვავართ. სხეულის ზედაპირის მიღწევისას ეს ტალღები იწვევს ზედაპირის წერტილების წანაცვლებას, რაც შესაძლებელია შესაბამისი აპარატურის საშუალებით დაფიქსირდეს.

ემისიის გამომწვევ იმპულსებზეა დამოკიდებული აღნიშნული წანაცვლების მაქსიმალური ამპლიტუდური და სიხშირული სპექტრის მნიშვნელობა. რადგან მიკრობზარების მოძრაობით წარმოშობილი წანაცვლების ამპლიტუდები მნიშვნელოვნად უნდა აჭარბებდნენ ცალკეული დისლოკაციების მოძრაობას. მიუხედავად ამისა, დროში შემთხვევითი ხასიათით ცვლადი, განსახილველი ცალკეული რეალიზაციების რთული სახისა და მასალების დეფორმაციის ცვლილებისა საკმაოდ ფართო დიაპაზონში, ფუნქციის შედარებით სუსტად ცვლილების ფონზე, უნდა არსებობდეს საკმაოდ დიდი ამპლიტუდის ცალკეული იმპულსები.

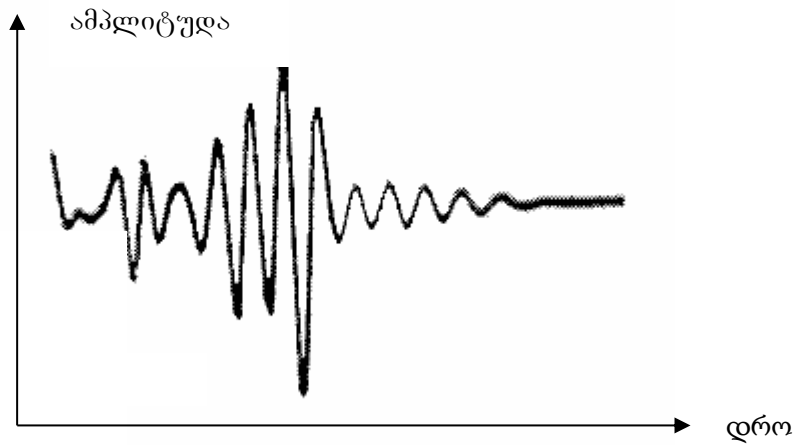
საბოლოოდ აკუსტიკური ემისიის სიგნალები შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად სახეობად:

- უწყვეტი ემისია – შედარებით დაბალი ამპლიტუდის რხევები ფართო სიხშირული სპექტრით, რომლის ზედა ზღვარი აღწევს 30MHz, ახასიათებს დისლოკაციათა დიდი ჯგუფების გადაადგილებას და მიგვითითებს მიკროდეფექტების დაგროვების ზონების ფორმირებაზე.

- დისკრეტული ტიპის ემისია – დამრეცი ფრონტისა და მნიშვნელოვნად დიდი ამპლიტუდების რთული ფორმის მოკლე იმპულსების თანმიმდევრობაა. ასეთი ტიპის ემისიის შემთხვევაში ენერგიის უმეტესი რაოდენობა თავმოყრილია სპექტრის დაბალსიხშირულ ნაწილში. იგი დაკავშირებულია მიკროდეფექტებისა და მიკრობზარების განვითარებასთან და მათ ურთიერთშერწყმასთან რაც მაგისტრალური ბზარის წარმოშობას განაპირობებს.

ორივე ტიპის ემისია შეიძლება არსებობდეს, როგორც ერთდროულად, ისე შეიძლება იყვნენ ერთმანეთის მიმართ დროში დაძრული.

თანამედროვე აპარატურას შეუძლია დამოუკიდებლად მიიღოს და დაამუშაოს ორივე ტიპის სიგნალი, რაც საშუალებას იძლევა მასალის დეფორმაციის პროცესიდან გამოიყოს მომენტები, რომლებიც მომავალში დაკავშირებული იქნება საშიში ზონების ფორმირებასა და მათში რღვევის პროცესების განვითარებასთან.



სურ.33. აკუსტიკური ემისიის ტიპური სიგნალი

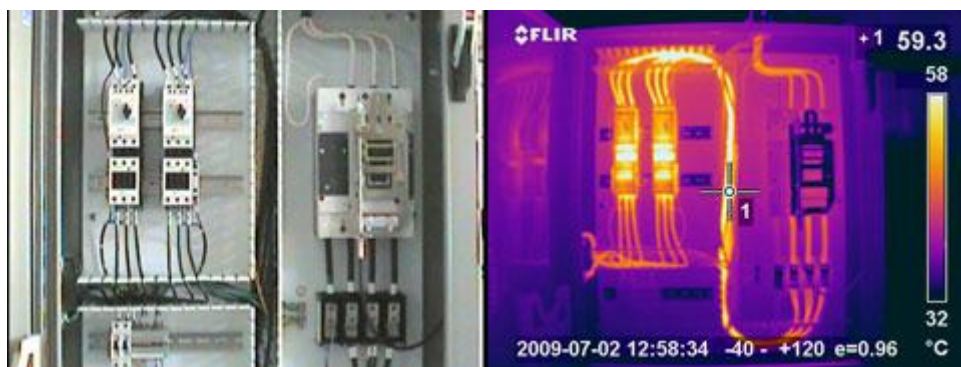
გაჭიმვის ძალის ზემოქმედების, აკუსტიკური სიგნალის ჯამური ოსცილოგრამა, რომელიც აღძრულია 09F2C მარკის ფოლადის ნიმუშის გამოცდისას მასალის სტრუქტურის რღვევის გარკვეული მომენტისათვის ნაჩვენებია 33-ე სურათზე. ოსცილოგრამაზე ჩანს, რომ აკუსტიკური ემისიის სიგნალის როგორც ამპლიტუდა, ასევე სიხშირე დროის შესაბამისი მომენტისათვის ასახავს დეფორმაციისა და რღვევის რთულ პროცესებს.

## 10. თერმოგრაფია

ტემპერატურა, როგორც შინაგანი ენერჯის რაოდენობრივი მაჩვენებელი, ფიზიკური სამყაროს ობიექტებისა და პროცესების უნივერსალური მახასიათებელია, რაც სამყაროში მუდმივად მიმდინარე პროცესების ენერჯის გენერაციას, გარდაქმნას, გადაცემას, დაგროვებას და გამოყენებას გულისხმობს სხვადასხვა ფორმით. ტემპერატურული პროცესების ანალიზი (თბური ველი, სითბოს გადაცემა, კარგვა და სხვა) საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მნიშვნელოვანი ინფორმაცია ობიექტის მდგომარეობისა და ბუნებაში მიმდინარე პროცესების შესახებ (ენერჯეტიკა, მშენებლობა, მრეწველობა, მედიცინა და სხვა).



სურ.34. თბოგენერატორის თერმოგრაფული სურათი.



სურ.35. ელექტროგამანაწილებელი კარადის თერმოგრაფული სურათი.

ნებისმიერი სხეული, რომლის ტემპერატურა განსხვავდება აბსოლუტური ნულისაგან, ინფრაწითელი (თბური) გამოსხივების წყაროა. რომელიც ჯერ კიდევ 1800 წელს უილიამ გერშელმა აღმოაჩინა. უშუალო კავშირის არსებობამ სხეულის სითბური გამოსხივების ინტენსივობასა და მის ტემპერატურას შორის, რომელიც დასაბუთებულია სტეფან - ბოლცმანის, პლანკისა და ვინის კანონებით საშუალება მოგვცა მოგვეხდინა ტემპერატურის დისტანციური გაზომვა (კონტროლი) სითბური გამოსხივების რეგისტრაციის გზით. ტექნიკის ამ სფერომ თერმოგრაფიის (თერმომცოდნეობის) სახელწოდება მიიღო.

დღეს გავრცელებული და მიღებული ტერმინოლოგიით თერმოგრაფია გულისხმობს ფიზიკურ ობიექტებში სითბური ენერჯის (ტემპერატურის) სივრცული და დროითი განაწილების ანალიზის მეთოდს, სითბური გამოსახულების (თერმოგრამა) აგების გზით.

გასული საუკუნის 60-იან წლებში პირველად გამოჩნდა შვედური ფირმის **AGEMA Infrared Systems** მიერ წარმოებული თერმოვიზორები. პირველ რიგში თერმოგრაფიული კონტროლი და გამოკვლევები გამოყენებული იყო ელექტროტექნიკაში, რადიოელექტრონიკაში, რაკეტმშენებლობაში.

თერმოგრაფიის განვითარებასთან ერთად ამავე წლებში საფუძველი ჩაეყარა სითბური კონტროლის მიმართულებას, რომელიც შემდგომ არარღვევითი კონტროლის

ერთ - ერთი სტანდარტიზებული მეთოდი გახდა. თერმოგრაფიისა და სითბური კონტროლის ურთიერთკავშირი განპირობებულია თერმოვიზორების, როგორც სარეგისტრაციო ხელსაწყოების, უპირატესი გამოყენებით. განასხვავებენ სითბური კონტროლის პასიურ და აქტიურ მეთოდებს, თუ პასიური მეთოდის შემთხვევაში სარეგისტრაციო - საკონტროლო აპარატურა თერმოვიზორების გამოყენებით შემოიფარგლება აქტიური თერმოკონტროლის მეთოდის გამოყენებისას თერმოვიზორების გარდა გამოყენებულია სხვადასხვა სახის დამხმარე აპარატურა.

თერმოგრაფიას, როგორც სითბური კონტროლის პასიურ საშუალებას, მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში სითბურ დიაგნოსტიკასაც უწოდებენ.

თერმოგრაფიის მეთოდების გამოყენებაზე დაფუძნებულმა აქტიური თერმო კონტროლის მეთოდმა ჯერ-ჯერობით ვერ პოვა გამოყენების ფართო სფერო, მაგრამ დიდი ფორმატის, სწრაფქმედი, სითბური გამოსახულების კომპიუტერული დამუშავების შესაძლებლობის მქონე მატრიცული თერმოვიზორების გამოჩენამ შესაძლებელი გახდა ამ მიმართულების აქტიური განვითარება.

აქტიური თერმოკონტროლის მეთოდისადმი ინტერესს მისი უნივერსალურობა, მაღალი წარმადობა და მომსახურების უსაფრთხოება იწვევს (განსხვავებით რედგენული და რადიაციული მეთოდებისაგან). აქტიური თერმოკონტროლის მეთოდის გამოყენება უდავო უპირატესობას იძლევა ბევრი ისეთი ამოცანის გადაჭრის დროს, როგორცაა: განშრეების დეფექტების, ჰაერის ჩანართების, შეუწებებელი, მიურჩილავი, შეუღლებელი ადგილების აღმოჩენა სხვადასხვა სახის მასალაში: კომპოზიციურ ნაკეთობებში, მრავალშრიან სტრუქტურებში, არმირებულ, შეწებებულ და შეღებულ კონსტრუქციებში, თბოსაიზოლაციო გარსებში და ა.შ.

დღევანდელ პიობებში თერმოგრაფიული დიაგნოსტიკა და სითბური კონტროლი გამოყენებითი კვლევის მაღალტექნოლოგიურ სფეროს წარმოადგენს, რომელიც აერთიანებს მიღწევებს არამხოლოდ აპარატურის შექმნის თვალსაზრისით, არამედ სითბოგადაცემის, კომპიუტერული და ინფორმაციული ტექნოლოგიების თვალსაზრისითაც.

აქტიური თერმოკონტროლის თვისებრივად ახალი ეტაპია ისეთი მიმართულებების განვითარება როგორცაა თერმული დეფექტომეტრია და თერმოგრაფია. განსხვავებით დეფექტოსკოპიისაგან, რომლის მთავარი ამოცანა დეფექტის გამოვლენაა, დეფექტომეტრიის მიზანია ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით დეფექტის პარამეტრების განსაზღვრა შებრუნებული ამოცანის ალგორითმის გადაწყვეტილების გამოყენებით.

სითბური თერმოგრაფია მიმართულებაა კოორდინატების მიხედვით განაწილებული მისი სითბურ ფიზიკური მახასიათებლების მიხედვით ობიექტის შინაგანი სტრუქტურის სივრცული სურათის მიღება.

საერთაშორისო მასშტაბით შექმნილია თერმოგრაფისტთა საზოგადოებები, რომლებიც ევროპაში გაერთიანებულია საერთოევროპულ ორგანიზაციად EURO THERM. არა დამარღვეველი კონტროლის ამერიკული ორგანიზაცია (ASNT) 1991 წლიდან აწარმოებს ოპერატორების სერტიფიცირებას II და III დონის საერთაშორისო სერტიფიკატებით.

უცხოური გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ მართალია თერმოვიზორების ღირებულება საკმაოდ მაღალია (60000\$) მაგრამ მისი, ამოსყიდვის ვადა სულ რაღაც 0,5 - 1 წელია. მას იყენებენ ისეთი აღიარებული კომპანიები როგორცაა: **Ford, General Electric, Volvo, Martin Lockheed Marietta, Boeing, Sharp, SONY, NASA, British Airways, Airbus Industry, Union Carbid**

დღევანდელი მდგომარეობით საქართველო ამ მიმართულებით არასახარბიელო მდგომარეობაშია, რადგან დიაგნოსტიკის ამ მეთოდზე სამრეწველო ინდუსტრიის სიმცირის გამო თითქმის არ არსებობს მოთხოვნა. იმედს გამოვთქვამ, რომ მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებთან შემდგომი ეკონომიკური, სავაჭრო და სამრეწველო ინტეგრაცია დადებითი შედეგის მომტანი იქნება ამ მიმართულების განვითარებისთვისაც.

## ლიტერატურა

1. ზახტაძე ჯ., წიქარიშვილი მ., დალუნდარიძე გ., თავაძე ი. კონსტრუქციების დაზიანების ტექნიკური დიაგნოსტიკა. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1999. 536.5 (077)/1
2. Биргер И. А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978.
3. Вибрации в технике. Под. редю М.Д.Генкина. Справочник в 6 томах. том 5. Москва “Машиностроение “, 1981.
4. <http://lnktd-opz.narod.ru/vd.html><http://lnktd-opz.narod.ru/pribor.html>
5. 1. Технические средства диагностирования: Справочник/В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; под общ. Ред. В. В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.
6. 2. Алексеева Т. В., Бабанская В. Д., Башта Т. М. и др. Техническая диагностика гидравлических приводов. М.: Машиностроение. 1989. — 263 с.
7. 3. Костюков А.В., Костюков В.Н. Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени. - М.: Машиностроение, 2009. — 192 с.
8. Надежность и диагностика технологических систем : учеб. / А.Г. Схиртладзе, М.С. Уколов, А.В. Скворцов ; под ред. А.Г. Схиртладзе. — Москва : Новое знание, 2008. — 518 с. : ил. — (Техническое образование).

რედაქტორი ი. მეგრელიძე

გადაეცა წარმოებას 26.06.2013. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 18.10.2013. ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 5.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

