

კახაბერ ბაბილოძე

კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების  
მეთოდი და ნარჩენი რესურსების დადგენა საგანგებო  
სიტუაციებში

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
იანვარი 2008წ.

© საავტორო უფლება კახაბერ ბაბილოძე, 2008წ.

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით კახაბერ ბაბილოძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდი და ნარჩენი რესურსების დადგენა საგანგებო სიტუაციებში” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: თ.მ.დ. პაატა რეკვავა ტ.მ.კ. ნ. ახვლედიანი

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
წელი

ავტორი: ბაბილოძე კახაბერი

დასახელება: “ კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდი  
და ნარჩენი რესურსების დადგენა საგანგებო  
სიტუაციებში ”

ფაკულტეტი :

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

ინდივიდუალური პროვზებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების  
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც  
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან  
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი  
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო  
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა  
იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ  
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია  
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს  
პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

მნიშვნელოვან ინჟინერულ ამოცანას წარმოადგენს კონკრეტულ ობიექტზე შესაძლო საგანგებო შედეგის შეფასება და ზომების მიღება საშიშროების თავიდან ასაცილებლად. ავარიისაგან ნაკლები ზარალის ან თავიდან აცილების ეფექტურობის ამაღლების მიზნით, აუცილებელია ავარიების და კატასტროფების მიზეზების ეფექტურობის აღმოფხვრა. ავარიები და კატასტროფები ძირითადად გამოწვეულია კონსტრუქციების ცალკეულ ელემენტებში დეფექტების, ბზარების ჩასახვით და განვითარებით, რომელიც უმეტესწილად გამოწვეულია გარე დინამიკური ძალების ზემოქმედებით. ამ პროცესის ჩამოყალიბებას სჭირდება გარკვეული დრო, რომელსაც შეიძლება კონსტრუქციის რღვევის წინა მდგომარეობა ვუწოდოთ. კონსტრუქციების ავარიების და კატასტროფების თავიდან ასაცილებლად, აუცილებელია განისაზღვროს რღვევის წინა მდგომარეობა ანუ მოსალოდნელი ავარიების რისკი დამუშავდეს კონსტრუქციების რღვევის წინა მდგომარეობის პროგნოზირების და ანალიზის მეთოდების ერთიანი სისტემა.

ნაშრომის მიზანია კონსტრუქციების მოსალოდნელი ავარიის რისკის შეფასება, პროგნოზირება და ნარჩენი რესურსების დადგენა.

დასახული მიზნის მისაღწევად ნაშრომში დამუშავებულია კონსტრუქციების რღვევის ანალიზის საანგარიშო მოდელი და ავარიის წინა მდგომარეობის პროგნოზირების ლოგიკურ-მათემატიკური მოდელები.

შექმნილია ავარიის რისკის შეფასების მეთოდოლოგია საიმედოობის თეორიის, ფიზიკური მეთოდების, სტატისტიკური და არსებული მონაცემების ბაზაზე.

ნაშრომის მეცნიერული სიხალე მდგომარეობს შემდეგში:

- შესწავლილია საგანგებო სიტუაციებისაგან გამოწვეული ზარალის სახეები, როგორც აუცილებელი, ისე გარდაუვალი დანახარჯებით, საგანგებო სიტუაციები დაყოფილია კატეგორიებად, შესაბამისი მოსალოდნელი ავარიების სირთულის მიხედვით.
- გადამუშავებულია და ჩამოყალიბებულია კონსტრუქციების და მათი ცალკეული ელემენტების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი ფაქტორების განსაზღვრის არსებული მეთოდოლოგია;
- შესწავლილია სხვადასხვა კონსტრუქციების ქცევა დარტმითი ზემოქმედებისას მათი ზღვრული მდგომარეობის ნორმირებისათვის;
- დამუშავებულია საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების საანგარიშო მოდელები სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესის წარმართვისათვის;
- შექმნილია შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის მობილური კომპლექსი, რომლის თეორიულ ინსტრუმენტად გამოყენებულია საიმედოობის თეორია;

- შემუშავებულია ნარჩენი რესურსების დადგენის მეთოდოლოგია საგანგებო სიტუაციებისას მოქმედი ძალების მიმართ და მისი პროგრამული რეალიზაცია;
- მიღებულია კონსტრუქციების საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმი.

პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების დაზუსტებით, ანგარიშით და ნარჩენი რესურსების დადგენით მოსალოდნელი ავარიის რისკის შეფასება.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა: საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ა. ზავრიევის სახელობის სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომდეგობის ინსტიტუტში მოქმედ სამეცნიერო სემინარზე 2003-2007 წლებში; საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „კონსტრუქციების დაზიანების ტექნიკური დიაგნოსტიკისა და ექსპერტიზის“ №122 და „სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომდეგობის“ №57 კათედრების გაერთიანებულ სემინარებზე 2003-2006 წლებში; საერთაშორისო კონფერენციაზე ქ. ქუთაისში 2007წ.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 8 სამეცნიერო სატატია.

დისერტაცია შედგება შესავლის, 5 თავის ძირითადი დასკვნების 20 დასახელების ციტირებული ლიტერატურისაგან. იგი განთავსებულია 143 ნაბეჭდ გვერდზე.

შესავალში მოცემულია თემის აქტუალობა, მიზანი და მეცნიერული სიახლე.

პირველ თავში დასმულია პრობლემა და ამოცანები, წარმოდგენილია ლიტერატურის მიმოხილვა საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასებაზე, ჩამოყალიბებულია საგანგებო სიტუაციების სახეები, მიყენებული ზარალის სახეები და შეფასების მეთოდოლოგია, კონსტრუქციების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრის არსებული მეთოდოლოგია.

მეორე თავში აღწერილია ნაგებობების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესი და შექმნილია სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის მოდელი, შემუშავებულია საანგარიშო მოდელისათვის საჭირო თეორიული საფუძვლები, რაც გულისხმობს საგანგებო სიტუაციებში მოქმედი დატვირთვების დაზუსტებას, დარტყმითი დატვირთვების პარამეტრების განსაზღვრას, სხვადასხვა კონსტრუქციებზე დარტყმით მიღწეული რეაქციების განსაზღვრას, რკინა-ბეტონის კონსტრუქციების დინამიკური საანგარიშო მოდელის შექმნას.

მესამე თავში ჩამოყალიბებულია კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდები, რომელიც ხორციელდება მონიტორინგის მობილური კომპლექსით.

მეოთხე თავში განხილულია კონსტრუქციების სეისმომდეგობა და ჩამოყალიბებულია ნარჩენი რესურსების დადგენის საშუალებები საგანგებო სიტუაციების მოქმედი ძალების მიმართ.

მეხუთე თავში ჩამოყალიბებულია საიმედობის შეფასების კრიტერიუმები, ავარიის რისკის შეფასების სხვადასხვა მაგალითები და რისკის ხარისხის მიხედვით ქალაქების ზონებად დაყოფის მეთოდოლოგია.

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია ძირითადი დასკვნები:

1. შემუშავებულია კონსტრუქციების და მათი ცალკეული ელემენტების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი ფაქტორების განსაზღვრის მეთოდოლოგია, ჩამოყალიბებულია საგანგებო სიტუაციების და ზარალის სახეები.
2. შესწავლილია სხვადასხვა კონსტრუქციების ქცევა დარტყმისას და გაკეთებულია მათი ზღვრული მდგომარეობის ნორმირება.
3. დამუშავებულია საანგარიშო მოდელები, ნაგებობების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის მობილური კომპლექსი საიმედობის თეორიაზე დაყრდნობით.
4. დადგენილია შენობის კვეთის მაჩვენებელი და სიხშირული მახასიათებელი, გაკეთებულია შენობის საკუთარი რხევის სიხშირის ანგარიში, დადგენილია რთული კონსტრუქციების კვეთის პარამეტრები.
5. დამუშავებულია კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდები და დაყოფილია დასახლებული პუნქტები რისკის ხარისხის მიხედვით.
6. საიმედობის შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია მიზანმიმართული საპროექტო ალბათობის დადგენა ამა თუ იმ ნაგებობის ან კონსტრუქციის მუშაობის საიმედობის შესახებ. იგი ითვალისწინებს თავის მხრივ, მოსალოდნელი ავარიის შედეგების სიმძიმეს, რაც დგინდება ანალოგიური სიტუაციების გაანალიზების შედეგად.

# შ ი ნ ა ა რ ს ი

## შესავალი

თავი 1. თანამედროვე წარმოდგენების მიმოხილვა საბანკებო სიტუაციებში კონსტრუქციების ავარიის რისკის

შეფასებაზე -----

- 1.1. პრობლემები და ამოცანები -----
- 1.2. საგანგებო სიტუაციების და ზარალის სახეები -----
- 1.3. საგანგებო სიტუაციებისაგან მიყენებული ზარალის შეფასება -----
- 1.4. კონსტრუქციების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრის არსებული მეთოდიკა -----

თავი 2. საბანკებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების საანგარიშო მოდელი -----

- 2.1. ნაგებობების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესი
- 2.2. საანგარიშო მოდელის შექმნის თანმიმდევრობა და თავისებურებანი
- 2.3. საანგარიშო მოდელისათვის საჭირო თეორიული საფუძვლები -----
  - 2.3.1. საგანგებო სიტუაციებში მოქმედი დატვირთვების დაზუსტების აუცილებლობის შესახებ -----
  - 2.3.2. დარტყმითი დატვირთვების პარამეტრები -----
  - 2.3.3. სხვადასხვა კონსტრუქციებზე დარტყმისას მიღებული რექაცია ---
  - 2.3.4. რკინა-ბეტონის კონსტრუქციების დინამიკური საანგარიშო მოდელი –
  - 2.4.1. კოჭების საანგარიშო მოდელი -----
  - 2.4.2. ფილისა და გარსის საანგარიშო მოდელი -----

თავი 3. კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების

მეთოდები -----

- 3.1. შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის მობილური კომპლექსი -----
- 3.2. საიმედოობის თეორიის გამოყენება რისკის შეფასების კომპლექსში -----

თავი 4. კონსტრუქციების სეისმომდებობა და ნარჩენი რესურსების დადგენა საბანკებო სიტუაციებისას მოქმედი კალების მიმართ ---

4.1. შესავალი	-----
4.2. შენობის ცვეთის მაჩვენებელი და სისშირული მახასიათებლები	---
4.3. შენობის საკუთარი რხევის სისშირის ანგარიში	-----
4.4. რთული კონსტრუქციების კვეთის პარამეტრების დადგენა	-----
თავი 5. კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასება და	
საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმები	-----
5.1. საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმები	-----
5.2. სამრეწველო შენობაში ავარიის რისკის შეფასება	-----
5.3. აფეთქებისას ავარიის რისკის შეფასება	-----
5.4. ქაღალკების დაყოფა ზონებად რისკის ხარისხის მიხედვით	-----
ძირითადი დასკვნები	-----
ლიტერატურა	-----

## შესავალი

ბუნების მიერ შექმნილი ყველა კონსტრუქციული ფორმა, როგორც წესი, ეკონომიკური გადაწყვეტაა და აკმაყოფილებს გარკვეულ ფუნქციონალურ პირობებს. მისი ძირითადი ფორმულაა ბრძოლა არსებობისათვის. მცენარესაც სამყაროში – ხის ტანი, ფესვები, ქერქი. ცხოველთა სამყაროში ჩონჩხი, ჯავშანი, ნჭუჭი. ყოველივე ეს ბუნების მიერ შექმნილია მკაცრი აუცილებლობით და მეტად ეკონომიურად. ცხადია ბუნების მიერ შექმნილი ფორმების ზუსტი ასლების გადმოტანა ადამიანის მოთხოვნილებებისა და მიზნების დასაკმაყოფილებლად არ იქნებოდა მართებული. ბუნებრივი ფორმები თავისი ზომით ვერ უპასუხებდა ადამიანთა მოთხოვნებს. ამის გამო ხდება ბუნებრივ ფორმათა გადიდება. თანამედროვე მანქანათა და ნაგებობათა კონსტრუქციული ფორმები სხვადასხვა სახით გვხვდებიან. გარემო, რომელშიც ცხოვრობს და მოღვაწეობს ადამიანი მეტად არასტუმართმოყვარეა: მიწისძვრა, ღვარცოფი, ხანძარი, ცუნამი, მეწყერი, ტორნადო – ის მოკლე ჩამონათვალია რითაც ზშირად მასპინძლობს ბუნება ადამიანს. ამას ემატება თვით ადამიანის მიერ შექმნილი საშიში სიტუაციები (აფეთქებები, თავდაცვისა და თავდასხმის სისტემები არა პროფესიონალური მშენებლობები). ამ მრავალრიცხვანი და საშიში სიტუაციების „რეპერტუარი“ მიმართულია უწინარეს ყოვლისა კაცობრიობის უძრავი ქონებისადმი. საკმარისია ერთი ძლიერი მიწისძვრა ან აფეთქება, რომელსაც შეუძლია გაანადგუროს არა მარტო რომელიმე დასახლებული პუნქტი, არამედ მთელი რეგიონიც. მნიშვნელოვან საიჟინრო ამოცანას წარმოადგენს კონკრეტულ ობიექტზე შესაძლო საგანგაშო ზემოქმედების შედეგის შეფასება და ზომების მიღება საშიშროების თავიდან ასაცილებლად. ავარიისაგან ნაკლები ზარალის ან თავიდან აცილების ეფექტურობის ამაღლების მიზნით აუცილებელია ავარიების და კატასტროფების მიზეზების აღმოჩენა და აღმოფხვრა. დასმული ამოცანა ძალიან რთულია რადგანაც არ არსებობს თანმიმდევრული ჩამოყალიბებული ავარიის რისკის შეფასების მეთოდოლოგია. ავარიები და კატასტროფები ძირითადად გამოწვეულია კონსტრუქციების ცალკეულ ელემენტებში დეფექტების ჩასახვით და განვითარებით, რომლებიც უმეტესწილად გამოწვეულია გარე დინამიკური ძალების ზემოქმედებით. ამ პროცესის

ჩამოყალიბებას სჭირდება გარკვეული დრო, რომელსაც შეიძლება კონსტრუქციის რღვევის წინა მდგომარეობა ვუწოდოთ.

იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ კონსტრუქციების ავარიები და კატასტროფები, აუცილებელია განისაზღვროს რღვევის წინა მდგომარეობა ანუ მოსალოდნელი ავარიის რისკი, დამუშავდეს კონსტრუქციების რღვევის წინა მდგომარეობის პროგნოზირების და ანალიზის მეთოდების ერთიანი სისტემა. ყველა ეს საკითხი დასმულია და გადაწყვეტილია დისერტაციაში, რაც მის აქტუალობაზე მიუთითებს.

**ნაშრომის მიზანია** კონსტრუქციების მოსალოდნელი ავარიის რისკის შეფასება, პროგნოზირება და ნარჩენი რესურსების დადგენა. ამასთან დაკავშირებით მიზნად დავისახეთ გაგვეჩილა:

- კონსტრუქციების და მათი ცალკეული ელემენტების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი ფაქტორების განსაზღვრის არსებული მეთოდოლოგია;
- საგანგებო სიტუაციების და ზარალის სახეები;
- საგანგებო სიტუაციებში ნაგებობის კონტროლის აპარატურულ-კომპიუტერული კომპლექსი და საანგარიშო მოდელები;
- კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდი;
- კონსტრუქციების ნარჩენი რესურსების დადგენა საგანგებო სიტუაციებში მოქმედი ძალების მიმართ;
- საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმი მოსალოდნელი რისკის ფაქტორების საფუძველზე.

დასახული ამოცანების შესასრულებლად ნაშრომში დამუშავებულია კონსტრუქციების რღვევის ანალიზის საანგარიშო მოდელი და ავარიის წინა მდგომარეობის პროგნოზირების ლოგიკურ-მათემატიკური მოდელები.

შექმნილია ავარიის რისკის შეფასების მეთოდოლოგია საიმედოობის თეორიის, ფიზიკური მეთოდების, სტატისტიკური და არსებული მონაცემების ბაზაზე.

დასაცავად წარმოდგენილია შემდეგი დებულებები:

- საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების დაზუსტება და საანგარიშო მოდელები;

- კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდის თეორიული და ექსპერიმენტული გზით დამუშავება;
- კონსტრუქციების ნარჩენი რესურსების დადგენა საგანგებო სიტუაციების დროს მოქმედი ძალების მიმართ.

**ნაშრომის მეცნიერული საიხლე მდგომარეობს შემდეგში:**

- შესწავლია მასალის ქცევა დარტყმისას და დადგენილია კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის პარამეტრები;
- მოცემულია რკინა-ბეტონის კონსტრუქციების დინამიკური გაანგარიშების მეთოდი;
- დამუშავებულია კონსტრუქციების ავარიის შეფასების კრიტერიუმები და დაყოფილია დასახლებული პუნქტები რისკის ხარისხის მიხედვით;
- დადგენილია შენობის ცვეთის მაჩვენებელი და სინშირული მახასიათებელი. დადგენილია შენობის საკუთარი რხევის სინშირე და რთული კონსტრუქციების კვეთის პარამეტრები;
- თავმოყრილია და შესწავლილია კონსტრუქციების ნარჩენი რესურსების შეფასების პროგრამული საშუალებები.

**პრაქტიკულ ღირებულებას** წარმოადგენს საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების დაზუსტებით, ანგარიშით და ნარჩენი რესურსების დადგენით მოსალოდნელი ავარიის რისკის შეფასება. საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმი და კონსტრუქციების დარტყმისაგან დამცავი სისტემის დამუშავება.

ძირითადი შედეგების საიმედოობა განპირობებულია თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების დასაბუთებული მეთოდების გამოყენებით და პრაქტიკაში დანერგვით.

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

- საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ა. ზავრიევის სახელობის სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომედეგობის ინსტიტუტში მოქმედ სამეცნიერო სემინარებზე 2000-2005 წლებში.

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „კონსტრუქციების დაზიანების ტექნიკური დიაგნოსტიკის და ექსპერტიზის“ №122, „სამშენებლო მექანიკისა და ნაგებობათა სესმომდეგობის №57 კათედრების სემინარებზე.
- საერთაშორისო კონფერენციაზე ქ. ქუთაისში 2007წ.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია სამეცნიერო ნაშრომი, აქედან 10 სტატია და 2 თეზისი.

**ნაშრომის მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავლის, 5 თავის, ძირითადი დასკვნების და 120 დასახელების ლიტერატურისაგან ნაშრომში 30 ნახაზია და 12 ცხრილი. ტექსტი შედგება 143 გვერდისაგან.

# თავი 1. თანამედროვე წარმოდგენების მიმოხილვა საბანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასებაზე

## 1.1. პრობლემები და ამოცანები

შენობა-ნაგებობების, მანქანა-დანადგარების, საავიაციო ტექნიკის, საავტომობილო, სარკინიგზო და საზღვაო ტრანსპორტის უსაფრთხოებისათვის საჭიროა ტექნიკური მდგომარეობის მიხედვით შეფასდეს, ავარიების რისკი, რათა თავიდან იქნას აცილებული სახიფათო სიტუაციები. ამასთან აუცილებელია შეფასდეს ექსპლუატირებული კონსტრუქციების ცვეთის ხარისხი და წარმოქმნილი ბზარები, რაც საშუალებას იძლევა გაკეთდეს დასკვნა მათი შემდგომი ექსპლუატაციის შესახებ.

სამშენებლო კონსტრუქციების და მანქანა-დანადგარების ცალკეული დეტალების ტექნიკური მდგომარეობა ითვალისწინებს მათი გეომეტრიული ზომის დაცვას, წუნის შეფასებას, ზედაპირების სისუფთავის კლასს, მასალის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების სტაბილურობას.

პრაქტიკულად კონსტრუქციების რღვევის მიზეზები სხვადასხვაა, მაგრამ შესაძლებელია მათი გაერთიანება შემდეგ ჯგუფებად:

- რღვევა, რომელიც გამოწვეულია კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური მიზეზებით, წარმოების მიზეზებით, რემონტისა და არასწორი ექსპლუატაციის გამო;
- რღვევა გამოწვეული საგანგებო სიტუაციებით, რომლის დროსაც კონსტრუქციაზე მოქმედებს გაუთვალისწინებელი განსაკუთრებული ძალები.

კონსტრუქციების რღვევის და ცვეთის ძირითად მიზეზად შეიძლება დასახელდეს გამოყენებული მასალის არასწორი შერჩევა, ასევე მასზე მოქმედი ფაქტორული ძალების არასრულყოფილი გათვალისწინება. რღვევის კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ მიზეზად უნდა ჩაითვალოს ტემპერატურის, კოროზიის და ვიბრაციის გავლენა, ასევე ხახუნი და ცვეთის ფაქტორები. ბოლო ფაქტორებიდან გამოწვეული მასალის რღვევას უწოდებენ მასალის დაღლილობით გამოწვეულ რღვევას.

რღვევის საწარმოო მიზეზად, როგორც წესი უნდა დასახელდეს კონსტრუქციის დამზადების და ხარისხის კონტროლის პროცესების დარღვევა. მაგალითად, ასეთი შეიძლება იყოს შემსრულებელი პირის არასაკმარისი კვალიფიკაცია, რომელსაც ეკისრება კონსტრუქციის დამზადება და შესაბამისობის ხარისხის შემოწმება.

რღვევის საექსპლუატაციო მიზეზს წარმოადგენს საექსპლუატაციო ნორმების დარღვევა, ე.ი. ექსპლუატაციისას დატვირთვების გადამეტება, რეგლამენტით გათვალისწინებული სამუშაოების არასრულყოფილი შესრულება, ასევე არასრული კონსტროლი და სხვა.

რღვევის განსაკუთრებული მიზეზია საგანგებო სიტუაციები, რომლის დროსაც წარმოიქმნება უკონტროლო დამატებითი დინამიკური ძალები.

დიდი ქალაქების წარმოქმნასთან ერთად გაჩნდა პრობლემა მოსახლეობის შესაძლო მაქსიმალურად დაცვის შესახებ. ნგრევას და ადამიანთა მსხვერპლს იწვევს არა მარტო მრისხანე სტიქიური მოვლენები, არამედ ადამიანის მიერ აგებული შენობა-ნაგებობების უეცარი ავარიებიც. ბუნებრივი სტიქიური მოვლენები და სხვადასხვა ავარიული სიტუაციები წარმოიქმნებიან იშვიათად. ზოგიერთ ბედნიერ შემთხვევაში ის შეიძლება არ მოხდეს შენობის მთელი ექსპლუატაციის განმავლობაში. ეს სრულიადაც არ ნიშნავს იმას, რომ ამ პერიოდში შენობა „ისვენებდა“. პირიქით თავისი „ცხოვრების“ მანძილზე ყოველდღე, ყოველ საათსა და ყოველ წუთს იგი განიცდის სხვადასხვა „მორიგი“ დატვირთვების მოქმედებას, რომელთა არსებობა ნაგებობისათვის არ უნდა იყოს უცხო.

ბუნებრივი მრისხანე სტიქიური მოვლენები შენობა-ნაგებობებზე მოქმედებენ ე.წ. „განსაკუთრებული დატვირთვის“ სახით. გრიგალური ქარები, რომლებიც ფლობენ უზარმაზარ კინეტიკურ ენერგიას თავიანთი მოძრაობის გზაზე თითქმის მთლიანად ანადგურებენ ყველაფერს. გრიგალის წარმოქმნის ადგილისა და მისი მოძრაობის მიმართულების დადგენა დღევანდელ პირობებში შესაძლებელია, რაც მსხვერპლისა და მატერიალური ზარალის შემცირების საშუალებას იძლევა. რაც შეეხება მიწისძვრას დღეს მეცნიერების დიდი მცდელობის მიუხედავად შეუძლებელია მიწისძვრის პროგნოზირება. მსხვერპლისა და ნგრევის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა ჩატარდეს გარკვეული სამუშაოები, კერძოდ: შენობა-ნაგებობების სეისმომდებელი ნორმების დაცვით დაპროექტება და აგება, შენობა-

ნაგებობათა მშენებლობის ხარისხის ამაღლება და მასზე მკაცრი კონტროლის დაწესება; არსებული შენობა-ნაგებობების სეისმომდებლობის დეფიციტის დადგენა და შესაბამისად გაძლიერება.

მიწისძვრის შედეგად მიყენებული ზარალის მიხედვით განისაზღვრება მიწისძვრის ინტენსივობა, რომელიც 12 საფეხურადაა დაყოფილი (იაპონიის გარდა, სადაც მიღებულია 7 საფეხური). თითოეულ საფეხურს ბალის სათანადო დასახელება მიენიჭება.

ნაგებობებისათვის 1-6 ბალის მიწისძვრები საშიშროებას არ წარმოადგენს. 10-12 ბალის ინტენსიობა იწვევს კატასტროფას, ამიტომ ასეთ პირობებში შენობა-ნაგებობებს არ აშენებენ. რაც შეეხება 7-9 ბალინა რეგიონებს მოსალოდნელი მიწისძვრების გავლენა ნაგებობებისათვის გათვალისწინებული უნდა იქნეს.

შენობა-ნაგებობები იყოფა სამ ტიპად:

- ა – ტიპის შენობებს მიეკუთვნება ქვის ალიზისა და თიხატკეპნილისაგან აგებული სახლები;
- ბ – ტიპის ჩვეულებრივი აგურის, მსხვილბლოკური ან თლილი ქვისაგან აგებული და ხე-აგურის სახლები;
- გ – ტიპის რკინაბეტონის კარკასული და კარგად აშენებული ხის სახლები. დაზიანების მიხედვით შენობათა კლასიფიკაცია:

I ხარისხის – ბათქაშის წვრილი ბზარები და მცირე ნაწილის ჩამოვარდნა;

II ხარისხის – კედლებში მცირე ბზარები, ბათქაშის ჩამოცვენა, კრამიტების ვარდნა, ბზარები საკვამლე მილებში, საკვამლე მილების ნაწილობრივ ვარდნა;

III ხარისხის – მძიმე დაზიანებები, დიდი და ღრმა ბზარები კედლებში, საკვამლე მილების ვარდნა.

IV ხარისხის – რღვევა, გამჭოლი ბზარები, შენობის ნაწილების ნგრევა შიგა კედლების და კარკასის შევსების ჩამოშლა;

V ხარისხის – შენობის მთლიანი რღვევა.

კონსტრუქციების გაანგარიშების ამოცანები რღვევის წინა მდგომარეობაში დრეკადობის ზღვრებში განხილულია [47,57] ნაშრომებში, მაგრამ ისინი არ

გამოდგებიან ექსპლუატაციის პერიოდში წარმოქმნილი დეფორმაციის ანგარიშისათვის. ამ ამოცანების ზუსტი გადაწყვეტა დაკავშირებულია დიდ სირთულეებთან, ისევე როგორც სხვა ამოცანებისა, რომლებიც განისაზღვრებიან გარდამავალი პროცესებით.

აღრე, მასალების რღვევის მექანიზმის შეფასებისათვის მკვლევარები იძულებულნი იყვნენ ესარგებლათ მხოლოდ მაკროგანსაზღვრებებით, ნ.ნ. დავიდენკოვმა, შავი მეტალების გამოცდების შედეგების ანალიზის საფუძველზე, შემოიღო ცნება “მოწყვეტის მყიფე წინაღობა” (კრისტალური მსხვრევისათვის) და “მოწყვეტის ბლანტი წინაღობა” (ბოჭკოვანი მსხვრევისათვის). ის თვლიდა, რომ რღვევა ყველა შემთხვევაში გამოწვეულია ნორმალური ძაბვებით, ხოლო მისი მყიფე ან ბლანტი ბუნება განისაზღვრება რღვევას პლასტიკური დეფორმაციით და კრისტალური სიბრტყის ორიენტაციით, რომლის მიხედვითაც წარმოიშვა რღვევა. მაგალითად, ფოლადის და მისი შენადნობებისათვის ბლანტი ბოჭკოვანი მსხვრევა გადის მოსრიადების სიბრტყეზე, ხოლო მყიფე კრისტალური რღვევა – დარჩილვის სიბრტყეებზე.

ინიციალები ფრიდმანის პირველადი წარმოდგენებით რღვევის ზედაპირის მიმართულება წარმოადგენს გადამწყვეტ ფაქტორს რღვევის მექანიზმის განსაზღვრაში. ცნება “მოწყვეტის მაკროსკოპული წინაღობა” მან გამოიყენა ყველა სახის რღვევისათვის (ბლანტი და მყიფე), რღვევის სიბრტყე პერპენდიკულარულია ყველაზე დიდი გამჭიმავი ძაბვისა, ხოლო ჭრის (ძვრის) შემთხვევაში, რღვევის სიბრტყე გადის ყველაზე დიდი მხები ძაბვების მოქმედების სიბრტყეში.

შემდგომში [47] ნაშრომში მოცემული იქნა რღვევის მექანიზმის სამი ძირითადი სახე: ჭრა ანუ პლასტიკური რღვევა, გამოწვეული მხები ძაბვებით, რომელსაც სხვადასხვა მასალებში შეიძლება ჰქონდეს ადგილი სხვადასხვა სახის დატვირთვის მიხედვით (გაჭიმვით, გრეხით, შეკუმშვით, ძვრით და ღუნვით); მოწყვეტა ანუ მაკრომყიფე რღვევა გამოწვეული გამჭიმავი (ნორმალური) ძაბვებით ან დეფორმაციებით, რომელთა გამოწვევის მიზეზად შეიძლება დასახელდეს დატვირთვის სხვადასხვა სახე. ახლენვა ანუ მყიფე რღვევა გამოწვეული მხები ძაბვებით (მყიფე მასალებისათვის).

განვიხილოთ მიკრო რღვევის მექანიზმის ორი ტიპი: მარცვლებს შიდა და მარცვლებს შორისი [24, 40, 42, 43].

თავდაპირველად განვიხილოთ მარცვლებს შიდა რღვევის მექანიზმი ანუ მარცვლებს შიდა ახლეჩვა. რაც წარმოდგენს დაყოფას განსაზღვრული კრისტალური სიბრტყეების მიმართ, რომელიც მიმდინარეობს ლითონში და გამოვლინდება განსაკუთრებულ პირობებში. ახლეჩა ვითარდება გამჭვირავი ზემოქმედებით ახლეჩილი სიბრტყისადმი პერპენდიკულარული მიმართულებით. იგი ზღუდავს პლასტიკური ზონის გაზრდას ბზარის წვერზე.

მიკროფორების წარმოქმნა და შეერთება წარმოდგენს მასალის განცალკევების პროცესს. პლასტიკური დეფორმაციის გაზრდასთან ერთად იზრდება წარმოქმნილი მიკროფორები. ჩნდება ფორების ახალი ჩანასახები, მათი განმაცალკევებელი თხემები თხელდება და წყდება. წარმოქმნილი ზედაპირული ფორები შეიცავენ მრავალრიცხოვან ჯამისმაგვარ ჩაღრმავებებს და ორმოებს. მოწყვეტა წარმოდგენს ლოკალურ რღვევას, რომელიც განხორციელდება პლასტიკური დენადობის გზით (ყელის წარმოქმნით) მასალის მცირე უბნებზე ან ზღურბლებზე. იგი წარმოიქმნება რღვევის პროცესის შედეგად ბზარის გადაადგილებისას სხვა რღვევის პროცესებთან თანხვედრაში.

ახლეჩვისა და მიკროფორების შერწყმის ერთობლიობას წარმოდგენს კვაზიახლეჩვა. კვაზიახლეჩვისთვის არ არის გამოკვეთილი საზღვარი ნახლეჩის ნაზოლსა და ღრმულოვან უბნებს შორის, რომლებიც საზღვრავენ მას. რღვევის ზედაპირი კვაზიახლეჩვისას განსხვავდება შემდეგი განსაკუთრებულობით: მას აქვს იმის ნიშანი, რომ რღვევა ჩაისახება ნაზოლს შიგნით (განსხვავებით ხლეჩვითი რღვევისაგან, რომელიც იწყება ნაზოლის ნაპირიდან). ხლეჩვის საფეხურები უშუალოდ გადადიან მეზობელი ღრმულოვანი უბნების მოწყვეტის თხემში.

დაღლილობითი ნალარის წარმოქმნა ზოგად შემთხვევაში (ლაერდისა და სმიტის თანახმად) თავის მხრივ წარმოდგენს გადაადგილებას პლასტიკური დეფორმაციის არეში, ნაპრალების სიბრტყეში მისი წვერის პერიოდული დატოტვის მეშვეობით მაქსიმალური მხები ძაბვების მოქმედების მიმართულებით.

მარცვალშიდა რღვევის დამახასიათებელი მექანიზმებია, როგორც მყიფე ასევე ბლანტი დანაწევრება.

მარცვალთშორის ახლეჩვა (მყიფე დანაწევრება), როგორც წესი წარმოდგენს თერმულად აქტიური მინაერთების სეგრეგაციის შედეგს, რომელიც

განპირობებულია მარცვლებს შორის ენერჯის მკვეთრი შემცირებით. ასეთი რღვევის ზედაპირს აქვს მარცვლებით მოწახნაგებული სახე.

რამდენადაც დეტალების აბსოლუტური უმრავლესობისათვის გარკვეული დატვირთვის პირობებში რღვევის განმსაზღვრელ როლს ასრულებს ძალისმიერი ფაქტორები, ამდენად რღვევის სახეების დასახასიათებლად შემოვიფარგლოთ დაძაბულობის მდგომარეობის დამოკიდებულებით მყარი სხეულის ზედაპირულ რღვევასთან. რღვევის სახეები ამ დამოკიდებულებით შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად [50, 51]. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება რღვევის სახეები, რომლებიც მიიღებიან ზედაპირული ბზარების გაჩენით. ეს ბზარები პერპენდიკულარული არიან ნორმალური ძაბვების მოქმედების მიმართულებით. ასეთი პროცესი წარმოშობილია მიმდინარე მყიფე და მაკრომყიფე რღვევების შედეგად (უმრავლესობა მიიღება დაღლილობით რღვევისას, რაც მათი განვითარების მეორე სტადიაა).

მეორე ჯგუფში შეიძლება გავაერთიანოთ რღვევის სახეები, რომლებიც მიიღება ზედაპირული ბზარების განვითარებით მაქსიმალური მხები ძაბვების მიმართულებით. ამ დროს ადგილი აქვს ბლანტი რღვევის პროცესს ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობის პირობებში (მაგ. თხელ კვეთებში ან თავისუფალი ზედაპირის ახლოს). აგრეთვე ზოგიერთი დაღლილობითი რღვევისას, რომლებიც მიმდინარეობენ ცვალებადი გრეხვის პირობებში.

მყიფე მასალებში რღვევის სიბრტყე ერთჯერადი დატვირთვებისას მიახლოებით გაჭიმვის მიმართულების პერპენდიკულარულია (რღვევის პირველი ჯგუფი), თანაც რღვევა წარმოებს მცირე პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად.

როგორც ცნობილია, გრეხვის დეფორმაციისას, გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვები მოქმედებენ  $45^\circ$ -იანი კუთხით ნიშუშის ღერძისადმი და ურთიერთპერპენდიკულარული არიან. მაქსიმალური მხები ძაბვები მოქმედებენ გრძივი და განივი მიმართულებებით. ბლანტ მასალებში მხები ძაბვები ამ შემთხვევაშიც იწვევენ რღვევის წინ მნიშვნელოვან დეფორმაციებს. თუმცა ეს დეფორმაციები ხშირად მცირეა, რადგანაც დეტალის ფორმა არ იცვლება, თუ არ ჩავთვლით დენადობის ნაკვალევს ზედაპირზე. თუ ნიშუში დამზადებულია ბლანტი მასალებისაგან, ერთჯერადი გრეხვისას წარმოქმნილი ბზარები, ჩვეულებრივად კვეთენ მას განივ სიბრტყეში მაქსიმალური მხები ძაბვების მოქმედების მიმართ (რღვევის მეორე ჯგუფი). მყიფე მასალა სუფთა გრეხვისას განიცდის რღვევას

სიბრტყეში, ნორმალური დაბეჭდვის მიმართ პერპენდიკულარულად, რომელიც იმყოფება  $45^\circ$ -ით ნიშნის ღერძის მიმართ (რღვევის პირველი ვგუფი). ამ შემთხვევაში დამახასიათებელია სპირალური რღვევა (ბზარი). დრეკადი დაბეჭდვები წმინდა გრეხვისას განლაგდებიან ისეთნაირად, რომ ზედაპირზე ისინი მაქსიმალურები, ხოლო ცენტრში ნულის ტოლი არიან. სათანადოდ, ბზარი ჩვეულებრივად ჩნდება ზედაპირზე და ვრცელდება ნიშნის ღერძისაკენ.

ზოგჯერ გრეხვისას შეიმჩნევა გრძივი ბზარები, რადგანაც გრძივ სიბრტყეში მოქმედებენ იმავე მნიშვნელობის მხები დაბეჭდვები, რაც განივ სიბრტყეში.

როდესაც ცილინდრი დატვირთულია ერთღერძიანი კუმშვის ძალებით, გრძივი მიმართულებით მოქმედებენ მკუმშავი დაბეჭდვები  $\sigma_3$  და განივი მიმართულებით – გამჭიმავი დაბეჭდვები  $\sigma_1$ . მაქსიმალური მხები დაბეჭდვები  $\tau_{max}$  მოქმედებენ  $45^\circ$ -ით ნიშნის ღერძის მიმართ, ისევე როგორც ერთღერძიანი გაჭიმვისას. ბლანტ სხეულში მხები დაბეჭდვები ამ შემთხვევაშიც იწვევენ მნიშვნელოვან პლასტიკურ დეფორმაციებს, მაგრამ ჩვეულებრივად არ იწვევენ რღვევას. ნიშნში უბრალოდ მოკლდება და ღებულობს გარსის მაგვარ ფორმას, მხები და ხახუნით გამოწვეული ძალების ერთობლივი ზემოქმედების გამო, წარმოქმნილი შეკუმშვისას ნიშნის კიდეებზე. მყიფე მასალა ერთღერძიანი კუმშვისას ღუნვის გარეშე დაირღვევა მაქსიმალურად მოქმედი გამჭიმავი დაბეჭდვის მიმართულების პერპენდიკულარულად, რადგანაც გამჭიმავი დაბეჭდვები მოქმედებენ განივი მიმართულებით, მყიფე მასალების რღვევა კუმშვისას წარმოებს ნიშნის ღერძის პარალელურად. დრეკადი დაბეჭდვის განაწილება თანაბარია კვეთში სუფთა კუმშვისას კონცენტრატორების არ არსებობისას, სათანადოდ რღვევა შეიძლება დაიწყოს ნებისმიერ წერტილში სხეულში წარმოშობილი დიდი დაბეჭდვის შედეგად.

როდესაც კონსტრუქციის ელემენტი იტვირთება ღუნვის გზით, ამოზნექილი ზედაპირი იჭიმება, ხოლო ჩაზნექილი ზედაპირი იკუმშება და შეიმჩნევა დაბეჭდვის განაწილება, დაახლოებით ამ ზედაპირების შუაში შეიმჩნევა ნეიტრალური ღერძი, სადაც დაბეჭდვები ნულის ტოლია.

ზედაპირის რღვევის ორიენტაცია მეტნაკლებად ცვალებადია, როცა დეტალის ფორმა და სათანადოდ დამაბული მდგომარეობაც რთული ხდება. მაგალითად, ხვრელის, ამონაჭერის არსებობა სახეს უცვლის დამაბულ

მდგომარეობას და ცვლის მოქმედების მიმართულებას მთავარ ნორმალურ და მხებ დაბევებს შორის.

ქვემოთ მოცემულია ყველა სახის რღვევის "კლასიკური მაგალითების" მოკლე აღწერა. უფრო დეტალური ცნობები რღვევის შესახებ შეიძლება მოვიპოვოთ ფრაქტოგრაფიის სპეციალური ლიტერატურიდან [42, 43, 45, 46].

მყიფე რღვევა – რღვევის ზედაპირი პერპენდიკულარულად ორიენტირებულია მეტწილად გამჭიმავი დაბევების მოქმედების მიმართულებისადმი. ის ხასიათდება კრისტალური და მარცვლოვანი აღნაგობის რელიეფით.

ბლანტი რღვევა – ზედაპირის რღვევა, რომელიც მთლიანად ორიენტირებულია მხები დაბევების მოქმედების მიმართულებისადმი. ბლანტი რღვევა ხასიათდება ბოჭკოვანი აღნაგობის რელიეფით (წარმოადგენს დატვიფრული არასწორი პატარა მოედნების კრისტალიტების რღვევის ერთობლიობას), როდესაც ის გადის ზედაპირზე, მეტწილი გამჭიმავი ძალებისადმი პერპენდიკულარულად, ან აქვს აბრეშუმისებური სახე, როდესაც ის გადის ზედაპირზე, თანხვედნილი მხები დაბევების მოქმედების მიმართულებისადმი.

შენელებული მყიფე რღვევა, შედგენილია არსებითად ორი სხვადასხვა აღნაგობის ზონისაგან: შენელებული რღვევისა და ბზარის გაჩენის წინა ზონებისაგან. შენელებული რღვევის ზონა ორიენტირებულია მეტწილი სიდიდის გამჭიმავი დაბევების მოქმედების მიმართულებისადმი. იგი ხასიათდება მარცვლოვანი ან კრისტალური აგებულების რელიეფით. რიგ შემთხვევებში ეს ზონა შეიცავს აღნაგობის მიხედვით ვიწრო ნაღარებს ან კარგად შესამჩნევ წრიულ ხაზებს, რომელთაც გააჩნიათ უმცირესი მყიფე აღნაგობა. ბზარის გაჩენის წინა ზონა ორიენტაციის მიხედვით დასაწყისში შენელებული რღვევის ზონის თანხვედნილია და აქვს ბოჭკოვანი აღნაგობა.

დაძაბულობის ქვეშ მყოფი კოროზიული რღვევა, რომლის წარმოქმნაც განპირობებულია ხანგრძლივი კოროზიული ზემოქმედებით. ორიენტაციისა და აღნაგობის მიხედვით ანალოგიურია შენელებული მყიფე რღვევისა, ხოლო განსხვავდება დიდი სიმყიფით, კოროზიის პროდუქტის თანაარსებობით და ნაპრალებით მარცვლების საზღვრების გასწვრივ.

ცოცვადობითი რღვევა, რომლის წარმოქმნაც გამპირობებულია ხანგრძლივი ტემპერატურის მომატებით (ერთდროულად დატვირთვით), შედგება სამი

არანათლად გამოხატული ზონისაგან: ბზარის შენელებული განვითარების ზონისაგან (მიმართულია, ემიჯნება კერას, იმ შემთხვევაში როცა ის გამოვლინდება), სწრაფი რღვევის განვითარების ზონისაგან და რღვევის წინა ზონისაგან. პირველი და მეორე ზონები ორიენტირებულნი არიან მეტწილი სიდიდის გამჭიმავი ძაბვების ზემოქმედების მიმართულების პერპენდიკულარულად. პირველი ზონა პრაქტიკულად მთლიანად ხასიათდება მარცვლოვანი აღნაგობის რელიეფით (მასალაში სხვადასხვა მარცვლოვანი სტრუქტურით რღვევა შეიძლება დაიწყოს მსხვილ მარცვალში, როგორც შიდაკრისტალური ხლეჩვა), ხოლო მეორე ზონა – რელიეფით შერეული მარცვლოვანი – ბოჭკოვანი აღნაგობით. რღვევის წინა ზონას უპირატესად გააჩნია ბოჭკოვანი აღნაგობა, ძირითადად ორიენტირებულია მეტწილი სიდიდის გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების მიმართულებისადმი პერპენდიკულარულად.

ტიპიური (მრავალციკლიანი) დაღლილობითი რღვევა ორიენტირებულია გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების მიმართულებისადმი პერპენდიკულარულად და შედგენილი ძირითადი ზონისაგან: კერის რღვევის, უშუალოდ ბზარების განვითარებისა და რღვევის წინა ზონისაგან. რიგ შემთხვევებში რღვევის წინა ზონამდე მჟღავნდება ბზარების უსწრაფესი განვითარების ზონა. რღვევის კერა (ნაპრალების ჩასახვის მაკროსკოპიული ზონა) ჩვეულებრივად ხასიათდება მცირეკრისტალური აღნაგობის რელიეფით (შეიცავს მიკროსკოპულ ზონას, სათანადო დაღლილობითი რღვევის განვითარების პირველ სტადიას და თავის მხვრივ წარმოჩენილ ბზარების გავრცელების უბანს მოცურების სიბრტყეში). ბზარების თანდათანობითი განვითარების ზონა (შეესაბამება მეორე, მიკროლოვანი დაღლილობითი რღვევის სტადიას), ხასიათდება იმით, რომ კრისტალური აღნაგობის რელიეფი, როგორც წესი, შეიცავს კონცენტრირებული კერიდან გამავალ დაღლილობით ხაზებს, რომლებიც წარმოადგენენ ბზარების გავრცელების ფრონტის კვალს და წარმოადგენენ საფეხურების საზღვრებს ან სხვადასხვა ხავიანობის უბნებს. წინამსხვრევის ზონა ხასიათდება უხეშკრისტალური აღნაგობის რელიეფით და მცირე ზომის კიდურა ბზარების არსებობით (ორიენტირებული მეტწილი სიდიდის მხები ძაბვების მოქმედების მიმართულებით).

რღვევა მცირეციკლიანი დაღლილობით ორიენტირებულია გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების პერპენდიკულარულად. ის ძირითადში ემთხვევა ტიპიური

მრავალციკლიანი დალილობის რღვევას. მცირეციკლიანი დალილობითი რღვევა მრავალფეროვანია. რიგ შემთხვევებში აქვს რადიალური ნაჭდევები, პლასტიკური დეფორმაციის შესამჩნევი კვალის თანაარსებობა, განსაკუთრებით რღვევის უბანზე (სწრაფი განვითარების ზონა, რასაც ადგილი აქვს რღვევის წინა მომენტში).

თერმული დალილობითი რღვევა, რომლის წარმოქმნაც განპირობებულია ციკლური ტემპერატურული დაბების შემოქმედებით, წარმოქმნილი განმეორებითი გაცხელებით და გაცივებით. აღნაგობის ორიენტაციის მიხედვით თერმული დალილობითი რღვევა, საერთო ჯამში, ტიპური (მრავალ ციკლიანი) დალილობის რღვევის ანალოგიურია და ხასიათდება: მრავალკერიანობით (ჩვეულებრივ აქვს ერთი ან სამი ძირითადი და რამოდენიმე დამატებითი კერა); ახასიათებს ბზარის თანამიმდევრობითი განვითარების ზონის მცირე გახანგრძლივება, რომელიც როგორც წესი ხასიათდება დანაოჭებით, არამკვეთრი შემოხაზული კერიდან ნაჭდევებით და სუსტად გამოკვეთილი დალილობითი ხაზებით; რელიეფის დიდი მოგლუვებით მკვეთრად შემოხაზული საზღვრების არქონა; რელიეფის უბნების მარცვლოვანი აღნაგობის არსებობა (იმ შემთხვევაში, როცა მარცვალშორის რღვევა არ შეიძლება იყოს ახსნილი რაიმე მიზეზებით).

რღვევა გამოწვეული კოროზიული დალილობით – რომლის წარმოქმნა განპირობებულია ერთდროულად მრავალჯერადი კოროზიული არხის დატვირთვის შემოქმედებით. ორიენტაციით და აღნაგობით კოროზიული დალილობითი რღვევა ძირითადად ტიპური რღვევის ანალოგიურია, მას ანსხვავებენ: მრავალკერიანობით, კოროზიული დაზიანებების არსებობით, მცირე და მსხვილი ბზარების მცირე გამოკვეთილობით დალილობის ხაზების მარცვლოვანი აღნაგობის რელიეფზე (ადგილი აქვს მარცვალშორის რღვევისას). ამის გარდა, კოროზიული დალილობით გამოწვეული რღვევისათვის დამახასიათებელია მეტნაკლებად მკვეთრად გამოხატული დალილობითი რღვევის პირველი სტადიის განვითარება ფორსაიტის კლასიფიკაციის მიხედვით, წოდებული აგრეთვე კრისტალოგრაფიულად, რადგან ის ნამდვილად დაკავშირებულია რღვევასთან, განსაზღვრული კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეში მაქსიმალური მხები დაბების შემოქმედებით. ამასთან დაკავშირებით დალილობითი ბზარების განვითარების პირველ სტადიაში ტრაექტორია ორიენტირებულია  $45^{\circ}$ -ით მთავარი ნორმალური დაბების შემოქმედებისადმი. ჩვეულებრივ პირობებში დატვირთვებისას რღვევის

ხანგრძლივობა, რომელიც შეესაბამება პირველ სტადიას, აქვს მიკროსკოპული ზომები (ორი ... ხუთი მარცვლის ფარგლებში) და მაკროანალიზისას, როგორც წესი არ ხდება მისი გამოძიება. კოროზიულ არეში რღვევის პირველი სტადია ხანგრძლივდება იმდენად, რომ შეიმჩნევა რღვევის მაკროანალიზის დროსაც [44].

რღვევის აღწერილი სახეები იძლევიან საკმარისად სრულ წარმოდგენას ლითონის მასალებში გამოვლენილი რღვევითი პროცესების სირთულისა და მრავალნაირობის შესახებ. თუმცა ექსპლუატაციური რღვევის ერთ-ერთ განხილულ სახესთან იდენტიფიცირება ხშირ შემთხვევაში არც თუ მარტივ ამოცანას წარმოადგენს, რადგანაც დეტალების რღვევა განპირობებულია დატვირთვების ტიპების მრავალი სახის შეხამებასთან, მათ ღონესთან, მოდების სიჩქარესა და წესებთან (ხერხებთან), რთულდება ერთდროული ზემოქმედებით სხვადასხვა არით და ტემპერატურით. ამის გამო ზემოთ მოყვანილი რღვევათა სახეების მაკროდახასიათება მიზნის მიღწევისათვის საკმარისი არ არის.

დღესდღეობით მაკროანალიზი უმრავლეს შემთხვევაში შეივსება მიკროფრაქტოგრაფიული ანალიზით, ოპერირებული ფრიად ვრცელი განმასხვავებელი მიკრონიშნებით, რომელთა არსებობაც არის შედეგი და შინაგანი გამოვლინება ამა თუ იმ რღვევის მექანიზმისა ან იმ მექანიზმთა განსაზღვრული შერწყმისა. უფრო ზუსტი ცნობები მიკროფრაქტოგრაფიის შესახებ მოცემულია [44, 78] ნაშრომებში, სადაც აღწერილია ზემოთ განხილული კატეგორიების ურთიერთდამოკიდებულება და გამოსაკვლევი დეტალის რღვევის კლასიფიცირება.

დეტალის რღვევის ხასიათის გამოვლენისათვის მათი შედგენილობის, სტრუქტურის, თვისებების და დატვირთვის გათვალისწინებით ლითონთა ფიზიკის ანალიზის მეთოდები ხშირია და წარმოდგენილია ლიტერატურულ წყაროებში [43, 48, 49, 55].

დეტალის ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლის მეთოდოლოგიის საკითხები მათი დატვირთვის და რღვევის ანალიზის პირობები, ასევე დეტალების არამრღვევი კონტროლის მეთოდების გამოყენების თავისებურებები საკმარისად სუსტადაა გაშუქებული და თითქმის არცერთ ლიტერატურულ წყაროში არ არის მოცემული ურთიერთკავშირი ანუ კვლევის ერთიანი ჩამოყალიბებული მეთოდოლოგია ამ მიმართულებით.

აუცილებელია შეიქმნას ცალკეული დეტალების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების მეთოდოლოგიური საფუძველი მათი დამზადების, გამოცდის, ექსპლუატაციის და რემონტის ყველა ეტაპზე. ასევე კონკრეტული რეკომენდაციები არამრღვევი კონტროლის მეთოდების და საშუალებების არჩევისათვის. აგრეთვე ლითონთა ფიზიკის ანალიზი კონსტრუქციის, საწარმოო ტექნოლოგიის, დატვირთვის პირობების და მასალების თვისებების გათვალისწინებით.

## 1.2. საგანგებო სიტუაციების და ზარალის სახეები

წარმოშობის წყაროს მიხედვით ანსხავავენ ბუნებრივ, ტექნოგენურ და ბუნებრივ-ტექნოგენურ ხასიათის საგანგებო სიტუაციებს.

ბუნებრივ საგანგებო სიტუაციებს საფუძვლად უდევს ბუნებრივი მოვლენები, რომლებიც არ არიან დამოკიდებული ადამიანის მოღვაწეობასთან, მათ მიეკუთვნება მიწისძვრები, ქარიშხლები, ტორნადოები, წყალდიდობები, ჭექა-ქუხილები (მენი) მეწყერები, ზვავები, ყინულოვანი მოვლენები, ვულკანური ლავების და ნარცის ნაკადები, ვულკანების ამოფრქვევისას, ღვარცოფები, ნიადაგის ეროზია, მეტეორიტების ცვენა და სხვა.

სეისმური საშიშროება მიწისძვრისას განისაზღვრება, როგორც გრუნტის ინტენსიური რხევით, ასევე მეორადი ფაქტორებით, როგორცაა ზვავები, მეწყერები, მიწის ზედაპირის დაწვეა (დაჯდომა) და გადახრა, გრუნტის გათხელება, წყალდიდობები, კაშხლებისა და დამცავი ჯებირების გარღვევა, ასევე ხანძრები.

ძლიერ ქარს, ატმოსფერული წნევის მნიშვნელოვან ცვალებადობას და დიდი რაოდენობით ნალექს შეუძლია გამოიწვიოს შენობა-ნაგებობების ნგრევა და ადამიანთა მსხვერპლი. საშიში ატმოსფერული მოვლენები უკავშირდება ციკლონების, ქარიშხლებისა და ტორნადოების წარმოქმნის შესაძლებლობებს.

ჭექა-ქუხილის დროს ნალექი დიდი რაოდენობით მოდის, მაგრამ ყველაზე მეტად საფრთხეს წარმოადგენს ელექტრული განმუხტვები და მენის ჩამოვარდნა. მას შეუძლია ხეების გაჩეხა, ტყეში ხანძრის გამოწვევა, შენობა-ნაგებობების ნგრევა და ა.შ.

წყალდიდობის ქვეშ გულისხობენ მდინარეში, ტბაში და ზღვაში წყლის დონის მომატების შედეგად ადგილის მნიშვნელოვან დატბორვას, რაც სხვადასხვა მიზეზებითაა გამოწვეული. სხვა დანარჩენ სტიქიურ უბედურებებს შორის განმეორებადობის, გავრცელების ფართობისა და მატერიალური ზარალის მიხედვით წყალდიდობა ერთ-ერთ პირველ ადგილზეა საქართველოში.

წყალდიდობების წარმოქმნის ბუნებრივ-გეოგრაფიული პირობებია: ნალექი, წვიმის სახით, თოვლის და ყინულის დნობა, ცუნამი, ტაიფუნი, წყალსაცავების დაცლა.

ღვარცოფი დროის შედარებით მოკლე მონაკვეთში იწვევს წყალსადინარის კალაპოტის მნიშვნელოვან ცვლილებას. მაღალი სიმკვრივე და სიჩქარეები უზრუნველყოფენ მაღალ ენერგეტიკულ დონეს, რის გამოც ის დიდ საფრთხეს წარმოადგენს მეურნეობის სხვადასხვა ობიექტებისათვის.

მეწყერი იწვევს მოძრაობას ფერდობის წონასწორობის დარღვევის შედეგად, რომელიც გრძელდება წონასწორობის ახალი მდგომარეობის მიღწევამდე. მეწყერით გამოწვეული ქანების მნიშვნელოვან გადაადგილებებს შეუძლია კატასტროფულ შედეგამდე მიგვიყვანოს და სტიქიური უბედურების ხასიათი მიიღოს, მეწყერს შეუძლია ცალკეული ობიექტები დაანგრიოს და საფრთხე შეუქმნას დასახლებულ პუნქტებს, გაანადგუროს სოფლის მეურნეობის სავარგულები, დააზიანოს კარიერები, კომუნიკაციები, გვირაბები, მილსადენები, სატელეფონო და ელექტრო ქსელები, წყალმეურნეობის ნაგებობები.

ზვავი წარმოადგენს მნიშვნელოვან საფრთხეს. მათი ჩამოსვლისას ილუპებიან ადამიანები, ნადგურდება მატერილაური სიმდიდრე, პარალიზდება ტრანსპორტის მუშაობა, იბლოკება მთელი რეგიონი, შეიძლება წარმოიქმნას წყალსატევის წყალდიდობა. ზვავური აქტივობა იწვევს საღვარცოფე მასალის დაგროვებას, რადგან თოვლთან ერთად გამოიტანება ქვის მასა და რბილი გრუნტი.

ტექნოგენური საგანგებო სიტუაციები უმთავრესწილად განპირობებულია ადამიანის ტექნიკური მოღვაწეობით. ასეთი ტიპის საგანგებო სიტუაციების მაგალითებს წარმოადგენს ავარიული აფეთქებები და ხანძრები, რადიაციული და ქიმიური ავარიები, ტერორისტული აქტები და სხვა.

აფეთქებასთან დაკავშირებული ავარიების პოტენციური ობიექტებია ფეთქებად და ცეცხლსაშიშ ნივთიერებათა საწყობები და საცავები. მათ მიეკუთვნება

ნავთობსაწყობები და ნავთობის ბაზები, სარაკეტო საწვავის საწყობები, საარტილერიო, საინჟინრო საბრძოლო მასალის საწყობები, ასაფეთქებელ ნივთიერებათა საწყობები და ა.შ. მაგრამ, გარდა ამისა მძიმე ავარიებთან და ადამიანთა მსხვერპლთან დაკავშირებული აფეთქებები სამოქალაქო სამრეწველო საწარმოებშიც ხდება. ფეთქდება ქვაბები საქვაბებში, აირები, აპარატები, პროდუქცია და ნახევარფაბრიკატები ქიმიურ საწარმოებში, ბენზინისა და სხვა კომპონენტების აირები ნავთობ გადამამუშავებელ ქარხნებში, ფქვილის მტვერი წისქვილ კომბინატებსა და მარცვლეულის ელევატორებში, შაქრის პულრა შაქარ-სარაფინადო ქარხნებში, ხის მტვერი და ლაქსაღებავის აირები ხის გადამამუშავებელ კომბინატებში, აირულ კონდენსატებში, აირსადენებიდან გაჟონვისას და ა.შ. ასევე ასაფეთქებელ ნივთიერებათა აფეთქების შემთხვევებია დაფიქსირებული ტრანსპორტირებისას. განსაკუთრებულად საშიშია აფეთქების მძიმე შედეგებით მალარო და შახტები, სადაც ფეთქდება ქვანახშირის მტვერი და აირი.

ხანძარი ხშირად გამოწვეულია ტექნოლოგიური პროცესებით გაუთვალისწინებელი სტიქიურად განვითარებული წვით. ხანძრის ჩაქრობასთან, მის ლოკალიზაციასთან, ხალხისა და მატერიალური სიმდიდრის გადარჩენასთან დაკავშირებული სამუშაოების წარმოების თვალსაზრისით ხანძრების კლასიფიკაცია სამ მთავარ ზონას მოიცავს. ცალკეული ხანძრების, მასიური და გაბმული ხანძრების და ჩამონაქცევში ხანძრებისა და ფერფლის ზონარები. ხანძრები შეიძლება იყოს ტყის, ტორფის, საველე (მინდვრის), ქალაქებისა და დასახლებულ პუნქტებში, აირების, აირნავთობისა და ნავთობპროდუქტების.

ბუნებრივ-ტექნოგენიურ საგანგებო სიტუაციებს მიაკუთვნებენ ისეთ საგანგებო სიტუაციებს, სადაც ბუნებრივი მოვლენები (არაიშვიათად გამოურიცხავი მოცემული რეგიონისათვის) იწვევენ კატასტროფულ შედეგებს, რომლებიც ინიცირებენ ტექნოლოგენური ავარიებიდან და კატასტროფებიდან. ამ უკანასკნელი ტიპის საგანგებო სიტუაციების, მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ პერიოდული დატბორვა ზოგიერთი რაიონების, სადაც აშენებულია და კვლავაც გრძელდება მრავასართულიანი სახლების მშენებლობა, რაც ზრდის მოსახლეობის კონცენტრაციას, ფუნქციონირებს საშიში (მაგალითად ქიმიური) საწარმოები. ზემოთაღნიშნული წყალდიდობები და ღვარცოფები ასეთ რაიონებში იწვევენ მომწამვლელი ნივთიერებებითა და საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით მასიურ

დაბინძურებას, რასაც მრავალჯერადი განმეორებისას მიეყვართ ეკოლოგიურ კატასტროფამდე. სხვა მაგალითად, შეიძლება მოვიყვანოთ მასიური ხანძრები, რომლებიც გამოწვეულია მიწისძვრის ზონებში, ელექტროხაზების მოკლე ჩართვებით და ადამიანის მოღვაწეობის სხვა ელემენტებით. ტექნოგენური ავარიებისა და კატასტროფების პროვოცირება ბუნებრივი მოვლენებით აქცევს უფრო საშიშად. აგრეთვე შენობა-ნაგებობების ავარიებისა და დაზიანების მიზეზები, შეიძლება იყოს მათი დაპროექტებისას დაშვებული შეცდომები, დაბალი ხარისხის მასალების გამოყენება, მშენებლობის წესების დარღვევა, კონსტრუქციების არასწორი ექსპლუატაცია. აღნიშნული შეცდომები და დარღვევები ხშირ შემთხვევაში მთავრდება კატასტროფით.

ავარიების მიზეზების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მართალია დაპროექტებისას დაშვებული შეცდომების შედეგად ავარიების წილი დაზიანებათა საერთო რაოდენობაში მცირეა, მაგრამ ამ შეცდომებს მოსდევს კატასტროფული ხასიათის ავარიები, დიდი მატერიალური ზარალით. საჭიროა თითოეული პროექტის შემოწმება და კვალიფიკაციური ექსპერტიზა ნაგებობების საიმედოობის თვალსაზრისით. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმას, რომ გეომეტრიული ზომების დასაშვები ფარგლებიდან გადახრებით დამზადებული ელემენტების მონტაჟის შედეგად არ მივიღოთ დაქვეითებული ზიდვის უნარის მქონე ნაგებობა. გამოყენებული მასალის სიმტკიცისა და დეფორმაციის მცირე გადახრამ ნორმატიული საგან, საბუთო წესების ან ექსპლუატაციის უმნიშვნელო დარღვევამაც კი არ გამოიწვიოს კატასტროფა. პროექტი არ უნდა შეიცავდეს ისეთ კონსტრუქციულ გადაწყვეტილებებს, რომელთა ხარისხიანად შესრულება მასობრივი მშენებლობის პირობებში მეტად რთულია, პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს ის ნაკლოვანებები, რომლებსაც ავლენს მშენებლობის პრაქტიკა.

მასშტაბის მიხედვით საგანგებო სიტუაციების კლასიფიცირება ხდება შემდეგნაირად: გლობალური, ნაციონალური, რეგიონალური, ადგილობრივი და ობიექტური. დედამიწის მოსახლეობა და ტერიტორია მრავალრიცხოვანი მეურნეობის ობიექტებით ექცევა 50 საშიში ბუნებრივი და ტექნოგენური პროცესის ზემოქმედების ქვეშ. 30 წლის განმავლობაში (1962-92წ.წ.) კატასტროფული ბუნებრივი და ტექნოგენური ავარიების და კატასტროფების გამო დაიღუპა

დაახლოებით 4 მლნ. ადამიანი, ხოლო დაზიანებულთა რიცხვმა 3,3 მლნ-ს გადააჭარბეს. მარტო პირდაპირმა ეკონომიკურმა ზარალმა ამ პროცესების გამო შეადგინა დაახლოებით 380 მილ, დოლარი, ხოლო საორიენტაციოდ ჯამური ზარალი ფასდება 1,15 ტრილიონი დოლარით.

ზემოთაღნიშნულ ზემოქმედებებს შორის დღესდღეობით ადამიანთა ცხოვრებისათვის საშიშროებას წარმოადგენენ გვალვები (დალუპულთა და დაზიანებულთა 50%-ზე მეტი), წყალდიდობები (36%), ქარიშხლები, ტაიფუნები და შტორმები (8%), აგრეთვე მიწისძვრები (23%).

კატასტროფიული ნგრევები სამშენებლო კონსტრუქციების, შენობა-ნაგებობების და შესაბამისი ეკონომიკური დანაკარგები ხშირ შემთხვევაში დაკავშირებულია ზემოთ ჩამოთვლილ ჰიდრომეტეოროლოგიურ საშიშროებებთან (ყველა დანაკარგების 43%), მიწისძვრებთან (27%) და წყალდიდობებთან (20%) [11].

არსებული ფაქტობრივი მონაცემებისა და გაანგარიშებული დანაკარგების სიდიდებით ყოფილ საბჭოთა კავშირში 30 წლის განმავლობაში დაზარალდა 540 ათასი ადამიანი. ჯამურმა ეკონომიკურმა ზარალმა (1990წ. ფასებით) შეადგინა 500-570 მილიარდი მანეთი. ძირითადი დანაკარგები მოსახლეობაში ბუნებრივი საგანგებო სიტუაციებისას წარმოიშვა წყალდიდობების შედეგად (დაახლოებით 30% დალუპული), მეწყერებისა და ჩამოზავების შედეგად (21%), ზვავებისა და ქარიშხლების შედეგად (14%), ღვარცოფების შედეგად (3%), ზღვებისა და წყალასაცავების ნაპირების გადმოსვლის შედეგად (3%). ეკონომიკური ზარალის მთავარ მიზეზებს წარმოადგენენ: ნიადაგის ეროზია (დაახლოებით ყველა დანაკარგის 24%), ტერიტორიების დატბორვა (14%), წყალდიდობები და ნაპირების გადამუშავება (13%), მეწყერები და ჩამოზავება (11%), მიწისძვრა (8%).

სახიფათო ტენდენციას წარმოადგენს მთელ მსოფლიოში საგანგებო სიტუაციების რაოდენობის ზრდა და გამომდინარე დანაკარგები. ამის ერთ-ერთ მიზეზს წარმოადგენს ტექნიკური სისტემების მომატებული სირთულე, რომლებიც ქმნიან ცხოვრების ხელოვნურ გარემოს და ამასთან, იზრდება მწყობრიდან გამოსვლის შესაძლებლობაც (ავარიები). გარდა ამისა, გაიზარდა ადამიანის მოღვაწეობის გავლენა, ამ სისტემების გამოყენებით ცხოვრების ხელოვნურ გარემოზე, რაც განსაკუთრებით ნეგატიურად აისახა ბოლო ათასწლეულებში.

ეკონომიკის კრიზისი, მრავალრიცხოვანი პოტენციურად საშიში ტექნიკური სისტემების სახსრების არ არსებობა, მოსახლეობისა და სამეურნეო ობიექტების უსაფრთხოების პოლიტიკაში სტრატეგიული შეცდომების დაშვება, რომლებიც იწვევდნენ საგანგებო სიტუაციების მკვეთრ ზრდას და მათგან გამომდინარე ზარალს.

განხილულ საგანგებო სიტუაციებთან ერთად დიდი მნიშვნელობა აქვთ სოციალურ საგანგებო სიტუაციებსაც. ამათგან არის გამოწვეული ნაადრევი სიკვდილიანობით 80%, საშუალოდ წელიწადში 450 ათასი ადამიანის დაღუპვა გამოწვეულია ომებით, დაწყებული 1700 წლიდან. უკანასკნელი 30წლის განმავლობაში სექსუალურ მონებად არის ქცეული დაახლოებით 30მლნ. ქალი. ამ ჯგუფის საგანგებო სიტუაციების განხილვა გამოდის ჩვენი განხილვის სფეროდან, მაგრამ დადგენილია, რომ სოციალური რყევები უშუალო ზემოქმედებას ახდენენ ტექნოგენური სასარგებლო სიტუაციების ზრდაზე.

საგანგებო სიტუაციების რაოდენობის ზრდა განპირობებულია არა მხოლოდ ზემოთაღნიშნული ფაქტორებით, რომლებიც ძირითადად მიეკუთვნებიან ადამიანის მოღვაწეობას. ცნობილია კატაკლიზმები, რომლებიც ჩვეულებრივ ხდება ასწლეულების მიჯნაზე. დაკვირვებები აჩვენებენ, რომ ამ ფაქტორზე ზემოქმედებას შეიძლება ახდენდეს კოსმოსი, კერძოდ მზის მოქმედება.

საგანგებო სიტუაციებიდან გამოწვეულ დაღუპვის მუდმივ ზრდას გარდაუვალად მივყავართ იქამდე, რომ ერთიანი ეროვნული პროდუქტის უფრო და უფრო მეტი წილი მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ხმარდება არა ეკონომიკურ და სოციალურ განვითარებას, არამედ დაზარალებულთათვის დახმარების გაწევასა და დანგრეულის აღდგენას.

კატასტროფების რაოდენობის ზრდას, მივყავართ ჩვენს ქვეყანაში ერთ სულ მოსახლეობაზე ერთიანი ეროვნული პროდუქტის შემცირებამდე 1100-დან 3200 დოლარამდე, ანუ 3,4-ჯერ. ავარიებისა და კატასტროფების რაოდენობის შემდგომმა ზრდამ შეიძლება ქვეყანა მიიყვანოს იმ მდგომარეობამდე, როდესაც იგი იმუშავებს არა განვითარებაზე, არამედ მხოლოდ საგანგებო სიტუაციების შედეგების ლიკვიდაციაზე.

საგანგებო სიტუაციების ზემოქმედება სოციალურ-ეკონომიკურ სისტემებზე, სახალხო მეურნეობის ტერიტორიულ კომპლექსებსა და ცალკეულ ობიექტებზე

ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მოვლენის არსით, მისი ხანგრძლივობით და ზემოქმედების ფართობით, ხოლო მიყენებული ზარალის სიდიდესთან მიმართებაში, ასევე სისტემის განჭვრეტითა და ტიპით (მაგალითად დასახლებული პუნქტების იშვიათი ქსელით ან მსხვილი ქალაქი მჭიდრო განაშენიანებით).

საგანგებო სიტუაციები ზემოქმედების ხასიათის მიხედვით შეიძლება იყოს დამანგრეველი, პარალიზებადი (მაგალითად, ტრანსპორტის მოძრაობის შეჩერება) და დაუძლურებადი (მოსავლის, წყლის მარაგის და სხვა ბუნებრივი რესურსების შემცირებით). ნიშანდობლივია, რომ სხვადასხვა ობიექტებისათვის ერთი და იგივე საგანგებო სიტუაციების ხასიათი შეიძლება იყოს სხვადასხვა (მაგალითად, წყალდიდობა შეიძლება იყოს დამანგრეველი ქალაქისათვის, პარალიზებადი – დატბორილი სამანქანო გზებისათვის და დაუძლურებადი – მოსავლისათვის).

საგანგებო სიტუაციებისაგან მიყენებული ზარალის ძირითად სახეებს წარმოადგენენ: სოციალური, ეკონომიკური და ეკოლოგიური. განვიხილოთ თითოეული ცალცალკე.

სოციალური ზარალი ჩვეულებრივ იზომება საგანგებო სიტუაციებისას მსხვერპლის, დაჭრილებისა და დაზარალებულების რაოდენობით. რიგ შემთხვევაში, აგრეთვე მხედველობაში ღებულობენ იმ ადამიანთა რიცხვს (რაოდენობას), ვისაც მეტნაკლებად შეეხო საგანგებო სიტუაციებიდან გამომდინარე შედეგები.

გასული საუკუნის 80-იან წლების ბოლოს სიცოცხლის საშუალო ღირებულება შეადგენდა დაახლოებით 120 ათას დოლარს. განსხვავებისათვის შევნიშნოთ, რომ 1990წ. საბჭოთა კავშირის ეროვნული სიმდიდრე შეადგენდა დაახლოებით 3,8 ტრილიონ მანეთს, გამოძიებული მინერალები – 19 ტრილიონს (სულ დაახლოებით 30 ტრილიონი მანეთი), მაშინ, როდესაც მოსახლეობის ღირებულება – 100-200 ტრილიონ მანეთს. ამგვარად, ნებისმიერი ქალაქის მოსახლეობა მნიშვნელოვნად ღირებულია, ვიდრე თვით ქალაქი.

პირდაპირ სოციალურ ზარალთან ერთად არსებობს ირიბი, რომელშიც გამოყოფენ ეთნო-სტრუქტურულ და სოციალურ-ფსიქოლოგიურ შემადგენლობებს.

ეთნო-სტრუქტურული ზარალი – ეს არა მხოლოდ ადამიანთა დაღუპვაა, არამედ ეთნოსების დაღუპვა, იმ ხალხის ეთნიკური თვითშეგნების დაკარგვა, რომლებმაც სამუდამოდ დატოვეს სამშობლო ან რომლებიც ისტორიული ღირებულებების დანგრევის შედეგად კარგავენ მას.

სოციალურ-ფსიქოლოგიური ზარალი მდგომარეობს კეთილდღეობის შეგრძნების საერთო შემცირებაში მომხდარი უბედურების სიმძიმის ქვეშ ან ნანგრევებში ხანგრძლივი ცხოვრებით.

საგანგებო სიტუაციებისაგან მიღებული ეკონომიკური ზარალი მდგომარეობს ძირითადი ფონდების (შენობები, ნაგებობები, მოწყობილობები და ა.შ.), საბრუნავი ფონდების (ნელლეულის, საწვავის, ნახევარფაბრიკატების და ა.შ.), მზა პროდუქციის, მოსავლის, პირუტყვის, პირადი ქონების და სხვათა პირდაპირ დანაკარგებში. მიღებულია, რომ პირდაპირი დანაკარგების დათვლისას მხედველობიდან რჩებათ მისი რეალური სიდიდის დაახლოებით 30%.

ირიბი ეკონომიკური ზარალი წარმოიქმნება ხელიდან გაშვებული მოგების შედეგად (პროდუქციის სრულად მიუღებლობა და ა.შ.), საწარმოებში არსებული დაზიანებების არსებობის დროს, ხალხისა და ტექნიკის მოცდენისას ავარიულ-სამაშველო და სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების განხორციელებისას, თვითღირებულების ზრდისა ან პროდუქციის ხარისხის შემცირებისას, აგრეთვე პარალელურად მომუშავეთა დანახარჯებით, რომლებიც იძულებულნი ხდებიან გამოიყენონ მომარაგების, ტრანსპორტის სხვადასხვა საშუალებები და ა.შ. ზარალის ამ სახემ შეიძლება შეადგინოს 30%-დან 300-400%-მდე პირდაპირისაგან, ამასთან რაც უფრო მეტია მასშტაბი და სირთულე სოციალ-ეკონომიკური სისტემისა, მით მაღალია ირიბი ზარალი.

ბუნება თავის თავს ეკოლოგიურ ზარალს არ აყენებს. მაგრამ მას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ბუნებრივი ტექნოგენური ხასიათის საგანგებო სიტუაციებისას.

ექსპლუატირებული ბუნებრივი რესურსების პირდაპირ დანაკარგებს უწოდებენ ეკოლოგიურ-ეკონომიკურ ზარალს. ბუნებრივი გარემოს დანაკარგებს, როგორცაა ბიოსფერო აკუთვნებენ ეკოლოგიურ ზარალს.

ეკოლოგიური ზარალის არსებული შეფასება ჯერჯერობით მცირედით თუ პასუხობს საგანგებო სიტუაციების რეალურ შედეგებს ბუნებრივი გარემოსათვის. ეს აისახება, მაგალითად, ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის დათვლისას, ინდუსტრიული ეკონომიკის კრიტერიუმებზე დაფუძნებულ ბუნებრივი რესურსების უკიდურესად დაბალი შეფასებით. მინერალური რესურსები ფასდება მხოლოდ აღმოჩენაზე, გადამუშავებასა და მომხმარებლისათვის მიწოდებაზე გაწეული ხარჯებით. მიწის ფასი ითვლება იმ ნაკვეთების დანახარჯების სიდიდით,

რომლებიც გადაეცემა სხვა მოხმარებისათვის (წყალსაცავების ავსებისას და ა.შ.), იმ მიწების დაბრუნების ღირებულებით, რომლებიც გაფუჭდა სამრეწველო მოღვაწეობის შედეგად და საჭიროებენ აღდგენას.

ქალაქების გაფართოებას უნდა გამოეწვია მიწების ღირებულების გაზრდა, რაც არ მოხდა (მსხვილი ქალაქების გამოკლებით). პირიქით, ტექნოლოგიების დახვეწამ გამოიწვია თავისუფალი მიწების ღირებულების შემცირება. ასეთი მიდგომა, რომელიც არ ითვალისწინებს ნეგატიურ ეკოლოგიურ შედეგებს, იწვევს ისეთ დამოკიდებულებას მიწისადმი და მისი წიაღისადმი, რომ თითქმის უვარგისია.

საკუთარი ეკოლოგიური ზარალის შეფასება ასეთ პირობებში არის უფრო დაბალი. არსებითად მას აქვს სუფთა სახელშეკრულებო ხასიათი, რამდენადაც იგი განისაზღვრება თანხით, რის გადასახდელადაც მიწაზე მზადაა, რათა საზოგადოების თვალში კარგად გამოჩნდეს. უფრო მეტიც, რიგ შემთხვევებში ბუნების ავარიული დაზიანება, რიგი ექსპერტების მიხედვით, ფორმალურად თურმე მომგებიანია, რამდენადაც დანახარჯები ეკოლოგიური შედეგების ლიკვიდაციაზე ირიცხება განზოგადებულ ეკონომიკურ მაჩვენებლებში (ერთიანი ეროვნული პროდუქტი და ა.შ.), ფიქტიურად ეკონომიკური ზრდის მომატებით.

### 1.3. საგანგებო სიტუაციებისაგან მიყენებული ზარალის შეფასება

საგანგებო სიტუაციებისაგან მიყენებული ზარალი იკრიბება აცილებული დანაკარგებით და გარდაუვალი (არა აცილებული) დანახარჯებით.

დროული დანახარჯები – ჯამდება მშენებლობის გაძვირებითა და ობიექტების, სატრანსპორტო და საინჟინრო სისტემების ექსპლუატაციით საგანგებო სიტუაციების ეფექტის შემცირებისა ან დამატებითი დაცვითი ღონისძიებების ხარჯზე, სახსრებით დანახარჯებზე და ა.შ.

არა აცილებული დანაკარგები იზომება აბსოლუტურ და ფარდობით მაჩვენებლებში. აბსოლუტური დანაკარგების საზომს ჩვეულებრივ წარმოადგენს მსხვერპლის, დაზარალებული შენობების რაოდენობა და ა.შ., ნატურალურ და ფულად მაჩვენებლებში. ფარდობითი დანაკარგები იზომება მთლიანთან შედარებით

დაკარგულის წილით. მაგალითად, პროცენტებში ერთიანი ეროვნული პროდუქტიდან, საშუალო მრავალწლიანი მოსავლიდან და ა. შ. ბოლო მიდგომა საშუალებას იძლევა შეფასდეს სიმძიმე და დანაკარგის შევსება. საგანგებო სიტუაციებისას, უპირველეს ყოვლისა, გამოიანგარიშება აბსოლუტური დანაკარგები, გადაწყვეტილებების სწრაფად მისაღებად, დაზარალებული რაიონისათვის საგარეო დახმარების სახით ავარიულ-სამაშველო ზომების გასატარებლად.

ყოფილ საბჭოთა კავშირის სამოქალაქო თავდაცვაში და ღსთ-ს ქვეყნებში შემუშავებულია საგანგებო სიტუაციების შემდეგი გრადაცია, რომელიც დაფუძნებულია შედეგების სიმძიმეზე:

– მსხვერპლის რაოდენობით:

- 1) მსუბუქი საგანგებო სიტუაციები, უმსხვერპლო;
- 2) საშუალო სიმძიმის – მსხვერპლის რაოდენობით 10-მდე;
- 3) მძიმე – 100-მდე;
- 4) საგანგებოდ მძიმე – 1000-მდე;
- 5) კატასტროფული 1000-ზე მეტი რაოდენობის მსხვერპლი.

– მოსახლეობის რაოდენობით, რომლებიც იმყოფებიან საფრთხის ქვეშ (საჭიროებენ ევაკუაციას):

- 1) უმნიშვნელო საგანგებო სიტუაციები – 100 კაცამდე;
- 2) საშუალო საშიშროების – 1000 კაცამდე;
- 3) საშიში – 10000 კაცამდე;
- 4) საგანგებოდ საშიში – 10000-ზე მეტი ადამიანი;

– დაზიანებული ნაკვეთის სიდიდით:

- 1) კერძო და ობიექტური საგანგებო სიტუაციები, რომლებიც მოიცავენ საწარმოებს;
- 2) ადგილობრივი – ერთი ადმინისტრაციული ოლქის ფარგლებში;
- 3) რეგიონალური – მეტი ვიდრე ერთ ოლქში;
- 4) კონტინენტალური;
- 5) გლობალური.

ეკონომიკური ზარალის მიხედვით (1980-იანი წლების ფასებში):

უმნიშვნელო საგანგებო სიტუაციები – 100 ათას მანეთამდე; საშუალო, დიდი და

უზარმაზარი საგანგებო სიტუაციები, შესაბამისად, 1 მილიონამდე, 500 მილიონამდე და 500 მილიონ მანეთზე მეტი.

უბედურებების დროს დაზარალების გაწვევის გაერო-ს ბიურო საგანგებო სიტუაციებს ყოფს შემდეგნაირად:

1. შემთხვევები – ხალხის სიცოცხლის ხელყოფის საშიშროება;
2. უბედური შემთხვევები;
3. ავარიები – დაზარალებულთა რაოდენობა 1000 კაცამდე;
4. უბედურებები და კატასტროფები – დაზარალებულთა რაოდენობა 1 მილიონამდე და 1 მილიონზე მეტი ადამიანი.

პროფესორ ს.ი. მიგკოვის მიერ წარმოდგენილი საგანგებო სიტუაციების საერთო კლასიფიკაცია მოცემულია ცხრილის სახით (ცხრ. 1.1.), რაციონალურ-ეკონომიკური სისტემებისათვის შედეგების სიძნელეების მიხედვით. საგანგებო სიტუაციები, რომელთა შედეგების ლიკვიდირება ხდება არაუმეტეს რამოდენიმე დღისა (მოკლე წვიმებით გამოწვეული წყალდიდობები, ერთეული გზების დაზიანება და ა.შ.), მხოლოდ მსუბუქად არღვევენ მოსახლეობის ცხოვრების რეჟიმსა და საწარმოების მუშაობას და ჩვეულებრივ არ იწვევენ სასიცოცხლო უზრუნველყოფის სარეზერვო ვარიანტებზე გადასვლას. მაგრამ ასეთი გადასვლა აუცილებელია, თუკი საგანგებო სიტუაციების შედეგების ლიკვიდირება შესაძლებელია მხოლოდ უფრო ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, ვთქვათ ერთ წლამდე.

ცხრილი 1.1.

საგანგებო სიტუაციების კატეგორიები	დანაკარგების აღგენა		საგანგებო სიტუაციების ხასიათი	სს/წლ. მოსალოდნელი რიცხვი
	მთლიანად	ვადა		
I მსუბუქი	მთლიანად	3დღ/ლამ.		10-10 <sup>2</sup>
II მსუბუქი	მთლიანად	1 წლამდე		1-10

III საშუალო	მთლიანად	5-7 წლ-მდე		10 <sup>-1</sup> -10
IV მძიმე, ძლიერი	ნაწილობრივ	არა უმეტეს 5-7 წლის		10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-3</sup>
V უმძიმესი	ეკონომიკურად ხელმისაწვ-დომი ვადა ზარალის აღდგენისათვის			

თუკი საგანგებო სიტუაციებისაგან მიღებული დანაკარგები (ძლიერი მიწისძვრები, წყალდიდობები და ა.შ.) აღდგენილია 5-7 წლის განმავლობაში, შეჯერებულია კაპიტალდაბანდების ამოგების ვადასთან, მიზანშეწონილია დადგეს საკითხი არჩევის შესახებ საგანგებო სიტუაციებში მეურნეობის დაზიანებული ელემენტების იოლად აღდგენასა და მათ მოდერნიზებას შორის.

მოყვანილი კლასიფიკაცია მოიცავს რიგ არსებულ კერძო შკალებს, მაგალითად, ბუნებრივი გარემოს დაბინძურების ბიოლოგიური საშიშროების შკალა (დბს), ეკოლოგიური სტრუქტურების სიმძიმის შკალა (ესს), გეოლოგიური გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შკალა (გგმ) და სხვა.

გაერთიანებული მონაცემების საფუძველზე შეიძლება წარმოვიდგინოთ, რომ სს-1, სს-2, სს-3, სს-4 ქალაქებისათვის პასუხობენ შესაბამისად 1%-ს; 1-10%-ს; 10-30%-ს და 30%-ზე მეტი.

საგანგებო სიტუაციების – 3-ის კატეგორიას მიეკუთვნება არც თუ ძალიან დამანგრეველი მიწისძვრები, ძლიერი წყალდიდობები, ხანგრძლივი გვალვები და ა.შ.

საგანგებო სიტუაციების – 5-ის მაგალითებს წარმოადგენენ ჩერნობილის ატომური ელექტრო სადგურის მასლობელი ზონები, სახელმწიფოების დალუპვის შემთხვევები წარსულში ნიადაგების დამლაშების გამო, მიწების გაუწყობლობა ან დატბორვები.

სხვადასხვა სირთულის კატეგორიების საგანგებო სიტუაციები ჰპოვებენ სხვადასხვა სოციალურ-ფსიქოლოგიურ გამოძახილს.

საგანგებო სიტუაციები 1-ში გადის თითქმის შეუმჩნეველად, საგანგებო სიტუაციები-2 მოსახლეობის უმეტესი ნაწილისათვის უსიამოვნო მდგომარეობა, რომელიც იწვევს გაღიზიანებას და ა.შ. მესამე კატეგორიის საგანგებო სიტუაციები – ეს უკვე უბედურებაა. მათ შეუძლიათ არსებითად შეცვალონ სოციალურ-ფსიქოლოგიური მდგომარეობა, ემიგრაციის „აფეთქების“ გამოწვევით. მეოთხე კატეგორია საგანგებო სიტუაციების ქმნის საერთო გულგატეხილობას, იწვევენ ცხოვრებისეული ფასეულობების შეცვლას და სოციალურ რყევებს. მეხუთე კატეგორია საგანგებო სიტუაციების გადარჩენილი ხალხისათვის რჩება, როგორც ცხოვრების დამანგრეველი მოვლენა.

მოყვანილი მონაცემები ამტკიცებენ იმ ფაქტს, რომ საგანგებო სიტუაციების შედეგად პრაქტიკაში ზარალის შეფასების საფუძვლად მიიღება, როგორც წესი, ადამიანური სიცოცხლის ხელყოფის, ან ჯანმრთელობის დაკარგვის შესაძლებლობა. ეს დახასიათება პირდაპირ უკავშირდება დასაშვებ რისკს, რომელიც ჩვეულებრივ გაიანგარიშება 1 წელზე ადამიანთა სიცოცხლის ხელყოფის სიდიდით, აგრეთვე შესაძლებელია დასაშვები რისკის სხვა მოყვანილი მაჩვენებლები მაგალითად შენობა-ნაგებობების ნგრევისას გამოწვეული მატერიალური ზარალი და ადამიანთა სიკვდილიანობის რიცხვი.

#### **1.4. კონსტრუქციების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი განსაზღვრის არსებული მეოდიკა**

დეტალების რღვევის ბუნების განსაზღვრას იწყებენ მათი შეუიარაღებელი თვალთ დათვალიერებით, ან გამაღიდებელი მინისა და ბინოკულარული მიკროსკოპის გამოყენებით.

ვიზუალური საშუალებების დახმარებით სწავლობენ, პირველ რიგში რღვევის ზედაპირის საერთო მდგომარეობას და დეფორმაციის ბუნებას. ხშირ შემთხვევებში მხოლოდ ნამსხვრევები და ნარჩენი დეფორმაციები წარმოადგენენ საინფორმაციო წყაროებს რღვევის რთული პროცესის შესახებ.

ვიზიალური ანალიზი საშუალებას იძლევა დაგადგინოთ: ნარჩენი დეფორმაციის და დაზიანებათა ბუნება; საფარის მდგომარეობა, შინაგანი ფაქტორების ზეგავლენა, შინაგანი ძალების მოქმედების მიმართულება, მოქმედი გარე ძალების ტიპები, რღვევის ტიპი და ბუნება. თუმცა, დაზიანებების და რღვევის სპეციფიურობის გამო ვიზუალური დაკვირვება ყოველთვის არ იძლევა სრული ანალიზის საშუალებას. ამავდროულად დეტალების რღვევის არამართო თვისობრივი და ხარისხობრივი, არამედ დატვირთვის პირობების რიცხობრივი მაჩვენებლები და პირველ რიგში საშიშ კვეთში მოქმედი ნომინალური და რღვევის ძაბვების სიდიდეები წარმოადგენენ საანგარიშო დეტალისა თუ კვანძის კონსტრუქციული ზომების ერთ-ერთ ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორს.

უპირველეს ყოვლისა ეს პარამეტრები საინტერესოა დაღლილობითი რღვევისას, როდესაც ძაბვების სიდიდე საკმარისად მცირეა, ვიდრე სიმტკიცის ზღვარი და მასალების დენადობის ზღვარი, რომლის დროსაც წარმოიშობა და იწყებს განვითარებას დაღლილობის ბზარი.

სხვაგვარად, რომ ვთქვათ აუცილებელია ვიცოდეთ ძაბვის სიდიდე, რომელიც განაპირობებს დაღლილობის ბზარის წარმოშობასა და განვითარებას, რაც აუცილებელია არა მარტო გამოუმჟღავნებელი რღვევის მიზეზების შემთხვევების შესამცირებლად, არამედ ამ მიზეზების აღმოფხვრის ღონისძიებების რეკომენდაციების დამუშავებისთვის. იგი მიმართულია განმეორებითი რღვევების შემთხვევების შესაძლებლობის თავიდან აცილებისაკენ.

რღვევის ძაბვები განსაზღვრის მცდელობა ბევრ ნაშრომშია მოცემული [100, 101, 103, 104]. ცნობილია მოქმედი დატვირთვების განსაზღვრის ხერხი ანგარიშის გზით რღვევის გეომეტრიული პარამეტრებით შემოთავაზებული მუდმივი მაქსიმალური ძაბვებით ნიმუშების რღვევის წინა მომენტში. რღვევის წინ ამ ხერხით ძაბვის განსაზღვრისათვის რეკომენდირებულია ის, რომ დაღლილობაზე გამოიკადოს რამოდენიმე ნიმუში, ამოჭრილი დარღვეული დეტალიდან. ამის გარდა, მოქმედი ძაბვების ანგარიშისათვის რღვევის გეომეტრიული პარამეტრებით, აუცილებელია განისაზღვროს დეტალის კვეთის წინააღობის მომენტები დატვირთვის დასაწყისში და რღვევის დაწყების მომენტში. ამ ხერხის გამოყენების შესაძლებლობანი მკვეთრად შეზღუდულია დეტალის ზომებით, რომლებიც

შესაძლებელს უნდა ხდიდეს მოიჭრას მისი ნარჩენებიდან ნიმუშები დალილობაზე გამოსაცდელად, რის გამოც ამ ხერხმა პრაქტიკული გამოყენება ვერ ჰპოვა.

ცნობილია აგრეთვე ძაბვების განსაზღვრის ფრაქტოგრაფიული მეთოდი. ეს მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ საძიებელი სიდიდე განისაზღვრება კერაში ნალარის ბიჯისადმი დამოკიდებულებაში, როგორც შესაბამისი ნალარის მნიშვნელობა, გაზომილი დაზიანებული დეტალის კერაში [44]. ამ რეკომენდაციების გამოყენება პრაქტიკაში შეზღუდულია, რადგანაც აქ უპირველეს ყოვლისა აუცილებელია გვექონდეს ზემოთმითითებული დამოკიდებულებანი ეტალონური სახით ყველა გამოსაკვლევი მასალისათვის, ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით.

გ. ვ. ბონდალის და გ.ვ კოლესნიკოვას მაგალითზე ერთ-ერთი მარკის კონსტრუქციული ფოლადისათვის გამოძღვანდა ფრაქტოგრაფიული მიდგომის შესაძლებლობანი ძაბვის დონის განსაზღვრისას, რომელიც იწვევს დეტალის დალილობით რღვევას. ეს ხერხი დაფუძნებულია გამოსაკვლევი ზედაპირის რღვევის დადგენაზე ისეთი ფრაქტოგრაფიული კრიტერიუმებისათვის, როგორც საწყისი ბიჯი ნალარის დალილობისათვის, უბნის ნაპრალის სიგრძე, თანაბრადაჩქარებული ნალარის ბიჯის ზრდა და შესაბამისი უბნის საწყისს და სასრულ ნაწილზე მოქმედი ძაბვების ინტენსიურობის კოეფიციენტების მნიშვნელობების განსაზღვრა. დასახელებული კრიტერიუმები წინასწარ ექსპერიმენტულად განსაზღვრული კონკრეტული მდგომარეობისათვის მოცემული მარკის ფოლადისათვის, საშუალებას იძლევიან განისაზღვროს ძაბვის დონე, რომელსაც მიჰყავს დეტალი რღვევამდე. ეს ხერხი საინტერესოა იმით, რომ საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საძებნი სიდიდე კვეთში, რასაც მოითხოვს საინჟინრო პრაქტიკა.

თუმცა ამ ხერხს ფრიად არსებითი ნაკლი აქვს. ის დამუშავებულია მხოლოდ ერთი მდგომარეობის, ერთი მარკის ფოლადისათვის. ამ ხერხის გამოყენება ნებისმიერი სხვა მასალისათვის მოითხოვს საანგარიშო ფორმულაში შემაჯალი მუდმივი სიდიდეების მნიშვნელობების ექსპერიმენტულ განსაზღვრას. ამასთან საჭიროა დამატებითი დალილობითი გამოცდა და ფრაქტოგრაფიული გამოკვლევა. ამის გარდა აუცილებელია აღინიშნოს, ის რომ ეს ხერხი დამუშავებულია მხოლოდ გლუვი ობიექტების გამოკვლევების შედეგებზე და არ შეიცავს დატვირთვის მოდების მცირე სიხშირეებს. შემდგომი გამოკვლევების

შედგები იძლევიან საფუძველს დავამტკიცოთ, რომ დაღლილობის ღარების ბიჯზე, მოდებული ძაბვის დონის გარდა, ზეგავლენას ახდენენ მთელი რიგი ფაქტორები (დეტალის მასალის მექანიკური მახასიათებლები, მოდებული დატვირთვის ტიპი და სისშირე, დეტალის კონფიგურაცია და ზომები).

აქ თქმულიდან ნათელია, რომ მრღვევი ძაბვის დონის რიცხობრივი შეფასება დაღლილობისას, თუნდაც ისეთი, თითქოს და “მოსახერხებელი” მიკროფრაქტოგრაფიული ნიშნის გამოყენებით, როგორც ნალარია, წარმოადგენს ფრიად რთულ ამოცანას, ხოლო მისი გადაწყვეტა მოითხოვს სპეციალური მიდგომის დამუშავებას.

ერთ-ერთი რიცხობრივი შეფასების შესაძლებელი მიდგომა მრღვევი ძაბვის დონის შესახებ, დამუშავებული იქნა პარამეტრებს შორის ურთიერთკავშირის არსებობის ბაზაზე. ეს კავშირი ხასიათდება დაძაბული მდგომარეობით დაღლილობითი ბზარის წვერზე და ფრაქტოგრაფიული პარამეტრებით. ფრაქტოგრაფიულ პარამეტრებში იგულისხმება ზედაპირული რღვევის რელიეფი, წარმოქმნილი ნაპრალების შედეგად და რღვევის მექანიკის თანაფარდობები, რომელიც აკავშირებს ბზარის სიგრძეს ძაბვასთან. დღესდღეობით ეს მიდგომა მეტწილად რეალიზებულია მშენებლობაში და ავიაშენებლობაში გამოყენებულ კონსტრუქციულ ფოლადებში.[22,23,44].

[127] ნაშრომის ავტორების მიერ ჩატარებულ გამოკვლევებზე დაყრდნობით, შეიძლება გაკეთდეს დასკვნები, იმის შესახებ, რომ ნალარის ბიჯის ცვალებადობის კანონი  $b$  ბზარის  $L$  სიგრძეზე ფოლადებისათვის, განსაზღვრულ დონეზე მოდებული ძაბვისას  $\sigma_{\text{ფლ}}$  (მაქსიმალური დაძაბული ციკლი  $\sigma_{\text{მაქს}} = \sigma_{\text{ზღ}}$ ) შეიძლება აღიწეროს შემდეგი ფორმულით:

$$b = Ae^{BL} \quad (1.1)$$

ამ გამოსახულებაში  $L$  ბზარის სიგრძეა, რომელზედაც რეალიზდება ღაროვანი რელიეფი;  $A$  და  $B$  მუდმივებია, რომლებიც ყველა კონკრეტული  $b$  და  $L$  სიდიდეებისათვის, განისაზღვრებიან უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენების საფუძველზე.

(1.1)-ის გარდაქმნით (ორმაგი ლიფერენცირებით და გალოგარითმებით) და დაშვებით, რომ  $\Delta b^n = 10^{-8}m-1$  მივიღებთ:

$$L^* = \frac{\lg(AB^2 + 10^{-8})\lg(AB^2)}{B \lg e} \quad (1.2)$$

ცდების მონაცემების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ თუ სახვადასხვა დატვირთვის ბუნებიდან გამომდინარე ბზარის სიგრძეებს გამოვიყენებთ ნალარის ბიჯის თანაბრად აჩქარებული ზრდის უბნის სიგრძედ  $L^*$ , მაშინ ძაბვის ინტენსივობის კოეფიციენტი ტოლია:

$$K^* = \sigma_{\text{ზლ}} \sqrt{\Pi L^*} \quad (1.3)$$

ამ უბნის სიგრძეებს შორის ადგილი აქვს კორელაციურ დამოკიდებულებას, შემდეგი სახის აპროქსიმირებული ფორმულით:

$$K^* = C(\Pi L^*)^{1/2} + K_0^* \quad (1.4)$$

აქ  $K^*$  წარმოადგენს ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტს, რომელიც ახასიათებს დაძაბულ მდგომარეობას  $L^*$  სიგრძის მქონე ბზარის უბნის ბოლოს ნალარის ბიჯის თანაბრად აჩქარებული ზრდით;  $K_0^*$  - ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტია, რომელიც ახასიათებს დაძაბულ მდგომარეობას ამ უბნის დასაწყისში;  $C$ - პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომელიც ახასიათებს  $K^*$ -ის ცვალებადობას. თუმცა ამოცანა მრღვევი ძაბვის რაოდენბრივი შეფასების კრიტერიუმის დასადგენად შესასრულებლად რთულია.

აშკარაა, რომ განისაზღვროს  $K_0^*$  პარამეტრები ყველა კონკრეტული დატვირთვის პირობებში და კონკრეტული კონსტრუქციისათვის, აგრეთვე სათანადო დამოკიდებულებების (1.1), (1.3), (1.4) და კოეფიციენტების (A,B) განსაზღვრა მეტად გართულებულია, რადგან იგი მოითხოვს რიგი ფაქტორების გათვალისწინებას. როგორცაა მასალათა მექანიკური მახასიათებლები, ობიექტის კონფიგურაცია საშიში კვეთის რაიონში, ძაბვის კონცენტრატორის არსებობის განსაზღვრა, დატვირთვის სახეები.

მითითებულ ფაქტორთა ზეგავლენის განსაზღვრა  $C$  და  $K_0^*$  მნიშვნელობებზე დატვირთვის სხვადასხვა პირობებისათვის შესაძლებელია ისეთი სიდიდეების შემოტანის გზით, როგორცაა საწყისი დაბვა  $\sigma_0$  და  $b_0$  დალლილობის ნალარის საწყისი ბიჯი, რომელთა მნიშვნელობებიც ფარდობითად ინვარიანტულია ობიექტზე მოდებული დაბვებისა და განისაზღვრებიან, საცდელი დამოკიდებულების გადაკვეთის წერტილებით:

$$lgb = f(\sigma_{\text{ზღ}}) \text{ ან } lgb = f(L);$$

თუ  $b_0$ -ს განვიხილავთ, როგორც ყველაზე უმცირეს დატვირთვის კონკრეტულ შემთხვევას კონკრეტული სხეულის  $L^*$  მნიშვნელობას, რაც არ ეწინააღმდეგება პირველ საწყის მსჯელობას ნალარის საწყისი ბიჯის შესახებ, მაშინ შეიძლება შემოვიტანოთ კიდევ ისეთი სიდიდეები, როგორცაა  $K_0$  და  $K_{0C}$ . ამათგან  $K_0$  წარმოადგენს დაბვის ინტენსივობის კოეფიციენტს, რომელიც ახასიათებს ბზარის წვერზე დაბაბულ მდგომარეობას წარმოქმნილს საწყისი დაბვის ზემოქმედებით ბზარის სიგრძით, რომელიც ნალარის  $b_0$  ბიჯის ტოლია, ხოლო  $K_{0C}$  – დაბვის ინტენსივობის კოეფიციენტს იმავე სიგრძის ბზარის წვერზე, რეალურად მოდებული დაბვის ზემოქმედებით. მოყვანილი განსაზღვრების თანახმად მითითებული ინტენსივობის კოეფიციენტები განისაზღვრება შემდეგი ტოლებებით:

$$K_0 = \sigma_0 \sqrt{\Pi b_0} \quad (1.5)$$

$$K_{0C} = C \sqrt{\Pi b_0} \quad (1.6)$$

[139] ნაშრომში მოცემულია კრიტერიუმი, რომელიც იძლევა სხვადასხვა დაბაბული მდგომარეობების შედარების ანალიზის საშუალებას. ეს დაბაბული მდგომარეობები განპირობებულია სხვადასხვა კონფიგურაციის სხეულების რღვევის განვითარებით, შესრულებულია სხვადასხვა მექანიკური მახასიათებლების მქონე მასალებისაგან და სხვადასხვა პირობებში დატვირთვით. პლასტიკური დეფორმაციის ლოკალური ზონის ბზარის წიბოს სიგრძე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$r_0 = (K_0 / \sigma_f)^2 \quad (1.7)$$

აქ  $\sigma$  წარმოადგენს ე.წ. ციკლურად განმტკიცებული მასალის ძაბვის დინებას, რომელიც ლიტერატურული მონაცემებით ტოლია სიმტკიცისა და დენადობის ნახევარ ჯამისა.

ექსპერიმენტით მიღებული მონაცემების შემდგომმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ფარდობით ზონის ზომა პლასტიკური დეფორმაციის  $\bar{r}_0$  საწყისი ძაბვის შემოქმედებით აკორექტირებს ფარდობითი ზომის პლასტიკურ დეფორმაციას  $\bar{r}_{oc} = r_{oc} / \sigma_B$ , რომელიც წარმოქმნილია რეალური ძაბვების შემოქმედებით. ეს საშუალებას იძლევა დატვირთვის კონკრეტული პირობების საძიებელი ობიექტისათვის განისაზღვროს არა მხოლოდ  $K_0$ , არამედ  $K_{oc}$ , ე.ი. ძაბვის ინტენსივობის კოეფიციენტები, რომლებიც ახასიათებენ ბზარის წვერის დაძაბულ მდგომარეობას, პლასტიკური დეფორმაციის ლოკალური ზომები, რომლებიც შესაბამისად ტოლია  $r_0$  და  $r_{oc}$ . (1.7)-დან გამომდინარე მივიღებთ:

$$K_0 = \sqrt{\gamma_0} \sigma f \quad (1.8)$$

$$K_{oc} = \sqrt{\gamma_0} \sigma f \quad (1.9)$$

$K_0$  და  $K_{oc}$  მნიშვნელობა შერწყმული გაშუალედილი გრადიენტულ-სიხშირული შესწორებით ძაბვის ინტენსივობის კოეფიციენტზე ტოლია [139]:

$$\bar{r}_K = (r_k + \sqrt{\beta_k})/2 \quad (1.10)$$

$$\text{სადაც, } r_k = \sqrt{r} \quad (1.11)$$

$$\beta_k = \sqrt{\beta_0} \quad (1.12)$$

საბოლოოდ განისაზღვრა ძაბვის რაოდენობრივი შეფასების ერთ-ერთი კრიტერიუმი

$$K_0^* = \frac{K_{oc}}{K_0 \bar{\gamma}_K^4}$$

[30] ნაშრომში მოცემულია მეორე ძირითადი კრიტერიუმი, იგი განისაზღვრება ექსპერიმენტული დამოკიდებულებიდან  $C = f(M)$ , სადაც

$$M = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \quad (1.13)$$

(1.13) წარმოადგენს რთულ ფუნქციას, რომლის არგუმენტებსაც წარმოადგენენ უკვე ცნობილი სიდიდეები  $K_\theta, K_{\theta C}, K_0^*$  და  $\bar{\gamma}_k$ .

(1.13) გამოსახულებიდან გამომდინარე შესაბამისი ნომინალური ძაბვა, რომელმაც გამოიწვია საკვლევი ობიექტში დაღლილობის ბზარის წარმოქმნა და განვითარება ტოლია:

$$\sigma_{\text{ნომ}} = \frac{K^*}{\sqrt{\pi L^*}} \quad (1.14)$$

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ ფრაქტოგრაფიული დამუშავების ხერხს ფოლადის დეტალების დაღლილობის დროს მრღვევი ძაბვის დონის რიცხვობრივი შეფასებისას საფუძვლად უდევს: ექსპერიმენტულად დამტკიცებული ბზარის სიგრძის გასწვრივ ნალარის დაღლილობითი ბიჯის ცვალებადობის კანონი, რომელიც ჩაწერილია ემპირული განტოლებით განსაზღვრული სახით. დაღლილობითი რღვევის ზედაპირის უბანი ჩნდება პრაქტიკულად ნალარის ბიჯის თანაბარაჩქარებული ზრდით. არსებობს ურთიერთკავშირი რღვევის მექანიკის პარამეტრების თანაფარდობებსა და ემპირული დამოკიდებულების პარამეტრებს შორის, რომელიც აღწერს ნალარის ბიჯის ცვალებადობის კანონს ბზარის სიგრძის გასწვრივ.

[35,45,46] შრომებში წარმოებული გამოკვლევების თანახმად ჩამოყალიბებული მრღვევი ძაბვის რაოდენობრივი შეფასებისათვის ფრაქტოგრაფიული ხერხით აუცილებელია შემდეგი პარამეტრების ცოდნა: გამოსაკვლევი დეტალის მასალის სიმტკიცის ზღვრის  $\sigma_{სზღ}$  ფაქტიური მწვანელობა და პირობითი დენადობის ზღვარი  $\sigma_{დენ}$ ; ფარდობითი ძაბვის  $\bar{G}$  გრადიენტი კვეთში, რომელშიც განვითარდა რღვევა; სისწორე  $\omega$  და დატვირთვის მოდების ხერხი; ნალარის ბიჯის ცვალებადობის დამოკიდებულება ბზარის  $L$  სიგრძეზე.

დასახელებული სიდიდეების მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის საჭიროა შემდეგი ოპერაციების ჩატარება: სიმტკიცის და დენადობის ზღვარის მნიშვნელობებს განსაზღვრავენ კონსტრუქციის რღვევის მიზეზების დადგენის დროს მასალის ხარისხის შემოწმებისას, დეტალიდან ნიმუშების ამოჭრის გზით და მათი გამოცდით; კვეთში ძაბვის ცვალებადობის ფარდობით გრადიენტს, რის გამოც მოხდა რღვევა, განსაზღვრავენ დეტალის ღუნვის შემთხვევაში ღრმა ამოჩარხვისას [30] ნაშრომში მოყვანილი თანაფარდობებით; კვეთის  $h$  სიმაღლის მნიშვნელობას (ზომა ბზარების განვითარების გასწვრივ მიმართულებით) ან მის  $d$  დიამეტრს, აგრეთვე კონცენტრატორის  $r$  რადიუსს და მის სიღრმეს განსაზღვრავენ გეომეტრიული და ტექნიკური პარამეტრების შესაბამისობის შემოწმებისას დეტალის ნახაზთან; დატვირთვის მოდების ხერხს (ღუნვა, გაჭიმვა და სხვა) ადგენენ შეპირისპირებით დეტალის დატვირთვის სქემისა და საკონსტრუქტორო ლოკუმენტაციის შედარებით. აგრეთვე მაკროფრაქტოგრაფიული ნიშნებით, რომლითაც ხასიათდება რღვევის განვითარება.

დატვირთვის სიხშირის მნიშვნელობა ან მისი ცვალებადობის დიაპაზონი გამოსაკვლევი ობიექტის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმების დროს დადგინდა, რომ სიხშირის ცვალებადობა 100-დან ათობით ჰერცამდე არსებით ზეგავლენას სხვადასხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში ძაბვის განსაზღვრის შედეგებზე არ ახდენს და პირიქით, სიხშირეებმა 5 ჰერცი და ნაკლებმა შეიძლება გამოიწვიოს ანგარიშებში შესამჩნევი ცთომილება, თუ არ გავითვალისწინებთ მათ ზეგავლენას.

ხშირად დეტალის დატვირთვის სიხშირე დგინდება აგრეგატის დანიშნულებისა და მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, რომლის შემადგენელ ნაწილსაც წარმოადგენს გამოსაკვლევი დეტალი. მაგალითად, კომპრესორის ნიჩბები ირღვევა ყოველთვის რეზონანსული სიხშირის დიაპაზონში, დეტალების ბრუნვისას – არანაკლები საანგარიშო ბრუნვის სიხშირისას; ფლატერის, ბაფტინგის და შიმის არსებობას მიუთითებს აგრეგატის რღვევის ბუნება. დატვირთვის სიხშირის განსაზღვრაში დიდად გვეხმარება გატეხილი დეტალის ბუნება-მახასიათებელი. ძირითადად დაბალი სიხშირეები, ხასიათდება როგორც წესი თანმხლები დამახასიათებელი მიკროფრაქციული ნიშნებით – ერთგვაროვანი ზედაპირული რღვევით (მაღალსიხშირიანი დატვირთვისას ნალარი ხშირად ჯგუფდება), ბზარის დატოტვის არარსებობით და სხვა.

$b$  და  $L$  დამოკიდებულების მიღებისათვის აუცილებელია საკვლევი დეტალის ორი-სამი რღვევის მცირე ზედაპირიდან მოვხსნათ ფრაქტოგრამები და ჩავატაროთ მათი რაოდენობრივი ანალიზი.

ფრაქტოგრამის მოხსნა საჭიროა პრივილეგირებულად ცენტრალური რიგის უჯრედებიდან. გადახრა მისგან მარჯვნივ და მარცხნივ ძიებისას მისაღები ღაროვანი რელიეფისას განსაზღვრული მოცილება კერიდან დასაშვებია ორი უჯრის ფარგლებში ყველა მიმართულებით, მაგრამ აუცილებელია შემდგომი დაბრუნება ცენტრალურ რიგში. ათვლის დასაწყისად ამოსაღები ფრაქტოგრამის კერიდან მანძილის განსაზღვრისათვის მიიღებენ გამოსაკვლევი დეტალის სამუშაო ზედაპირს, რომელზედაც ის შეიქმნა. განზომილების ერთეულად ღებულობენ ობიექტის ბადის უჯრედის გვერდის ან დიაგონალის სიგრძეს, რაც იძლევა საშუალებას ფრაქტოგრამის მოხსნის პროცესში დავაფიქსიროთ უჯრედის, რომელ ნომერს ან სახეს მიეკუთვნებიან ისინი.

ფრაქტოგრაფიის რაოდენობრივი ანალიზი მდგომარეობს ნაღარის საშუალო სტატისტიკური ბიჯის დადგენაში, რომელიც იმყოფება განსაზღვრულ დაცილებაზე რღვევის კერიდან. ამ მიზნით უჯრედში, რომელსაც აქვს განსაზღვრული ნომერი, ან უჯრედებში, მდებარე მარჯვნივ და მარცხნივ მისგან, ზომავენ ნაღარის ბიჯებს, თხემებს შორის ან ღრმულის ორ მკვეთრად გამოკვეთილ ნაღარის ფრაგმენტებზე მანძილების ფიქსაციის გზით, ერთდროულად თხემების ღრმულის რიცხვის დათვლით ჯგუფში. ასეთი გაზომვების სავსებით საკმარისი სიზუსტე მიიღწევა ინსტრუმენტალური მიკროსკოპის მიკრომეტრული მაგიდის გამოყენებით. ნაღარის ბიჯი განისაზღვრება ფორმულით:

$$b = a / (\delta Y), \quad (1.15)$$

სადაც  $a$ -რეპერულ თხემებს შორის მანძილია,  $\delta$ -შუალედების რიცხვია სარეპერო თხემებს შორის შერჩეული ნაღარის ჯგუფში;  $Y$ -სარკული მიკროსკოპის გამაღიებლობა;

როგორც ლიტერატურული მიმოხილვიდან ჩანს, რიგ შემთხვევებში მასალები, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი  $\sigma_{\text{სზლ}}$  და დარტყმითი სიბლანტე  $Q_n$ , რომლებიც აკმაყოფილებენ ტექნიკურ პირობებს, შესაბამისი თავისი ფაზური შემადგენლობით (განსაზღვრული მაგალითად, ნარჩენი აუსტენიტის შემცველობა)

და ექსპლოატაციის ტემპერატურული პირობებით (ხანგრძლივი გაცხელების ტემპერატურა, რომელსაც აქვს ადგილი რღვევის მომენტში), შეიძლება გადავიდეს მყიფე ბზარისადმი მაღალი მგრძობიანობის მდგომარეობაში და ნებისმიერი ტიპის დატვირთვის შემთხვევაში. ამას მივყავართ იქამდე, რომ თუ დატვირთულ დეტალებში მყიფე ბზარების გაჩენისას შეიძლება ადგილი ქონდეს მის სწრაფ განვითარებას, რომლის დროსაც რღვევას თავიდან ვეღარ ავიცილებთ.

რღვევის თავიდან აცილების მიზნით, ძალიან მნიშვნელოვანია უწინარეს ყოვლისა, შევავსოთ მასალის ფაქტიური წინაღობა მისი კონკრეტული მდგომარეობის შემთხვევაში მყიფე ბზარების განვითარებისას, ხოლო შემდეგ განვსაზღვროთ ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობები.

ზემოთ განხილული შრომების ანალიზიდან შეიძლება დავადგინოთ, რომ ზოგადად მიღებული მიკროფრაქტოგრაფიული ნიშნებით არსებული ყველა მრავალნაირი რღვევის ზედაპირი შეიძლება დავყოთ ოთხ ტიპად: ბლანტი, კვაზი ბლანტი, კვაზი მყიფე და მყიფე.

ასეთი დანაწევრება იძლევა უფლებამოსილებას ზედაპირის რღვევის ტიპის მიხედვით შევავსოთ მისი მყიფეობის ხარისხი და ამას გარდა, უფრო ობიექტურად დავადგინოთ მრღვევი დატვირთვის ტიპი.

გამოკვლევების შედეგების საფუძველზე გაკეთებულია შემდეგი დასკვნები:

თუ მასალა (ფოლადი) იმყოფება იმ მდგომარეობაში, რომელშიც ის განიცდის კვაზიმყიფე მით უმეტეს მყიფე ზედაპირულ რღვევებს, მაშინ მისი ექსპლუატაციაში ყოფნა დასაშვები არ არის.

თუ მასალა (ფოლადი) იმყოფება მდგომარეობაში, რომელიც განაპირობებს ბლანტ ზედაპირულ რღვევებს, მაშინ ის როგორც მაღალი წინაღობისუნარიანი მყიფე ბზარების განვითარების მიმართ ექსპლუატაციაში დასაშვებია.

თუ მასალა (ფოლადი) იმყოფება კვაზიბლანტი ზედაპირული წარმოშობით განპირობებულ მდგომარეობაში და მას არ შეუძლია გამოიმუშავოს წინაღობა, რომ შეაჩეროს მყიფე ბზარების განვითარების პროცესი, მაშინ იგი ექსპლუატაციაში არაა დასაშვები.

უკანასკნელ შემთხვევაში ფოლადის ზეგავლენის მდგომარეობის განსაზღვრისათვის მყიფეაღებობაზე საჭიროა წინაღობის უნარის რაოდენობრივი შეფასება მყიფე ბზარების განვითარებისას.

არსებული მეთოდები დამყარებულია თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებზე და კონსტრუქციების რღვევის ანალიზზე, შედეგი ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში შეიძლება იყოს სხვადასხვა. რაც მათ ნაკლს წარმოადგენს. აუცილებელია შეიქმნას ისეთი მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ექსპლოატაციის პერიოდში მოვახდინოთ მოსალოდნელი რღვევის პროგნოზირება, რაც თავიდან აგვაცილებს ავარიებს და კატასტროფებს.

## თავი 2. საბანბეპო სიტუაციებში კონსტრუქციასზე მოქმედი ღატვირთვების საანბარიშო მოღელი

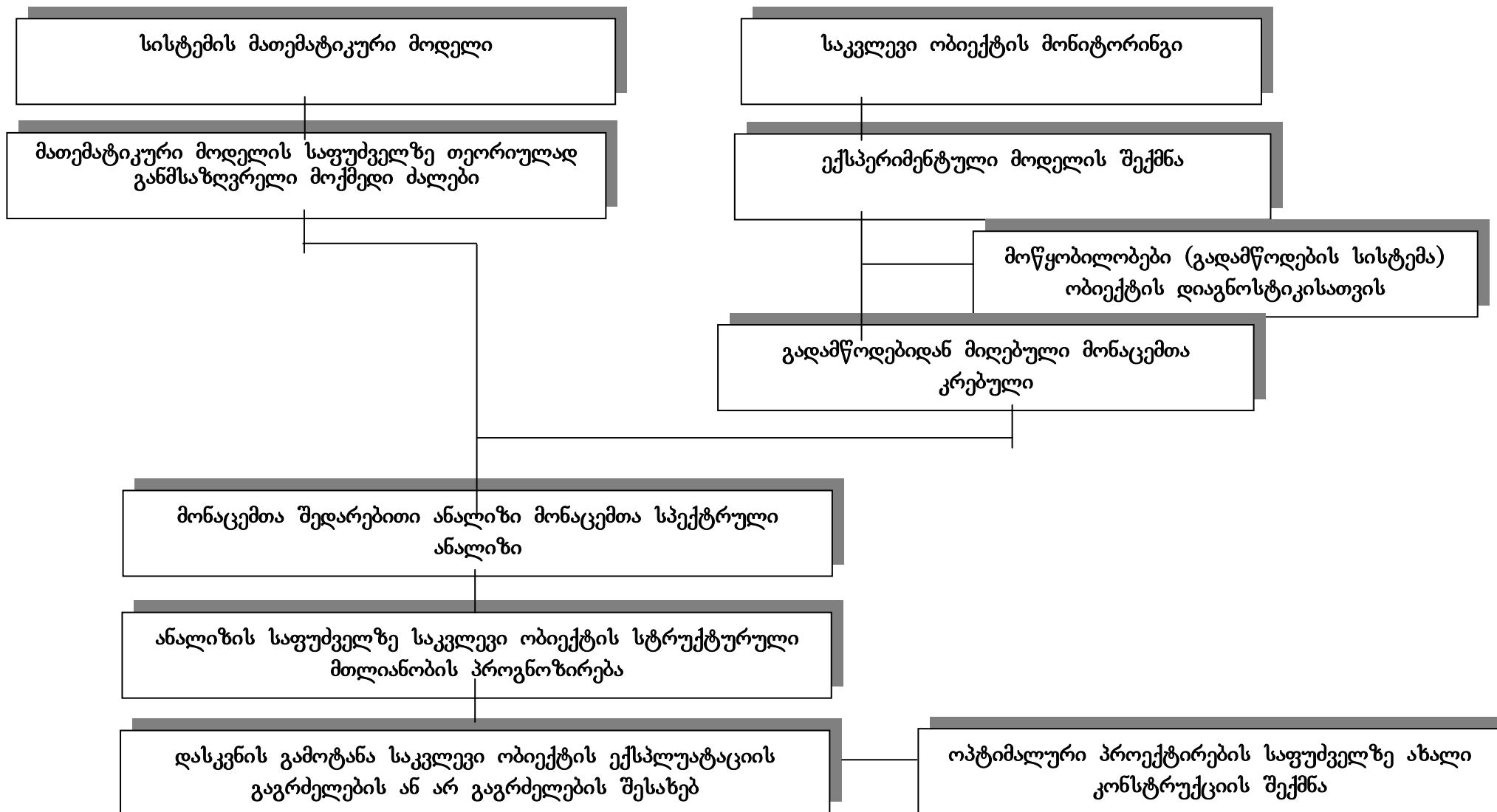
### 2.1. ნაგებობების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესი

ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად საჭიროა მოხდეს მათი დიაგნოსტიკა ტექნიკური მდგომარეობის მიხედვით, რათა თავიდან ავიცილოთ დღესდღეობით მეტად გახშირებული ავარიები და კატასტროფები.

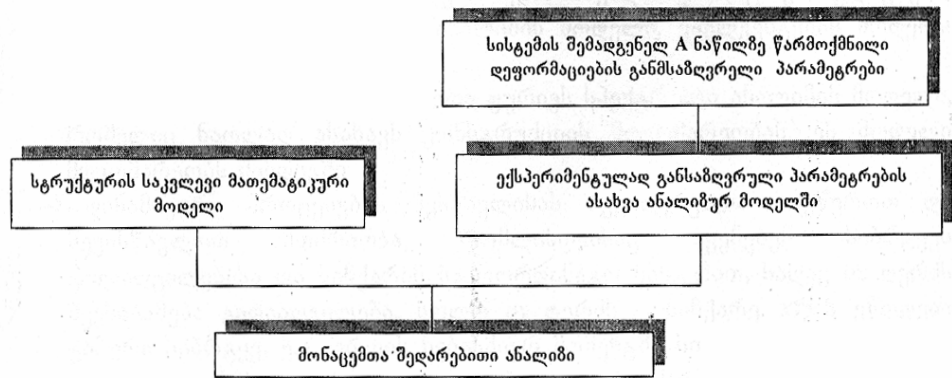
თანამედროვე ნაგებობები და კონსტრუქციები უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს კონტროლის სხვადასხვა მოწყობილობებით (სენსორებით). სენსორების ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს გაზრდილი საიმედოობა, გაზომვის სიზუსტე და ტექნიკური მდგომარეობის მიხედვით შეფასება ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში. ამ საკითხების გადაწყვეტაში თანამედროვე არამრღვევი კონტროლის მეთოდები განსაკუთრებულ როლს ასრულებს, რადგან მათი გამოყენებით შესაძლებელია მიღებული ინფორმაციის დამუშავება.

ჩვენს მიზანს წარმოადგენს სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესის მკაცრად ჩამოყალიბებული მოდელის შექმნა.

2.1. ნახ.-ზე მოცემულია კონსტრუქციების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესის განხორციელების ბლოკ-სქემა, ხოლო 2.2ნახ.-ზე მათემატიკური მოდელი. პროცესორში დევს სისტემის მათემატიკური მოდელი, რომლითაც ხდება სენსორებიდან მიღებული სიგნალების დამუშავება, აგრეთვე სისტემის მენსიერების მონაცემთა ბაზაში ინახება მიღებული  $n$  რაოდენობის სიგნალები დროის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება კონსტრუქციების  $n$  სხვადასხვა მდგომარეობას. პროცესორში შესაბამისი პროგრამით გამოითვლება ურთიერთკორელაციური ფუნქცია ყველა ამ სიგნალებიდან სიგნალთან, რომელსაც ვლებულობთ მექანიზმიდან. მექანიზმის მდგომარეობა მიეკუთვნება იმ მდგომარეობიდან სიგნალს, რომელსაც მიღებულ სიგნალთან აქვს მეტწილი კორელაცია; მეორე მხრივ სისტემის მენსიერებაში-მონაცემთა ბაზაში ინახება ტიპური სიგნალების რეალიზაციის სტატისტიკური მახასიათებლები, ე.ი. მოცემული განსაზღვრული მდგომარეობისას გავრცელებული კანონი-კორელაციური ან ენერგეტიკული სპექტრი (ფურიე სპექტრი). დიაგნოსტიკის პროცესში გამოითვლება ერთ-ერთი იმ მითითებული სტატისტიკური მახასიათებლებიდან, რომელსაც ვლებულობთ სიგნალის სახით კონსტრუქციიდან და ეს მახასიათებლები ედრება რიგრიგობით კრებულს, რომელიც ინახება მენსიერებაში.



ნახ.2.1



ნახ. 2.2

მახასიათებლების სიახლოვის კრიტერიუმს წარმოადგენს ან საშუალო კვადრატული გადახრა ერთი ფუნქციისა მეორისაგან ან მაქსიმალური გადახრა ან ფურიეს სპექტრების შედარება, პიკების სიხშირე და განლაგება. ამის შემდეგ ანალიზის საფუძველზე ხდება საკვლევი ობიექტის სტრუქტურული რღვევის პროგნოზირება და დასკვნის გაკეთება ექსპლუატაციის გაგრძელების ან არ გაგრძელების შესახებ. საჭიროების შემთხვევაში მოცემული ხერხი უზრუნველყოფს (ნახ.2.1) ოპტიმალური პროექტირების საფუძველზე ახალი კონსტრუქციის შექმნას. მათემატიკური მოდელი შეიძლება იყოს სხვადასხვა მაგ. კორელაციური მოდელი, ფურიეს სპექტრული ანალიზის მოდელი, ველიკენტების ანალიზის მოდელი და ა.შ. რომელთა შექმნის თანმიმდევრობას და დარტყმითი დატვირთვების პარამეტრებს ქვემოთ მოგახსენებთ.

## 2.2. საანგარიშო მოდელის შექმნის თანმიმდევრობა და თავისებურებანი.

ნაგებობების და გეომეტრიულად რთული კონსტრუქციების რღვევის შესწავლის ამოსავალ წერტილს წარმოადგენს საანგარიშო მოდელი, რომელიც ერთმანეთთან შეათანხმებს დასაპროექტებელი კონსტრუქციის აბსტრაქტულ მოთხოვნებს და რეალურ შესაძლებლობებს. ეს მოდელი კონსტრუქტორების მიერ დაპროექტების პირველი ამოცანის შედეგია. მდგომარეობის შესწავლის და კონსტრუქციის დამუშავების ეტაპია კონკრეტული ტექნიკური გადაწყვეტების ფორმირება, რომელიც საანგარიშო მოდელს ხორცს ასხამს რეალურად.

გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებების გამოყენებით ამ ეტაპზე შეიძლება გადაიჭრას დასამუშავებელი კონსტრუქციის ბაზური გეომეტრიული მოდელის

აგების პრობლემა. შემდეგ საჭიროა დასამუშავებელი კონსტრუქციის გარემოსთან ურთიერთობის მოდელის (ან მოდელების ერთობლიობის) ფორმირება. მისთვის საჭიროა ფუნქციონირების მოდელის აგება კონსტრუქციის ექსპლუატაციის ციკლის ყოველ ეტაპზე, რაც გულისხმობს დიაგნოსტიკური სისტემის, როგორც კონსტრუქციის განუყოფელი ნაწილის შექმნას. ასეთი მოდელი ასახავს რეალურ ფიზიკურ პროცესებს და დასაპროექტებელი ობიექტის ტრანსფორმაციებს ექსპლუატაციის პერიოდში.

განვიხილოთ ამ მოდელის თავისებურებანი.

ექსპლუატაციის პერიოდში ნაგებობების, ცალკეული კვანძები და ელემენტები მნიშვნელოვანი დინამიკური და თბური ძალური ზემოქმედების ქვეშ ექცევა, ამიტომ რღვევის და ავარიის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია პროექტირების ერთ-ერთ ძირითად ამოცანად ჩაითვალოს მანქანა – დანადგარების გამძლეობის აპრიორული შეფასება.

აქ იგულისხმება ექსპლუატაციის პერიოდში კონსტრუქციების რღვევის ან გადაჭარბებული (დაუშვებელი) დეფორმაციების დროს მათი შრომისუნარიანობის შენარჩუნების შეფასება. ამ მიზნით ფორმირდება ნაგებობების და ცალკეული შემადგენელი ელემენტების მდგომარეობის მოდელი, დეფორმადი მყარი სხეულის მექანიკის ტერმინებში. მოდელის ფორმირება გულისხმობს დაძაბულ-დაფორმირებული მდგომარეობის გათვლის მზა პროცედურის შერჩევას ან ახალი პროცედურის შექმნას.

მოდელის დამუშავების დროს გვინდება კომპრომისული შერჩევა: ფორმის სრულ და ადეკვატურ აღწერას, ელემენტის მუშაობის და დატვირთვის პირობებს და თვით მოდელის სირთულეს შორის. აქ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მოდელის მოქნილობა ისეთი მომენტების მიმართ, როგორცაა დასაპროექტებელი და საკვლევი ელემენტის კონსტრუქციული თავისებურებები, გარე ზემოქმედებისა და მასალების მრავალფეროვნება. ამის მიღწევა შეიძლება შესაბამისი ბიბლიოთეკების შექმნის გზით. შემდგომი გათვლითი ექსპერიმენტის მაღალი სიზუსტის გარანტიაა: გასათვლელი ფრაგმენტების, დასატვირთი სქემის პროცედურების გაფართოება და მოდელის საფუძველში ჩადებული უმნიშვნელოვანესი მათემატიკური მეთოდების რიცხვითი რეალიზაციის ალგორითმების სრულყოფა.

მოცემული საპროექტო ოპერაციის შესრულების შედეგია – გარემოს ზეგავლენაზე კონსტრუქციის რეაქციის რიცხვითი მოდელი. გარე ზეგავლენის ბუნებისაგან დამოკიდებულებით ხორციელდება, ან ნაგებობების (ან მისი ცალკეული ელემენტების) ფიქსირებულ გარეშე ზეგავლენაზე პასუხის მოდელი, ან დეფორმირებული კონსტრუქციის მოდელების ერთობლიობა, რომელიც ასახავს პროცესის განვითარებას (მაგალითად, დატვირთვის გაზრდისას).

საუკეთესო კონსტრუქციული გადაწყვეტილების დამუშავებისათვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ოპტიმიზაციის მოდელები. მაგრამ ამ ოპტიმიზაციურ ამოცანას აფერხებენ პრინციპული სიძნელები, როგორცაა: ამოცანების პარამეტრების დიდი რაოდენობა, მრავალკრიტერიულობა, რეალური ფიზიკური პროცესების დროს კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური შეზღუდვების მარტივი და დამუშავებული ხერხების უქონლობა.

რაციონალური, საიმედო და ყოველმხრივ დასაბუთებული საკონსტრუქტორო გადაწყვეტილებების მისაღებად პრაქტიკულად განხორციელებადი და ტექნიკურად მიზანშეწონილია დასამუშავებელი ნაკეთობების არა გლობალური ოპტიმიზაცია, არამედ ფუნქციონირების მოდელების საფუძველზე მათი მრავალვარიანტული დამუშავება (რაც რა თქმა უნდა პროექტირების და ექსპლუატაციის ცალკეულ ეტაპზე არ გამორიცხავს კონსტრუქციის ოპტიმიზაციის მეთოდების ლოკალურ გამოყენებას).

დამუშავების ყოველი სტადიის შესრულებასთან ერთად დამუშავებლისთვის მნიშვნელოვანია მაქსიმალურად ინფორმაციული სახით შექმნას კონსტრუქციის, გარემოს და ექსპლუატაციის დროს კონსტრუქციის ქცევის ვიზუალური მოდელები. აქ შეიძლება გამოყენებული იყოს სხვადასხვა კვებების, პროექტირების დასაშვები და რეალური პარამეტრების მნიშვნელობების აგება. ამ დროს მნიშვნელოვან აზრობრივ დატვირთვას ასრულებს ვიზუალური მოდელის ფერებში შესრულება.

ამ მოდელის ძირითადი ამოცანაა კონსტრუქციის რღვევის პროცესის შესწავლა და პერსონალური კომპიუტერის ბაზაზე განსაკუთრებულად რთული კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გაანგარიშების ავტომატიზაციის სისტემის შექმნა და კომპიუტერის საფუძველზე დამუშავებული

გამოყენებითი პროგრამების პაკეტის ფუნქციური შესაძლებლობების მნიშვნელოვანი გაფართოება.

პროგრამის პაკეტს საფუძვლად უდევს სამშენებლო მექანიკის, მექანიზმების თეორიის და დეფორმირებული მყარი სხეულის მექანიკის ამოცანათა ამოხსნის ყველაზე ეფექტური მეთოდები. აგრეთვე აუცილებელია შეიქმნას სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის პროცესის მკაცრად ჩამოყალიბებული მოდელი.

ამასთან, ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში მყოფი კონსტრუქციების შემოწმება თანამედროვე პერსპექტიული არამრღვევი კონტროლის მეთოდებით ითვლება კვლევის ძირითად ბაზად. ეს გარემოება და გამოთვლითი ტექნიკის მიღწევები საშუალებას იძლევა დინამიკური ზემოქმედებით გამოწვეული რთული გარდამავალი პროცესები, განხილულ იქნას და გადაწყდეს არა ფრაგმენტულად, არამედ კომპლექსურად ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში.

საკლავი ობიექტის აღწერის მათემატიკური ენა უნდა შეესაბამებოდეს მოცემულ შემთხვევაში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს. ჩვენი ამოცანის გადასაწყვეტად დარტყმითი დატვირთვების ზემოქმედებისას კონსტრუქციაში მიმდინარე რხევითი პროცესები შესწავლილი უნდა იქნას დროში, ე.ი. საქმე გვაქვს განაწილებული სისტემების დინამიურ ანალიზთან. აუცილებელია კონსტრუქციების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის მათემატიკური მოდელის ჩამოყალიბება.

## **2.3. სანგარიშო მოდელისათვის საჭირო თეორიული საფუძვლები**

### **2.3.1. საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვების დაზუსტების აუცილებლობის შესახებ**

როგორც წინა თავში აღვნიშნეთ ძირითად საგანგებო სიტუაციას წარმოადგენს სეისმური ზემოქმედება-მიწისძვრა. ამიტომ სეისმურ რაიონებში მიზანშეწონილია თავისი თვისებებით სეისმურად მდგრადი კონსტრუქციების გამოყენება. მათ განეკუთვნება სივრცითი კონსტრუქციები, კერძოდ რკინაბეტონის გარსები. მათი მასა 30-40%-ით ნაკლებია შესაბამისი ბრტყელი კონსტრუქციების მასაზე, რასაც მივყავართ სეისმური დატვირთვების მკვეთრ შემცირებამდე. ასეთი კონსტრუქციები ძალიან პერსპექტიულია ფართო მოხმარებისათვის სეისმურ რაიონებში.

საანგარიშო სეისმური დატვირთვა  $S_{ik}$  მოდებული არჩეული მიმართულებით  $k$  წერტილში და შესაბამისი შენობის და კონსტრუქციის საკუთარი რხევების  $i$ -ური ტონისა განისაზღვრება ნორმების შესაბამისი ფორმულით [1]:

$$S_{ik} = K_1 K_2 S_{oik}; S_{oik} = Q_i A \beta_i K_{\psi} \eta_{\dot{y}}, \quad (2.1)$$

სადაც  $Q_i$  – შენობის ან ნაგებობის წონაა  $k$  წერტილის შესაბამისად;  $A$  – კოეფიციენტი, რომელიც უდრის 0,1; 0,2; 0,4 შესაბამისად 7, 8 და 9 ბალიანი საანგარიშო სეისმიურობისათვის;  $\beta_i$  – დინამიურობის კოეფიციენტი, რომელიც შეესაბამება შენობის ან ნაგებობის  $i$ -ური ფორმის საკუთარ რხევას;  $\eta_{ik}$  – ნაგებობის ფორმაზე დამოკიდებულების კოეფიციენტი,  $i$ -ფორმის საკუთარი რხევისას;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{\psi}$  – ნორმებით მიღებული კოეფიციენტებია.

ტრადიციულად მიღებულია, რომ სივრცითი კონსტრუქციები ითვლება ხისტად, როგორც ერთი მთლიანი რხევითი სისტემა. აქედან გამომდინარეობს კონსოლის ჩვეულებრივი საანგარიშო სქემა საშუალო მასით, როდესაც ყველა ნაგებობა განიხილება როგორც სისტემა ერთი თავისუფლების ხარისხით, ნორმებში [1] ნაგარაუდებია, რომ ყველა შენობები ირხევა ერთნაირი ფაზით, მიწისძვრის შემთხვევაში, ანუ მიღებულია

$$\lambda = C \cdot T_0 \gg L, \quad (2.2)$$

სადაც  $\lambda$  – სეისმური ტალღის სიგრძეა,  $C$  – ტალღის გავრცელების სიჩქარეა;  $T_0$  – გრუნტის რხევის პერიოდი, შენობის რხევების პერიოდთან მიახლოებული ან გათანაბრებული [3];  $L$  – შენობის სიგრძეა.

დიდმალიანი შენობებისათვის შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ  $L = \lambda$  ან  $L = \lambda/2$ . ამ შემთხვევაში შეიძლება განვითარდეს საყრდენთა ფაზების საწინააღმდეგო რხევა. სეისმური ტალღების ზემოქმედების შესაბამისი სქემები მოყვანილია [4, 5] შრომებში. ამ შრომებში ნაჩვენებია, რომ საყრდენთა რხევების ფაზათა სხვაობის ეფექტს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მაშინაც, როცა შენობის რხევა სეისმური ტალღის ჯერადი არ არის.

შენობის ძალის სიგრძის მხედველობაში მიღებისას, სივრცითი კონსტრუქციების შემთხვევაში იყენებენ ფორმულას:

$$\eta_i(x, y) = \frac{D_1(x, y) \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} m(x, y) \Phi_i(x, y) dx dy}{\int_0^{L_x} \int_0^{L_y} m(x, y) \Phi_i^2(x, y) dx dy}, \quad (2.3)$$

სადაც  $\Phi_i(x, y)$  – გადახურვის თავისუფალი რხევის ფორმაა;  $m(x, y)$  – გადახურვის მასაა.

$L_x, L_y$  – გადახურვის ზომები, რომლებიც დატანილია გეგმაზე.

გეგმაში შენობის წაგრძელების გათვალისწინებით (2.2) მიიღებს შემდეგ სახეს [4, 5]:

$$\eta_i(x, y) = \frac{\Phi_i(x, y) \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} m(x, y) \mu(x, y) \Phi_i(x, y) dx dy}{\mu(x, t) \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} m(x, y) \Phi_i^2(x, y) dx dy}, \quad (2.4)$$

სადაც  $\mu(x, y)$  – ინერციული მოძრაობის განაწილების ფუნქციაა გადახურვაზე.

ამერიკელი მეცნიერის ჰაუნზერის შრომებში აღწერილია ამერიკაში 1952 წლის 21 ივლისის მიწისძვრა. ამ შრომებში მოყვანილია, ის რომ აუცილებელია შენობის წაგრძელების გათვალისწინება პროექტირებისას. მან მიუთითა, რომ გრუნტისა და საძირკვლის აჩქარებათა სპექტრები განივი მიმართულებისას ემთხვევა ერთმანეთს (ზემოთ ნახსენები მიწისძვრისას განხილული ერთ-ერთი შენობა). გრძივი მიმართულებისას კი საძირკვლის აჩქარება ორჯერ ნაკლები აღმოჩნდა გრუნტის აჩქარებაზე. გრძივი მიმართულებით სეისმური ტალღის სიგრძე შედარებული იქნა შენობის ზომებთან, ამასთან დაკავშირებით საძირკველზე მოქმედი აჩქარებები იღებდნენ ამ მიმართულებით შემცირებულ მნიშვნელობებს.

წაგრძელებული, კარკასული, მრავალსართულიანი შენობების საფუძვლიანი ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარებულია საქართველოში [6].

ვიზუალური დაკვირვებები მიუთითებენ წაგრძელებული შენობების კვლევას რხევის კოეფიციენტის ანგარიშისას. რაც მეტყველებს ამ მეთოდის შემდგომ პერსპექტიულობაზე. შენობის ზომები უნდა შედიოდეს სეისმომდგრადობის ანგარიშებში, როგორც მახასიათებელი პარამეტრები.

რხევის ფორმის კოეფიციენტის სიდიდის ანგარიშისას სივრცით კონსტრუქციებში გათვალისწინებული უნდა იყოს ასევე დამხმარე კონსტრუქციების ფაქტორი, ე.ი. გარსი და დამხმარე კონსტრუქციები, როგორც ერთიანი სისტემა.

თეორიული თვალსაზრისით ამოცანის გადაწყვეტის სქემა ღრეკალობის საზღვრებში მოყვანილია [3] შრომაში, სადაც მითითებულია, რომ დამხმარე კონსტრუქციების დეფორმაციულობამ შეიძლება გამოიწვიოს გარსის რხევის ფორმის საგრძნობი ცვლილება.

ნაშრომ [1]-ში მოყვანილია ნორმალურობის დიაგრამა და დინამიურობის კოეფიციენტის მრუდები, მიწისძვრის ეპიცენტრით, რომელიც ქალაქიდან 22 კილომეტრითაა დაშორებული (განხილულია აქსელეროგრამის სხვადასხვა უბნები).

ნაჩვენებია, რომ სპექტრული რხევების დიაგრამის მაქსიმუმებს შეესაბამება რხევების სხვადასხვა პერიოდები: 0,4-0,5 წმ ან 1,0-1,5 წმ, შესაბამისი სიდიდეების მაქსიმუმები პრაქტიკულად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ისინი 25-30%-ით მეტია დინამიურობის კოეფიციენტის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე, რომლებიც მიღებულია ნორმებით [1].

მნიშვნელოვანი მასალა, დამოკიდებული დინამიურობის კოეფიციენტის განსაზღვრაზე, მიღებული რეალური აქსელეროგრამებიდან, რომელიც ჩაწერილია ქ. დუშანბეს სეისმურ სადგურებში, განზოგადებული და მოყვანილია [4] ნაშრომში.

როგორც ჩანს რეალური დინამიურობის კოეფიციენტი, ან ნაგებობის სიმაღლის ბოლო ნიშნულისა და გრუნტის აჩქარების დამოკიდებულება ფაქტიურად მერყეობს საკმაოდ დიდ დიაპაზონში და იღებს მაქსიმალურ მნიშვნელობას 4.2, რაც 40%-ით მეტია მაქსიმალურ ნორმატიულ მნიშვნელობაზე. ნორმებთან შედარებით ეს ნაზრდი შეადგენს 300-1500%-ს.

აღსანიშნავია, რომ ეს მნიშვნელობები მიღებულია შედარებით სუსტი მიწისძვრებისას (4 ბალამდე), მიუხედავად ამისა ისინი იძლევიან სერიოზულ მიზეზს იმისათვის, რომ გადაიხედოს და დაზუსტდეს დინამიურობის კოეფიციენტის ნორმატიული მნიშვნელობები.

$\beta$  კოეფიციენტის დასაზუსტებლად აუცილებელია ერთ მთლიან კომპლექსში იყოს განხილული გრუნტებსა და კონსტრუქციებში მიმდინარე ტალღური პროცესები გამომდინარე მიწისძვრიდან. ასეთი მიდგომის გარეშე შეუძლებელია

აისხნას კონსტრუქციების დეფორმაციებისა და რღვევების უროულესი ტიპური შემთხვევები.

აქსელეროგრამის სახით საწყისი ინფორმაციის გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$\beta_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{K_c g} \max \int_0^t e^{-\frac{\gamma_3 \omega_{ik}^2}{2\omega} (t-\tau)^{c\tau/L}} \int_0^{\tau - \bar{y} \frac{L}{c}} \ddot{v}_j(\bar{y}) \alpha \bar{y} \cdot \sin \omega_{ij} (t - \tau) d\tau, \quad (2.5)$$

სადაც  $\omega_{ij}$  – შენობის ან ნაკებობის რხევის სიხშირეა;  $\omega_0$  – გრუნტის რხევის

სიხშირეა;  $\bar{y} = \frac{y}{L}$ ;  $y$  – მანძილი შენობის საწყისი კუთხიდან შენობის მთელ

სიგრძეზე შესაბამის კვეთამდე;  $\gamma_3 = \frac{\delta_3}{\pi}$  – კონსტრუქციის მასალის არადრეკადი

წინალობის კოეფიციენტი;  $\delta_3 = \ln \frac{\ddot{V}_{0,k}}{V_{0,k+1}}$  – კონსტრუქციის რხევის დეკრემენტია

(აღზნების შესუსტების შენობის წაგრძელების გასწვრივ);  $\ddot{V}_{0,k}, \ddot{V}_{0,k+1}$  –

აქსელეროგრამაზე რხევის ამპლიტუდებია (აჩქარების სიდიდეები);  $g$  – დედამიწის

მიზიდულობის აჩქარება;  $t$  – აქსელეროგრამაზე აღებული განსახილველი დროის

მონაკვეთი;  $\tau$  – დროის ფიქსირებული მონაკვეთია (წერტილი, შენობის ქვეშ, სადაც

გადის სეისმური ტალღა).

(2.5) ფორმულიდან ჩანს, რომ დინამიურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა

უნდა იყოს აღებული რეალური აქსელეროგრამებიდან, ასევე მხედველობაში უნდა

იყოს მიღებული შენობის ქვეშ არსებული სეისმური ტალღის გავლის ეფექტი მის

მთელ სიგრძეზე, ანუ

$$\beta = \beta(\omega_{ij}, \omega_0, \gamma_3, L/3). \quad (2.6)$$

ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს რამოდენიმე წინადადება, რომელიც

გათვალისწინება  $\beta_i$  სიდიდის საანგარიშო მნიშვნელობის მისაღებად, რკინაბეტონის

გარსების შემთხვევაში.

ნორმებში მიღებული დინამიურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები აღებულია

აქცენტით შემცირებისაკენ და უნდა დაზუსტდეს მათი მნიშვნელობების გაზრდისაკენ.

მიზანშეწონილია  $\beta_i$  კოეფიციენტი განისაზღვროს რეალური აქსელეროგრა-

მებიდან იმ უბნებისათვის, სადაც აშენდება შენობა (რეგიონალური დინამიურობის

კოეფიციენტი).

$\beta_0$  კოეფიციენტის ანგარიშისას საჭიროა შეყვანილი იქნას მილევადობის კოეფიციენტები, რომლებიც შესაბამისობაში იქნება სივრცით კონსტრუქციებთან, რომლებსაც აქვთ რხევის დაბალი მნიშვნელობის მილევადობა.

სავალდებულოა გათვალისწინებული იქნას გრუნტებსა და კონსტრუქციებში მიმდინარე ტალღური პროცესები, რომლებიც არსებითად მოქმედებენ  $\beta_i$  სიდიდეზე, რაც შემდგომში კარგად აისახება, როგორც კონსტრუქციების ექსპლუატაციის დროის რესურსზე, ასევე ნაგებობებზე გაწეული მნიშვნელოვანი თანხების შემცირებაზე.

### 2.3.2. დარტყმითი დატვირთვის პარამეტრები

ავარიული დარტყმითი დატვირთვა ძირითადად ხასიათდება ისეთი პარამეტრებით, როგორცაა დარტყმითი სიჩქარე  $V_0$  (დამრტყმელი თავის კონსტრუქციასთან კონტაქტის საწყისი სიჩქარე) და შთანთქმული ენერგია. დარტყმის სიჩქარის მიხედვით განასხვავებენ, დაბალსიჩქარიან, მაღალსიჩქარიან, ზემაღალსიჩქარიან (ზესწრაფი) დარტყმებს. ენერგიის შთანთქმის მიხედვით განასხვავებენ: უცაბედი დარტყმა, შუალედურად უცაბედი და არა უცაბედი. პირველ შემთხვევაში კონსტრუქციის მიერ შემოთავაზებული ენერგია გაცილებით აჭარბებს დამრტყმელი სხეულის მიერ მიღებულ ენერგიას. ამრიგად, ამ შემთხვევაში, დამრტყმელი სხეული შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც არადეფორმირებული ტანი. მეორე შემთხვევაში დამრტყმელი სხეულის და კონსტრუქციის მიერ მიღებული და შთანთქმული ენერგიები ურთიერთთანაზომადია. ნაკლებად უეცარი დარტყმისას კი დამრტყმელ სხეულზე შთანთქმული ენერგია აჭარბებს კონსტრუქციის მიერ შთანთქმულ ენერგიას. პირველ ორ შემთხვევაში კონსტრუქციის ანგარიშისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული დამრტყმელი სხეულის და კონსტრუქციის ურთიერთქმედება. ბოლო შემთხვევაში კი კონსტრუქცია შეიძლება განვიხილოთ, როგორც არადეფორმადი ტანი დარტყმის მომენტში, ხოლო დამრტყმელი სხეულის ქმედება კი შეიძლება შეიცვალოს იმპულსური ლოკალური დატვირთვით  $F(t)$ .

დარტყმის ეფექტურობა დამოკიდებულია დამრტყმელი სხეულის ფორმაზე, კონსტრუქციის ზედაპირსა და დამრტყმელი სხეულის ღერძს შორის კუთხეზე,

დამრტყმელი სხეულის დიამეტრსა და კონსტრუქციის შემხები ზედაპირის სისქეზე და ა.შ.

დარტყმით დატვირთვებს აფასებენ დარტყმის იმპულსით

$$I = M_s V_0 = K_H \cdot F_m \cdot \tau, \quad (2.7)$$

სადაც  $M_s$  – დამრტყმელი სხეულის მასა;  $V_0$  – დამრტყმელი სხეულის სიჩქარე;  $F_m$ ,  $\tau$  – მაქსიმალური ინტენსივობა და დამრტყმელი დატვირთვის მოქმედების დროა;  $K_F$  – იმპულსის ფორმის სახასიათო კოეფიციენტი ( $K_F = 1$  – სწორკუთხედის და  $K_H = 0,5$  – სამკუთხედისათვის).

ამწე-მოწყობილობის ავარიის შედეგად, სამრეწველო შენობებში, დარტყმის პარამეტრები განისაზღვრება ხილური და დაკიდებული ამწის საპასპორტო მონაცემების მიხედვით. რკინაბეტონის კარკასიანი შენობებისათვის დამრტყმელი სხეულის მასა  $M_s \leq 75$  ტ. მრავალსართულიან შენობებში –  $M_s \leq 10$  ტ. დარტყმის სიჩქარე დამოკიდებულია საკიდი კაუჭის სიმაღლეზე –  $H$  და იანგარიშება დამოკიდებულებიდან:

$$V_0 = K_{FR} \sqrt{2gH} \quad (2.8)$$

სადაც  $g=9,8$  მ/წმ<sup>2</sup> თავისუფალად ვარდნილი სხეულის აჩქარება,  $K_{FR}$  – დანაკარგების ამსახველი კოეფიციენტი  $K_{FR} = 0,95$ .

სატრანსპორტო საშუალებებიდან მიღებული დარტყმის პარამეტრები არსებითად დამოკიდებულია მათსავე კონსტრუქციაზე გზის საფარზე, ტვირთის ძარაზე დამაგრებაზე.

მდინარეებზე ნავმისადგომებზე გემების შეჯახებისას, დატვირთვის მაქსიმალური ინტენსივობა შეიძლება აღებულ იქნას ცხრილიდან 2.1. გემის გადმოტვირთვის დატვირთვის პროცესი ხანგრძლივია და ამიტომ ნაპირთან შეჯახების დრო იზრდება, რაც განაპირობებს გემის მნიშვნელოვან დეფორმაციებს. ამდენად, მოცემულ შემთხვევაში, გემების დარტყმის დატვირთვა უნდა მივიღოთ, როგორც კვაზისტატიკური (დინამიკურობის კოეფიციენტის გარეშე).

მდინარეზე მოძრავი გემების ნაპირთან შეჯახების  
ძალის მნიშვნელობები

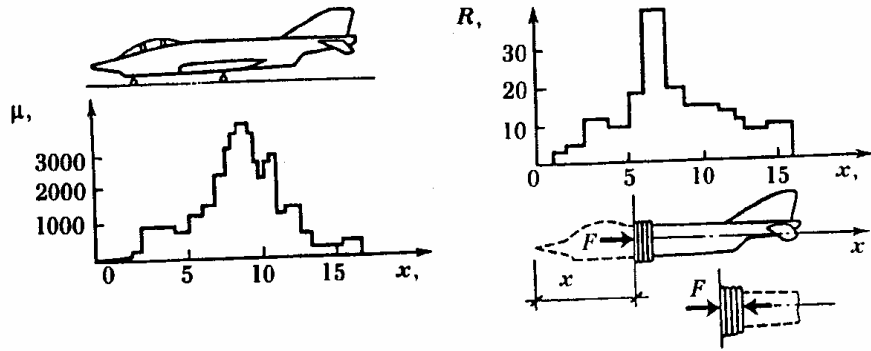
დატვირთვის სახე	დარტყმის ძალა	
	მოძრაობის მიმართულებით მ.წ.	მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მ.წ.
დიდი გემის დარტყმა ( $M_S = 6000$ ტ) დიდ მდინარეზე	31	16
საშუალო ( $M_S = 2400$ ტ) გემის დარტყმა საშუალო სიდიდის მდინარეზე	8	15
პატარა გემის დარტყმა ( $M_S = 400$ ტ) პატარა მდინარეზე	1	0,2

აქვე განვიხილოთ ჩამოვარდნილი თვითმფრინავის დარტყმის პროცესი, რომელმაც შეიძლება საშიშროება შეუქმნას სტრატეგიული დანიშნულების ობიექტებს, როგორცაა: ქიმიური ქარხნები, ატომური ელექტროსადგურები, ტელესაკომუნიკაციო სისტემები. ავარიის მოსალოდნელი რისკის ფაქტორი დამოკიდებულია შემდეგ გარემოებებზე:

1. საჰაერო ტრასების ან თვითმფრინავის მიმდები სადგურების განლაგება 4 კილომეტრიან საზღვრებში;
2. აეროდრომების განლაგება 10-16 კმ საზღვრებში ასაფრენ-დასაჯდომი ზოლით, რომლის ფართია  $500 S^2$  და 16 კმ-ზე მეტი ასაფრენ-დასაფრენი ზოლით, რომლის ფართია  $1000 S^2$ , სადაც  $S$  არის დაშორება საფრენი მოედნიდან (კილომეტრებში).

საფრენი მოედნის 30 კმ-იან ზოლში არის განლაგებული სამხედრო ობიექტები ან საჰაერო სივრცე, რომელიც გათვალისწინებულია პრაქტიკული მომზადებისათვის (იგულისხმება ყუმბარსატყორცნი მოედანი).

ავიაკატასტროფის რისკის ფაქტორის გათვალისწინებით მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული შემდეგი კონსტრუქციული ელემენტებისაგან მოსალოდნელი დაზიანებები, როგორცაა: თვითმფრინავის კორპუსი, რომელიც დამზადებულია რბილი ადვილდეფორმადი მასალისაგან და მყარი ტანის ნამსხვრევებისაგან (მაგ. მოგლეჯილი ელექტროძრავისაგან). ნახ. 2.3-ზე ნაჩვენებია თვითმფრინავის კორპუსის  $R$ -მანქანათმშენებლის და მასის გადაადგილებაზე დამოკიდებულების გრაფიკები.



ნახ. 2.3. დარტყმითი დატვირთვა ავარიის დროს

ასევე მოყვანილია გამანადგურებელი „ფანტომის“ ხისტ ზედაპირზე დაცემისას დეფორმირების სქემა ნახ. 2.4.

ხსენებული დამოკიდებულება მიღებულია საფრენი ობიექტის კორპუსის მასალისაგან დამზადებული საცდელი მფრინავი ნაღმების ხისტ ზედაპირზე დაჯახების ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზის საფუძველზე.

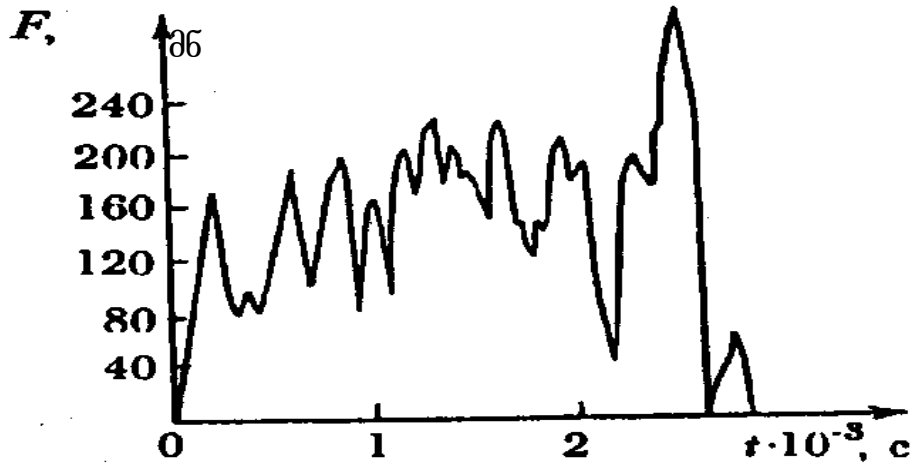
$F(t)$ —ფუნქციონალური დამოკიდებულების თეორიული მოდელის დადგენა მოსახერხებელია განაწილებული მასის —  $\mu(x)$  მქონე დრეკადპლასტიკური ღეროს სიმტკიცის მახასიათებლის  $R(x)$  მიხედვით, შემდეგი დამოკიდებულებიდან:

$$F(t) = R[x_{\text{სა}}(t)] + \dot{x}_{\text{სა}}^2(t) = \mu[x_{\text{სა}}(t)] \quad (2.9)$$

სადაც  $x_{\text{სა}}(t)$  — თვითმფრინავის ცხვირის მხრიდან ათვლილი ნაოჭოვანი ნაწილის სიგრძეა,  $t$  — დროში;  $x_{\text{სა}}$   $\dot{x}_{\text{სა}}$  — თვითმფრინავის გადაადგილების მიხედვით განსაზღვრული ფუნქციებია (  $\dot{\bullet}$  - აღნიშნავს წარმოებულს  $t$  — დროში). თვითმფრინავზე დარტყმით მიღებული დატვირთვები ნაჩვენებია ნახ. 2.2-ზე.

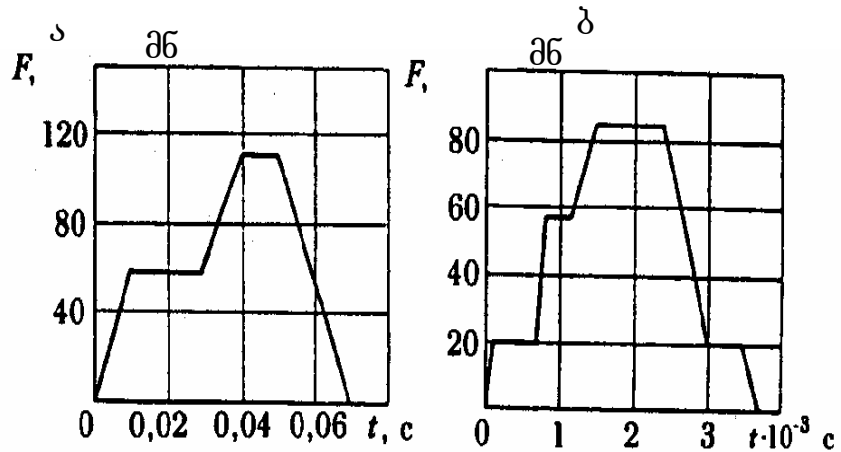
$F(t)$  დამოკიდებულების ექსპერიმენტალურად დადგენისათვის რეკომენდებულია 20 ტ მასის და 200 მ/წმ სიჩქარის მქონე დამრტყმელი სხეულის გამოყენება.

მფრინავი ობიექტიდან ავარიულად მოგლეჯილი ძრავის ხისტ ზედაპირზე დაჯახებისას დინამიკურ დატვირთვას უფრო ნაკლები ინტენსივობა გააჩნია, ვიდრე კორპუსის დაჯახებისას აღინიშნება, მაგრამ ამ შემთხვევაში შემხები ზედაპირი გაცილებით პატარაა, ამასთანავე ასეთი სახის შეჯახება საკმაოდ საშიშია.



ნახ. 2.4. თვითმფრინავის ხისტ ზედაპირზე დაჯახებისას დამოკიდებულება დარტყმის ძალასა და დროს შორის

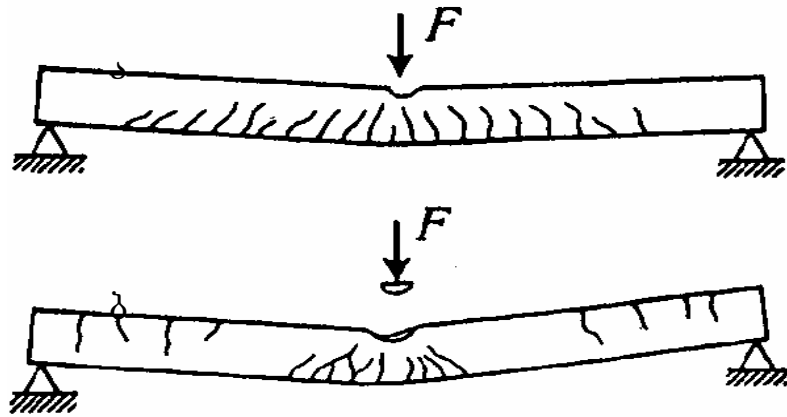
ნახ. 2.5-ზე ნაჩვენებია დარტყმის ძალის ცვლილება გამანადგურებელი „ფანტომი“-ს (რომლის მასაა 1750 კგ) 1,5 მ<sup>2</sup> ფართის მქონე ზედაპირზე 100 მ/წმ-ის სიჩქარით შეჯახებისას.



ნახ. 2.5. დატვირთვის განაწილება თვითმფრინავის კორპუსის (ა) და მოვლევადი ძრავის (ბ) დაჯახებისას ზედაპირზე

### 2.3.3. სხვადასხვა კონსტრუქციებზე დარტყმისას მიღებული რეაქცია

ნახ. 2.6-ზე ნაჩვენებია ბზარწარმოქმნა სახსრულად ჩამაგრებულ რკინაბეტონის ძელში. ლოკალურ სტატიკურ (ა) და მყისიერ დარტყმით დატვირთვებზე (ბ).

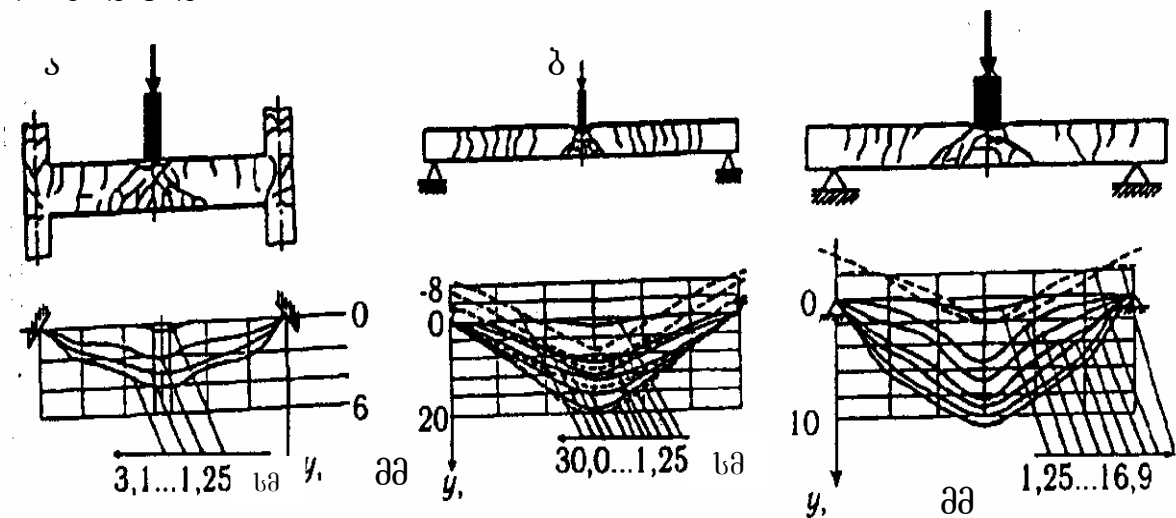


ნახ. 2.6. რკინაბეტონის ძელში ბზარების განვითარების სქემა

სქემაზე თვალნათლივ ჩანს, რომ სტატიკაში ბზარების წარმოქმნა შეინიშნება უმეტესად ქვედა ზონაში, სადაც მღუნავი მომენტი აჭარბებს ბზარწარმოქმნის მომენტს, დარტყმის დროს კი ბზარები კონცენტრირდებიან დარტყმის ზედაპირის ქვემოთ და თავს იჩენენ ზედა ზედაპირზე დაახლოებით  $-1/3$  ნაწილში.

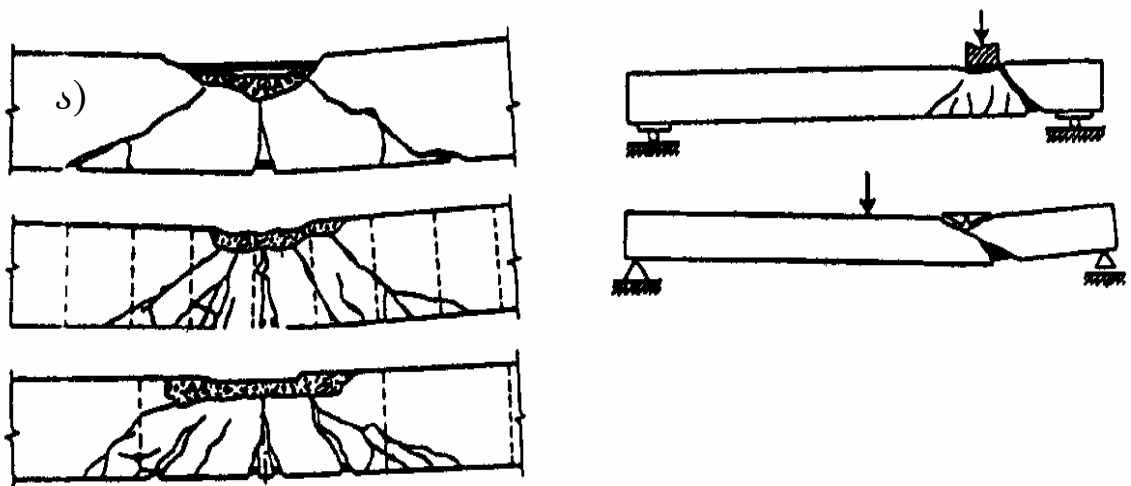
ბზარწარმოქმნა ორმხრივად ჩამაგრებულ ძელში და ჩარჩოში, ვითარდება წინა სქემის ანალოგიურად, იმ განსხვავებით, რომ საყრდენ კვეთებში ზედა ზედაპირებზე შეიმჩნევა ბზარების განვითარება ნორმალის მიმართულებით და შესაძლებელია მათი შესამჩნევ სიღიღეზე გახსნა.

ნახ. 2.7-ზე ნაჩვენებია ბზარების გახსნა კოჭების და ჩარჩოების გალუნვისას, კვეთის სიმაღლისა და სიგრძის მიმართებაში ანუ  $h/l$  – დამოკიდებულებაში.



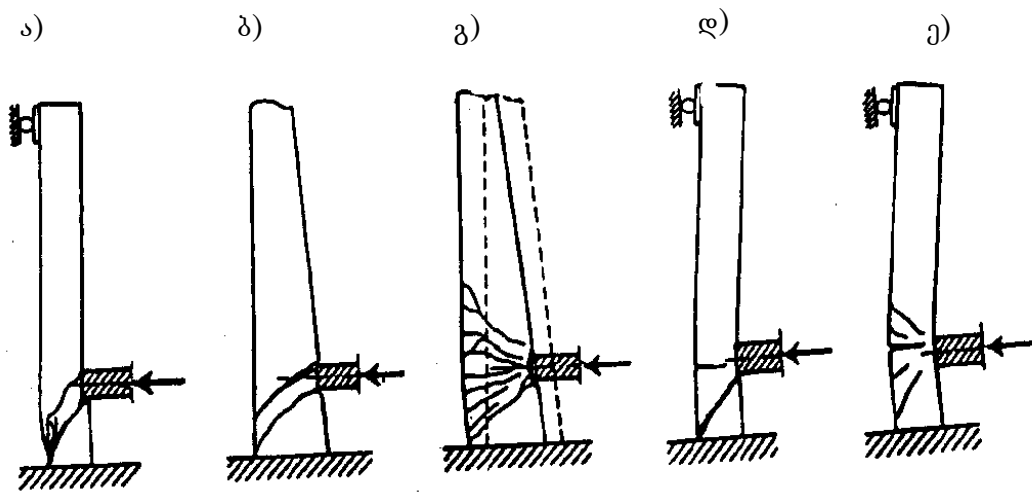
ნახ. 2.7. კოჭებსა და ჩარჩოებში ბზარების წარმოქმნა გალუნვის დროს, სახასიათო პარამეტრები  $V_0 = 16,5$  მ/წმ  
 $a - h/l = 1/6,8$ ;  $b - h/l = 1/13,8$ ,  $g - h/l = 1/6$

როგორც სქემიდან ირკვევა, სახსრულად ჩამაგრებულ კოჭის ქვედა არმატურაში აღილი აქვს ბზარის განვითარებას დინამიკური ცოცვალობის ზღვრის მიღწევისას და ვითარდება პლასტიკური დეფორმაცია. ამ დროს რღვევა შეიძლება განვითარდეს, როგორც ნორმალურ ასევე დახრილ კვეთებში, როგორც შუა ასევე განაპირა ზედაპირებზე დარტყმისას (ნახ. 2.8). ამ შემთხვევაში რღვევის პროცესი განპირობებულია არა სტატიკური დატვირთვის შედეგად, არამედ იგი გამოწვეულია რხევითი პროცესების განვითარებით (იგულისხმება დარტყმით გადაცემული რხევები).



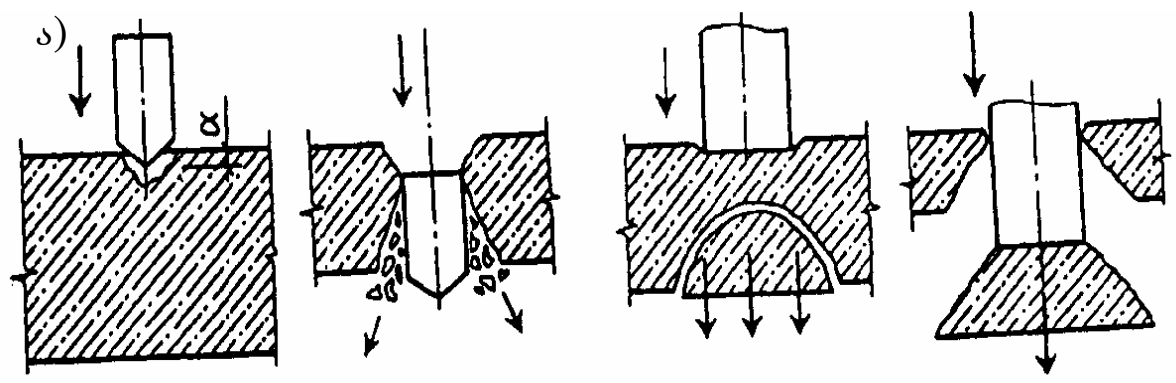
ნახ. 2.8. ძელის რღვევის სქემა დარტყმითი დატვირთვებისას

კოლონები რკინაბეტონის კოლონები დარტყმის ზემოქმედებას ძირითადად განიცდიან სატრანსპორტო საშუალებების დაჯახების შედეგად ქვედა ნაწილში. მაგრამ ასევე შესაძლებელია დარტყმითი დატვირთვები ცენტრალურ ნაწილში. კოლონის ქვედა ნაწილში სატრანსპორტო საშუალებების დაჯახებისას ჩვეულებრივ მოსალოდნელია განვითარდეს დახრილი ბზარები, რომელთაგან ერთ-ერთი ვრცელდება ქვემოთ შემხები ზედაპირიდან, ხოლო დანარჩენი კი მის პარალელურად. ეს უკანასკნელი კი იწვევს შეჭიდულობის დარღვევას გრძივად ჩადებულ არმატურასა და ბეტონს შორის. სწორედ ამ ზონაში წარმოიქმნება ბეტონის ფრაგმენტაცია (დანაწევრება), რომელიც ვრცელდება მთლიანად კოლონაში, შემჭიდროვებული ხაზების სახით. აღნიშნულს თან ახლავს კოლონის ბოლოების წანაცვლება განივი ძალების ზემოქმედების შედეგად (ნახ. 2.9).



ნახ. 2.9. კოლონის რღვევა დარტყმითი დატვირთვისას

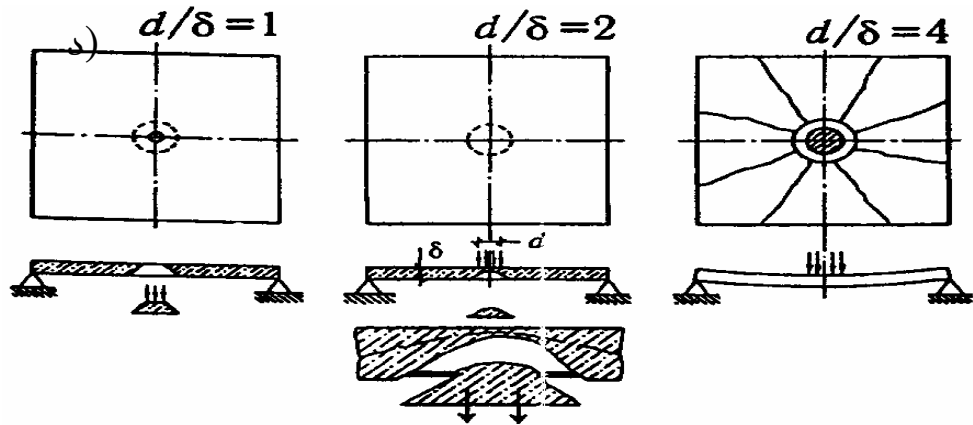
**ფილების რღვევა.** ფილები ისევე, როგორც გარსები უმეტეს შემთხვევაში გამოიყენება, როგორც ავარიული ზემოქმედებისაგან დამცავი კონსტრუქცია. ფილამ, როგორც ორგანოზომილებიანმა კონსტრუქციამ (სისქე არ მიიღება მხედველობაში) შესაძლოა განიცადოს არამართო საერთო ხასიათის რღვევა, არამედ ადგილობრივი ჩამონაჭერის და ნახვრეტის სახით (ნახ. 2.10) ჩამონაჭერში იგულისხმება ბეტონის ფილის ფრაგმენტი. იმის გათვალისწინებით, რომ ბეტონის ფრაგმენტის სიმტკიცე გაჭიმვაზე გაცილებით მცირეა (10-20-ჯერ), ვიდრე კუმშვაზე ადგილი აქვს ბეტონის ფრაგმენტის მოცილებას დარტყმის მიმართულებით. ამ დროს მოცილებულ ფრაგმენტს გააჩნია საკმარისი კინეტიკური ენერგია.



ნახ. 2.10. ფილის რღვევა დარტყმითი დატვირთვების ზემოქმედებით

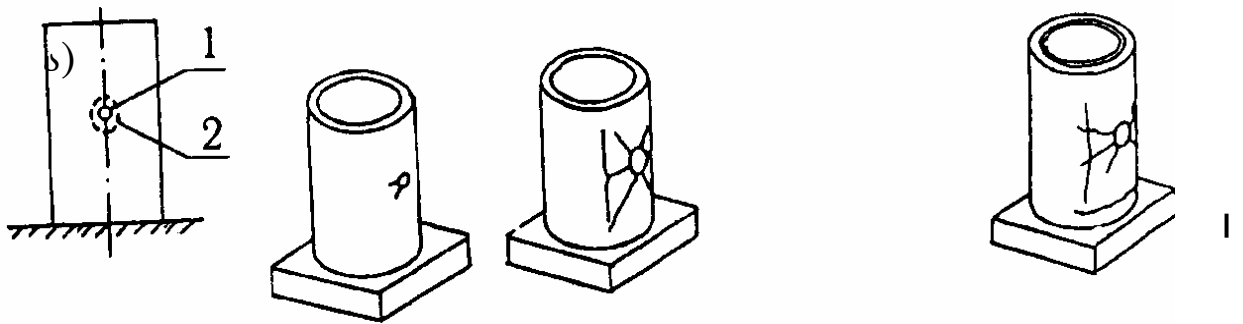
მახვილთავიანი დამრტყმელი იდენტორით ზემოქმედებისას დარტყმის ენერგიის მნიშვნელოვანი ნაწილი იხარჯება ადგილობრივი დეფორმაციების და დაბრისებური ყელის წარმოქმნაზე. ბრტყელთავიანი იდენტორით ზემოქმედებისას კი ადგილი აქვს დინამიური განგრევის პროცესს. დამრტყმელი თავის დიამეტრის გაზრდა ხელს უწყობს კონსტრუქციის მთლიანი რღვევის პროცესს (ნახ. 2.11).

გარღვევა-ჩამოჭრის პროცესი უმეტეს შემთხვევაში არ იწვევს საცდელი ნიმუშის (ამ შემთხვევაში ფილის) მთლიანობის რღვევის, საკონტაქტო არის გარეთ. თუ ნარჩენი სიმტკიცე საკმარისია, დარტყმის ზონაში წარმოიქმნება რადიალური და წრიული ბზარები. რადიალური ბზარების გახსნისას, საცდელ ნიმუშში განივად ჩადებული არმატურა გადადის ცოცვადობის სტადიაში, წარმოიქმნება გრძივი ყელი ნახ. 2.12. განივი ბზარების წარმოქმნის სქემა დამოკიდებულია საცდელი ფილის ზომებზე და კიდეების ჩამაგრების პირობებზე. რღვევა ვითარდება საცდელი ნიმუშის შეკუმშულ არეზე ზემოქმედების შედეგად. აღწერილი რღვევის პროცესი სახასიათოა ფილებზე მყისიერი დარტყმითი ზემოქმედებისას, იმ შემთხვევაში, როცა საცდელ ნიმუშში არმატურა არ არის განივად ჩადებული.



ნახ. 2.11. ნახვრეტის წარმოქმნა და ფილის მთლიანად რღვევის პროცესი

**გარსები.** შეკრული ცილინდრული გარსების გახვრეტის შემთხვევაში წარმოიქმნება დახრილი, ელიფსის ფორმის, ჩაკეტილი ბზარი, რომლის დიდი ღერძი მიმართულია ცილინდრის შიგა ზედაპირისაკენ. მიღებული სურათი ნათლად ჩანს 2.12, ა ნახაზზე.



ნახ. 2.10. ცილინდრული ფორმის რკინაბეტონის გარსების გახვრეტის სქემები

დამრტყმელი სხეულის დიამეტრის გაზრდა იწვევს ადგილობრივი რღვევის მთლიან ზედაპირზე გავრცელებას. აღნიშნულის შედეგად ვითარდება სამი ტიპის ბზარები: დახრილი, ცილინდრის ზედაპირის მართობული და მრუდწირული მოხაზულობის.

ჩამოთვლილი ბზარის ტიპებიდან პირველი სამი განეკუთვნებიან საყრდენ ფილაში რადიალური ბზარწარმოქმნების კატეგორიას (ნახ. 2.10, ა და ბ სქემები), ხოლო მესამე ტიპი კი გავრცელებულია საყრდენი ფილის ზედაპირზე (ნახ. 2.10, გ სქემა).

ბეტონის კარკასის შიგნით რკინის პერანგი მნიშვნელოვნად აფერხებს ბზარის განვითარებას. ქვედა კონტურზე ჩამაგრებული გარსის შიგა ზედაპირზე განვითარებულ ბზარწარმოქმნებს შესაძლოა დაემატოს საერთო დეფორმაციით გამოწვეული ბზარები, რომლებიც წარმოიქმნებიან კონსოლური კოჭის შემხებ ზედაპირზე.

## 2.4. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დინამიკური საანგარიშო მოდელი

### 2.4.1. კოჭების საანგარიშო მოდელი

ჩვეულებრივ რკინაბეტონის კოჭებს ანგარიშობენ დარტყმის მთლიან ზემოქმედებაზე. მყისიერი დარტყმების დროს აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული დარტყმის ძალასა –  $F$  და დარტყმელი სხეულის კონსტრუქციაში შეღწევის უნარს შორის საკონტაქტო კანონზომიერება.

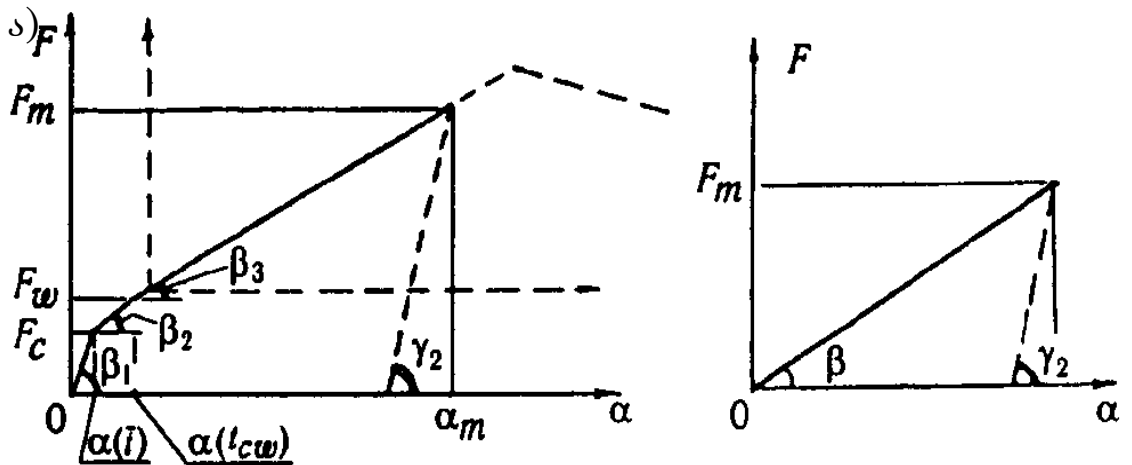
გაცილებით სასიფათოა ბეტონის კონსტრუქციაზე მასიური ლითონის თავიანი იდენტორის ზემოქმედება. ამ შემთხვევაში ადგილობრივ დეფორმაციაზე დანაკარგები მინიმალურია და ენერგიის დიდი ნაწილი ხმარდება კონსტრუქციის მთლიან დეფორმაციას. საკონტაქტო ზონა კი დეფორმირებისას გაივლის ოთხ სტადიას: 1. პირველი დახრილი ბზარების წარმოქმნას, რომლებიც წარმოიქმნება საკონტაქტო ბაქანზე. 2. დენადობის ზღვრის მიღწევა, დახრილი ბზარებით, გადაბმის ადგილებში; 3. დამრტყმელი იდენტორის მაქსიმალური შეღწევა კონსტრუქციაში,  $a_m$  – მანძილზე. 4. საკონტაქტო ძალის შემცირება 0-მდე (განტვირთვა), ბრტყელთავიანი იდენტორისათვის საკონტაქტო კანონი ჩაიწერება შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$F = \begin{cases} K_{11}\alpha & (\dot{\alpha} > 0, 1 \leq \bar{t}) \\ K_{12}\alpha + (K_{11} - K_{12})\alpha(\bar{t}) & (\dot{\alpha} > 0, 1 < t \leq t\omega) \\ K_{13}\alpha + (K_{12} - K_{13})\alpha(t\omega) + (K_{11} - K_{12})\alpha(t) & \alpha(t) (\dot{\alpha} > 0, 1 < t\omega) \\ K_2\alpha - (K_2 - K_{11})\alpha_m & (\dot{\alpha} > 0) \end{cases} \quad (2.25)$$

სადაც  $K_{1i}$  - არის დატვირთვის შტოების დახრის კუთხის ტარგენსები ( $\alpha$ ) ღერძთან.  $K_2$  - არის დატვირთვის შრეების დახრის კუთხის ტანგენსი,  $\bar{t}$  - არის ღენადობის ზღვარზე მიღწევის მომენტი შეერთების კვანძებში. თუ მხედველობაში არ მივიღებთ ბზარწარმოქმნის მომენტს, მაშინ (2.25) განტოლებიდან გვექნება:

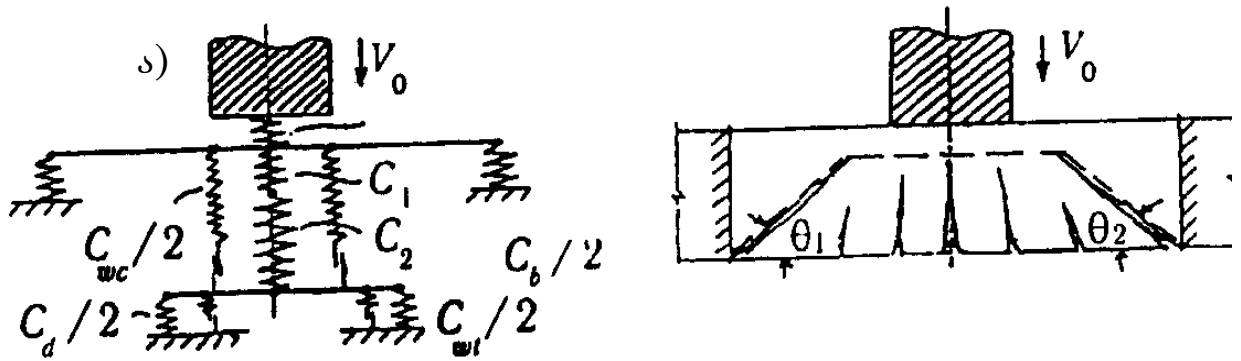
$$F = \begin{cases} K_1\alpha & (\dot{\alpha} > 0) \\ K_2\alpha - (K_2 - K_1)\alpha_m & (\dot{\alpha} < 0) \end{cases} \quad (2.26)$$

მოცემული დამოკიდებულებები გრაფიკულად ნაჩვენებია ნახ. 2.13-ზე.



ნახ. 2.13. კონტაქტური ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი ძირითადი (ა) გამარტივებული (ბ)

$K_1$  - კოეფიციენტი ახასიათებს საკონტაქტო ზონის წინააღმდეგობას მასში დამრტყმელი იდენტორის შესვლის პროცესში. შედარებით მოსახერხებელია საანგარიშო სქემა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 2.14-ზე.



ნახ. 2.14. კოჭის საკონტაქტო ზონის დეფორმაციის მოდელი

გამოთვლებმა აჩვენა, რომ საკონტაქტო ზონის წინააღმდეგობაში წარმოადგენს კოჭის ბზარზემოთა ბეტონის ზედაპირი, რომელიც განიცდის ლუნვა-წანაცვლების დეფორმაციას. ამიტომ შესაძლებელია, მივიღოთ  $K_1 = C_b$ ;  $C_v = 2\eta C_{2b} A / h\phi_{\text{ბვრ}}$ , სადაც  $\eta$  – ფორმის კვეთის კოეფიციენტი  $C_{2b} = 0,4E_3$  – ბეტონის ძვრის მოდულია;  $A$  – განივი კვეთის ფართობი  $\phi_{\text{ბვრ}}$  – ბზარის ძვრის დეფორმაციაზე გავლენის კოეფიციენტი  $\phi_{\text{ბვრ}} = 4,8$ .

განვიხილოთ კონსტრუქციის საერთო დეფორმირების ანგარიში ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით სახსრულად ჩამაგრებული კოჭის მოძრაობა იყოფა სამ სტადიად: 1. ბზარის წარმოქმნამდე; 2. ბზარის წარმოქმნის შემდგომ, იმ მდგომარეობის შესაბამისად, რომელიც შეესაბამება არმატურაში დინამიკური დენადობის ზღვრულ მდგომარეობამდე პერიოდს 3. მდგომარეობა, რომელიც შეესაბამება განივად ჩაწყობილ არმატურაში დენადობის ზღვარზე, ზღვრულ ლერძულ დეფორმაციებს, ანუ გრძივი არმატურების რღვევის შესატყვის მდგომარეობას.

სტადია, რომელიც შეესატყვისება ბზარწარმოქმნის წინა პერიოდს, მთავრდება დროის იმ მომენტში, რომელიც ეთანადება, როგორც მთლიანი, ასევე დარტყმის ადგილობრივ ზემოქმედებას. ბზარწარმოქმნამდე კოჭი განიხილება, როგორც მთლიანი დრეკადი ელემენტი. ეს სტადია შეესატყვისება კოჭის დრეკა-პლასტიკურ მდგომარეობას, მისთვის სახასიათო თანაფარდობით  $h/\ell$ , რომელიც მცირე სიდიდეა და შესაძლებელია გამოირიცხოს. სახასიათო სურათის შესაქმნელად განვიხილოთ.

**პირობითად-დრეკადი სტადია:** ბზარწარმოქმნის შემდეგ ლუნვის სიხისტე  $B_1$  საკონტაქტო ზონაში შესაძლებელია განისაზღვროს დამოკიდებულებიდან

$$B_1 = \tilde{h}_0 z_1 / \left( \frac{\psi_s}{E_s A_s} + \frac{\psi_b}{\nu E_b A_b} \right), x_0 = R_{s,d} A_s / (R_{b,d} b \omega);$$

სადაც  $z_1 = h_0 - x_0/2$  - ზურგის შიგა წერტილია;  $\omega$  - არის ბეტონის შეკუმშულ არეში ეპიურის შევსების კოეფიციენტი (დინამიკური დატვირთვის დროს  $\omega=0,5$ );  $\psi_s$  და  $\psi_b$  არის გრძივად ჩადებულ არმატურაში ბეტონის შეკუმშულ ზონაში და არათანაბარი დეფორმაციის კოეფიციენტები;  $\nu = 0,45$  - ბეტონის ღრეკადი დეფორმაციის კოეფიციენტი;  $\tilde{h}_0 = h_0 - \alpha$ ,  $h_0$  - კვეთის მუშა სიმაღლეა.

ბზარების არმქონე დანარჩენ კვეთებში სიხისტე გამოითვლება ფორმულით  $B_0 = E_b J_{red}$ ; სადაც  $J_{red}$  - ინერციის მომენტია კვეთში.

გადაადგილების განტოლებების დასაწერად ვისარგებლოთ ლაგრანჟის ვარიაციული განტოლებებით

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial K}{\partial T_n} \right) - \frac{\partial K}{\partial T_n} - \frac{\partial V}{\partial T_n} = \frac{\partial W}{\partial T_n}, \quad (2.27)$$

სადაც  $K$ ,  $V$  და  $W$  - კინეტიკური, პოტენციური ენერგიები და გარე დატვირთვის მიერ შესრულებული მუშაობაა;  $T_n$  - სისტემის განზოგადებული კოორდინატებია.

(2.27) ფორმულაში დამრტყმელი თავის შესაბამისი კინეტიკური ენერგიაა

$$K = \frac{m}{2} \int_0^l \dot{y}^2 dx + \frac{N_a}{2} [\dot{y}(\bar{x}, t) + \dot{\alpha}] \quad (2.28)$$

პირველი შესაკრები გამოსახავს კოჭის ღუნვაზე ენერგიის დანახარჯებს, ხოლო მეორე შესაკრები კი - გადაადგილებაზე  $y + \alpha$ ,  $m$  - კოჭის დაზუსტებული მასაა;  $\bar{x}$  - არის დარტყმითი დატვირთვის შეხების წერტილის კოორდინატი.

კოჭებისათვის, რომლებისთვისაც მისაღებია მუშაობის პლასტიკური სტადია შესაძლებელია გამოვიყენოთ პოტენციური ენერგიის გამარტივებული გამოსახულება, რომელშიც სიხისტე მუდმივად არის მიჩნეული და ტოლია  $B_1$ ; ამ შემთხვევაში

$$V = \frac{B_1}{2} \int_0^l (y'')^2 dx + \frac{1}{2} K_1 \alpha^2, \quad (2.29)$$

ღუნვის შემთხვევაში

$$y = \sum_n T_n X_n \quad (2.30)$$

თუ (2.30) შევიტანოთ (2.28)-სა და (2.29) შემდეგ კი (2.27)-ში მივიღებთ გადაადგილების აღმწერ განტოლებათა სისტემას

$$\begin{cases} \|\mathfrak{N}\|(\ddot{T}) + \|\eta\|(T) + (\Delta)\ddot{\alpha} = 0 \\ [X_n(\bar{x})](\ddot{T}) + \ddot{\alpha} + \omega_0^2\alpha = 0, \end{cases} \quad (2.31)$$

სადაც  $X_n$  - არის კოშის საკუთარი რხევის  $n$ -ური ფორმა  $\|\mathfrak{N}\|$ ,  $\|\eta\|$ -სიმეტრიული მატრიცის ( $n \times n$ ).

$$\chi_{in} = m \int_0^1 x_i x_n dx + M_s X_i(\bar{x}) X_n(\bar{x}); \quad \eta_{in} = B_1 \int_0^1 X_u'' X_n'' dx; \quad (2.32)$$

$$\omega_0^2 = K_1/M_s; \quad \Delta_i = M_s X_i(\bar{x}); \quad (T) = (T_1 \cdots T_n)^T.$$

(2.32)-ისთვის საწყისი პირობები მოიცემა შემდეგი სახით

$$t = 0; \quad (T) = (\dot{T}) = \alpha = 0, \quad \dot{\alpha} = V_0.$$

(2.31) განტოლება აღწერს დამრტყმელი თავის  $y + \alpha$  - გადაადგილებას: მლუნავი მომენტები და განივი ძალები გამოითვლება ცნობილი დამოკიდებულებებიდან

$$M = -B_1 \partial^2 y / \partial x^2; \quad Q = -B_1 \partial^3 y / \partial x^3. \quad (2.33)$$

(2.31) განტოლებები სამართლიანია  $\bar{t}$  დროის იმ შუალედისათვის, რომელიც საჭიროა დასარტყმელი თავის საცდელ ნიმუშში მაქსიმალური შეჭრისათვის ან  $\bar{t}_1$  - დროის შუალედისათვის, რომელიც სჭირდება განივ არმატურაში დენადობის ზღვრის მიღწევას.  $\bar{t}$  - დროის მომენტი განისაზღვრება  $\dot{\alpha}(\bar{t}) = 0$  პირობიდან, სადაც  $\alpha$  - განტოლების ამონახსნია; ხოლო  $t_1$  -ს პოულობენ პირობიდან  $M(x, t_1) = M_{u,d}$ ; სადაც  $M_{u,d}$  - დრეკადობის ზღვრული მომენტია ერთ არმატურიან კვეთში

$$M_{u,d} = R_{s,d} A_s (h_0 - x_0 / 2)$$

$\bar{t} < t < t_1$  - პირობის შესრულებისას საკონტაქტო ზონაში იწყება განტვირთვა და (2.29) განტოლებაში ბოლო შესაკრები შეიძლება შეიცვალოს შემდეგი ჯამით

$$[a(\bar{t})]^2 (K_2 - K_1) / (2K_2) - \alpha(\bar{t}) \alpha (K_2 - K_1) + 1/2 K_2 \alpha^2. \quad (2.33)$$

ამ უკანასკნელის (2.31) განტოლებაში გათვალისწინებით მივიღებთ

$$[X(\bar{x})](\ddot{T}) + \alpha + \omega_0^2 \alpha = S_1, \quad (2.34)$$

$$\omega_2^2 = K_2/M_s \quad S_1 = \alpha(\bar{t})(K_2 - K_1)/M_s .$$

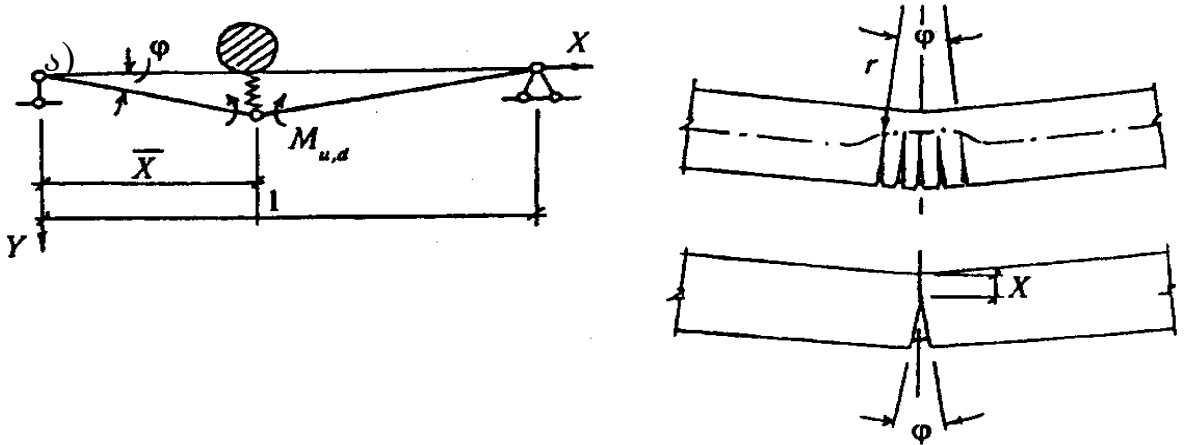
თუ დამრტყმელი თავის კოჭზე დარტყმა წყდება  $\bar{t} < t_1$ -მომენტში, მაშინ კოჭი ასრულებს თავისუფალ მოძრაობას (რხევას).  $\bar{t}$ -დროის მომენტი შესაძლებელია ვიპოვოთ პირობიდან

$$F(\bar{t}) = 0 \quad \text{ან} \quad \alpha(\bar{t}) = \alpha(t)(K_2 - K_1)/K_2, \quad (2.35)$$

სადაც  $\alpha$  - არის (2.31) განტოლების ამონახსნი (2.34) პირობის გათვალისწინებით კოჭის თავისუფალი მოძრაობის აღწერისათვის საკმარისია მივიღოთ  $\alpha = 0$  და ამოვხსნათ ბოლო განტოლება.

როცა  $t > t_1$  გვაქვს პლასტიკური სტადია.

განვიხილოთ A-II კლასის ფოლადის არმირების მქონე კოჭის რხევის პროცესი (მხედველობაში მივიღოთ, რომ მიღწეულია დენადობის ზღვარი). აღნიშნული სტადიის სახასიათო საანგარიშო სქემა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ხისტი ზედაპირების პლასტიკური ზონებით შეკავშირებული მექანიზმი, შემაკავშირებელი არე შეიძლება შევცვალოთ გაშუალებული პლასტიკური სახსარით. შესაბამისი სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2.15.



ნახ. 2.15. კოჭის საანგარიშო სქემა პლასტიკურობის სტადიაში

კოჭის ჩალუნვა მოცემულ სტადიაში იანგარიშება შემდეგი სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით

$$y = \begin{cases} \varphi_1 x & (0 \leq x < \bar{x}) \\ \varphi_1 \bar{x}(k - x)/(k - \bar{x}) & (\bar{x} \leq x \leq l). \end{cases} \quad (2.36)$$

კოჭის რხევის განტოლების მისაღებად კვლავ ვისარგებლოთ ლაგრანჟის გარდაქმნებით. მხედველობაში მივიღოთ, რომ პლასტიკურობის სტადიაზე

საკონტაქტო ზონაში დატვირთვა გრძელდება, სისტემის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები ჩავწეროთ შემდეგი გამოსახულებით

$$K = \frac{m}{2} \int_0^{\bar{x}} (\dot{y}')^2 dx + \frac{m}{2} \int_{\bar{x}}^l (\dot{y}'')^2 dx + \frac{M_s}{2} [\dot{\alpha} + \dot{\phi}\bar{x}]^2; \quad (2.37)$$

$$V = M_{u,d} \varphi_1 / (l - \bar{x}) + K_1 \alpha^2 / 2 \quad (2.38)$$

ბოლო გამოსახულების პირველ შესაკრები არის მლუნავი მომენტის გასაშუალებული მნიშვნელობა  $M_{u,d}$  -პლასტიკური სახსრის გახსნის კუთხეზე, მეორე შესაკრები კი არის საკონტაქტო ზონის დეფორმირების ენერგია.

(2.34)-ის (2.35)-ში შეტანით მივიღებთ კოჭის გადაადგილების განტოლებათა სისტემას ( $\omega_0^2 = K_1/M_s$ )

$$a_1 \ddot{\phi}_1 + b_1 \ddot{\alpha} = -M_{u,d}; \quad \bar{x} \ddot{\phi}_1 + \ddot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = 0, \quad (2.37)$$

$$a_1 = 1/3 m \bar{x}^2 (l - \bar{x}) + M_s \bar{x}^2 (l - \bar{x}) / l; \quad b_1 = M_s \bar{x} (l - \bar{x}) / l.$$

დროის ათვლას თუ შევუთავსებთ პლასტიკურობის სტადიის დასაწყისს, მაშინ საწყისი პირობები ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$t = 0; \quad \varphi_1 = \varphi_{10}, \quad \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_{10}, \quad \alpha = \alpha_0, \quad \dot{\alpha} = \dot{\alpha}_0; \quad (2.38)$$

$$\varphi_{10} = y(\bar{x}, t_2) / \bar{x} = l \left\{ \sum_n T_n(t_1) X_n(\bar{x}) \right\} / \bar{x};$$

$$a_0 = \alpha(t_1); \quad \dot{\alpha}_0 = \dot{\alpha}(t_1)$$

საწყის კუთხურ სიჩქარეს  $\dot{\varphi}_{10}$  -განსაზღვრავენ, კოჭის პირობითად. დრეკადი სტადიის დასასრულის და პლასტიკურობის დასაწყისის შესაბამისი რხევების რაოდენობათა ტოლიბის პირობიდან:

$$m \int_0^l \dot{y}(x, t_2) dx = m \left[ \int_0^{\bar{x}} \dot{y}' dx + \int_{\bar{x}}^l \dot{y}'' dx \right],$$

$$\dot{\varphi}_{10} = \frac{2}{l\bar{x}} \sum_n T_n(t_1) \int_0^l x_n(\bar{x}) dx.$$

(2.37) განტოლების ამონახსნები ჩაკეტილი კონტურისათვის შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$\begin{aligned} \varphi_1 = & -\frac{M_{u,d}}{a_1} \frac{t^2}{2} + \left( \dot{\varphi}_{10} + \frac{b_1 \dot{\alpha}_0}{a_1} \right) t + \varphi_{10} + \frac{b_1}{a_1 \omega_1^2} (\alpha_0 \omega_1^2 - \Phi) - \\ & - \frac{b_1}{a_1 \omega_1^2} (\alpha_0 \omega_1^2 - \Phi) \cos \omega_1 t - \frac{b_1 \alpha_0}{a_1 \omega_1} \sin \omega_1 t; \end{aligned} \quad (2.39)$$

$$\alpha = \frac{\Phi}{\omega_1^2} + \left( \alpha_0 - \frac{\Phi}{\omega_1^2} \right) \cos \omega_1 t + \frac{\alpha_0}{\omega_1^2} \sin \omega_1 t, \quad (2.40)$$

სადაც  $\omega_1^2 = \omega_0^2 a_1 / (a_1 - b_1 \bar{x})$ ;  $\Phi = M_{u,d} \bar{x} / (a_1 - b_1 \bar{x})$ .

თუ საკონტაქტო ზონაში დატვირთვის ზემოქმედება იწყება  $\bar{t}$ -დროის მომენტში, მაშინ  $t > \bar{t}$ -მომენტში განტოლებათა სისტემა მიიღებს სახეს:

$$a_1 \ddot{\varphi}_1 + b_1 \ddot{\alpha} = -\bar{M}_{u,d}; \quad \bar{x} \ddot{\varphi}_1 + \ddot{\alpha} + \omega_2^2 \alpha = \Phi, \quad (2.41)$$

სადაც  $\omega_2^2 = K_2 / M_s$ ;  $\Phi_2 = (K_2 - K_1) \alpha(\bar{t}) / M_s$ ;  $M_{u,d}$  - განისაზღვრება, როგორც ადრე ჭრილში ღერძული სიმტკიცის შესაძლო შემცირების გათვალისწინებით.

(2.41) განტოლების საწყის პირობებად მივიღოთ დროის ათვლის მომენტი  $t = 0$ ;  $\varphi_1 = \varphi_1(\bar{t})$ ;  $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1(\bar{t})$ ;  $\alpha = \alpha(\bar{t})$ ;  $\dot{\alpha} = 0$ .

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $\omega_1^2 = \omega_2^2 = \omega^2 a_1 / (a_1 - b_1 \bar{x})$  და  $\Phi = \tilde{\Phi}_2$ , მაშინ (2.39), (2.40) და (2.41)-ის ამონახსნს ექნება სახე

$$\tilde{\Phi}_2 = \Phi_2 a_1 / (a_1 - b_1 \bar{x}) + \tilde{M}_{u,d} \bar{x} / (a_1 - b_1 \bar{x}).$$

(2.41) სისტემა სამართლიანია  $\bar{t}$ -დროის მომენტისათვის, როცა დამრტყმელი სხეული ამთავრებს კონტაქტს კონსტრუქციასთან;  $\bar{t}$  განისაზღვრება პირობიდან, სადაც  $\alpha$  -არის (2.41)-ის ამონახსნი, კონტაქტის შეწყვეტის შემდეგ კოჭის მოძრაობა აღიწერება განტოლებით

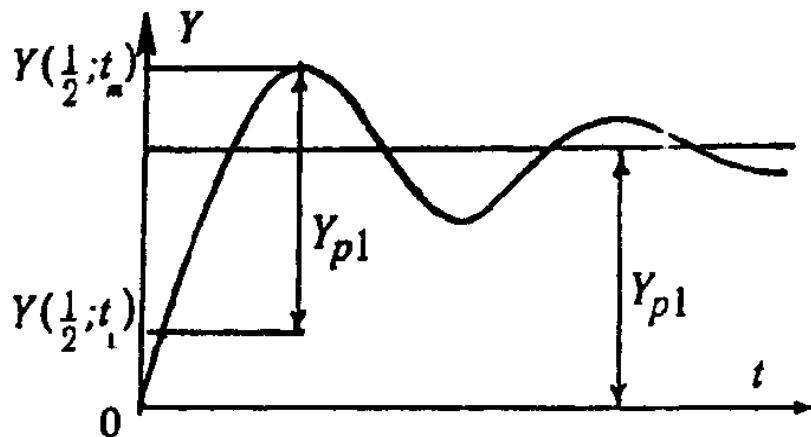
$$\tilde{a}_1 \ddot{\varphi}_1 = -\tilde{M}_{u,d}, \quad \tilde{a}_1 = \frac{1}{3} m \bar{x}_2 (1 - \bar{x}), \quad (2.42)$$

$t = 0$ ;  $\varphi_1 = \varphi_1(\bar{t})$ ;  $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1(\bar{t})$  საწყისი პირობებისათვის (2.32)-ის ამონახსნები

$$\varphi_1 = -\tilde{M}_{i,d} t^2 / (2\tilde{a}_1) + \dot{\varphi}_1(\bar{t}) t + \varphi_1(\bar{t}).$$

(2.37), (2.41) და (2.42) განტოლებები სამართლიანია კოჭის მაქსიმალური გადაადგილების შესაბამისი  $t_m$  დროის მომენტისათვის, რომელიც განისაზღვრება პირობიდან  $\dot{\varphi}_1(t_m) = 0$ . ამის შემდეგ კოჭი რღვევის გარეშე აგრძელებს რხევას მაქსიმალური ჩაღუნვის შესაბამის დიაპაზონში და ჩაღუნვის სიდიდე  $y_{pl} = y(x, t_m) - y(x, t_1)$ , რომლის ამსახველი დიაგრამაც ნაჩვენებია ნახ. 1.16-ზე.

კოჭი გადადის პლასტიკურ სტადიაში, მაშინ, როცა საკონტაქტო ზონაში დატვირთვა უტოლდება თავდაპირველ მნიშვნელობას, რომელიც მოცემულია



ნახ. 2.16. ფილის დრეკად-პლასტიკური ჩაღუნვის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი

(2.41) განტოლებათა სისტემაში საწყისი (2.38) პირობების გათვალისწინებით, ხოლო თუ პლასტიკურ სტადიაში დამტყმელმა სხეულმა შეწყვიტა ზემოქმედება, მაშინ დატვირთვის საანგარიშოდ სამართლიანია განტოლება (2.42) სასაზღვრო პირობებით  $t = 0$ ;  $\varphi_1 = (\varphi_1)$ ;  $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1(t_1)$ .

ამასთანავე (2.10) პირობებით სიმტკიცე დახრილ ზედაპირებზე უნდა იქნას შენარჩუნებული (2.12) პირობების ძალით, სადაც  $Q(x, t)$  პირობით-დრეკად სტადიაში განისაზღვრება, ხოლო პლასტიკურში კი გამოსახულებიდან:

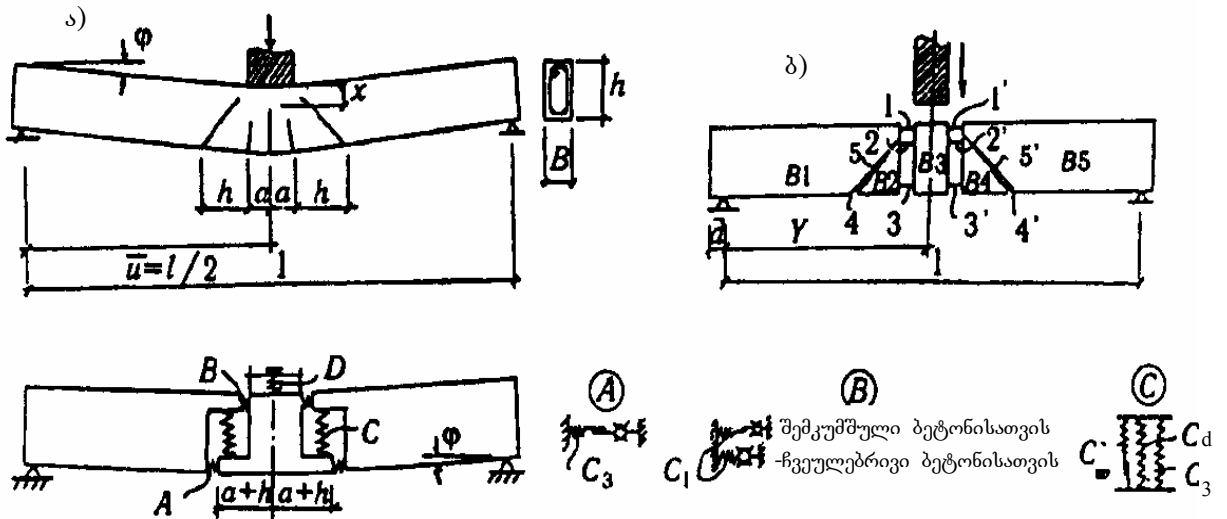
$$Q' = \frac{1}{2} K_1 \alpha (1 - \bar{x}) / l - \int_{\bar{x}}^{1-\bar{x}} m \ddot{y}' dx, \quad Q'' = \frac{1}{2} K_1 \alpha \bar{x} / l - \int_{\bar{x}}^{x-\bar{x}} m \ddot{y}'' dx,$$

სადაც  $\alpha$  და  $\varphi_1$ -შესაბამისად (2.37) და (2.41) განტოლების ამონახსნებია.

რღვევა დახრილ კვეთებში უმეტესწილად მიმდინარეობს პლასტიკური ზონების წარმოქმნამდე, ამდენად  $Q_1$  და  $Q_{11}$  დატვირთვების გამოთვლის აუცილებლობა შესაძლოა გამოირიცხოს.

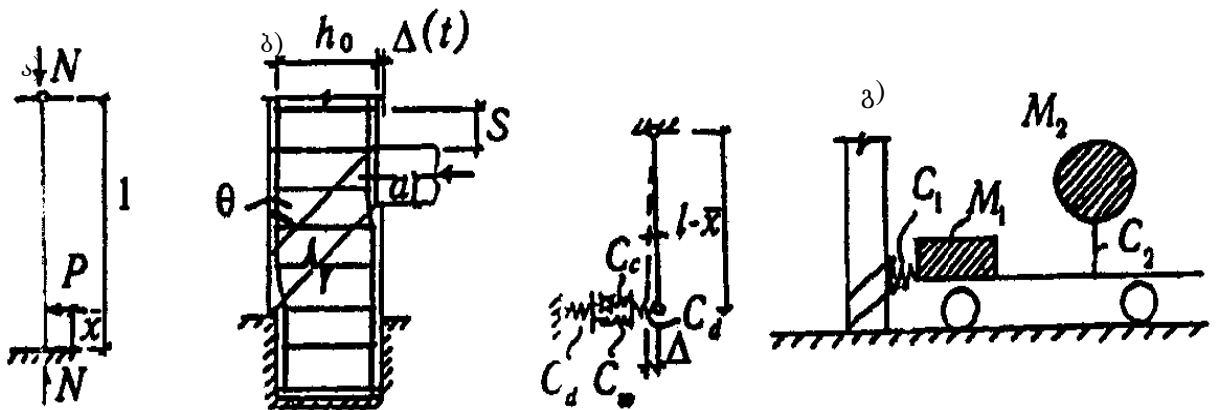
მაგალითის სახით განვიხილოთ სატრანსპორტი საშუალების შეჯახება კოლონაზე, რომელიც ქვედა ბოლოთი უძრავადაა ჩამაგრებული, ხოლო ზედა ნაწილი კი სახსრულად. მიღებული გამოცდილებიდან გამომდინარე მოძრაობა გავყოთ ორ სტადიაზე: ბზარწარმოქმნამდე და ბზარწარმოქმნის შემდეგ.

ბზარწარმოქმნის სტადიამდე კოლონა განიხილება, როგორც დრეკადი მყარი ტანი, რომლის საანგარიშო სქემაც მოცემულია ნახ. 2.17-ზე.



ნახ. 2.17. კოლონის საანგარიშო სქემა

თეორიულად მიღებულია, რომ ბზარწარმოქმნა დარტყმისას ძირითადად გამოწვეულია ძვრის დეფორმაციებით, განზოგადებული ანგარიშის მეთოდის შემუშავებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული კვეთის ძვრა და მობრუნება (ტიმოშენკოს მეთოდი) (ნახ. 2.18).



ნახ. 2.18. კოლონის გაანგარიშებითი სქემა

კონსტრუქციის ჩაღუნვა განვიხილოთ როგორც,  $y_1$  მიმართულებით ჩაღუნვის და კვეთის  $y_2$  ძვრის ჩაღუნვის ჯამი:

$$y = y_1 + y_2 \quad (2.43)$$

$y_1$  და  $y_2$  ჩაღუნვის მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებებიდან

$$y_1 = \sum_n \bar{T}_n X_n(x); \quad y_2 = \sum_n \hat{T}_n X_n(x);$$

სადაც  $X_n$  არის კონსტრუქციის საკუთარი რხევის  $n$  ფორმა და იგი კმაყოფილდება მოცემული სასაზღვრო პირობებით  $\bar{T}_n$  და  $\hat{T}_n$ -შესაბამისი დროის ფუნქციებით.

კინეტიკური ენერჯისათვის გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$K = \frac{m}{2} \int_0^l \left[ \frac{\partial(y_1 + y_2)}{\partial t} \right]^2 dx + \frac{mI_{red}}{2A_{red}} \int_0^l \left[ \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial y_1}{\partial x} \right]^2 dx + \frac{M_s}{2} [\dot{y}_1(\bar{x}, t) + \dot{y}_2(\bar{x}, t) + \dot{a}]^2, \quad (2.44)$$

სადაც შესაბამისად  $A_{red}$  და  $J_{red}$  – კოლონის განივი კვეთის ფართი და ინერციის მომენტებია, რომლებიც განისაზღვრებიან СНИП 2.03-84 სტანდარტის მიხედვით.

(2.44) დამოკიდებულებაში პირველადი შესაკრები არის გადამცემი მოძრაობის ინერჯის მომენტი, ხოლო მეორე კი კოლონის ელემენტების ბრუნვის ინერჯის, მესამე შესაკრები არის  $(y + \alpha)$ -მანძილზე დამრტყმელი თავის მიერ დახარჯული კინეტიკური ენერჯია. საკონტაქტო კანონს თუ ჩაწერთ (2.23) გამოსახულებით და ჩავთვლით, რომ კრიტიკული კვეთის მუშა სიმაღლე მცირდება, საკონტაქტო ზონის დატვირთვისას:

$$U = \frac{B_0}{2} \int_0^l \left[ \frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} \right]^2 dx + \frac{D_0}{2K} \int_0^l \left[ \frac{\partial y_2}{\partial x} \right]^2 dx + \frac{K_1 \alpha^2}{2}. \quad (2.45)$$

მიღებულ (2.44) და (2.45) დამოკიდებულებების და განივი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის მნიშვნელობას  $W = \frac{1}{2} N \int_0^l (\partial y_2 / \partial x)^2 dx$ . თუ გავითვალისწინებთ (2.24) ლაგრანჟის განტოლებებში (2.43) დამოკიდებულებებს შესაბამისად, მივიღებთ მოძრაობის განტოლებათა სისტემას.

$$\begin{cases} \|\beta\|(\ddot{T}) + \|\delta\|(\ddot{\bar{T}}) + \|\xi\|(\bar{T}) + \|\eta\|(\bar{\bar{T}}) + (\Delta)\ddot{\alpha} = 0 \\ \|\delta\|(\ddot{\bar{T}} + \ddot{\bar{\bar{T}}}) + \|\eta\|(\bar{T}) + (\Delta)\ddot{\alpha} = 0 \\ [X(\bar{x})](\ddot{\bar{T}} + \ddot{\bar{\bar{T}}}) + \ddot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = 0 \end{cases} \quad (2.46)$$

სადაც  $\|\beta\|$ ;  $\|\delta\|$ ;  $\|\xi\|$ ;  $\|\eta\|$  – სიმეტრიული მატრიცებია ( $n \times n$ )

$$\beta_{in} = m \int_0^1 x_i x_n dx + M_s x_i(\bar{x}) x_n(\bar{x}) + \frac{m I_{red}}{A_{red}} \int_0^1 x'_i x'_n dx;$$

$$\delta_{in} = m \int_0^1 x_i x_n dx + M_s x_i(\bar{x}) x_n(\bar{x}); \quad \Delta_i = M_s x_i(\bar{x});$$

$$\xi_{in} = \beta_0 \int_0^1 x_i x_n dx; \quad \eta_{in} = (D_0/K - N) \int_0^1 x'_i x'_n dx; \quad \omega_0^2 = K_1/M_s$$

(2.46) მოძრაობის განტოლებათა სისტემისათვის საწყისი პირობები ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$t = 0; \quad (\bar{T}) = (\bar{\bar{T}}) = 0; \quad (\dot{\bar{T}}) = (\dot{\bar{\bar{T}}}) = 0; \quad \alpha = 0; \quad \dot{\alpha} = V_0. \quad (2.47)$$

ბოლოს მიღებული გამოსახულება (2.47) ასახავს დამრტყმელი თავის გადაადგილებას ( $y + \alpha$ ). (2.46) განტოლება სამართლიანია ბზარწარმოქმნის  $t_1$ -დროის მომენტამდე ან საკონტაქტო ზონაში დატვირთვის მოხსნის  $\bar{t}$ -დროის მომენტამდე, რომელიც განისაზღვრება პირობიდან  $\alpha(\bar{t}) = 0$ ; სადაც  $\alpha$  – არის (2.46) განტოლების ამონახსნი.

$t > \bar{t}$ -პირობის შესრულებისას ადგილი აქვს განტვირთვის საკონტაქტო ზონაში. ამ ფაქტორის გათვალისწინებისას პოტენციური ენერგიის გამოსათვლელად გამოსახულებაში (2.45) ბოლო შესაკრები უნდა შეიცვალოს ალგებრული ვაშით (2.31). არის გათვალისწინებით კი (2.46) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$[X(\bar{x})](\dot{\bar{T}} + \dot{\bar{\bar{T}}}) + \ddot{\alpha} + \omega_2^2 \alpha = S_1; \quad S_1 = \alpha(\bar{t})(K_2 - K_1)/M_s.$$

მიღებული დამოკიდებულებისათვის საწყისი პირობები მოიცემა შემდეგი სახით:  $t = \bar{t}$ ;  $(\bar{T}) = (\bar{T}(\bar{t}))$ ;  $(\bar{\bar{T}}) = (\bar{\bar{T}}(\bar{t}))$ ;  $(\dot{\bar{T}}) = (\dot{\bar{T}}(\bar{t}))$ .

$$(\dot{\bar{\bar{T}}}) = (\dot{\bar{\bar{T}}}(\bar{t})); \quad \alpha = \alpha(\bar{t}); \quad \dot{\alpha} = 0.$$

დამრტყმელის კონტაქტის შეწყვეტა კონსტრუქციასთან დგება (2.33) პირობიდან განსაზღვრულ  $\bar{t}$  დროის მომენტში, რის შედეგადაც იწყება კოლონის თავისუფალი მოძრაობა, რომლის განსახილველადაც საჭიროა მიღებულ იქნას  $\alpha=0$  და გამოყენებული იქნა მოძრაობის უკანასკნელი განტოლება.  $t_1$  ნაპრალების წარმოქმნის მომენტი განისაზღვრება ბეტონის რღვევის მექანიკაზე დაფუძნებული სპეციალური მეთოდოლოგიით. მიახლოებით იგი შეიძლება განისაზღვროს  $\sigma_2(x, y, t_1) = \gamma_{b4} \gamma_{b,d} R_{br,n}$  პირობით, სადაც  $\gamma_{b4}$  არის კოეფიციენტი და მიიღება 2.03.01-84 სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით,  $\sigma_1$  – არის მთავარი გამჭიმავი ძაბვა, რომელიც განისაზღვრება დინამიკური მღუნავი მომენტებისა და გადამკვეთი ძალების მნიშვნელობებით.

$$M = -B_0 \partial^2 y_1 / \partial x^2 ; \quad Q = KD_0^{-1} \cdot \partial^3 y_2 / \partial x^3 .$$

კოლონის საანგარიშო სქემა ნაპრალების სტადიაში წარმოდგენილი არის სისტემის სახით, რომელიც ზედა საყრდენზე ტრიალებს როგორც ერთი მყარი მთელი, და ასევე მოქნილი ელემენტის სახით, რომელიც ქვედა ნაწილის დეფორმაციის მახასიათებელს წარმოადგენს. კოლონის ქვედა ნაწილის შემოტრიალება ნაკეთობის მიმართ მცირედით უგულვებელყოფილია.

დეფორმირებული ელემენტის სიმტკიცე:

$$\bar{C} = C_d C_m C'_d / (C_d C_m + C_d C'_d + C_m C'_d), \quad C_m = C_{st} + C_w$$

აქ შემავალი სიმტკიცის პარამეტრები ტოლია

$$C'_d = 2n' \bar{\lambda}^3 E_s J'_s ; \quad C_d = 24n E_s J_s / l_s^2 ;$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{ed'_s / 4E_s J_s} ; \quad e = E'_b / [2(1-\nu^2) d'_s] .$$

სადაც  $d'_s$  და  $J'_s$  – წარმოადგენენ მარჯვენა არმატურის დიამეტრსა და ღერძული ინერციის მომენტს;  $n$  – გულარების რაოდენობას;  $E_s$  და  $J_s$  – არმატურის დრეკადობის მოდული და ერთი გულარის ინერციის მომენტი;  $n$ -კვეთში ღერძული გულარების რაოდენობა;  $l_s$  – პირობითი კავის სიგრძე;  $l_s \sim 5 \dots 10d$ ,  $d$  – ღერძული არმატურის დიამეტრი.

დაპრესილი ზოლის ბეტონის სიმტკიცე:  $C_{st} = E'_b A_v \sin \theta / h_0$ .

მკვეთი გულარების სიმტკიცე:

$$C_w = E_s A_{sw} (\bar{x} - a) / (sz), \quad (2.48)$$

სადაც  $z = (2 \dots 3)d_w$  – დეფორმირებული მკვეთი გულარების აქტიური მონაკვეთის სიგრძე.

მკვეთ გულარებში საწყის სტადიაში ნაპრალებით მიიღწევა დენადობის დინამიკური ზღვარი, რის შემდეგაც დატვირთვა მათში ხდება მუდმივი და შეიძლება განხილულ იქნას როგორც გარე ზემოქმედება. ამ დატვირთვის მუშაობა უდრის:

$$W = \sum_j R_{sw,d} A_{sw,h} \Delta, \quad (2.49)$$

სადაც  $\Delta$  არის კვეთის ჰორიზონტალური გადაადგილება დარტყმის დერძზე,  $j$  – დახრილი ნაპრალების გადაკვეთის რაოდენობა გადამკვეთი გულარებით.

(2.48)-ში თქულის გათვალისწინებით  $C_m = C_{st}$ . კინეტიკური და პოტენციალური ენერჯისთვის  $\gamma \equiv \bar{x} - a - h/2$ -ის პირობებში ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{\dot{\Delta}^2}{2} + \frac{m}{2} \int_{\gamma}^1 (y'')^2 dx. \quad (2.50)$$

$$V = \bar{C} \Delta^2 / (2 \sin \theta) + F_{crc} \Delta / \sin \theta, \quad (2.51)$$

სადაც  $F_{crc}$  არის ნაპრალების ნაპირების შეჭიდულობის ძალა მათი ურთიერთ-გადაადგილების პირობებში, რომელიც დამოკიდებულია მოქმედი დერძული ძალის დონეზე

$$F_{crc} = \frac{\Delta}{\sin \theta} \cdot \frac{(\bar{x} + a)}{\cos \theta} \cdot b C_{ctc} \varphi_n; \quad (2.52)$$

$C_{crc}$ ,  $\varphi_n$  არის კოეფიციენტები რომლებიც განისაზღვრება 2.03.01.-84 სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით. (2.51) და (2.52) გამოსახულებებში გამოტოვებულია დამრტყმელის კონსტრუქციაში მოთავსებასთან დაკავშირებული წევრები. ეს აიხსნება ცდების დროს შემჩნეული ნაპრალების წამროქმნისას და მათი წარმოქმნის შემდეგ დამრტყმელის კონსტრუქციასთან “შეწებების” მოვლენით (არამდგრადი დარტყმა). თუ კონსტრუქციის მუშაობის დროს უნაპრალო სტადიაში მოხდა დამრტყმელის უკუასხლეტა, წევრები, რომლებიც შეიცავენ  $M_s$ -ს, უნდა იქნან უგულებელყოფილნი.

კოლონის ზედა ნაწილის გადასაადგილებლად ჩავწერთ

$$y'' = \Delta(l - x)/(l - \bar{x}). \quad (2.53)$$

ლაგრანჟის განტოლებაში (2.49)-(2.52)-ის შეერთებით და (2.53)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ მოძრაობის განტოლებას

$$\ddot{\Delta} + \bar{\omega}_2^2 \Delta = \Phi^2;$$

$$\bar{\omega}_2^2 = 3(1 - \bar{x}) \left[ \frac{\bar{C}}{\sin \theta} + \frac{(\bar{x} + a) b C_{crc}}{\sin \theta \sin 2\theta} \right] / S; \quad \Phi_2 = 2 \sum_t R_{sw,j} / S;$$

$$S = 3M_s (1 - \bar{x})^2 + m(1 - \bar{x} + a + h/2^3). \quad (2.54)$$

დროის ათვლის დასაწყისის გადატანით ნაპრალებით სამუშაო სტადიის დასაწყისში, საწყის პირობებს ჩავწერთ ამ ფორმით  $t = 0$ ;  $\Delta = \Delta_0$ ;  $\dot{\Delta} = \dot{\Delta}_0$ ;  $\Delta_0 = y''(\bar{x}, t_1)$ ;  $\Delta_0$ -ს ვიპოვით ენერჯის ბალანსის პირობიდან ნაპრალების წარმოქმნამდე და მას შემდეგ.

ამოხსნა (2.54) შეიძლება მიღებული იქნას დახურული ფორმით

$$\Delta = \frac{\Phi_2}{\omega_2^2} (1 + \cos \omega_2 t) + \frac{\Delta_0}{\omega_2} \sin \omega_2 t. \quad (2.55)$$

შეკუმშული ზოლის ფრაგმენტაცია და კოლონის რღვევა იწყება  $t_m$  მომენტში, როცა ბეტონში მაქსიმალური დატვირთვა  $F_{st} = \Delta(t_m) \bar{C} / \sin \theta$  გადააჭარბებს  $F_{st,u}$  მაქსიმალურ დატვირთვას.

მოცემული გაანგარიშების გამოყენება მიზანშეწონილია განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო შემთხვევებში (მრავალსართულიანი შენობების პირველი სართულების კოლონებში და ა.შ.). სხვა შემთხვევებში შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამარტივებული პროცედურა, რომელშიც ნაპრალების გაჩენამდე სტადიას უგულებელყოფენ. მოძრაობის განტოლებას და მის ამოხსნას ამ შემთხვევაში აქვთ (2.54) და (2.55) სახე.

## 2.4.2 ფილისა და გარსის საანგარიშო მოდელი

განვიხილოთ ძლიერი დარტყმის შემთხვევა რკინაბეტონის ფილასა და გარსზე, რომელსაც გააჩნია მკვეთი არმატურა და ანკერებით მიმაგრებული ლითონის ფურცლოვანი ზედა ფენა. ასეთი კონსტრუქციები დამახასიათებელია ატომური ელექტროსადგურების, ატომურ თბოსადგურების და სხვა ნაგებობებისთვის. თუ დარტყმის ენერჯია არაა საკმარისი რღვევისათვის, ანუ სრულდება პირობა (2.7), მაშინ საჭიროა განვიხილოთ მხოლოდ დამრტყმელის შეღწევა კონსტრუქციის სხეულში და კვეთის შესუსტება.  $\delta < \delta_p$ -ის დროს ფორმირდება ბეტონის “საცობი”, რომელსაც შეუძლია მოძრაობის გაგრძელება დამრტყმელ სხეულთან ერთად.

“საცობის” დარჩენილი სიჩქარის განსასაზღვრელად იყენებენ დამოკიდებულებას კინეტიკური ენერჯის ბალანსისათვის

$$V_{res} = \sqrt{(V_0^2 - V_{cr,p}^2)/(1 + M_t/M_s)}$$

სადაც  $M_s$  – არის დამრტყმელის მასა;  $M_t$  – დასამსხვრევი საცობის მასა;  $V_{cr,p}$  – მიიღება (2.7)-(2.9) – დან  $V_0 - V_{cr,p}$ -ის შეცვლით.

“საცობის“ მოძრაობას აფერხებს გარსის გადამკვეთი და ღერძული არმატურა, რომელსაც კვეთს საცობის გვერდითი ზედაპირი, ასევე ბეტონის გარსში ანკერებით დამაგრებული ლითონის გარსი (ნახ. 2.19,ა). “საცობის” მოძრაობის განტოლება იქნება:

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + R(y) = 0, \quad (2.56)$$

სადაც  $y$  – მისი ნორმალური გადაადგილებაა დამჭერი დანარჩენი კონსტრუქციის მიმართ;  $M=M_s+M_t$ ;  $R$  –შემაკავებელი კავშირების ძალა.

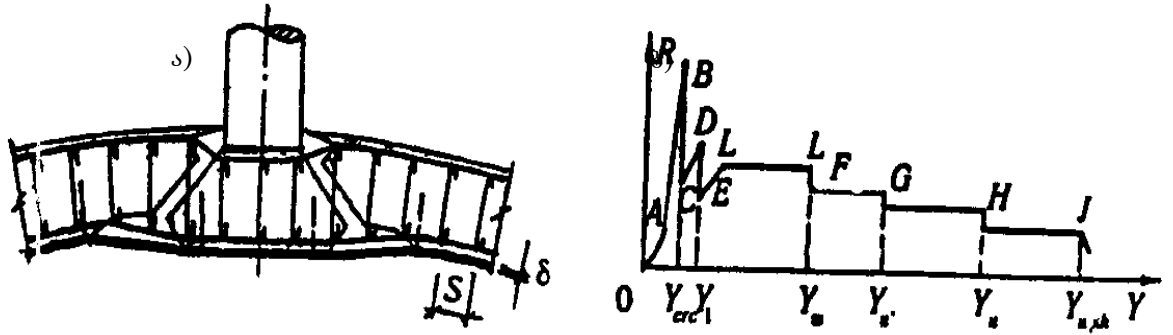
განტოლების საწყისი პირობებია (2.56)

$$t=0, y=0, \dot{y}=V_{res}. \quad (2.57)$$

დატვირთვა  $R$  მიიღება შემაკავებელი ძალისგან, რომელიც არმატურისგან იქმნება და გადაიკვეთება გამოსამსხვრევი კონუსის ზედაპირით, გარსის  $R_{s,ex}$ -ის შიდა და  $R_{s,in}$ -ის გარე მხარეების ღერძული არმატურით და შემაკავებელი ძალით, რომელიც წარმოიქმნება ლითონის ზედა ფენით  $R_a$ . გადამკვეთ არმატურასა და გარსში, გარსის ერთგვაროვნების დარღვევის მომენტში, წარმოიქმნება დიდი პლასტიკური დეფორმაციები, რის გამოც მათი მუშაობის მდგრადი სტადია შეიძლება უგულებელყოფილ იქნას, ანუ მიიღება:

$$R_{sw} = A_{sw} R_{s,d} \pi (r_2^2 - r_1^2) / (S_1 S_2), \quad (2.58)$$

სადაც  $A_{sw}$  – არის ერთი ხაშუთის კვეთის ფართობი;  $S_1$  და  $S_2$  – მანძილი ხაშუთებს შორის ურთიერთ პერპენდიკულარული მიმართულებებით კონსტრუქციის შუა ზედაპირზე.



ნახ. 2.19. ა - გარსისა და ზედა ფენის სქემა,  
 ბ - წინააღმდეგობის გათვლითი ფუნქცია

საკიდების მუშაობის რესურსი ძალზე შეზღუდულია, რადგანაც სამუთების ბეტონთან შეჭიდების დაძაბულობა კონცენტრირდება ნაპრალების ნაპირებთან და დეფორმირების ბაზა არ არის დიდი  $z=(5 \dots 10)dw$ . ამიტომ შესაძლებელი იქნება სამუთების გაწვევტა კონუსის გადაადგილებისას, ფოლადის შესაბამისი დეფორმაციით  $\epsilon_{s,u}$

$$y_1 = \epsilon_{s,y} z. \quad (2.59)$$

ღერძული არმატურის წინააღმდეგობა განპირობებულია ძირითადად ნაგელის ეფექტით

$$R_{s,es} = C_{ex} y; \quad R_{s,in} = C_{in} y;$$

$$C_{ex} = 2n' \lambda^3 E_s J_s' 2\pi r_1 / S; \quad C_{in} = 12n E_s J_s' 2\pi r_1 / (I_s^3 S). \quad (2.60)$$

ჩავწერთ გამოსახულება ვერტიკალური მდგენელის ღერძული გამჭიმავი დატვირთვისას, ზედა ფენის მდგრადი დეფორმაციის უგულებელყოფით:

$$R_a = R_a(y) = R_{s,d} \delta_{sh} 2\pi r_2 \sin\left(\arctg \frac{2x}{S}\right). \quad (2.61)$$

(2.66) განტოლებაში (2.58)-(2.61)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$Md^2 y / dt^2 + (C_{ex} + C_{in}) y + R_a(y) = -R_{sw} \quad (y \leq y_1)$$

$$Md^2 y / dt^2 + (C_{ex} + C_{in}) y + R_a(y) = 0 \quad (y > y_1). \quad (2.62)$$

$R(y)$  ფუნქციის გრაფიკი ნაჩვენებია ნახ. 2.19 ბ-ზე. სამუთების წვევტასთან დაკავშირებული სწრაფი ვარდნა, სინამდვილეში არ არსებობს, რადგანაც სიმტკიცის სტატიკური ბუნებიდან გამომდინარე, ყველა სამუთის წვევტა არ ხდება

ერთდროულად, თუმცა გასამარტივებლად დახრილი მონაკვეთის გათვალისწინება სიმტკიცის მარაგში შეიძლება არც მოხდეს.

საწყისი პირობები განტოლებისთვის (2.62) განისაზღვრება გადაადგილებისა და სიჩქარის შეუწყვეტელობის პირობებით.

კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობა მიიღწევა ზედა ფენის ერთგვაროვნების დარღვევით, ანუ თუ არ იქნება შესრულებული პირობა (2.6). მაქსიმალური დეფორმაციების მიღწევის დრო განისაზღვრება პირობით  $\dot{y}(t_m)=0$ .

რკინაბეტონის ფილების და გარსების შემოწმება სიმტკიცეზე მკვეთი არმატურის გარეშე დარტყმის საერთო ზემოქმედებაზე უნდა იქნას წარმოებული თუ არ სრულდება პირობა  $\delta > \delta_s$ , ანუ თუ ადგილობრივი სიმტკიცე გარანტირებულია, თუმცა არსებობს საფრთხე კონსტრუქციის მთლიანი რღვევის, განსაკუთრებით  $d/S$ -ს დიდი მნიშვნელობების შემთხვევაში.

განვიხილოთ ფილების გაანგარიშება, რომლებსაც გააჩნიათ მხოლოდ ა-II, ა-III-ის კლასის რკინის ღერძული არმატურა. გათვალისწინებული არის ფილის დეფორმირების ორი სტადია: პირობით-მდგრადი და დენადობის მიღწევიდან რღვევამდე – პლასტიკური. ამ დროს მხედველობაში მიიღება საკონტაქტო ზონის დეფორმირების სტადიები: ნაპრალების გაჩენამდე და ნაპრალების გაჩენიდან მაქსიმალური საკონტაქტო დაძაბულობის მიღწევამდე, აგრეთვე განტვირთვის სტადია. ნაპრალების წარმოქმნამდე სტადიას უგულებელყოფენ.  $F_m$  სიდიდე მნიშვნელოვანი  $d/\delta$ -ს პირობებში ხდება ზღვრულ  $F_1$ -ზე საგრძნობლად ნაკლები.

$a \times b$  გეგმაში სიდიდით მუდმივი სისქის მართკუთხედი ფილის სიმრუდეებს პირობით-მდგრად სტადიაში მოვიძიებთ შემდეგი სახით:

$$W(x, y, t) = \sum_k \sum_n W_{kn}(x, y) T_{kn}(t), \quad (2.63)$$

სადაც:  $W_{kn}$  – არის ფილის საკუთარი რხევის ფუნქციები შემცირებული მუდმივი ცილინრული სიხისტით ნაპრალებიან ზონაში.

ფილა-დამრტყმელის სისტემის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიის გამოსახულებებს გააჩნია შემდეგი სახე

$$K = \frac{m}{2} \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} W^2 dx dy + \frac{M_s}{2} [\dot{W}(\bar{x}, \bar{y}, t) + \dot{\alpha}]^2; \quad (2.64)$$

$$V = \frac{D_0}{2} \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-\lambda/2}^{\lambda/2} \left\{ \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) - 2(1-\nu) \left[ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} - \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy -$$

$$- \frac{D_0 - D_1}{2} \int_{-\rho}^{\rho} \int_{-\rho}^{\rho} \left\{ \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) - 2(1-\nu) \left[ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} - \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy + \frac{K_1 \alpha^2}{2}. \quad (2.65)$$

აქ  $m$  - არის ფილის ზედაპირის ერთეულის მასა;  $D_0$  და  $D_1$  - ნაპრალებიანი და უნაპრალო ფილის ცილინდრული სიხისტე;  $\nu=0,2$  - ბეტონის მკვეთი დეფორმაციის კოეფიციენტი;  $\bar{x}$  და  $\bar{y}$  - დატვირთვის ცენტრის კოორდინატები;  $\rho$  - კვადრატის გვერდის ნახევარი,  $\pi d^2/4$  კონტაქტური ზონის ექვივალენტური (გამარტივება შემოღებული არის ინტეგრირების მოხერხებულობისთვის და არ აისახება საბოლოო შედეგზე);  $K_1$  - დატვირთვის სტადიაში კონტაქტური ზონის სიმტკიცის მახასიათებელი, რომელიც განისაზღვრება 2.20 ნახაზზე გამოსახული მოდელის საფუძველზე შემდეგი ფორმულით ( $tg\theta \approx 1$ )

$$K_1 = C_1 C_2 C_3 / (C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_1 C_3); \quad C_3 = C_d + C_{crc}, \quad (2.66)$$

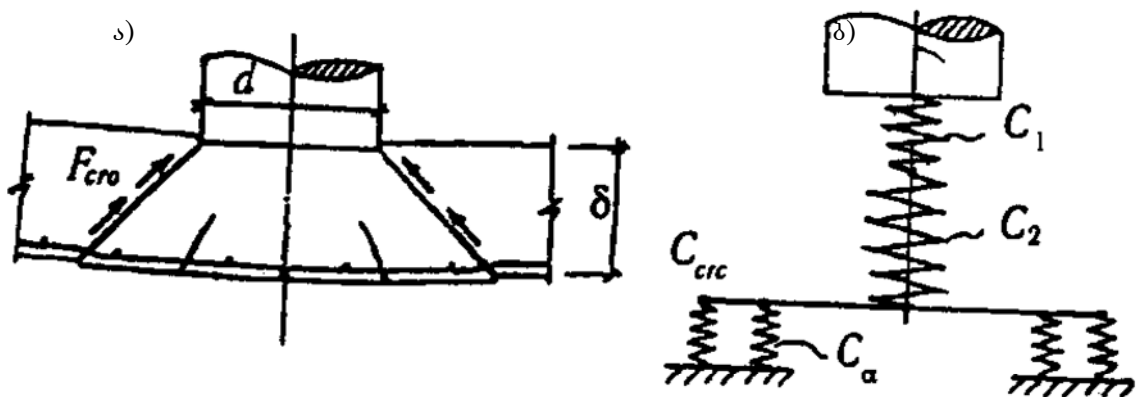
$$C_1 = \pi E_b'' d (2x_0 + dtg\theta) / (4x_0 tg\theta);$$

$$C_2 = \pi E_b'' (2h_0 + dtg\theta) (2x_0 + dtg\theta) / [4(h_0 - x)tg\theta];$$

$$C_d = 12 E_s J_s \pi (d + 2h/tg\theta) / (I_s^3 S).$$

ფორმულა (2.66) შეიძლება იქნას გამარტივებული და მიყვანილი შემდეგ სახემდე

$$K_1 = \bar{C} C_d / (\bar{C} + C_d), \quad \bar{C} = E_b'' d (2h_0 + dtg\theta) / (4x_0 tg\theta).$$



ნახ. 2.20. საკონტაქტო ზონის საანგარიშო მოდელი ფილის საერთო სიმტკიცის განსაზღვრისას

(2.63)-ის მიერთებით (2.64) და (2.65)-თან (2.15)-ის გათვალისწინებით (2.16) განტოლებაში, მივიღებთ მოძრაობის განტოლების სისტემას:

$$\begin{cases} \|\eta\|(\dot{T}) + \|\tau\| + (\Delta)\ddot{\alpha} = 0 \\ [\overline{W}_{ij}](\ddot{T}) + \ddot{\alpha} + \omega_0^2 = 0, \end{cases} \quad (2.67)$$

$$\eta = \delta_{ijkn}; \quad \tau = \eta_{ijkn}; \quad \Delta = \begin{pmatrix} \Delta_{11} \\ \dots \\ \Delta_{kn} \end{pmatrix}; \quad T = \begin{pmatrix} T_{11} \\ \dots \\ T_{kn} \end{pmatrix};$$

$$\Delta_{ij} = M_s \overline{W}_{ij}; \quad \overline{W}_{ij} = W_{ij}(\bar{x}, \bar{y});$$

$$\eta_{ijkn} = D_0 \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \{ (W_{ijxx} + W_{ijyy})(W_{knxx} + W_{knyy}) - (10 - \nu) \times$$

$$\times [(W'_{ijxx} W'_{knyy} + W'_{knxx} W'_{ijyy}) - 2W'_{ijyy} W'_{knyy}] \} dx dy -$$

$$- (D_0 - D_1) \int_{-\rho}^{\rho} \int_{-\rho}^{\rho} \{ (W'_{ijxx} + W'_{ijyy})(W'_{knxx} + W'_{knyy}) - (1 - \nu) \times dx dy$$

$$\times [(W'_{ijxx} W'_{knyy} + W'_{ijxx} W'_{ijyy}) - 2W'_{ijyy} W'_{knyy}] \} dx dy.$$

$X$  და  $y$  ინდექსები ნიშნავს კოორდინატებს, რომელთა მიხედვითაც მიიღება კერძო წარმოებული;  $\omega_0^2$  განისაზღვრება (2.19)-ის მიხედვით. (2.67) განტოლებისთვის საწყისი პირობებია:  $t = 0, (T) = (\dot{T}) = 0, \alpha = 0, \dot{\alpha} = V_0$ .

მლუნავი მომენტები და განივი ძალები სახიფათო კვეთში ტოლია:

$$M_x = -D_1 \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right); \quad M_y = -D_1 \left( \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right);$$

$$Q_x = -D_1 \frac{\partial}{\partial x} (\Delta W); \quad Q_y = -D_1 \frac{\partial}{\partial t} (\Delta W).$$

დატვირთვის სტადიისთვის საკონტაქტო ძალაა  $F = K_1 \alpha$ , სადაც  $\alpha$  მიიღება (2.67) ამოხსნიდან. ამ კონტაქტური  $F_m$  ძალის მიღწევის შემდეგ  $\bar{t}$  დროის მომენტში, რომელიც განისაზღვრება  $\dot{\alpha}(\bar{t}) = 0$  პირობიდან, აუცილებელი არის კონტაქტური ზონის დატვირთვის სტადიის განხილვა.  $\bar{t}$  მომენტში (2.24) პირობის შესაბამისად) კონტაქტის შეწყვეტის შემდეგ უნდა განვიხილოთ ფილის თავისუფალი მოძრაობა, რისთვისაც უნდა მივიღოთ  $\alpha = 0$  და გამოვირიცხოთ ბოლო განტოლება (2.67)-ში.

გაჭიმულ არმატურაში დენადობის დინამიკური ზღვარის მიღწევის შემდეგ ფილა გადადის მუშაობის პლასტიკურ სტადიაში. ვარაუდობენ, რომ ყველა პლასტიკური რგოლი ვითარდება ერთდროულად და მყისეულად.

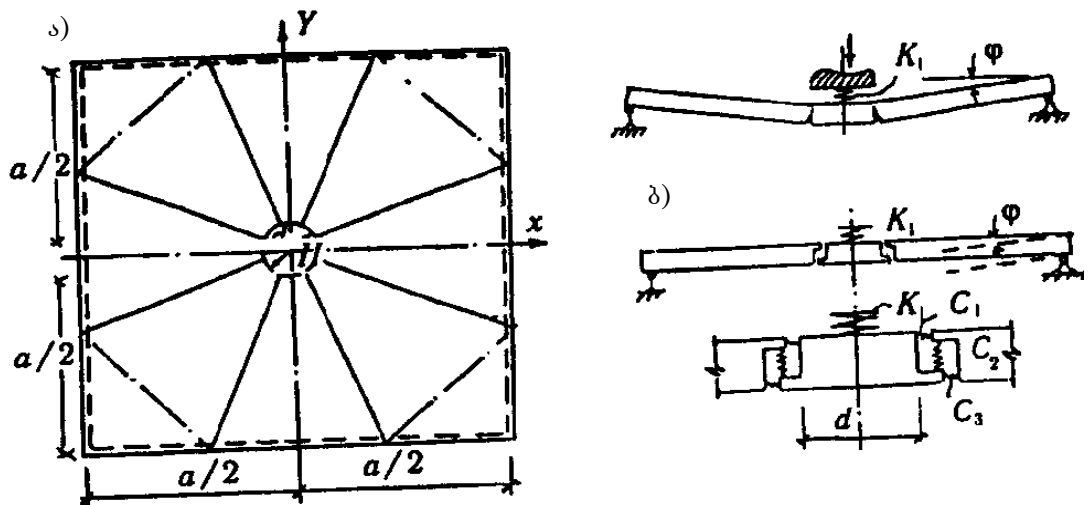
მაგალითის სახით განხილულია სახსროვან-საყრდენიანი კვადრატული ფილა, თუმცა ეს მიდგომა შეიძლება გავრცელდეს სხვა საყრდენი პირობების მქონე ფილებზე.

პლასტიკურ სტადიაში გათვლების დროს ფილას წარმოადგენენ მექანიკური სისტემის სახით, რომელიც შედგება ხაზობრივი პლასტიკური სახსრულად შეერთებული მტკიცე დისკებისგან (ნახ. 2.21, ა).

I და II ფილების მონაკვეთების ჩაღუნვები წარმოვიდგინოთ შემდეგი ფორმით:

$$\begin{cases} W'(x, y, t) = \varphi(t)(a/2 - x) \\ W''(x, y, t) = \varphi(t)(a/2 - 0,462d), \end{cases} \quad (2.68)$$

სადაც  $d$  – დამრტყმელის დიამეტრიც,  $\Phi$  – ჰორიზონტალის მიმართ ხაზობრივ პლასტიკურ სფეროებს შორის ფილის მონაკვეთის ბრუნვის კუთხე.



ნახ.2.21. ფილის საერთო დეფორმაციის გათვლითი სქემები

კინეტიკური ენერჯია  $K = A + B$ ;  $A = 1/2 M_s (\dot{\alpha} + W'')^2$ ;

$$B = 2m \int_{0,462d}^{a/2} \int_0^{0,41x} (W')^2 dx dy + 8m \int_0^{0,462d} \int_0^{0,41x} (W'')^2 dx dy, \quad (2.69)$$

ხოლო პოტენციალური

$$V = 8M_{u,d} \varphi \cdot 0,382d + 8M_{u,d} \varphi(0,541a - d) + \frac{1}{2} K_1 \alpha^2 =$$

$$= M_{u,d} \varphi(4,328a - 4,944d) + 0,5K_1 \alpha^2.$$

(2.52)-ის შეერთებით (2.45), (2.69) და (2.16)-თან მივიღებთ მოძრაობის დიფერენცირებული განტოლებების სისტემას

$$b_1 \ddot{\varphi} + b_2 \ddot{\alpha} = -H_1, \quad b_2 \ddot{\varphi} + M_s \ddot{\alpha} + K \alpha_1 = 0, \quad (2.70)$$

$$b_1 = 2m(0,083a^4 - 0,1392ad^3 + 0,068d^4) + M_s(0,5a - 0,462d)^2;$$

$$b_2 = M_s(a/2 - 0,462d); \quad H_1 = (4,328a - 4,044d).$$

საწყისი პირობები (2.70)-თვის (გამოთვლის საწყისს გადავიტანთ პლასტიკური სტადიის წარმოქმნის მომენტში):

$$t = 0; \quad \varphi = \varphi_0; \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0; \quad \alpha = \alpha(t_1); \quad \dot{\alpha} = \dot{\alpha}(t_1).$$

$$\varphi_0 = W(0,462d; 0,191d; t_1) / (0,5a - 0,462d).$$

$\varphi_0$  სიჩქარეს ვპოულობთ პირობით-მდგრადი სტადიის დასასრულს და პლასტიკური სტადიის დასაწყისში ფილის მოძრაობის რაოდენობების თანასწორობის პირობიდან

$$\dot{\varphi}_0 = \int_0^{a/2} \int_0^{a/2} W(x,y,t_1) dx dy / (0,044a^3 - 0,034d^3).$$

(2.70) სისტემის ამოხსნას აქვს შემდეგი ფორმა

$$\varphi = -\frac{H_1}{b_1} \frac{t^2}{2} + \left( \dot{\varphi}_0 + \frac{b_2}{b_1} \dot{\alpha}_0 \right) t + \varphi_0 + \frac{b_2}{b_1} \left( \alpha_0 - \frac{H_2}{\omega_1^2} \right) -$$

$$-\frac{b_2}{b_1} \left[ \left( \alpha_0 - \frac{H_2}{\omega_1^2} \right) \cos \omega_1 t + \frac{\omega_0}{\omega_1} \sin \omega_1 t \right];$$

$$\alpha = H_2 / \omega_1^2 + \left( \alpha_0 - H_2 / \omega_1^2 \right) \cos \omega_1 t + \left( \dot{\alpha}_0 / \omega_1 \right) \sin \omega_1 t;$$

$$\omega_1^2 = K_1 b_1 / (M_s b_2 - b_2^2); \quad H_2 = b_1 H_1 / (M_s b_1 - b_2^2).$$

ფილის გამძლეობა გარანტირებული იქნება თუ პლასტიკურ სახსარში მაქსიმალური გახსნის კუთხე  $t_m$  პირობით განსაზღვრულ  $\dot{\varphi}(t_m) = 0$  მომენტში, არ სცდება გახსნის კუთხის ზღვრულ მნიშვნელობას, შემცირებულს 20%-ით.

### თავი 3. კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდი

#### 3.1 შენობა-ნაგებობების მონიტორინგის მობილური კომპლექსი

კომპიუტერული ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ შესაძლებელი გახადა კონსტრუქციების კონტროლისა და დიაგნოსტიკის პროცესებში მათი ფართოდ გამოყენება. ის არის უნიკალური საშუალება არამრღვევი კონტროლის ავტომატურ რეჟიმში განსახორციელებლად.

განვიხილოთ დიაგნოსტიკის პროცესი, როგორც ინფორმაციული პროცესი, რომელიც შეიძლება შემდგენიად წარმოვიდგინოთ: პირველადი ანათვლების შესახებ ინფორმაციის მიღება გარადაქმნელის დახმარებით და მისი გადაყვანა დამუშავებისთვის მოსახერხებელ ფორმაში; ინფორმაციის დამუშავება და შედეგების გადაცემა, ანალიზისა და შემდგომი ინტერპრეტირებისთვის მიღებული ინფორმაციის გაანალიზება და გათვლების ფორმულირება კონკრეტული ობიექტის შესახებ. ამ ობიექტის ნორმალურად ფუნქციონირების შესაძლებლობების გამოკვლევა ან მისი დარჩენილი რესურსების პროგნოზირება, მოსალოდნელი ავარიის რისკის შეფასება.

სენსორები შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი ტიპის, რომლებიც უზრუნველყოფენ ურთიერთკავშირს კონტროლირებად ფიზიკურ პარამეტრსა (რამოდენიმე პარამეტრსა) და გარდამქმნელიდან გამოსულ რეგისტრირებად პარამეტრს შორის. მთელ რიგ არამრღვევი კონტროლის მეთოდში „გამოძახილი“ შეიძლება რეგისტრირდებოდეს ისეთი ფორმით, რომელიც შეიძლება უშუალოდ იქნას გაანალიზებული (კაპილარული, ულტრაბგერითი, ოპტიკური მეთოდები). სხვა მეთოდებში გამოიყენება „გამოძახილი“ სიგნალის სახით, რომელიც გაცილებით მისაღებია რეგისტრირებისათვისა და შემდგომი დამუშავებისათვის. პირველადი ინფორმაცია როგორც წესი რეგისტრირდება დროსა და სივრცეში განსაზღვრული გამოძახილების სახით ინფორმაციის შემდგომი დამუშავება შეიძლება განხორციელდეს, როგორც ანალოგიური ასევე ციფრული სახით. (დამოკიდებულია ალგორითმის სირთულეზე). მეთოდი და მოწყობილობა პირველადი ინფორმაციის მიღების არამრღვევი კონტროლის ამოცანებისათვის, ფართოდ არის

განვითარებული და ღრმად შესწავლილი, როგორც პრაქტიკული ისე სასწავლო სახით.

იმის მიხედვით, თუ რა კონტროლის მეთოდი იქნება გამოყენებული, პირველადი ინფორმაციის დამუშავების ალგორითმები შეიძლება განსხვავდებოდნენ, მაგრამ გარკვეულ საზღვრებში, საბოლოო შედეგად, გაცილებით ხელსაყრელი ადამიანის აღქმის უნარის თვალსაზრისით, არის საკონტროლო ობიექტის გამოსახულება, (სქემატურად ან სამ განზომილებაში), რომელზეც დატანილია საძიებელი ფიზიკური სიდიდის განლაგება.

ვგულისხმობთ, რომ საძიებელი სიდიდის მნიშვნელობა საკმაოდ რეკონსტრუირებადია, მიღებულ პირველად ინფორმაციაზე დაყრდნობით. გარდა ვიზუალური წარმოდგენისა საჭიროა გვქონდეს, დეფექტების პარამეტრების რაოდენობრივი მნიშვნელობა, რომლებიც აუცილებელია შემდგომ სიმტკიცისა და არსებული რესურსების ჩატარებისათვის.

კონტროლის მეთოდების, კონტროლირებადი პარამეტრებისა და დეფექტების ტიპების მრავალფეროვნების მიუხედავად, რაოდენობა ალგორითმებისა, საბოლოო შედეგის მისაღებად არც ისე ბევრია. ის ძირითადად დადის, სხვადასხვა კომპლექსური გარდაქმნის ტიპებზე, განტოლებათა სისტემის ამოხსნასა და რეკონსტრუქციის დამუშავების მეთოდზე. უნდა აღინიშნოს, რომ არამრღვევი კონტროლის რამოდენიმე მეთოდის გამოყენებისას და მიღებული შედეგების დაჯამებისას შესაძლებელია მივიღოთ მძლავრი ეფექტი.

დღეისთვის ნებისმიერი ალგორითმის რეალიზაცია შესაძლებელია განხორციელდეს თანამედროვე გამოთვლელი მიკროპროცესორული ტექნიკის დახმარებით, როგორც სტანდარტული გამოთვლელი ტექნიკის ბაზაზე, ასევე სპეციალიზირებულ ავტონომიურ, მცირე გაბარიტიან მოწყობილობებზე, შესაბამისი მწარმოებლურობით. რეალიზაციის ვარიანტი განისაზღვრება არსებული მატერიალური რესურსებით.

დიაგნოსტიკის მეთოდის საბოლოო მიზანს არ წარმოადგენს მხოლოდ ინფორმაციის მიღება დეფექტებისა და მათი ფიზიკური პარამეტრების შესახებ, ასევე მისი მიზანია გადაწყვეტილების ფორმულირება, კონტროლირებადი ობიექტის ნორმალური ფუნქციონირებისა და არსებული რესურსების შესახებ. ზოგიერთი ობიექტისთვის შესაძლებელია განხორციელდეს გათვლები სიმტკიცეზე და მასზე დაყრდნობით შედეგის დასკვნა. ერთგვაროვანი ობიექტებისათვის შექმნილია მეთოდური რეკომენდაციები, რომლებიც ფორმულირებას უკეთებენ

გადაწყვეტილების მიღების პროცესს. სხვა შემთხვევებისათვის საჭიროა ევოლუციური მიდგომა, ან გამოიყვანება ასოცირებული გადაწყვეტილებები. ხშირად გადაწყვეტილებები მიიღება სუბიექტურად ადამიანის მხრიდან საკუთარ გამოცდილებაზე დაყრდნობით.

ინფორმაციული პროცესის მოცემული რგოლი ნაკლებად არის ფორმულირებადი და ალგორითმირებადი. ეს გამოწვეულია კონტროლირებადი ობიექტისა და მისი ფიზიკური მახასიათებლების მრავალფეროვნებით. მაგრამ რიგ შემთხვევებში, სადაც არსებობს დამუშავებული მეთოდური მითითებები, მიზანშეწონილია მათი გამოყენება პროგრამული უზრუნველყოფის სახით, რომელიც უშუალოდ გამოიყენებს წინათ დამუშავებული ინფორმაციის შედეგებს და ავტომატურად არეგისტრირებს დასკვნას ობიექტის მდგომარეობის შესახებ. მომავალში ამ მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნას თვითმსწავლელი სტრუქტურები, ნეირონული პროცესორების საფუძველზე. რომლებსაც გააჩნიათ უკუკავშირი, რომელიც უარყოფს ან ადასტურებს მიღებულ დასკვნას, (შეცვლილი კონსტრუქციების რღვევაზე გამოცდის საფუძველზე.) შეუძლია აამაღლოს საბოლოო ეტაპზე მიღებული დასკვნის საიმედოობა.

დიაგნოსტიკის ამოცანები შეიძლება დავაჯგუფოთ შემდეგნაირად:

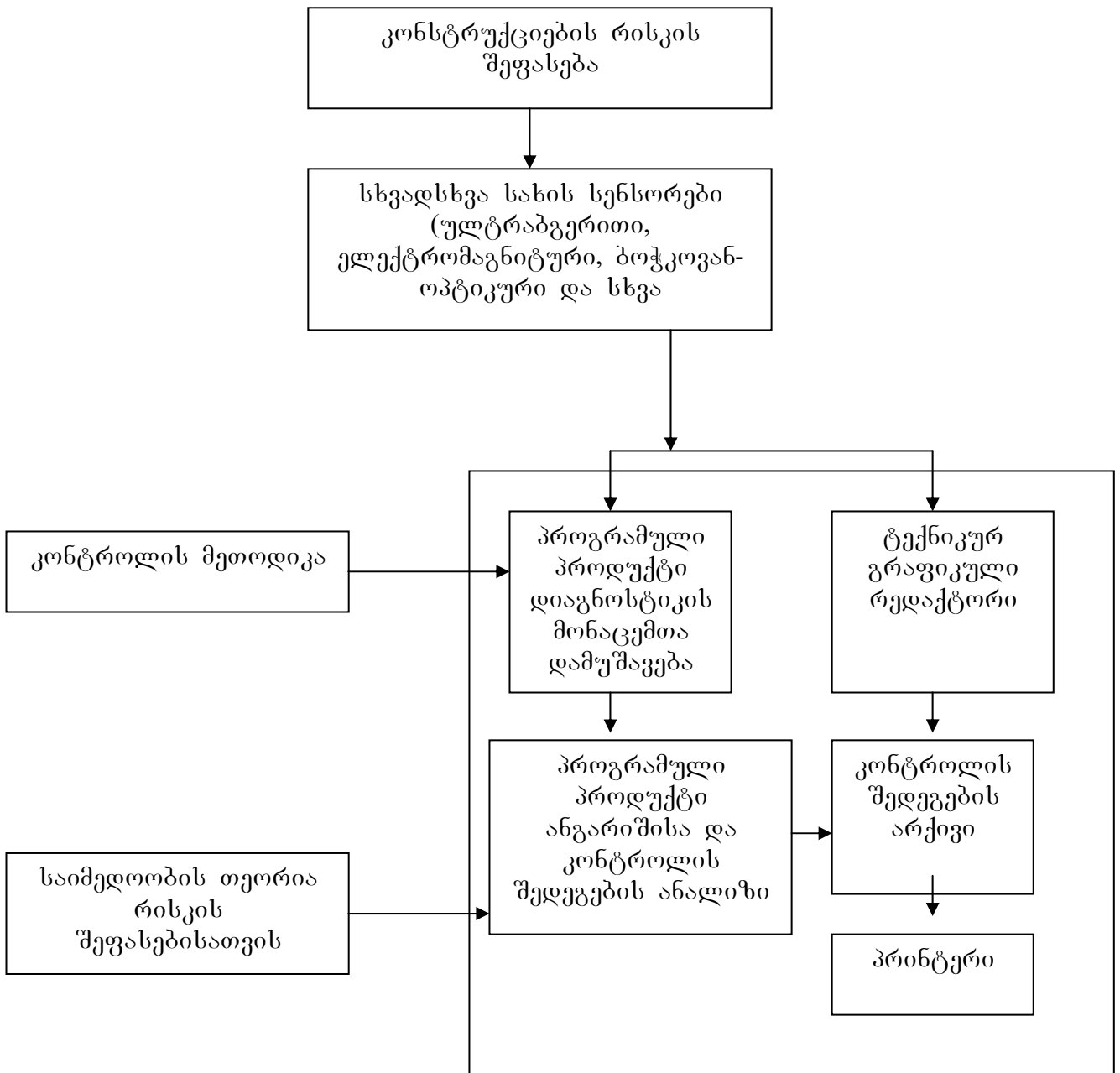
1. სხვადასხვა არამრღვევი კონტროლის მეთოდების აპარატურული რეალიზება შეიძლება გავაერთიანოთ და დავიყვანოთ სტრუქტურაზე, რომელსაც გააჩნია შემდეგი ძირითადი პრინციპები: ფიზიკური სიდიდეების გარდამქმნელი ელექტრულ სიგნალად; ელექტრული სიგნალების გარდამქმნელი ციფრულ სიგნალად; ინფორმაციის დამუშავების უნივერსალური ბლოკი და მისი გამოსახვა გრაფიკული სახით;

2. არამრღვევი კონტროლის მეთოდების განვითარება არსებული მიმართულებით. აგრეთვე საყურადღებოა საკითხი, გადაწყვეტილების ავტომატურად ფორმულირების, მოცემული ობიექტის მდგომარეობასა და მისი ვარგისიანობის შესახებ.

3. საჭიროა ორგანიზაციული ღონისძიებების გატარება იმისთვის, რომ გადაწყვეტილ იქნას, გადაწყვეტილების მიღების ფორმულირების პროცესი, კონკრეტულ ობიექტზე გამოკვლევის შედეგებზე დაყრდნობით. ეს ორგანიზაციული საკითხები: ერთიანი მეთოდოლოგიური ცენტრის ფორმულირება, არსებული მეთოდოლოგიის სისტემატიზირება (მათ შორის უცხოურის), სტატისტიკური ინფორმაციის შეგროვება. მსგავსი ცენტრის შექმნა შესაძლებელია

მძლავრ კვლევით ორგანიზაციაში, რომელიც დაკავებულია არამრღვევი კონტროლის საკითხებით და გააჩნია დიდი სასწავლო პოტენციალი. ამასთან, რა თქმა უნდა პრაქტიკული გამოცდილება მსგავს საკითხებში.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, დავამუშავეთ აპარატურულ-კომპიუტერული დიაგნოსტიკის ბლოკ-სქემა (ნახ.3.5) [2], რომელიც საშუალებას იძლევა შევაფასოთ კონსტრუქციების მუშაუნარიანობა რეალურ დროში.



ნახ. 3.1 რისკის შეფასების აპარატურულ-კომპიუტერული კომპლექსის ბლოკ-სქემა.

შეგნერდეთ ერთ მნიშვნელოვან პრობლემაზე, ცალკეული კონსტრუქციის ყოველ მდგომარეობას შეესაბამება განსაზღვრული სიგნალი, რომელიც საჭიროა დიაგნოსტიკის პროცესში გავარჩიოთ, ამასთან ძირითადი პრობლემა მდგომარეობს იმ მიზეზების აღმოფხვრაში, რომლებიც ამახინჯებენ სიგნალს და აძნელებენ მათ გაშიფვრას. გამოსაკვლევი ელემენტების შესაძლო მდგომარეობის უსასრულო რიცხვიდან ამორჩეულ უნდა იქნეს სასრული რიცხვი, რომელიც ექვემდებარება დიაგნოსტიკის გარჩევას. სხვადასხვა მდგომარეობის ასეთი კლასიფიკაციის შედეგზე, რომლისთვისაც მიღებული სიგნალის მნიშვნელობა იმყოფება, რომელიც განსაზღვრულ დიაპაზონში, მიეკუთვნება ერთ არეს, ე.ი. ერთ კლასს, სხვადასხვა მდგომარეობა გაერთიანებული ერთ კლასში არ წარმოადგენს ერთი და იგივე სიგნალის წყაროს. აქედან გამომდინარე, სხვადასხვა კონსტრუქცია იმყოფება ერთიდაიგივე მდგომარეობაში, ე.ი. მდგომარეობის ერთ კლასში ღებულობენ სხვადასხვა სიგნალებს, თუ მათი არსებული მდგომარეობა რამდენადმე განსხვავებულია.

მდგომარეობის ყველა სიმრავლე შეიძლება დაეყოს ორ კლასად: შრომის უნარიან და შრომის უუნაროდ. მაგრამ ორივე კლასს გააჩნია გრადაციის დიდი რიცხვი და შედეგში არ შეუძლიათ მკვეთრად განსაზღვრული სიგნალის დაბრუნება. სიგნალის ვარიაცია ერთი მდგომარეობის კლასის ფარგლებში შემაფერხებელია დიაგნოსტიკისათვის.

### **3.2. საიმედოობის თეორიის გამოყენება რისკის შეფასების კომპლექსში**

რისკის ხარისხის შეფასება კატასტროფების დროს ხალხის დაზიანებისა და ზარალის მიყენებისას დამოკიდებულია საიმედოობის მაჩვენებლების პროგნოზირებაზე და ფუნქციონალური სისტემის ნარჩენ რესურსზე. განსაკუთრებით უმჯობესია ინდივიდუალური ობიექტის შემდგომი ექსპლუატაციის დასაშვები ვადების დადგენა ავარიის რისკის კონკრეტული მნიშვნელობისას. რისკის შემცირების საინჟინრო გადაწყვეტილების მიღება ან კონკრეტული ობიექტის შემდგომი ექსპლუატაციის შეჩერება მთლიანად დამოკიდებულია კომისიის პასუხისმგებლობაზე, რომლის შემადგენლობაშიც უნდა შედიოდნენ შესაბამისი დარგის გამოცდილი სპეციალისტები და ადმინისტრაციული ორგანოების წარმომადგენლები.

ობიექტის ნორმალური ფუნქციონირებიდან გადახრის (დაზიანების) რისკის ფუნქციას უწოდებენ მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობას

$$H(t) = 1 - P(t), \quad P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(\xi) d\xi\right) \quad (3.1)$$

$$\lambda(t) = -P'(t)/P(t),$$

სადაც  $P(t)$  – უწყვეტი მუშაობის ალბათობა (საიმედოობის ფუნქცია).

$\lambda(t)$  – დაზიანებათა ინტენსივობა, რომელიც ტოლია ობიექტის ნორმალური მუშაობიდან დროის მცირე შუალედში მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობისა.

მრავალმხრივი დაკვირვებიდან გამომდინარე ექსპლუატაციის საწყისი პერიოდის დროის მცირე შუალედში  $\lambda(t)$  ფუნქცია სტაბილურია, ანუ  $\lambda(t) = const$ .

ობიექტის დროის რესურსზე მოქმედი არასასურველი ფაქტორები უნდა გამოირიცხოს, მისი მუშაობის ხანგრძლივობის რეგლამენტირებით.

ნორმალური (მშვიდი) ფუნქციონირების პერიოდისათვის თუ  $\lambda(t) = const$ , (3.1)-დან მიიღება ექსპონენციალური განტოლება

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (3.2)$$

თუ  $\bar{\theta} = 1/\lambda$  – ობიექტის დროის რესურსის მათემატიკური ლოდინია, მაშინ რისკის ფუნქცია მიიღებს სახეს

$$H(t) = 1 - \exp(-t/\bar{\theta}). \quad (3.3)$$

შემთხვევითი მოვლენების ნაკადი (მწყობრიდან გამოსვლის სიხშირე), საიმედოობის ფუნქციის (3.2) სახით წარმოდგენისას მყარდება შემდეგი შესაბამისობა პუასონის დისკრეტულ განტოლებასთან

$$Q(N, \lambda \tau) = \frac{(\lambda \tau)^N}{N!} \exp(-\lambda \tau), \quad N = 0, 1, 2, \dots, \lambda \tau > 0. \quad (3.4)$$

ზემოთ მოყვანილი შესაბამისობიდან გამომდინარე  $\tau(t, t + \tau)$  – დროის შუალედში მომხდარი ავარიები, რომელთა რიცხვი  $N$ -ის ტოლია შეესაბამება  $Q(N, \lambda \tau)$  ალბათობას, ხოლო ავარიული სიტუაციების არარსებობის ალბათობა წარმოდგენილია

$$Q(0, \lambda \tau) = \exp(-\lambda \tau) \quad (3.5)$$

იმის ალბათობა, რომ ავარიები მოხდება  $n$ -ჯერ, როცა  $n < N$ , გამოისახება შემდეგი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით

$$Q_0(n < N) = \sum_{i=0}^{N-1} Q(i, \lambda\tau) = 1 - \varphi(N, \lambda\tau), \quad (3.6)$$

$$\varphi(N, \lambda\tau) = Q_0(n \geq N) = \sum_{i=0}^{\infty} Q(i, \lambda\tau).$$

თუნდაც ერთი კატასტროფის წარმოქმნის  $\bar{Q}$  ალბათობა დროის  $\tau$  შუალედში წარმოადგენს ობიექტის დაზიანებათა რისკის შეფასებას

$$\bar{Q} = 1 - Q(0, \lambda\tau) = 1 - \exp(-\lambda\tau) \quad (3.7)$$

$\hat{N}$  მათემატიკური ლოდინისათვის,  $D$  დისპერსიები და საშუალო კვადრატული  $\sigma$  გადახრები შემდეგი შესაბამისობით გამოიყენება

$$\hat{N} = D = \sigma^2 = \lambda\tau,$$

ანუ, ეს შესაბამისობა არის პუასონის კანონის (კონკრეტული დაზიანებებისას) გამოყენების ჰიპოთეზის ექსპერიმენტული შედეგების შემოწმების შანსი, თუნდაც  $\hat{N} = D$  შესაბამისობისათვის.

აქედან გამომდინარე, ავარიული სიტუაციების პროგნოზირება შეიძლება ელემენტარულ სტატისტიკაზე დაყრდნობით.

დიდ ინტერესს წარმოადგენს ასეთი სახით მიღებული შედეგები ობიექტის რისკის ხარისხის შეფასებისას, ასევე შესაძლო ავარიების მინიმუმამდე დაყვანის ღონისძიებების დაგეგმვისათვის.

ავარიისა  $Q(N, \lambda\tau)$  და რისკის ალბათობის მნიშვნელობები შესაძლო  $\bar{Q}$  ავარიისას, როცა  $N \leq 5$  მოყვანილია (3.1) ცხრილში.

ცხრილი 3.1

№	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
0	0,905	0,819	0,741	0,607	0,368	0,135	0,050	0,018	0,007
1	0,091	0,164	0,222	0,303	0,368				
2	0,0045	0,016	0,033	0,076	0,184	0,271			
3	0,0002	0,0011	0,0033	0,013	0,061	0,180	0,224		
4		0,0001	0,0003	0,0016	0,015	0,090	0,168		
5					0,003	0,036	0,101	0,156	0,176
$\bar{Q}$	0,095	0,181	0,259	0,393	0,632	0,865	0,950	0,982	0,993

ბინომინალური განაწილების კერძო (ზღვრულ) შემთხვევას წარმოადგენს პუასონის კანონი, რომელიც განიხილება იშვიათი მოვლენებისათვის.

აქედან გამომდინარე პუასონის ფორმულას ასევე იშვიათი მოვლენების კანონსაც უწოდებენ.

ნახ. 3.1-ზე ნაჩვენებია პუასონის განაწილების  $\lambda\tau$  მნიშვნელობების რამდენიმე სიდიდე, საიდანაც ჩანს, რომ  $\lambda\tau(\lambda\tau \geq 10)$  –ის დიდი მნიშვნელობებისას განაწილება უახლოვდება ნორმალურ მნიშვნელობას

$$\mu = \sigma^2 = \lambda\tau,$$

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (3.8)$$

პუასონის კანონს მრავალმხრივი გამოყენება აქვს ტექნიკის მრავალ სფეროში, კერძოდ საიმედოობის თეორიაში, უშუალოდ ხარისხის შემოწმებისას, სეისმური რისკის პროგნოზირებისას და ა.შ.

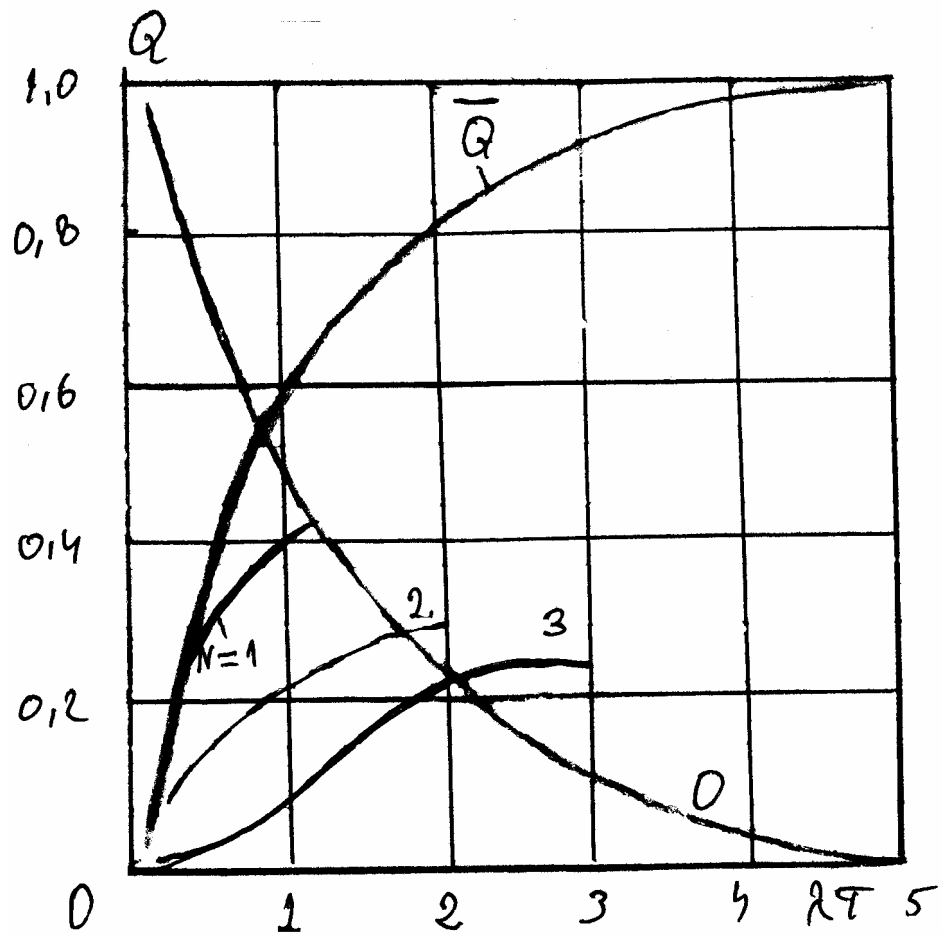
P.D. Clarke-ს მონაცემებზე დაყრდნობით აღნიშვნის ღირსია პუასონის განაწილების საუკეთესო შესაბამისობა მეორე მსოფლიო ომის დროს ლონდონის სამხრეთ ნაწილში ჩამოვარდნილი თვითმფრინავ-ჭურვების რეალურ სტატისტიკასთან.

შესაბამისობა მყარდება  $K$  ჩამოვარდნის რიცხვსა (რომელიც მოდის ყოველ  $N=576$  თანაბრად დაყოფილ ტერიტორიებზე) და  $S=0,25$  კმ<sup>2</sup> ფართობს შორის.

$T=537$  ჭურვების საშუალო რაოდენობაა.

$N_k$  – ფართობთა რიცხვი, რომლებზეც მოდიოდა  $k$  რაოდენობის ჩამოვარდნა.

$$\lambda S = T/N = 0,9323.$$

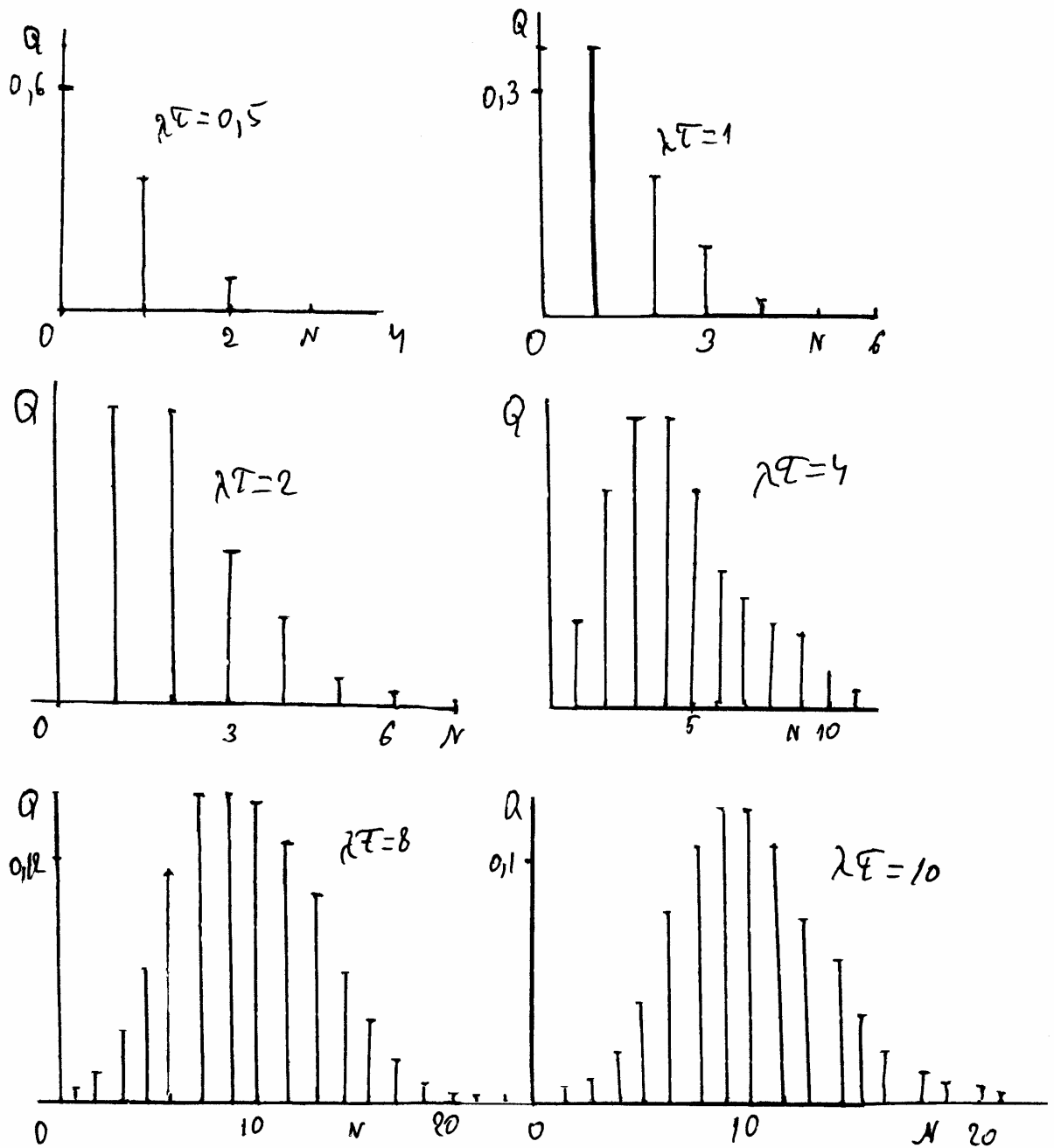


ნახ. 3.1. ავარიების ალბათობისა და  $\bar{Q}$  ავარიულობის რისკის შეფასების დამოკიდებულება  $\lambda t$  პარამეტრზე

3.2 ცხრილში მოყვანილია შეფასება P/S/ Clarke-ს მონაცემებისა ჰუასონის ფორმულით გამოთვლილ მნიშვნელობებთან.

ცხრილი 3.2.

K-ჩამოვარდნათა რიცხვი	0	1	2	3	4	5	$\geq 5$
$N_k$ - ფართობთა რიცხვი	299	211	93	35	7		
$Q(k; 0,9323)$	0,3836	0,3679	0,1711	0,0532	0,0124	0,0023	
$576 \cdot Q(k; 0,9323)$	336,74	211,39	98,54	30,62	7,14	1,33	



ნახ. 3.2. პუასონის განაწილება  $\lambda\tau$ -ს 6 მნიშვნელობისათვის

სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობების აპარატურის საიმედოობის შეფასება შეიძლება ჩატარდეს ბინომინალური განაწილების გამოყენებით,  $r$ -ს გამართლებული მოვლენების სიხშირის გათვალისწინებით, საერთო  $n$  რიცხვით. ფაქტიური  $P_T$  ალბათობის საწინააღმდეგო ინტერვალი გამოითვლება ფორმულით

$$\sum_{j=r}^n \binom{n}{j} P^j (1-P)^{n-j} = 1 - \alpha$$

სადაც  $\binom{n}{j} = n!/[j!(n-j)!]$  – ბინომინალური კოეფიციენტებია;

$P$  – საძებნი  $P_T$  საიმედოობის ქვედა ზღვარია;

$\alpha$  – არის სისწორე, იმისა, რომ ფაქტიური  $P$  ალბათობა მდებარეობს  $P \cdots 1$  ინტერვალში.

$P_T$ -ს მნიშვნელობა როცა  $\alpha = 0,8$  მოყვანილია 3.3 ცხრილში. სადაც მოცემულია კატასტროფების გარეშე მომხდარი მოვლენების ალბათობა 0,8 სიზუსტით,  $r$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

ცხრილი 3.3

$n$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
10	0,083	0,240	0,418	0,619	0,851					
15	0,056	0,157	0,272	0,384	0,524	0,662	0,813			
20	0,041	0,117	0,201	0,291	0,384	0,481	0,582	0,686	0,798	0,922

განხილვისათვის უნდა იყოს მოყვანილი ალტერნატიული ვარიანტი, რომელიც ითვალისწინებს ზოგიერთ ფიზიკურ პროცესებს. გასათვალისწინებელია ასევე, ფეთქებადსაშიშობიექტში მომხდარი კატასტროფა ხდება ელემენტარული  $y$  დაზიანებებისაგან,  $M$  ცვეთის ზღვრული მნიშვნელობის მიღწევისას.

დაზიანებათა დაგროვების პროცესი ფიქსირდება  $\eta(t)$  ცვეთის ფუნქციით. მწყობრიდან გამოსვლის მომენტი დგება  $\eta(y) \geq M$  პირობის დაცვისას, ასევე ელემენტარული  $r = M / y$  დაზიანებების გათვალისწინებით.

ობიექტისათვის, რომელიც ხასიათდება მაღალი ერთგვაროვნებით (საწყისი ხარისხი) კატასტროფის ალბათობის ანგარიში შესაძლებელია მონოტონური დაძველების მოდელის გამოყენებით, ანუ დაგროვებადი დაზიანებებით, რომელიც დამოკიდებულია გამა-განაწილების ფუნქციონირებაზე  $T$  დროის შუალედში:

$$F(T) = \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda T^{r-1} \exp(-\lambda T),$$

სადაც  $\Gamma(r)$  – გამა-ფუნქციაა;

$\lambda = y^{-1} dM[\eta(t)]/dt$  – ცვეთის სიჩქარეა;  $r$  – გამა-ფუნქციის მთელი მნიშვნელობებისათვის

$$\Gamma(r) = (r - 1)!$$

$\lambda$ -ცვეთის საშუალო სიჩქარეა.

გამა-განაწილების ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$Q(N, \lambda T) = 1 - \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(\lambda T)^k}{K!} \exp(-\lambda T) =$$

$$= 1 - \exp(-\lambda T) \left[ 1 + \lambda T + (\lambda T)^2/2! + \dots + (\lambda T)^{r-1}/(r-1)! \right] \quad (3.9)$$

$r=1$  მნიშვნელობისათვის (3.9) შეესაბამება ექსპონენციალური განაწილების სიმკვრივეს (ერთჯერადი დაზიანებისას მყისიერი გამოსვლა მწყობრიდან).

$\lambda$  და  $\gamma$  პარამეტრების ანგარიშის მეთოდი მოყვანილია ი. ჰერცბახისა და სხვა მეცნიერების ნაშრომებში.

ერთ-ერთი მეთოდი დამყარებულია  $N$  ერთნაირი ტიპის ობიექტების უწყვეტი მუშაობის დროის მონაცემებზე.

საშუალო მნიშვნელობა  $\tau$  და  $S_\tau^2$  დისპერსია (უწყვეტი მუშაობის დრო) გამოითვლება ფორმულებით:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^N \tau_i, \quad S_\tau^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\tau_i - \bar{\tau})^2, \quad (3.10)$$

საძიებელი პარამეტრების მნიშვნელობები მიიღება შემდეგი შესაბამისობებიდან

$$\tau = \bar{\tau}/S_\tau^2, \quad \gamma = \bar{\tau}^2/S_\tau^2. \quad (3.11)$$

ობიექტების ავარიულობის პროგნოზირება, რომლებიც გადიან ექსპლუატაციის დროის რესურსის ამოწურვის შემდეგ, შესაძლებელია ვეიბულის განაწილების საფუძველზეც

$$P(t) = \exp[-(\lambda t)^\beta], \quad (\beta > 0), \quad (3.12)$$

რომელიც განაზოგადებს ექსპონენციალურ განაწილებას  $\beta = 1$ -ის დროს.

მწყობრიდან გამოსვლის ინტენსიურობის ცვალებადობას ახასიათებს  $\beta$  პარამეტრი.

$\beta$  პარამეტრის მონაცემებით შეზღუდვა არსებითად ართულებს ვეიბულის კანონის პრაქტიკულ გამოყენებას.

## **თავი 4. კონსტრუქციების სეისმოიმუნობა და ნარჩენი რესურსების დაღმენა საგანგებო სიტუაციებისას მოქმედი კალმების მიმართ**

### **4.1. შესავალი**

სეისმოაქტიური რეგიონებისათვის შენობებისა და ნაგებობების დაპროექტებისას სეისმომდგრადი მშენებლობის ნორმატიული მოთხოვნების უზრუნველყოფის მიზნით ითვალისწინებენ მოედნის (ადგილის) სეისმურობას, ამასთან გამძლეობითი გაანგარიშება ჩვეულებრივ ხორციელდება თანახმად მეთოდისა, რომელიც რეგლამენტირებულია СНиП [179].

აღნიშნული ნორმები არ არის გამოყენებული რიგ ნაგებობებში, რასთან დაკავშირებითაც საპასუხისმგებლო და უნიკალური შენობებისა და ნაგებობების გამძლეობითი გაანგარიშებისათვის იყენებენ ნაგებობათა დინამიკის სხვადასხვა მეთოდებს, რომლებიც ურთიერთქმედებაში არიან გრუნტთან. ამასთან, გაანგარიშებაში შეაქვთ (შეჰყავთ) სეისმური ინფორმაცია წინა (ადრინდელი) მიწისძვრებისას გრუნტის მერყეობის არსებული ჩანაწერების ფორმით ან ინფორმაციის არასრულყოფილების პირობებში – სინთზური კინემატიკური ფუნქციები (რეალიზაციები), რომლებიც იქმნებიან სპეციალური გენერატორებით რაიმე ერთეული ჩანაწერის საფუძველზე, რომელიც ნორმირებულია მოცემული სეისმურობისათვის. რამდენადაც მიწისძვრის დროს გრუნტის რყევა – შემთხვევითი არასტაციონალური პროცესია, გაანგარიშებებისას მას წარმოადგენენ, როგორც რეალიზაციების ანსამბლს განსაზღვრული სპექტრული პარამეტრებით. რეალიზაციების ქმედებაზე ნაგებობის გაანგარიშებების შედეგები საშუალებას იძლევა განსაზღვრული ხარისხის დაზიანებების რისკის შეფასებას.

არსებული ობიექტების სეისმოიმუნობა, კონსტრუქციების მასალების თავისთავადი და სხვა მიზეზებით გამოწვეული ცვეთისას მიზანშეწონილია სეისმოიმუნობის ნარჩენი რესურსის პერიოდული შეფასება. სეისმოიმუნობის ოპერატიულ შეფასებას ახორციელებენ ექსპერიმენტალურად სხვადასხვა მეთოდებით.

შენობის დაძველების პროცესში დეფექტების წარმოშობა ამცირებს კონსტრუქციული ელემენტების საშუალო (მუშა) ფართობებსა და განივი კვეთების ინერციის მომენტებს. თუკი ვივარაუდებთ დრეკადი ობიექტის მასობრივი მახასიათებლების შეუცვლელობას, სიხისტის პარამეტრების შემცირების ხარჯზე შესაძლებელია კუთრი რყევების სიხშირეთა შემცირება ანუ ობიექტის დინამიური დატვირთვისას მისი დარეგისტრირებული სიხშირული მონაცემები იძლევიან ინფორმაციას სიხისტის თვისებებზე და გამომდინარე აქედან, - მისი რეალური

მდგომარეობის შესახებ საწყის (საპროექტო) მონაცემებთან შედარებით. მაგრამ, სიხშირეებისა და ფორმების შეფასების პროცესს აფერხებს გრუნტის საძირკვლის დეფორმაციულობის გავლენა, აგრეთვე სიხისტის მახასიათებლების არათანაზომიერი დაყოფა კოორდინატების მიხედვით და დინამიური დატვირთვის პროცესების შემთხვევითობა, რომელიც ახდენს რყევის ინიცირებას.

ქვემოთ განხილულია ობიექტების სეისმომდგრადობის ნარჩენი რესურსის ექსპრეს-შეფასების მეთოდები პარამეტრების მინიმალურად აუცილებელი რაოდენობის მიხედვით, რომლებიც დაფუძნებულია ექსპერიმენტალური და გაანგარიშებადი სიხშირეების მახასიათებლების შეფასებაზე. განსაზღვრული (აღნიშნული) გართულების მომტანი ფაქტორების გათვალისწინებით. მოყვანილია მეთოდები და მონაცემები პროგრამული საშუალებების შესახებ, როგორც ცვეთის შეფასებისას (დატვირთვების ტიპის მიუხედავად), ისე ექსპლუატირებადი შენობების ნარჩენი სეისმომდგრადობის გაანგარიშებისა შესაძლებელი დეფექტებით. განსაკუთრებული ყურადღება ენიჭება ობიექტების სიხშირეზე გრუნტის საძირკვლის დამყოლობის ზეგავლენის განსაზღვრასა და კონსტრუქციების რთული კომპოზიციური კვთების მთავარი ცენტრალური ინერციის მომენტების განსაზღვრას, რომლებიც უზრუნველყოფენ დინამიური დაძაბულობების ობიექტურ ანალიზსა და სიმტკიცის კონტროლს. განხილული მეთოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნას შენობათა სეისმომდგრადობის დეფიციტის შეფასებისათვის, მიწისძვრებისას ტალღური დატვირთვების მოქმედების პირობებში და გეგმიური სამრეწველო ან ავარიული აფეთქებისას.

#### **4.2. შენობის ცვეთის მაჩვენებელი და სიხშირული მახასიათებლები**

მონაცემები ნაგებობის მდგომარეობის შესახებ შეიძლება მიღებულ იქნას ნაგებობის დინამიური გაანგარიშებით, რომელიც სქემატიზირებულია სისტემით გადანაწილებული ან დისკრეტული პარამეტრებით. ამასთან, ადგენენ ნაგებობის შიდა ძალებსა და დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას. ამგვარი ანალიზი შეიძლება გატარებულ იქნას როგორც ხისტი მიდგომის ფარგლებში, ისე კონსტრუქციული მასალების ფიზიკურად არაწრფივი მოქმედების გათვალისწინებით.

ნაგებობის სეისმურ ზემოქმედებაზე რეაქციის დინამიური ანალიზისათვის აუცილებელია ვფლობდეთ უტყუარ ინფორმაციას კინემატიკურ შემფოთებაზე სეისმიკისაგან, ძირითადად, — დროითი რიგების ფორმაში, რომლებიც წარმოადგენენ აქსელეროგრამების, ველოგრამების ან სეისმოგრაფების ჩანაწერებს წარსული ან სინთეზირებული მიწისძვრების ან აფეთქებებისას

გრუნტული მასივის მერყეობის (რხევების) შესახებ. სამწუხაროდ, საქართველოს თითქმის ყველა სეისმურად აქტიური რაიონებისათვის აღნიშნული ინფორმაცია არასაკმარისია, და პრაქტიკაში იყენებენ აჩქარებათა ამპლიტუდების ნორმატიულ მნიშვნელობებს, რაც ნორმირებულია СНИП-მიერ. უფრო ინფორმატიულია მონაცემები სეისმოფეთქებადი ტალღების შესახებ სამრეწველო და ბირთვული აფეთქებებისას.

სადირკვლების კინემატიკური შეშფოთებები შეიძლება გაზომილ იქნას ნატურაში ან მოდელზე, ასევე შეიძლება მიღებულ იქნას ტალღური ველების გაანგარიშებით, სადირკვლის, რომელიც ჩარჩილია გრუნტში, მასივში ტალღებთან ურთიერთქმედებათა გათვალისწინებით.

პრობლემის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს თავისუფალ მასივში გრუნტის რხევის (მერყეობის) ჩანაწერების მონაცემთა მიხედვით სადირკვლის მოძრაობის პარამეტრების მოცემის შეუძლებლობა. სადირკველზე სეისმოფეთქებადი ტალღების მოქმედებისას მისი მოძრაობა ტალღური დიფრაქციული ურთიერთქმედების შედეგად არ დააკობირებს გრუნტული მასივის ნაწილების მოძრაობას. ამიტომ, სადირკველის მოძრაობის გასაანგარიშებლად, რომელიც ინიციირებს მთლიანად ნაგებობის რხევას, საჭიროა განვიხილოთ გადაწყვეტის (ამოხსნის) რაღაც არე, მიუთითებთ რა კინემატიკას ამ არეს საზღვრებზე.

ანალიზისათვის აუცილებელია ვფლობდეთ მიწისძვრის სპექტრულ მახასიათებლებს. აქსელეროგრამების არსებობისას სპექტრებს ღებულობენ პროგრამული საშუალებებით. თუკი არსებობს ინფორმაცია რეგიონის შესახებ, მაშინ შესაძლებელია აქსელეროგრამების ან გრუნტის რხევათა სპექტრების გამოყენება, რომლებიც მიღებულია ხელსაწყოთა მეშვეობით.

დაპროექტების პრაქტიკაში ნაგებობათა სეისმური დატვირთვების გაანგარიშებისას ჩვეულებრივ იყენებენ სისტემით სქემატიზაციას თავისუფლების ხარისხების უკანასკნელი რიცხვით. ამასთან, სისტემის ინერციას წარმოადგენენ დისკრეტული მასები, ხოლო სიხისტეს (სიმაგრეს) – დრეკადი კავშირები, განსაზღვრული მექანიკური თავისებურებებით. დისკრეტული მასების  $n$  რიცხვის მიხედვით, ამასთან სიხშირის კვადრატები  $\omega_1^2$  უკუპროპორციულია  $C_i$  სიხისტისა. თუკი, ნაგებობის სიხშირებს, რომლებიც დაფიქსირებულია  $\Delta t$  დროის რაღაც ინტერვალებით, გააჩნიათ სხვადასხვა მნიშვნელობები, მაშინ მასური მანიათებლების შეუცვლელობისას სიხისტეთა თანაფარდობა  $i$ -ური ფორმით შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) სახით:

$$C_i^{t+\Delta t} / C_i^t = (\omega_i^t / \omega_i^{t+\Delta t})^2 .$$

დავუშვათ, რომ სიხისტის შემცირება დაკავშირებულია კონსტრუქციის ცვეთასთან, შემოვიღოთ ცვეთის მაჩვენებელი  $i$ -ური ფორმით  $\xi_i = 1 - (\omega_i^t / \omega_i^{t+\Delta t})^2$ . ობიექტის ცვეთის პროცენტი  $\xi$  განისაზღვრება ცვეთის გასაშუალებით საკუთარი რხევების  $n$  ფორმების მიხედვით.

$$\xi = 100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i, \quad (4.1)$$

ხოლო საშუალოკვადრატული გადახრა გაიანგარიშება ფორმულით:

$$\xi_{\Delta t} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\xi_i - \xi)^2}. \quad (4.2)$$

არსებულ ობიექტებში დაზიანებათა და არასრულყოფილებათა არსებობა აგრეთვე შეიძლება დადგინდეს საკუთარი რხევების ფორმათა შესახებ ექსპერიმენტალური და გაანგარიშებადი მონაცემების შედარებათა საფუძველზე. მაგრამ, ექსპერიმენტში ფორმათა დაფიქსირება მოითხოვს გაზომვათა მნიშვნელოვან მოცულობას სპექტრული ანალიზის მეთოდით საკუთარი ფორმების გამოყოფით ვიბრაციის გაზომვისას განსაზღვრული წერტილების რაოდენობისას.

არსებული შენობის საკუთარი რყევების სინშირეები შეიძლება განვსაზღვროთ ცდის საფუძველზე, მოხდება რა რყევათა წარმოშობა დარტყმით და დამუშავება კონსტრუქციების დარეგისტრირებული ვიბრაციებისა და სპექტრული ანალიზის მეთოდებით (სწრაფი გარდასახვა ფურიე – БПФ). რყევათა სპექტრები აგრეთვე მოიცავენ სინშირეებს, რომლებიც დაკავშირებულია ობიექტის წრფივ და კუთხურ ადგილმონაცვლეობასთან, რაც წარმოიქმნება გრუნტის საძირკვლის დეფორმაციების შედეგად. სპექტრის ეს კომპონენტები შეიძლება იყოს ძალიან დაბალი, რამაც გრუნტის პარამეტრების შესახებ არასაკმარისად სრული მონაცემების არსებობისას შეიძლება მოახდინოს პირველი სინშირეების მასკირება, რომლებიც ახასიათებენ კონსტრუქციათა სიხისტეს.

წინასწარი ინფორმაცია არსებული შენობების მახასიათებლებზე შეიძლება მივიღოთ განზოგადებული სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე შენობის საკუთარი რხევების საშუალო პერიოდის მიხედვით, რომელიც დამოკიდებულია მის სართულებზე, ძირითად ზომებზე, გრუნტის საძირკვლის მახასიათებლებზე და დემპფირების პარამეტრებზე. ძირითადი პერიოდის შესაძლო მნიშვნელობები განისაზღვრებიან შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$T_1 = \alpha n, \quad (4.3)$$

$$T_2 = \beta H, \quad (4.4)$$

$$T_3 = \mu C \sqrt{B}, \quad (4.5)$$

$$T_4 = \mu C_2, \quad (4.6)$$

$$T_5 = C_3 H \psi K / \sqrt{Bg}, \quad (4.7)$$

სადაც  $T_1$  – ძირითადი პერიოდის მნიშვნელობა, დამოკიდებული  $n$  რაოდენობის სართულებზე როცა  $\alpha = 0,08$ ;  $T_2$  – პერიოდი, რომელიც დამოკიდებულია შენობის  $H$  სიმაღლეზე, როცა  $\beta = 0,017$ ;  $T_3$  – პერიოდის მნიშვნელობა, რომელიც დამოკიდებულია შენობის  $n$  სართულიანობაზე და  $C$  და  $\mu$  კოეფიციენტებზე, სადაც  $\mu$  – ფარდობა შენობის სიმაღლისა მის მახასიათებელ ზომაზე გეგმაში  $\mu = H/B$ ,  $C - \mu$  და  $n$  პარამეტრების ფუნქცია:

$$C = \begin{cases} 0,08 & (\mu \geq 2, n < 6) \\ 0,12 & (\mu < 2, m < 6) \\ 0,2 & (n \geq 6). \end{cases} \quad (4.8)$$

თავისუფალი ვარდნისა  $g = 9,81$  მ/სმ<sup>2</sup>, როდესაც კოეფიციენტები:  $\psi = 0,57$

$K = 1,34 \sqrt[4]{H}$ ,  $C_3 = 0,25$ , როცა  $n < 6$  და  $C_3 = 0,35$  როცა  $n \geq 6$ .

სიდიდეები, რომლებიც განისაზღვრება (4.3)-(4.7) ფორმულებით, ახასიათებენ პერიოდების შესაძლო დიაპაზონს. ისინი საშუალებას იძლევიან მიახლოებით დავადგინოთ საშუალო მნიშვნელობა, ექსტრემუმები და დისპერსია პერიოდისა და ნაგებობის საკუთარი რყევების ძირითადი სიხშირისა.  $\varphi$  ძირითადი სიხშირის მათემატიკური ლოდინი შეიძლება შეფასდეს ფორმულით:

$$\varphi = 5 \sum_{i=1}^5 T_i^{-1}, \quad (4.9)$$

ხოლო  $D_\varphi$  სიხშირის საშუალოკვადრატული გადახრა – (4.2) ფორმულის ანალოგიურად.

რამდენადაც მოყვანილი მონაცემები მიღებულია ცდების საფუძველზე სხვადასხვა წლოვანების არსებულ შენობებზე, ამ სიხშირეების მნიშვნელობები შეიძლება იყოს რამდენადმე ნაკლები, ვიდრე სიხშირეებისა, რომლებიც შეესაბამება საპროექტო მონაცემებს, ანუ შენობებს ნულოვანი ცვეთით. ამიტომ სიხშირეთა მნიშვნელობების გამოყენებისას, რომლებიც მიღებულია (4.3)-(4.7) ფორმულებით, შეიძლება შევიტანოთ ცვლილება  $D_\varphi^2$  დისპერსიის სიდიდის გათვალისწინებით.

თუკი წარმოებულია ვიბრაციათა ჩაწერა შენობის სხვადასხვა წერტილებში, მაშინ სიხშირეების მოძებნა (დადგენა) შეიძლება სპექტრული ანალიზით. ამ მიზნით მიზანშეწონილია პროგრამული საშუალებების გამოყენება დროის რიგების დასამუშავებლად.

### 4.3. შენობის საკუთარი რხევის სიხშირის განსაზღვრა

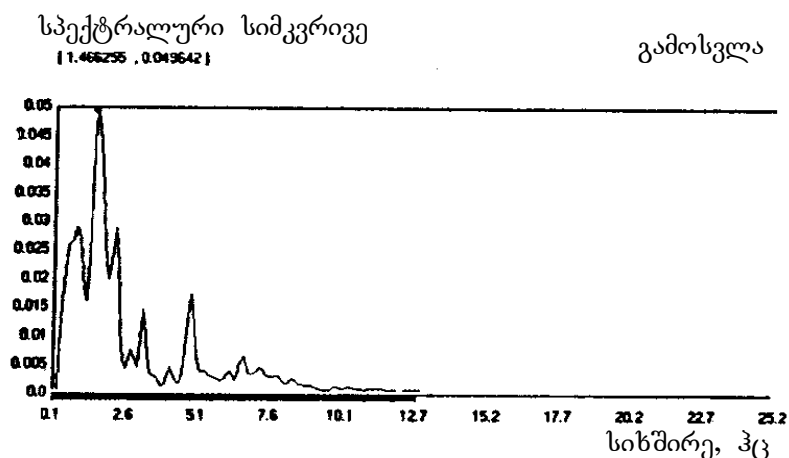
ნაგებობათა საკუთარი რხევის სიხშირეებისა და ფორმების განსაზღვრის მეთოდები როგორც დრეკადი სისტემისა საყრდენი სამაგრების იდეალური სქემებით ფართოდაა ცნობილი. ქვემოთ მოყვანილია ნაგებობათა საკუთარი სიხშირეების განსაზღვრის რამოდენიმე ხერხი

გამოვიყენოთ ფართოდ გავრცელებული კონსოლურ კოჭური გაანგარიშების სქემა საყრდენის დეფორმაციათა და სხვა ფაქტორების ზემოქმედების გათვალისწინებით სისტემის სიხშირულ მახასიათებლებზე. კონსოლური კოჭების რხევათა პარამეტრები დამოკიდებულია საყრდენის დრეკად დამყოლობაზე მისი წრფივი და კუთხური ადგილმონაცვლეობისას.

$p/c$  იზოტოპული კონსოლური კოჭის საკუთარი რხევების სიხშირეები მუდმივი პარამეტრებით განივი მიმართულებით განისაზღვრება ფორმულით

$$v = \frac{\alpha_i^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (4.10)$$

სადაც  $l$  – სიგანე;  $J$  – განივი კვეთის ინერციის მომენტი;  $E$  – მასალის დრეკადობის მოდული ( $EJ$  – სიხისტე);  $m$  – გრძივი მასა;  $\alpha_i$  –  $i$ -ური ფორმის რხევათა სიხშირული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საყრდენის ჩამაგრების ტიპზე.



ნახ. 4.1. აჩქარებათა სპექტრალური სიმკვრივე

სისშირული კოეფიციენტები კოჭებისათვის საყრდენების ხისტი ჩამაგრებით

$$\alpha_1 = 1,875; \quad \alpha_2 = 4,694, \quad \alpha_i = (2i - 1)\pi/2 \quad (i > 2).$$

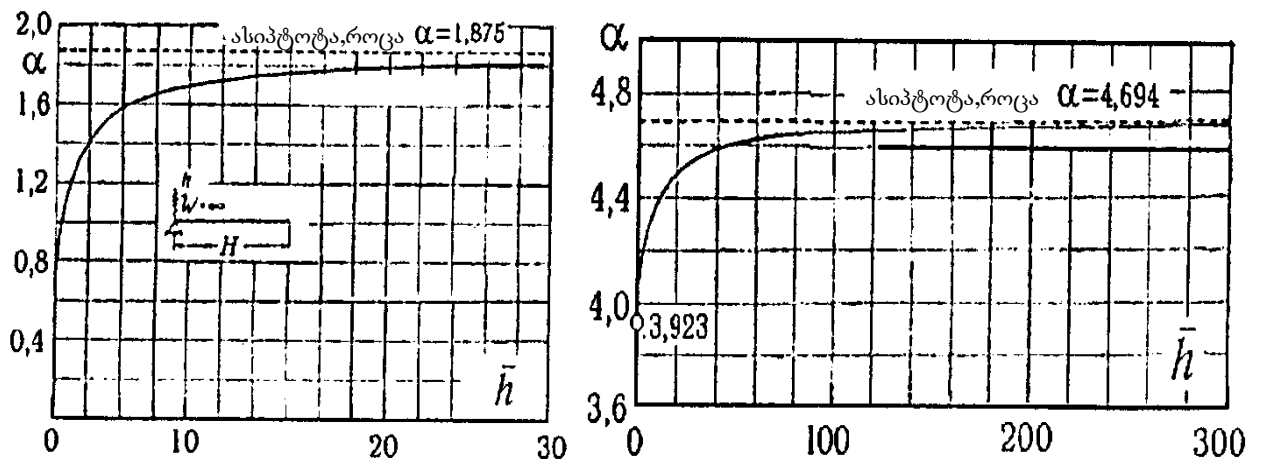
კონსოლური ძელის კუთხური გადაადგილებისას  $\alpha_i$  კოეფიციენტები განისაზღვრება გრაფიკით ნახ. 4.2 საყრდენის ფარდობითი კუთხური სიხისტის ფუნქციით  $\bar{h}$ .

$$\bar{h} = hl/(EI). \quad (4.11)$$

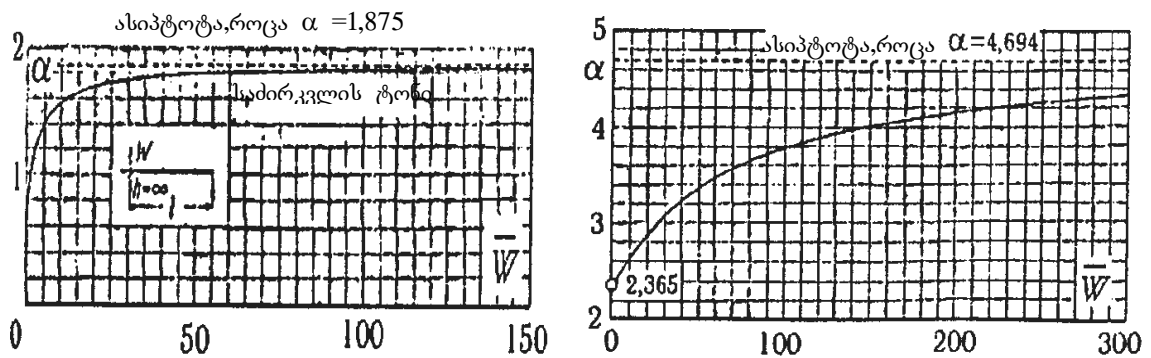
განივი ადგილმონაცვლეობისას კონსოლის ღრეკადი გამოვსების შემთხვევაში

$\alpha_i$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები ნახ. 4.3 საყრდენის ფარდობითი წრფივი სიხისტის ფუნქციით

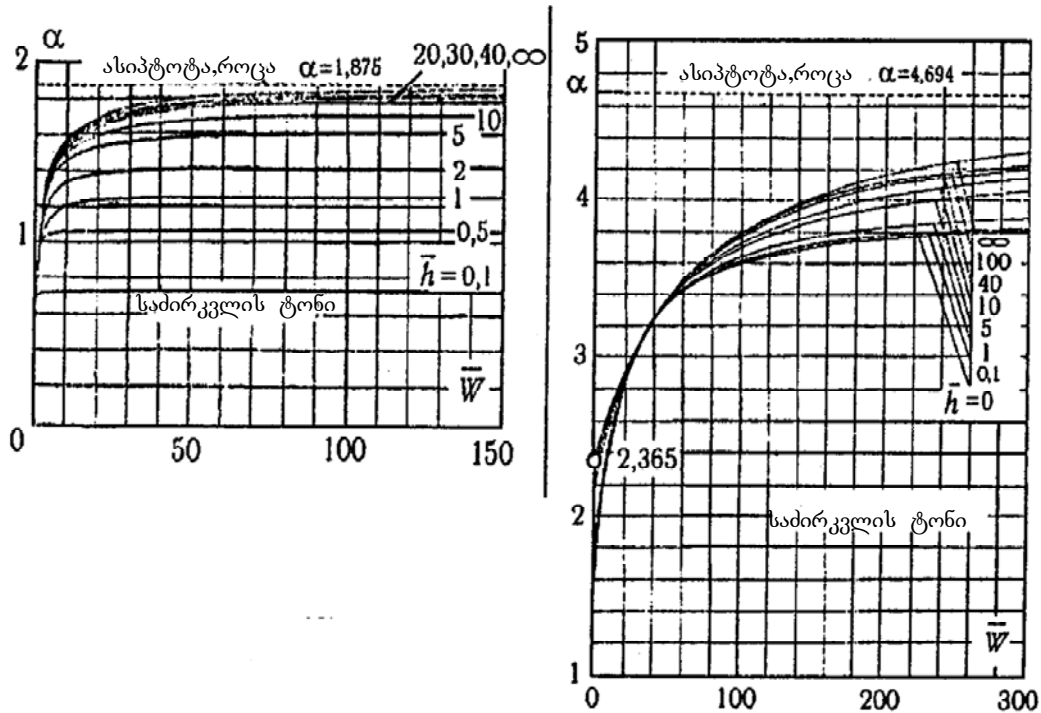
$$\bar{W} = Wl^3/(EJ). \quad (4.12)$$



ნახ. 4.2.



ნახ. 4.3.



ნახ. 4.4.

მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ სიხისტის (სიმაგრის) შემცირებით მცირდება სიხშირული კოეფიციენტის მნიშვნელობაც და გამომდინარე აქედან – სიხშირეებიც, ასე, პირველი ტონის სიხშირე, ხისტ ჩამაგრებასთან შედარებით მცირდება  $(1,875/\alpha_1)^2$ , ხოლო მეორე ტონისა  $(4,694/\alpha_1)^2$  – ჯერ.

კონსოლისათვის დრეკადად ჩამაგრებული საყრდენით, მობრუნებასთან დაკავშირებით (4.11) ფორმულაში სიხისტის კოეფიციენტი

$$h = C_\phi J_\phi, \quad (4.13)$$

სადაც  $J_\phi$  – ფუნდამენტის ძირის ფართობის ინერციის მომენტი მისი ბრუნვის ღერძის მიმართ,  $C_\phi$  – გრუნტის არათანაბარი შეკუმშვის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია თანაბარი შეკუმშვის გაორმაგებული კოეფიციენტისა  $C_\phi = 2C_z$  კნ/მ<sup>3</sup> ბუნებრივი საძირკვლებისათვის მიიღება გრუნტზე ნორმატიული დაწოლით (წნევით)  $P_{\text{საძ.}}$  მპა.

$$C_z = \begin{cases} 2 \cdot 10^5 P_{\text{საძ.}} & (0,1 \leq P_{\text{საძ.}} < 0,2) \\ 10^4 (2 + 10P_{\text{საძ.}}) & (P_{\text{საძ.}} \geq 0,2). \end{cases} \quad (4.14)$$

უფრო დაწვრილებითი მონაცემები საძირკვლის გრუნტის თვისებების გავლენის ზემოქმედებისას კონსტრუქციების სიხშირეზე მოცემულია ქვემოთ.

#### 4.4. რთული კონსტრუქციების კვეთის პარამეტრების დადგენა

ყველაზე მეტად გავრცელებულია არასიმეტრიული ობიექტები, რომლებიც შესრულებილია სხვადასხვა მასალებისაგან, ანუ. თავის მხრივ წარმოადგენენ კომპოზიტებს. კომპოზიტური ობიექტების კონსტრუქციული ელემენტების განივი კვეთები შეიცავენ მასალების ზონებს სიმკვრივის, დრეკადობის მოდულების და სხვადასხვა პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობებით, რომლებიც ახასიათებენ მათ ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. ტიპიურ მაგალითს წარმოადგენს შენობა რკინაბეტონის კარკასით, რომლის ელემენტების კვეთებიც მოიცავენ ბეტონისა და არმატურული ფოლადის ზონებს, შესაძლოა სხვადასხვა კლასისა.

ერთი მასალის კონსტრუქციებისაგან განსხვავებით, რომელთა კვეთებიც ერთგვაროვანია, კომპოზიტების გამძლეობის გაანგარიშებისას იყენებენ კვეთების მოცემულ პარამეტრებს (მოცემული ფართობები, ინერციის მომენტები წინაღობის მომენტები).

არსებობს შემთხვევები, როდესაც ცნობილია სეისმური ან სეისმოფეთქებადი ტალღების გავრცელების მიმართულება. ამასთან არასიმეტრიული კომპოზიტური ობიექტებისათვის კვეთების ინერციის მთავარი ცენტრალური მომენტების გარდა, აუცილებელია აგრეთვე სხვადასხვა ღერძების მიმართ ინერციის მომენტების დამოკიდებულებათა შეფასება.

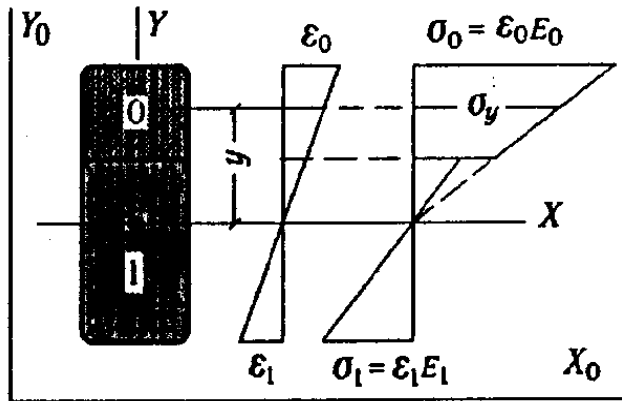
შემდეგში განვიხილავთ რთული ერთგვაროვანი და კომპოზიტური კონსტრუქციების კვეთების ინერციის საანგარიშო მომენტების განსაზღვრის მეთოდისას, აგრეთვე პროგრამულ საშუალებებს გასაანგარიშებელი პროცესის ავტომატიზაციისათვის.

დავიწყოთ კოჭის ელემენტის კვეთის მარტივი შემთხვევით ზონებში ორი მასალით, რომლებიც დანიშნულია როგორც „0“ და „1“. ლუნვის ტექნიკური თეორიის თანახმად დრეკადი ძელის სუფთად ლუნვის ფარდობითი  $\varepsilon(y)$  დეფორმაციები განაწილებულია წრფივი კანონით ნეიტრალურ ღერძზე მნიშვნელობით ნული (ნახ. 4.5).

დაძაბულობათა გადანაწილება ორი ზონის ფარგლებში  $y$  (დაშორებებით) მანძილებზე ნეიტრალური  $x$  ღერძისაგან ჰუკის კანონის თანახმად იქნება აგრეთვე წრფივი, მაგრამ ექნება განსხვავებული მნიშვნელობები

$$\sigma_{y0} = N E_0 y, \quad \sigma_{y1} = N E_1 y, \quad (4.15)$$

სადაც  $N$  – სიმრუდეა,  $E_0$  და  $E_1$  – მასალების დრეკადობის მოდული ზონებში  $F_0$  და  $F_1$  ფართობებით.



ნახ. 4.5.

დავჯამებთ რა დაძაბულობებს კვეთაში, ჩავწერთ სტატისტიკური წონასწორობის პირობას

$$\int_{F_0} \sigma_{y0} dF + \int_{F_1} \sigma_{y1} dF = 0.$$

ჩავსვათ, რა დაძაბულობათა მნიშვნელობებს (4.15)-დან მივიღებთ უტოლობას, რომელიც განსაზღვრავს ნეიტრალური ღერძის მდგომარეობას:

$$E_0 \int_{F_0} y dF + E_1 \int_{F_1} y dF = 0 \quad \text{ან} \quad \int_{F_0} y dF + \int_{F_1} n y dF = 0,$$

სადაც  $n$  – დრეკადობის მოდულების დამოკიდებულებაა (ფარლობა)  $n = E_1 / E_0$ .

ამ უტოლობებში ინტეგრალები წარმოადგენენ ფართობების სტატისტიკურ მომენტებს ნეიტრალური ღერძის მიმართ, ანუ, შემდეგი ინტეგრალი მთელ  $F$  ფართობზე წარმოადგენს კვეთის მოცემულ ფართობს

$$F_{np} = \int_F n dF, \quad (4.16)$$

სადაც  $n$  აიღება მასალების ზონებისათვის დრეკადობის მოდულების კონკრეტული მნიშვნელობების შესაბამისად (კვეთისათვის 4.5. ნახაზზე „0“ ზონაში  $n = E_0 / E_0$ , ხოლო „1“ ზონაში  $n = E_1 / E_0$ ).

ჩავწერთ ფორმულა კვეთში მგრეხი მომენტისათვის (4.15) ფორმულის გათვალისწინებით:

$$M = \int_{F_0} \sigma_{y0} y dF + \int_{F_1} \sigma_{y1} y dF = \int_{F_0} \varepsilon_0 E_0 y^2 dF + \int_{F_1} \varepsilon_1 E_1 y^2 dF.$$

აქ ინტეგრალები წარმოადგენენ ინერციის მომენტებს  $J_0, J_1 - F_0, F_1$  შესაბამისი ფართობებისა და მგრეხის მომენტი უდრის

$$M = \aleph E(E_0 \tau_0 + E_1 \tau_1).$$

ჩავსვათ რა აქედან სიმრუდის მნიშვნელობას (4.15)-ში გადავწერთ ფორმულებს ძაბვებისათვის

$$\sigma_{y0} = \frac{MyE_0}{E_0J_0 + E_1J_1}, \quad \sigma_{y1} = \frac{MyE_1}{E_0J_0 + E_1J_1}$$

ან

$$\sigma_{y0} = \frac{My}{J_0 + nJ_1}, \quad \sigma_{y1} = \frac{Myn}{J_0 + nJ_1}.$$

დაძაბულობა შეიძლება განვსაზღვროთ ნებისმიერ წერტილში მთელი კვეთისათვის საერთო ფორმულით, შემოვიღებთ რა ინერციის მოცემულ მომენტსა  $J_{\text{მოც.}} = J_0 + nJ_1$  და ზონებისათვის შესაბამის მნიშვნელობებს  $n$ ;

$$\sigma_y = \frac{Myn}{J_{np}}. \quad (4.17)$$

ამოწერილი ფორმულები შეიძლება განვაზოგადოთ ზონათა თავისუფალი რაოდენობის კომპოზიტისთვის სხვადასხვა მასალებით (ნახ. 4.6). ჩავწერთ ფორმულა (მოყვანილი) მოცემული ფართობებისათვის და კვეთის ინერციის მოცემული მომენტისათვის ჯამური სახით კომპოზიტის ზონების  $k$  რიცხვის მიხედვით, აღვნიშნავთ რა ნებისმიერ მასალათაგან ნულით, რისთვისაც უნდა მივიღოთ  $n_0 = 1$ :

$$F_{np} = \sum_{i=0}^k (nF)_i, \quad J_{np} = \sum_{i=0}^k (nJ)_i. \quad (4.18)$$

ინერციის მოცემული მომენტის განსაზღვრისას ნეიტრალური ღერძის მიმართ ნებისმიერი კომპონენტი  $(nJ)_i$  წარმოადგენს საკუთარი ინერციის ცენტრალური მომენტისა და იმ მომენტის ჯამს, რომელიც დაკავშირებულია  $l_i$  ფართობის ცენტრის ნეიტრალური ღერძისაგან განშორებასთან

$$(nJ)_i = (nJ)_{i0} + (nF)_i l_i^2.$$

თუკი კვეთს დავყოფთ უფრო მეტი რაოდენობის ძალიან მცირე ზონებად, მაშინ ინერციის საკუთარი მომენტების წილი შეიძლება იყოს ძალიან მცირე. ამასთან კვეთის ინერციის მოცემული მომენტის გასაანგარიშებლად შეიძლება შემოვიფარგლოთ მხოლოდ კორექტირებული ფართობების მნიშვნელობების გამოყენებით (მათი გამრავლებით დრეკადობის მოდულების

თანაფარდობაზე  $(nF)_i$ ). ამოწერილი ფორმულები განაზოგადებენ ნებისმიერ სქემებს, როული ფორმის კვეთებს, ანუ ზონებით, კოეფიციენტებით  $n_i = 1$ , ეს ფორმულები იღებენ მასალათა გამძლეობის ჩვეულებრივი თანაფარდობის სახეს.

ჩავსვათ რა (4.10) ფორმულაში გამოსახულებას გალუნვის (ლუნვადი) სიხისტისათვის და გრძივი მასისათვის (4.18) ფორმულის გამოყენებით ჩავწერთ ფორმულას კომპოზიტური კონსტრუქციის საკუთარი რხევების სიხშირეთათვის  $\rho_i$

$$v = \frac{\alpha_i^2}{l^2} \sqrt{\sum_i E_i (nJ)_i / \sum_i \rho_i (nF)_i} = \frac{\alpha_i^2}{l^2} \sqrt{\sum_i E_i^2 J_i / \sum_i \rho_i E_i F_i}. \quad (4.19)$$

სვეტოვანი კომპოზიტური კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც მუშაობენ გაჭიმვა-შეკუმშვაზე, დაძაბულობათა ფორმულები ჩაიწეროს ჩვეულებრივი სახით მოცემული ფართობის განივი კვეთის შემოტანით. დავუშვათ ნახ. 4.5-ზე კვეთა იმყოფება  $N$  ღერძული ძალის მოქმედების ქვეშ, რომელიც იწვევს გრძივ დეფორმაციას  $\varepsilon$ . სტატისტიკური წონასწორობის პირობასა და დეფორმაციათა უწყვეტობის პირობას გააჩნიათ მარტივი სახე:

$$N = N_0 + N_1, \quad \varepsilon_0 = \varepsilon_1 = \varepsilon. \quad (4.20)$$

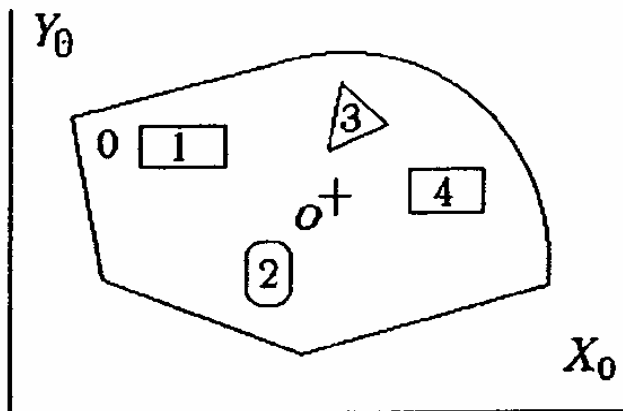
ზონები დატვირთულია  $N_i (i = 0, 1)$  ძალებით და ჰუკის კანონის მიხედვით  $N_i = \sigma_i F_i = \varepsilon E_i F_i$ , ანუ ჯამური ძალა შეიძლება მივაკეთენოთ მოცემულ კვეთის ფართობს  $F_{აოც}$ , ანალოგიურად პირველი ფორმულისა (4.18)

$$N = \varepsilon E_0 (F_0 + nF_1) \quad N = \varepsilon E_0 F_{np}, \quad F_{np} = F_0 + nF_1.$$

დაძაბულობებთან დაკავშირებულ გამოთვლებში პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენენ დაძაბულობათა ექსტრემალური მნიშვნელობები. ამიტომ როული კომპოზიტური კვეთებისათვის აუცილებელია განისაზღვროს ცენტრი, მთავარი ცენტრალური ღერძები და კვეთის ინერციის მოცემული შესაბამისი მომენტები.

განვიხილით ზოგადი სახის კვეთი (ნახ.4.6) საწყის კოორდინატთა სისტემაში  $x_0 y_0$  მასალების დრეკადობის მოდულების ცნობილი მნიშვნელობებით. „მოცემული“ კვეთის ცენტრის კოორდინატები განისაზღვრება ფორმულებით

$$x_0 = F_{np}^{-1} \int_F x n dF, \quad y_0 = F_{np}^{-1} \int_F y n dF. \quad (4.22)$$



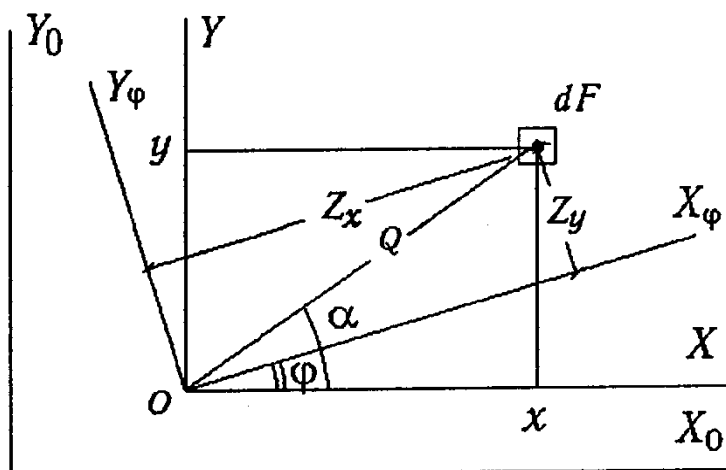
ნახ. 4.6. ზოგადი სახის კვეთი

შემოვიღოთ კოორდინატთა სისტემა  $xy$  საწყისი კვეთის ცენტრში (ნახ. 4.7). ჩავწეროთ სისტემაში კოორდინატი  $x_\varphi y_\varphi$ ,  $\varphi$  კუთხით მობრუნებული, ფორმულა  $x_\varphi$  ღერძის მიმართ ინერციის მომენტისათვის, ჩავსვათ რა გამოსახულებას  $z_y = y \cos \varphi - x \sin \varphi$ , მივიღებთ:

$$J_{x_\varphi} = \int_F z_y^2 n dF = \int_F (y^2 \cos^2 \varphi + x^2 \sin^2 \varphi - 2xy \sin \varphi \cos \varphi) n dF.$$

ამ გამოსახულების მარჯვენა ნაწილის ინტეგრალები წარმოადგენენ  $xy$  ღერძებში  $J_x, J_y, J_{xy}$  ინერციის ღერძულ და ცენტრისკენულ მოცემულ მომენტებს, ანუ ფორმულა  $J_{x_\varphi}$  -სათვის შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით

$$J_{x_\varphi} = J_x \cos^2 \varphi + J_y \sin^2 \varphi - J_{xy} \sin 2\varphi. \quad (4.23)$$



ნახ. 4.7. საწყისი კვეთი

მოვიყვანოთ ფორმულები  $J_{y\varphi}$  ღერძული და  $J_{xy\varphi}$  ცენტრისკენული ინერციის მოცემული მომენტებისათვის  $x_\varphi y_\varphi$  სისტემაში

$$J_{x\varphi} = \int_F z_x^3 n dF = J_x \sin^2 \varphi + J_y \cos^2 \varphi + J_{xy} \sin 2\varphi. \quad (4.24)$$

$$J_{xy\varphi} = \int_F z_x z_y n dF = \frac{1}{2}(J_x - J_y) \sin 2\varphi + J_{xy} \cos 2\varphi. \quad (4.25)$$

(4.23), (4.24) ფორმულები შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$J_{x\varphi} = \frac{1}{2}(J_x + J_y) + \frac{1}{2}(J_x - J_y) \cos 2\varphi - J_{xy} \sin 2\varphi, \quad (4.26)$$

$$J_{y\varphi} = \frac{1}{2}(J_x + J_y) - \frac{1}{2}(J_x - J_y) \cos 2\varphi + J_{xy} \sin 2\varphi. \quad (4.27)$$

გავადიფერენცირებთ რა ნებისმიერ ამ უკანასკნელი ფორმულიდან ერთ-ერთს  $\varphi$  კუთხით და გავუტოლებთ რა წარმოებულს ნულს, მივიღებთ ფორმულებს მთავარი ცენტრალური  $\varphi_m$  ღერძების მობრუნებისა და ინერციის მთავარი ცენტრალური მოცემული მომენტებისათვის  $J_{\min/\max}$

$$\varphi_m = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} [2J_{xy} / (J_y - J_x)], \quad (4.28)$$

$$J_{\min/\max} = \frac{J_x + J_y}{2} \pm \sqrt{(J_x - J_y)^2 + 4J_{xy}^2}. \quad (4.29)$$

აუცილებელი შეიქმნას პროგრამა რომელიც ჩიადება საანგარიშო მოდელში, იგი განკუთვნილი იქნება შენობებისა და ნაგებობების სეისმომდგრადობის ანალიზისათვის ობიექტის ძირითადი პარამეტრებისა და რეგიონის სეისმიურობის მიხედვით კონსოლური სქემის გამოყენებით, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულების სეისმური დატვირთვების ერთობლივი მოქმედებისას. პროგრამა აანალიზებს სიხისტის პარამეტრებსა და ნაგებობის საკუთრივ მახასიათებლებს, განსაზღვრავს ნაგებობის გრენისა და მობრუნების წრფეთა ძირითად ფორმას, ძირითადი სიხშირის დისპერსიას, რომელიც ხასიათდება მონაცემთა შესაძლო დანაწევრებით სიხშირეთა მიხედვით.

ანგარიშობს დინამიურობის კოეფიციენტს და სხვა მახასიათებლებს, რომლებიც აუცილებელია დინამიური სართულშორისი დატვირთვების გაანალიზებისათვის. ეს მონაცემები მიიღება გამომდინარე ნაგებობის კონსტრუქციული პარამეტრებიდან საძირკვლის გრუნტებიდან და ცვეთის შედეგად მიღებული დაზიანებებისა და სართულებრივ სეისმურ დატვირთვებისა და

შიდა ძალების ინფორმაციიდან. განსაზღვრავს სეისმური დატვირთვების შედეგად მიღებული დინამიური კუმშვადი და ჭიმვადი ფიბრული დაძაბულობების ექსტრემალურ მნიშვნელობებს, ნაგებობის კუთრი (საკუთარი) წონისა და აგრეთვე განივი ძალებისა და მობრუნებისაგან მიღებული მხები დაძაბულობების გათვალისწინებით. ახორციელებს სიმტკიცის (სიმყარის) შემოწმებას შენობის შესაძლებელი დანგრევის პროგნოზით, აგრეთვე დეფორმაციების შემოწმებას ზღვრული მდგომარეობის მიღწევის მიხედვით (რკინაბეტონისათვის – ბზარების გადახსნის კუთხის სიდიდის კონტროლით). საშუალებას იძლევა დავადგინოთ გრუნტის აჩქარების ამპლიტუდის მნიშვნელობა სეისმურ ტალღაში, რომელიც შეესაბამება შენობის ზღვრული სეისმომდგრადლობას.

ექსპერიმენტულად მიღებული ნაგებობის ძირითადი სიხშირის მნიშვნელობების შეყვანისას, მისი ცვეთის ხარისხის გაანალიზების საშუალებას იძლევა, რომელიც შეეყვანება სეისმომდგრადობის გაანგარიშებაში პროგრამის ხელმეორედ (განმეორებით) გაშვებით.

ნაგებობის სეისმომდგრადობის შესაფასებელი საწყისი მონაცემებია:

- სართულების რაოდენობა.
- შენობის სიმაღლე, მ.
- შენობის ზომა სეისმური დატვირთვის გასწვრივ, მ.
- შენობის სიგანე, მ.
- შენობის სრული წონა, მ.
- რაიონის სეისმურობა, სმ/წმ<sup>2</sup>.
- კონსტრუქციის ტიპი.
- დემპფირების პარამეტრები.
- ცვეთა და დაზიანებების არსებობა, %.
- საძირკვლის გრუნტის პირობები.
- მასალის გამძლეობის (სიმტკიცის) ზღვარი კუმშვაზე, კგძ/სმ<sup>2</sup>.
- მასალის გამძლეობის (სიმტკიცის) ზღვარი გაჭიმვაზე, კგძ/სმ<sup>2</sup>.
- რელუქციული კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია კედლების (და სვეტების) საყრდენი ფართობისა გრუნტის ზედაპირზე შენობის პროექციის ფართობთან.
- კედლების (სვეტების) საყრდენი ფართობის წინაღობის მომენტი, მ<sup>3</sup>.
- შენობის სახურავის წონა, ტც.
- შენობის ძირითადი ტონის სიხშირე, ჰც.

უკანასკნელი სამი პარამეტრი აუცილებლობას არ წარმოადგენს და შეიძლება მოცემული იქნას ნულებით. ამასთან სახურავის წონა უნდა იქნას ჩართული ნაგებობის საერთო წონაში, ხოლო წონალობის მომენტი და სიხშირე პროგრამაში გაიანგარიშება ავტომატურად.

გარდა აღნიშნული პარამეტრებისა, ცალკე ფანჯარაში შეიძლება შევიყვანოთ ექსპერიმენტისას გაზომილი სიხშირის მნიშვნელობა. ეს სიდიდე არ შეიძლება აღემატებოდეს დაუზიანებელი შენობის ძირითადი ტონის სიხშირეს. თუკი შეუძლებელი იქნება მივიღოთ სიხშირე ცდის საფუძველზე იგი პროგრამაში განისაზღვრება ავტომატურად განზოგადებული სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე კონსტრუქციული საკუთარი (კუთრი) რხევების საშუალო პერიოდის მიხედვით.

სიხშირეების დაზუსტებული მნიშვნელობები მეორე მიახლოებისას შეიძლება განისაზღვროს წამყვანი კონსტრუქციების კვეთების სიმტკიცის პარამეტრებისა და კონსტრუქციული ელემენტების მასების განაწილების მიხედვით.

შენობის სართულიანობაზე დამოკიდებულებით ადგილმონაცვლეობათა ფორმა გამოითვლება როგორც მყარი სხეულისათვის – ხაზობრივი (წრფივი) კანონის მიხედვით (შენობებისათვის – არაუმეტეს 4 სართულისა) ან მისი დეფორმაციის გათვალისწინებით (შენობებისათვის – 4 სართულზე მეტი). გაანგარიშებისას საკუთარი რხევების რამოდენიმე ფორმის გათვალისწინებით, გაანგარიშებაში შეაქვთ პირველი სამი ფორმა ( $z = x/h$ ).

$$y_{ki}(Z) = (sh\alpha_i + \sin\alpha_i)(sh\alpha_i Z - \cos\alpha_i Z) - (sh\alpha_i + \cos\alpha_i)(sh\alpha_i Z - \sin\alpha_i Z). \quad (4.30)$$

გაანგარიშებისას, მხოლოდ ძირითადი სიხშირის გათვალისწინებით, ადგილმონაცვლეობათა ფორმა შეიძლება მივიღოთ ზემოთმოყვანილი ფორმულით, როცა  $i=1$  ან კონსოლის სტატიკური ლუნვის  $y(x)$  დრეკადი ფორმის მიხედვით.

$$\lambda \equiv Y(x)/Y_{\max} = \frac{4}{3} \left( \chi - \frac{1}{4} \chi^4 \right), \chi \equiv x/h \quad (4.31)$$

$$Y_{\max} = qH^4 / (8EJ),$$

სადაც  $x$  – კოორდინატა,  $EJ$  – კვეთის სიხისტე,  $Y_{\max}$  – გაღუნვის მაქსიმუმი  $q$  თანაბარზომიერი განივი დატვირთვისაგან.

ნაგებობის დეფორმაციის  $\eta_j$  კოეფიციენტი ინერციის დისკრეტული გადანაწილებით  $n$  მოყვანილი მასების მიხედვით  $Q_j (k=1,2,3 \dots n)$  განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

ხისტი ნაგებობებისათვის ( $n < 5$ )

$$\eta_k = \chi_k \sum_{i=1}^n \chi_i Q_i / \sum_{i=1}^n \chi_i^2 Q_i ; \quad (4.32)$$

არახისტი ნაგებობებისათვის ( $n \geq 5$ )

$$\eta_k = \lambda_k \sum_{i=1}^n \lambda_i Q_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i^2 Q_i . \quad (4.33)$$

$S_k$  სეისმური დატვირთვები განისაზღვრება СНиП II-7-81 მოთხოვნების გათვალისწინებით, შემდეგი ფორმულებით

$$S_k = K_1 K_2 S_{0k}, S_{0k} = Q_k A \beta K_\psi \eta_k . \quad (4.34)$$

სადაც  $A$  –სეისმურობის კოეფიციენტი, რომელიც  $Z$  სეისმურობის აჩქარების ფარდობისა  $g$  თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასთან;  $\beta$ –დინამიურობის კოეფიციენტი;  $K_\psi$ –კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის დისიპაციურ თვისებებს;  $K_1$  –კოეფიციენტი, რომელიც მიღებულია ერთის ტოლი დრეკადი სისტემებისათვის;  $K_2$  –კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს შენობის კონსტრუქციულ გადაწყვეტას.

ჩამოთვლილი კოეფიციენტების სისტემა მიიღება თანახმად СНиП-სა, ამასთან დინამიურობის კოეფიციენტი ( $\beta > 0,8$ ) იანგარიშება ძირითადი სიხშირის მათემატიკურ ლოდინზე დამოკიდებულებით

$$\beta = \begin{cases} \varphi & (\leq \text{I კატეგორიის გრუნტებისათვის}) \\ 1,1\varphi & (\leq \text{II კატეგორიის გრუნტებისათვის}) \\ 1,5\varphi & (\leq \text{III კატეგორიის გრუნტებისათვის}) \end{cases} \quad (4.35)$$

დინამიური (სეისმური) სართულბრივი შიდა დაძაბულობების სისტემა განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის ცნობილი თანაფარდობებით კვეთის გასაანგარიშებელი ფართობი  $F_g$  განისაზღვრება, როგორც შენობის სრული (მთლიანი) პროექციის წილი ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე გამრავლებით რედუქციულ კოეფიციენტზე და კოეფიციენტზე, რომელიც ახასიათებს შენობის კაპიტალურობის შემცირებას ცვეთის და სხვა მიზეზთა გამო. სართულების მიხედვით კვეთებში დაძაბულობები (ექსტრემალური მნიშვნელობები კუმშვადი და ჭიმვადი დაძაბულობებისა) განისაზღვრება ერთობლივი ქმედებით მღუნავი მომენტებისა, სეისმური დაძაბულობების გამო და დაწოლებისა ვერტიკალურ სვეტებზე კუთრი წონისა კოეფიციენტით  $K_w$ . კოეფიციენტი  $K_w = 1,15$  მიწისძვრებისათვის 7 და 8 ბალის ინტენსიურობით და 1,3 9 ბალის მიწისძვრისათვის. სიმტკიცის შემოწმება ირიბი კვეთების მიხედვით სეისმური განივი  $Q$

ძალების ზემოქმედებით სრულდება СНиП 2.03.01-84-ის თანახმად ფორმულით  $Q/F_0 < 2,5R_{bt}$ , სადაც  $R_{bt}$  ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძული დაჭიმულობისადმი. ზღვრული დეფორმაცია ნორმირდება გადახრის მაქსიმუმით შენობის სიმაღლესთან.

გადახრის მაქსიმუმი შენობის ზედა კვეთებში განისაზღვრება (4.31) ფორმულით კონსოლური ტანის  $\varphi_0$  ძირითადი სიხშირისათვის ფარდობის გამოყენებით ( $\alpha_1 = 1,8751$ )

$$\varphi_0^2 = \alpha_1^2 EJ / (H^4 m_p), \quad (4.36)$$

სადაც  $E$  – დრეკადობის მოდულია;  $J$  – კვეთის ინერციის მომენტი;  $\varphi_0$  – სიხშირე, რად/წმ, ( $\varphi_0 = 2\pi \cdot \varphi$ );  $m_p$  – გრძივი მასა

$$m_p = G / (g \cdot H). \quad (4.37)$$

გრძივი დატვირთვა  $q$  ტოლია

$$q = \sum_{i=1}^n S_i / H. \quad (4.38)$$

ჩავსვათ რა (4.31) ფორმულაში ღუნვადი სიხისტის  $EI$  მნიშვნელობას (4.36) ფორმულიდან

$$EI = m_p (2\pi\varphi)^2 G^4 / \alpha_1^4, \quad (4.39)$$

მივიღებთ ფორმულას  $Y_{\max}$  გაღუნვისათვის, რომელიც დამოკიდებულია სიხშირეზე, გრძივ სეისმურ დატვირთვასა და გრძივ მასაზე.

$$Y_{\max} = 1,545 / [m_p (2\pi \cdot \varphi)^2] \quad (4.40)$$

როდესაც არ არსებობს წინაღობის მომენტის მონაცემები,  $W$  სიდიდე პროგრამაში განისაზღვრება ავტომატურად მართკუთხა ფორმის ლენტური ფუნდამენტის სქემის მიხედვით შემდეგი ფორმულით

$$W_x = 2J_x / A_c,$$

$$J_x = \frac{1}{2} B \cdot \delta \left[ \frac{1}{3} \delta^2 + (A_c - \delta)^2 \right] + \frac{1}{6} \delta (A_c - 2\delta)^3, \quad (4.41)$$

$$\delta = \frac{1}{4} \left[ A_c + B - \sqrt{(A_c + B)^2 - 4F} \right] \quad F = K_{ped} B A_c, \quad (4.42)$$

სადაც  $J_x, W_x$  – ინერციის მომენტი და კვეთის წინაღობის მომენტი  $X$  ღერძის მიმართ, რომელიც ორთოგონალურია სეისმური დატვირთვის მოქმედების მიმართულებისა;  $\delta$  –

სადირკვლის ლენტის ფართობი;  $F$  – კედლების (სვეტების) საყრდენი ფართობი შესაძლო დაზიანებების გათვალისწინებით.

შესაძლო დაზიანებები გამოწვეული წინა მიწისძვრებისაგან, სხვადასხვა არასრულყოფილებების არსებობა, აგრეთვე ცვეთის შედეგად გამოწვეული კაპიტალურობის შემცირება გათვალისწინებული იქნება საყრდენი კვეთის საანგარიშო ფართობის კოეფიციენტით შემცირებით, რომელიც ტოლია  $1 - Lg/100$ , სადაც  $Lg$  – სიმტკიცის შემცირების პროცენტია.

ცვეთის ხარისხი და დაზიანებათა არსებობა პროგრამის მიერ ფიქსირდება პარაგრაფ 4.1-ში მითითებული მეთოდით ექსპერიმენტულად გაზომილი სიხშირეების მიხედვით მიღებული მონაცემების საფუძველზე.

პროგრამა გამოითვლის მხები დაძაბულობების ექსტრემუმებს შენობის გრენისას ვერტიკალური ღერძის მიმართ, როგორც, კერძოდ,  $T$  სეისმური მგრები მომენტისა და წინაღობის  $W_t$  პოლარული მომენტის ფარდობა:

$$\tau = T/W_t \quad (4.43)$$

მგრები მომენტი ვერტიკალური ღერძის მიმართ, ძირითადად განისაზღვრება სეისმურ ტალღაში გრუნტის მოძრაობის ბრუნვითი კომპონენტებით. ეს კომპონენტები შეიძლება დადგინდეს ექსპერიმენტულად გრუნტის მოძრაობათა გრადიენტების ჩაწერით.

მგრები მომენტის სიდიდე დამოკიდებულია სეისმური ძალების ტოლქმედი ვექტორის წარმოებულზე მის მანძილზე ბრუნვის ცენტრამდე. პროგრამაში გამოყენებულია სეისმური მბრუნავი მომენტის გაანგარიშების მეთოდი, წარმოდგენილი ნ. ნიუმარკის მიერ.

$W_t$  მომენტის ავტომატურად განსაზღვრისას გამოიყენება მართკუთხა ლენტური სადირკვლის სქემა, მართკუთხედისათვის, ზომებით გეგმაში  $B \times A_c$  ( $B > A_c$ )  $W_t$  წინაღობის პოლარული მომენტი, ნაგებობის მობრუნების  $\psi$  კუთხე იანგარიშება ფორმულებით

$$W_t = \alpha B A_c^2 \quad (4.44)$$

$$\psi = TH / (G_t I_t) = TH / (G_t \beta B A_c^3), \quad (4.45)$$

სადაც  $C_t$  – ძვრის მოდული;  $\alpha$  და  $\beta$  – კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია  $B/A_c$  და მიიღებიან 4.1 ცხრილის მიხედვით.

მართკუთხა კვეთის ინერციისა და წინააღობის პოლარული  
მომენტების კოეფიციენტები

$B/A_c$	1	2	3	4	5	10	20	$\infty$
$\alpha$	0,21	0,25	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33
$\beta$	0,14	0,23	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33

საწყისი ინფორმაციის მოსამზადებლად აუცილებელია გავითვალისწინოთ შემდეგი:

- სეისმური დატვირთვის მოცემისათვის დაიშვება აჩქარების ნებისმიერი მნიშვნელობის შეყვანა. მაგრამ, რათა სეისმურობა შეესაბამებოდეს მიწისძვრის ოფიციალურ ბალურობას ИФЗ შკალის მიხედვით, უნდა შევიყვანოთ აჩქარებათა ზუსტი მნიშვნელობა 50, 100, 200 ან 400 სმ/წმ<sup>2</sup>, რაც შეესაბამება 6, 7, 8 ან 9 ბალიან მიწისძვრებს (ანალოგიური შკალებით: ГОСТ 6249-52, ОСТ ВКС 4637, აგრეთვე ევროპული მერკალი-კანკანი-ზიბერგი-ს, ამერიკული მოდიფიცირებული MM და ჩინური).
- აჩქარების ექსტრემუმის განსაზღვრა, რომელიც შეესაბამება შენობის ზღვრულ სეისმოძვლებს, გამოიყენება ნახევრად გაყოფის მეთოდი აუცილებელი სიზუსტით.
- $W$  პარამეტრი შეიძლება განისაზღვროს ნაგებობის კონსტრუქციული პარამეტრებით. კონსტრუქციის შესახებ დაწვრილებითი მონაცემების არარსებობისას წინააღობის საანგარიშო სიდიდე  $W$  პროგრამაში განისაზღვრება ნაგებობის სისშირული და გეომეტრიული მახასიათებლების მიხედვით. ამისათვის, ნაგებობის ზომების გარდა საჭიროა შემოვიტანოთ რელუქციული კოეფიციენტის მნიშვნელობა. ამ კოეფიციენტის მოცემის სისწორის ირიბ კონტროლს წარმოადგენს შესაბამისობა კომპიუტერის ეკრანზე გამოტანილი გამომწვევი წინააღობის მომენტისა და ნორმალური კვეთის სიხისტის სიდიდეებისა.
- კონსტრუქციის მონაცემების დადგენისათვის საჭიროა პუნქტი „კონსტრუქციის ტიპი“ შევავსოთ მთელი რიცხვით 1-დან 8-ს ჩათვლით, რაც შეესაბამება შენობებს ამგვარი მახასიათებლებით:
  1. კარკასული, დიდი ბლოკებით აშენებული შენობები, კომპლექსური კონსტრუქციის კედლებით, როცა  $n > 5$ .
  2. დიდი პანელებით აშენებული შენობები მონოლითური რკინაბეტონის კედლებით, როცა  $n < 6$ .
  3. იგივე, როცა  $n > 5$ .
  4. შენობები, ერთი ან რამდენიმე კარკასული დაბალი სართულებით და ზემოსართულები – წამყვანი კედლებით, დიაფრაგმებით ან გამოვსებული კარკასით, თუკი დაბლა სართულებზე გამოვსება არარსებობს ან უმნიშვნელოდ ზემოქმედებს მათ სიხისტეზე.

5. შენობები მზიდი კედლებით, ამოყვანილი აგურებით ან ქვის წყობით, რაც შესრულებულია ხელით, დამატებების გარეშე, რაც ზრდის მოჭიდებას.
6. კარკასული ერთსართულიანი შენობები სიმაღლით კოჭების ქვედა პირამდე ან წამწებაამდე არაუმეტეს 8 მ და სიფართოთ 18 მ-მდე.
7. სასოფლო-სამეურნეო შენობები ხიმინჯებზე-სვეტებზე, რომლებიც შენდება (იგება) III კატეგორიის გრუნტებზე.
8. შენობები და ნაგებობები, რომლებიც არ არის მითითებული 1...7 პუნქტებში.
  - რათა გავითვალისწინოთ შენობის დისიპატიური თვისებები (თავისებურებები), პუნქტი „დემფირების პარამეტრი“ უნდა შევაფასოთ რიცხვით: 2 – მცირე ზომის მაღალი ნაგებობებისათვის, როგორცაა კოშკები, ანძები, ცალკე მდგომი ლიფტის შახტები, საკვამურები (საკვამური მილები) და მისთ., ან 1 – სხვა შენობებისა და ნაგებობებისათვის.
  - ნაგებობის მდგომარეობა, რომელიც დგინდება მისი გამოკვლევით, ფიქსირდება პუნქტში „ცვეთა და დაზიანებათა არსებობა“. კაპიტალურობის დაკარგვის სიდიდის მოცემით %-ში.
  - ექსპერიმენტალურად მიღებული სიხშირის მნიშვნელობის შეყვანისას ნაგებობის ცვეთის პროცენტი განისაზღვრება ავტომატურად. ეს სიდიდე საჭიროა შევიყვანოთ გაანგარიშებაში და განვახორციელოთ პროგრამის მეორედ დაშვება. თუკი სიხშირის ექსპერიმენტალური მნიშვნელობა აღმოჩნდება საწყის საანგარიშო მნიშვნელობაზე მეტი, მიგვენიშნება, რომ დაშვებულია შეცდომა სიდიდეებში ან უზუსტობა სიხშირის საანგარიშო მნიშვნელობის დადგენაში. ალბათ, ამ შემთხვევაში ნაგებობა არ ხასიათდებოდა შესამჩნევი ცვეთით.
  - გრუნტის მახასიათებლები ფიქსირდება პუნქტით „სადირკვლის გრუნტის პირობები“ სამი ციფრებიდან 1,2 ან 3 ერთ-ერთის შეყვანით გრუნტების შესაბამისი კატეგორიებისათვის (დაწვრილებით იხილეთ ცხრილი 1, СНиП II-7-81):
  - ყველა სახის კლდოვანი გრუნტი არა გამოფიტული და სუსტად გამოფიტული; მსხვილნატეხოვანი გრუნტები, მკვრივი, ნაკლებად ტენიანი მაგმატური ქანებით.
  - კლდოვანი გრუნტები გამოფიტული და ძალიან გამოფიტული. ქვიშები გრაველური მსხვილი და საშუალო სიმსხვილის მკვრივი და საშუალოდ მკვრივი.
  - ფხვიერი ქვიშები, მიუხედავად ტენიანობისა და სიმსხვილისა, წყლით გაჟღენთილი ქვიშები, წვრილი, მტვროვანი მკვრივი, საშუალო სიმკვრივის ტენიანი და წყლით გაჟღენთილი ქვიშები; თიხა გრუნტები კონსისტენციის მაჩვენებლით  $i_L > 0,5$ ; თიხა-გრუნტები მაჩვენებლით  $i_L \leq 0,5$ , ფორონების კოეფიციენტით  $e \leq 0,9$  თიხებისათვის და თიხნარებისათვის

$e \geq 0,7$  ქვიშნარებისათვის. მოცემულ კატეგორიას ეკუთვნის გრუნტის პირობები და ტენიანობის შესახებ, როცა გრუნტის წყლების დონე 5 მეტრზე მაღალია.

მონიტორზე შედეგების გამოტანა (გამოყვანა) შეიძლება სხვადასხვა ვარიანტში. საჭირო ვარიანტის გამოსატანად ფანჯარაში გამოტანა საჭიროა შევიყვანოთ ერთ-ერთი ციფრი 1-დან 8-ის ჩათვლით. ამასთან, შესაბამისად გამოდის შემდეგი ინფორმაცია:

ანალიზის ძირითადი შედეგები: დინამიურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა და ნაგებობის ყველა სართულის მდგომარეობის შესახებ შეტყობინება. თუკი სიხშირე არ არის მოცემული (შეყვანილია როგორც ნული), მისი მათემატიკური ლოდინის მნიშვნელობა, და აგრეთვე დისპერსიის სიდიდე პროგრამაში გამოითვლება ავტომატურად, ეკრანზე გამოტანით. იმ შემთხვევაში, თუკი ნაგებობა უძლებს მოცემულ (შეყვანილ) სეისმურობას, გამოდის დეფორმაციის მნიშვნელობა (შენობის ზედა ნიშნულის გადახრა) და შეტყობინება სეისმური დატვირთვის დონის გადიდების (გაზრდის) შესაძლებლობის და გაანგარიშების განმეორების შესახებ. თუკი, ნაგებობა ვერ უძლებს მოცემულ (შეყვანილ) სეისმურ დატვირთვას, პროგრამა გვატყობინებს შენობის მდგომარეობას სართულების მიხედვით და გვაძლევს შესაძლო შედეგების სრულ შეფასებას.

პროგრამის მუშაობის შედეგად ეკრანზე გამოდის:

- ნორმალური კუმშვადი ფიბრული დინამიური დაძაბულობების ექსტრემალური მნიშვნელობები, ჯამში, კონტროლირებად სამშენებლო მასალაში კუთრი წონისაგან გამოწვეულ დაძაბულობებთან.
- სართულებრივი სეისმური დატვირთვები.
- გადახრის მომენტების ექსტრემუმების გადანაწილება სართულების ქვედა კვეთებში.
- განივი ძალების ექსტრემუმების გადანაწილება სართულების ქვედა კვეთებში.
- კუთრი რხევების ფორმები.
- კონტროლირებად სამშენებლო მასალაში ნორმალური გამჭიმავი დინამიური დაძაბულობების ექსტრემალური მნიშვნელობები, საკუთარი წონით საწყისი სტატისტიკური შეკუმშვის გათვალისწინებით.
- მასალაში მხები დინამიური დაძაბულობების ექსტრემალური მნიშვნელობები (ირიბი ბზარების მიხედვით) განივი სეისმური ძალებიდან გამომდინარე,
- მხები დაძაბულობები გამოწვეული სეისმური მგრეხი მომენტის მოქმედებით.
- წინაღობის (გამძლეობის) მომენტის ავტომატურად გამოთვლისას ეკრანზე გამოდის მისი მნიშვნელობა.

## თავი 5. კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასება და

### საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმი

#### 5.1. საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმები

ამა თუ იმ ობიექტის და მათ შორის სტრატეგიული დანიშნულების ობიექტების საიმედოობის შეფასებაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება მოსალოდნელი რისკის ფაქტორების შესწავლას ალბათობის თეორიაზე დაყრდნობით. განსაკუთრებით კი ყურადსაღებია კონსტრუქციებში საპასუხისმგებლო კვანძების დატვირთვისას (მხედველობაში გვაქვს როგორც სტატიკური, ასევე დინამიკური დატვირთვები) ზღვრული მდგომარეობის დადგენა. ამ შემთხვევაში საიმედოობის შეფასების კრიტერიუმად მიიღება მიზანმიმართული საპროექტო ალბათობის დადგენა ამა თუ იმ ნაგებობის ან კონსტრუქციის მუშაობის საიმედოობის შესახებ. დადგენილი სიდიდე, თავის მხრივ, ითვალისწინებს მოსალოდნელი ავარიის შედეგების სიმძიმეს. ეს უკანასკნელი კი დგინდება ანალოგიური სიტუაციების გაანალიზების შედეგად.

განვიხილოთ კონსტრუქციის საიმედოობის დაკარგვის ალბათობის კრიტერიუმის განსაზღვრა ავარიული დარტყმითი ზემოქმედებისას. ასეთი ალბათობის კრიტერიუმი შეიძლება მოცემული იქნეს შემდეგი პირობით  $P \leq P_u$ , სადაც  $P$  – არის კონსტრუქციის საიმედოობის დაკარგვის მთლიანი ალბათობა,  $P_u$  კი არის მიზანმიმართული საპროექტო არასაიმედოობის ალბათობა.

$P$  – სიდიდე განისაზღვრება შემდეგნაირად  $P = P_1 P_2 P_3$ , სადაც  $P_1$  არის ავარიული დარტყმითი დატვირთვის ალბათობა;  $P_2$  – არის მოცემული კონსტრუქციების დაზიანების ალბათობა;  $P_3$  – არის კონსტრუქციის ამა თუ იმ ხარისხის დაზიანების ალბათობა, რომელიც შეესაბამება ზღვრულ მდგომარეობას.

მთელი ექსპლუატაციის პერიოდში კონსტრუქციის დარტყმითი დატვირთვით დაზიანების ალბათობა შესაძლებელია გამოითვალოს პუანსონის კანონით

$$P_1 = 1 - \exp(-t_1 / t)$$

სადაც  $t_1$  – არის კონსტრუქციის საპროექტო ვარგისუნარიანობა,  $t$  – არის ზემოქმედების გამეორების პერიოდი.

$P_1$  – ალბათობა ითვალისწინებს კონსტრუქციის კონკრეტულ გადაწყვეტას და მოსალოდნელი შემოქმედების ხასიათს და შეირჩეს საექსპლოატაციო პირობების მიხედვით ამ სიდიდის განსაზღვრისათვის უმეტეს შემთხვევაში მიმართავენ სიმკვრივის თანაბარი განაწილების კანონს და გვაქვს

$$P_2 = A_{stri} / A_{str} ,$$

სადაც  $A_{stri}$  – არის იმ ზედაპირის ფართობი, რომელზეც უშუალოდაა მოსალოდნელი დარტყმითი შემოქმედება, ხოლო  $A_{str}$  – კი არის ზედაპირის მთლიანი ფართი  $P_3$  – ალბათობა, რომელიც შეესატყვისება ზღვრულ მდგომარეობას შესაძლოა მივიღოთ 1-ის ტოლად ანუ  $P_3 = 1$ , ეს იმ შემთხვევაში თუ აუცილებლად დადგება ზღვრული მდგომარეობა, ხოლო თუ გამოვრიცხავთ ზღვრულ მდგომარეობას, მაშინ  $P_3 = 0$ .

თუ კონსტრუქცია ექვემდებარება I-ზღვრულ მდგომარეობას, მაშინ კოჭებისა და ძელებისათვის

$$P_3^1 = 1(1 - p^\phi)(1 - p^\varrho); \quad (5.1)$$

კოლონისათვის

$$P_3^1 = 1(1 - p^\phi)(1 - p^\varrho)(1 - p^{Fst}); \quad (5.2)$$

განივად ჩადებული არმატურის არმქონე ფილებისა და გარსებისათვის

$$P_3^1 = 1 - (1 - p^\phi)(1 - p^{\phi_s}) \quad (5.3)$$

არმატურით აღჭურვილი ფილებისა და გარსებისათვის

$$P_3^1 = 1 - (1 - p^\phi)(1 - p^{\gamma_1}) \quad (5.4)$$

ფოლადის პერანგიანი ფილებისა და გარსებისათვის

$$P_3^1 = 1(1 - p^{\gamma_{u,d}}) \quad (5.5)$$

$p^\phi$  – კონსტრუქციაში წარმოქმნილი სახსრის გახსნის ზღვრული კუთხის ალბათობა,  $p^\varrho$  – განივი ზღვრული ძალის ალბათობა;  $p^{Fst}$  – ორ დახრილ ბზარს შორის შეკუმშული ბეტონის ზღვრული წინააღმდეგობის ალბათობა.

$p^{\phi_s}$  – ნამზადის გახვრეტის ალბათობა,  $p^{\gamma_1}$  – განივად ჩაწყობილი არმატურის ღეროების გარღვევის ალბათობა;  $p^{\gamma_{u,d}}$  – ზღვრულ დეფორმაციებზე გადაჭარბების ალბათობა ლითონის პერანგში.

განვიხილოთ პრაქტიკული მაგალითი.

საიმედოობის შეფასების განხილული კრიტერიუმების საფუძველზე კონკრეტულ მაგალითად განვიხილოთ მრავალსართულიანი სახლის ბოლო სართულის გადახურვის ფილაზე სამშენებლო ამწიდან ტვირთის ავარიული დაცემის ალბათობის გაანგარიშება. ასეთი სახის ავარია სამშენებლო ამწის 50-წლიანი ექსპლოატაციის მანძილზე შესაძლებელია მოხდეს ერთჯერ 15 წლის განმავლობაში, ამდენად გვაქვს  $P_1 = 0,0357$ . საწყისი მონაცემების შენობის ზომები გეგმაში  $18 \times 60$  მ; გადახურვის ფილების რაოდენობა  $1,5 \times 6$  მ – 120; ერთ-ერთ მათგანზე ტვირთის დაცემის ალბათობა გადახურვის მთელ ფართზე შეადგენს  $P_2 = 1/120 = 0,0083$  და დაცემის შედეგად ფილის რღვევა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$P_3^1 = 1 - (1 - p^p)(1 - 1) = 1$$

ამრიგად მივიღეთ, რომ პირობა არ სრულდება და ე.ი.

$$P = 0,0357 \cdot 0,0083 \cdot 1 \approx 3 \cdot 10^{-4}.$$

## 5.2. სამრეწველო შენობაში ავარიის რისკის შეფასება

მრავალწლიანი დაკვირვების საფუძველზე მოყვანილია კატასტროფის რისკის შეფასების მაგალითი:

დაუშვათ სამრეწველო შენობის ფუნქციონირებისას (დროის შუალედად აღებულია 20 წელი), მოხდა 4 მნიშვნელოვანი ავარია, ანუ ავარიათა საშუალო რიცხვი ტოლია

$$\lambda = 4/20 = 0,2 \text{ წელი}^{-1}.$$

მაშინ  $\tau = 2$  წლიანი პერიოდისათვის  $N = 2$  ავარია შეიძლება მოხდეს შემდეგი ალბათობით

$$Q[(2; 0,2 \cdot 2)] = 0,4 \exp(-0,4)/2! = 0,054,$$

ხოლო ერთი ავარია – ალბათობის  $Q(1; 0,4) = 0,227$ .

ობიექტის უავარიო ფუნქციონირების ალბათობა

$$Q(0; \lambda \tau) \text{ ორი წლის განმავლობაში ტოლია } Q(0; 0,4) = \exp(-0,4) = 0,67, \text{ ხოლო}$$

ერთი წლის განმავლობაში

$$Q(0; 0,2) = \exp(-0,2) = 0,82.$$

ანუ ავარიების რისკი ორწლიანი პერიოდისათვის შეადგენს  $1 - 0,67 = 0,33$ , ხოლო ერთი წლისათვის 0,18.

ასევე მრავალწლიანი დაკვირვების საფუძველზე ზემოთ ხსენებული სამრეწველო შენობის მაგალითზე, შეიძლება მოყვანილი იყოს კიდევ ერთი კონკრეტული მაგალითი. კერძოდ

კონვეიერის ერთ-ერთი აგრეგატი, რომელიც დაკავშირებულია აირ-საშემდუღებლო ფეთქებადსაშიშ რგოლთან.

აგრეგატის ცვეთის სიჩქარეა  $\lambda = 0,02 \frac{1}{\text{სთ}}$ . ელემენტარული დაზიანებების ზღვრული რიცხვი  $r=6$ . აგრეგატის ფუნქციონირების 3 საათი დღე-ღამეში. განსაზღვრული იყო ავარიათა რისკი ერთი კვირის განმავლობაში.

მითითებული ვადისათვის აგრეგატის მუშაობის დრო გამოითვლება

$$T = 7 \times 3 = 21 \text{ სთ.}$$

$$\lambda T = 0,42.$$

(3.9)-ის გამოყენებით რისკის სიდიდის შეფასება

$$\begin{aligned} \bar{R}(0,42) &= 1 - \exp(-0,42)(1 + 0,42 + 0,42^2)/2 + 0,42^3/6 + \\ &+ 0,42^4/24 + 0,42^5/120 = 5,33 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

### 5.3. აფეთქებისას ავარიის რისკის შეფასება

დიდი წნევით დატვირთული აირ-ავზების გამოყენება რეგლამენტირებული იყო ГОСТ 20448-80-ით.

დიდი წნევით დატვირთული აირ-ავზების ტრანსპორტირება და შენახვა შესაძლებელია სხვადასხვა მოცულობების 100...500 ლ ჭურჭლებით, 500 ლ მეტი მოცულობებისათვის მოყვანილია მონაცემები 5.1. ცხრილში. ცილინდრული გარსის დიამეტრი  $D$ , კედლის სისქე  $S$ , სრული სიგრძე  $H$ .

ქალაქებისა და მთელი რიგი რაიონების ბუნებრივი აირით მომარაგება ყოველთვის დარჩება აქტუალურ თემად და კვლევის საგნად.

მშრალი აირები, მოპოვებული დედამიწის ზედაპირული ფენებიდან, ძირითადად შედგება მეთანისა და მცირედი მძიმე ნახშირწყალბადისაგან (50 გ/მ<sup>3</sup>-მდე).

ცხრილი 5.1

მოცულობა, ლ	რეზინის მასა, კგ	აირის მასა, კგ	$D$ , მმ	$S$ , მმ	$H$ , მმ
5	4	2	222	2	284
12	6	5	222	2	370
27	14,5	11,4	299	3	575
50	22	21,2	299	3	960

80	31,5	34	299	3	1404
----	------	----	-----	---	------

მშრალი აირების სიმკვრივე  $0^{\circ}\text{C}$ -ზედა  $101,3$  კპა წნევისას მერყეობს  $0,6\cdots 0,8$  კგ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში. წვის სითბო (ქვედა ზღვარი)  $33\cdots 40$  მჯ/მ<sup>3</sup>.

ნავთობიდან მიღებული აირები შეიძლება იყოს ჰაერზე მძიმე. ნახშირწყალბადი ( $150$  გ/მ<sup>3</sup>-ზე მეტი), ხოლო ამ შემთხვევაში წვის სითბო აღწევს  $60$  მჯ/მ<sup>3</sup>.

მეტნაკლებად უფრო გავრცელებულ აირ-ჟანგბადოვან ნაერთებში, რომელიც შედის სტეჰიომეტრულ ჯგუფში, აირის მოცულობითი კონცენტრაცია იცვლება  $4\cdots 10\%$ -მდე, ხოლო წვის სითბოტევადობა იღებს მნიშვნელობებს  $3,4\cdots 4,3$  მპა/მ<sup>3</sup>, ხოლო  $1,3$  კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივეზე იცვლება  $2,6\cdots 3,3$  მპა/მ<sup>3</sup>, რაც მხოლოდ  $30\%$  ნაკლებია აფეთქების  $Q$  სითბოტევადობაზე (ტროტილისათვის  $Q = 4,24$  მჯ/კგ).

მეტნაკლებად უფრო გამოყენებად ენერგო მატარებლებად ითვლება აირბუტანიანი ნაერთები. ეს აიხსნება იმით, რომ პროპანი და ბუტანი ჩვეულებრივ მდგომარეობიდან ადვილად გადადის თხევად მდგომარეობაში მცირედი შეკუმშვისას.  $0^{\circ}\text{C}$ -სას პროპანი იკუმშება  $0,47$  მპა, ხოლო ბუტანი  $0,115$  მპა, ხოლო იზობუტანი  $0,16$  მპა-ისას.

ნორმების შესაბამისად, მთელი რიგი რაიონების მომარაგებისათვის გამოიყენება შეკუმშული ნახშირწყალბადიანი აირების რამდენიმე მარკა: 1) პროპანისა და ბუტანის ნაერთი ზამთრისათვის (პბნზ); 2) პროპანისა და ბუტანის ნაერთი ზაფხულისათვის (პბნზფ); 3) ტექნიკური ბუტანი (ტბ) (იხ. ცხრ. 5.2).

ნახშირწყალბადების მახასიათებლები, რომლებიც შედიან შეკუმშული გაზების შემადგენლობაში, ასევე მონაცემები იმ დამოკიდებულებების შესახებ, რომლებიც მყარდება შეკუმშული აირების წნევას, ტემპერატურას შორის, მოყვანილია (5.3) და (5.4) ცხრილებში.

სხვადასხვა მოცულობის დახურულ რეზერვუარებში აირი იმყოფება შეკუმშულ მდგომარეობაში, მისი წნევა დამოკიდებულია ძირითადად ტემპერატურაზე. სარკინიგზო ცისტერნებით პროპანის ტრანსპორტირებისას, მისი მუშა წნევა შეადგენს  $2$  მპა, ხოლო ბუტანისა  $0,8$  მპა. სწორედ ძალური დამოკიდებულება აირის პარამეტრებსა და ტემპერატურას შორის წარმოადგენს მთავარ საშიშვარდობებს აირწარმოების მეურნეობაში.

ცხრილი 5.2

მაჩვენებლები	კბნზ	კბნზფ	ტბ
პროპანისა და პროპილენის ჯამი: არანაკლებ %	75	ა.ნ.	ა.ნ.
ბუტანისა და ბუტილენის ჯამი: არანაკლებ %	ა.ნ.	—	60

არაუმეტეს %	ა.ნ.	60	–
მეთანის, ეთანის, ეთილენის ჯამი არანაკლებ %	4	6	6
თხევადი ნარჩენები (მოცულ.) არაუმეტეს	1	2	2
ჭარბი წნევა $P_{\text{ჭ}}$ მპა			
45°C არაუმეტეს	1,6	1,6	1,6
–45°C არანაკლებ	0,16		
გოგირდწყალბადების მასიური წილი + მერკაპტანური გოგირდისა არაუმეტეს %	0,015	0,015	0,015
მათ რიცხვში გოგირდწყალბადისა არაუმეტეს %	0,003	0,003	0,003
თავისუფალი წყალი და ნარეკები	–	–	–

მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტის (ნახშირწყალბადებისათვის) მაღალი სიდიდის მნიშვნელობასთან დაკავშირებით (ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა 15...16-ჯერ აღემატება წყლისას) ბალონებსა და რეზერვუარებს ტვირთავენ შეკუმშული აირით 0,8...0,9 მოცულობით, რადგან უზრუნველყოფილი იყოს ორთქლის ფაზათა სხვაობა, ანუ წნევის მნიშვნელობა არ მიუახლოვდეს საანგარიშო მნიშვნელობას.

ნახშირწყალბადიანი შეკუმშული აირების მიწოდებისათვის, რომლებიც შეიცავენ ბუტანის საკმაოდ რაოდენობას, ზონებში სადაც ტემპერატურა 0°C-ია, შეკუმშული შ-ბუტანის ჭარბი წნევა 0-ის ტოლია. წნევის ასაწევად იყენებენ აირჟანგბადოვან ნაერთს, რომლისთვისაც ბუტანის პარციალური წნევის უზრუნველყოფა ხდება კონდენსაციის გარეშე, გამოირიცხება ასევე აფეთქების საშიშროებაც.

### ცხრილი 5.3

მასსიათებლები	პროპან $C_3H_8$	შ-ბუტან $C_4H_{10}$	იზობუტანი იზო- $C_4H_{10}$	
მოლეკულური მასა, კგ	44,1	58,12	58,12	
მუდმივა აირებისათვის, ჯ/კგ·კ	184,92	140,3	140,3	
კრიტიკული პარამეტრები	ტემპერატურა, °C	96,84	152,0	134,98
	წნევა, მპა	4,21	3,75	3,6
	სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	226	225	–
პარამეტრები როცა 0°C	მოლეკულური მოცულ., მ <sup>3</sup> /კმოლ	22	21,5	21,74
	აირული ფაზის სიმკვრივე კგ/მ <sup>3</sup>	2,0037	2,703	2,668

და 101,3 კპა	თხევადი ფაზის სიმკვრივე კგ/მ <sup>3</sup>	528	601	582
შეკუმშული აირების დრეკადობა °C,		0,47	0,115	0,16
T <sub>ა</sub> ადულების ტემპერატურა 101,3 კპა-სას 0°C-ზე		-42,1	-0,5	-10,2
აორთქლების სითბო როცა T=T <sub>ა</sub> კჯ/კგ		427,1	385,6	366,4

სხვადასხვა ჰერმეტიკული რეზერვუარების თხევადი აირით შევსებისას კატასტროფის საშიშროება დამოკიდებულია ორთქლის ფაზის სიმკვრივის მნიშვნელოვანი გაზრდით, ასევე გადახურების შედეგად გაზრდილი წნევა იწვევს სითხის სიმკვრივის ცვალებადობას. პარამეტრების ზემოთ აღწერილი ცვალებადობა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს შემდეგ მაგალითზე. თუ პროპანი იმყოფება ჭურჭელში, როდესაც ტემპერატურა იღებს მნიშვნელობებს -20, -10, 0, 10, 25 და 35°C, მაშინ წნევა და სითხის პარამეტრები 5.4 ცხრილის თანახმად მიიღებენ მნიშვნელობებს რომელიც მოყვანილია 5.5 ცხრილში.

განვსაზღვროთ ორთქლის ფაზის კარგვის პირობები, როდესაც საწყის მომენტში შეკუმშულ აირიანი ჭურჭელი მთლიანად არ არის ავსებული.

ცხრილი 5.4

T°C	პროპანი				იზობუტანი				შ-ბუტანი		
	ρ <sub>აბს</sub> მპა	ρ კგ/მ <sup>3</sup>	ρ <sub>ა</sub> მპა	10 <sup>-3</sup> Q, ჯ/კგ	ρ <sub>აბს</sub> მპა	ρ <sub>თხ</sub> კგ/მ <sup>3</sup>	ρ <sub>ა</sub> კგ/მ <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup> Q, ჯ/კგ	ρ <sub>აბს</sub> მპა	ρ <sub>თხ</sub> კგ/მ <sup>3</sup>	ρ <sub>ა</sub> კგ/მ <sup>3</sup>
-60	0,04	606	1,11	441,7							
-55	0,05	598	1,36	435,4							
-50	0,06	593	1,81	427,1							
-45	0,09	587	2,07	425,0							
-40	0,11	581	2,61	419,5							
-35	0,14	575	3,25	416,5							
-30	0,17	565	3,87	410,3	0,054	619	1,49	386,0			
-25	0,20	559	4,62	404,0	0,060	610	1,65	380,2			
-20	0,24	553	5,48	399,9	0,073	606	1,96	375,2			
-15	0,29	548	6,40	396,1	0,090	600	2,50	371,0	0,051	615	1,602
-10	0,34	542	7,57	387,7	0,110	594	3,04	366,4	0,080	611	1,947
-5	0,41	535	9,05	383,1	0,133	588	3,59	359,7	0,096	605	2,100
0	0,47	528	10,37	379,8	0,160	582	4,31	355,5	0,115	600	2,820
5	0,55	521	11,90	371,4	0,192	576	5,07	349,2	0,138	596	3,350
10	0,63	514	13,60	364,3	0,225	570	5,92	345,0	0,164	591	3,940
15	0,73	507	25,51	355,5	0,253	565	6,95	339,1	0,197	583	4,650
20	0,83	499	17,74	345,4	0,306	560	7,94	334,5	0,230	678	5,390
25	0,95	490	20,15	339,1	0,355	553	9,21	327,0	0,269	573	6,180
39	1,07	483	22,80	329,1	0,410	546	11,50	322,8	0,314	568	7,190

35	1,21	474	25,30	320,2	0,471	540	13,00	316,1	0,360	560	8,170
40	1,37	464	28,60	311,5	0,639	534	14,70	310,3	0,408	556	9.334
45	1,53	451	34,50	301,5	0,606	527	16,80	301,5	0,477	549	10,57
50	1,70	446	36,80	284,7	0,695	520	18,94	296,4	0,536	542	12,10
55	1,89	437	40,22	270,1	0,781	513	20,56	285,1	0,608	536	12,38
60	2,10	434	44,60	262,1	0,869	505	24,20	275,1	0,690	532	15,40

ცხრილი 5.5

T°C	-20	-10	0	10	25	35
$P_{აბს} M_{ჰა}$	0,24	0,34	0,47	0,63	0,95	1.21
$P_{აბს} M_{ჰა}$	0,14	0,24	0,37	0,53	0,85	1.11
$\rho_{სითხე} \text{ კგ/მ}^3$	0,553	0,542	0,528	0,514	0,49	0,474
$\rho_{ორთქ.} \text{ კგ/მ}^3$	5,48	7,57	10,37	13,6	20,15	25,3

$K_0$  – თხევადი აირით პირველადი ავსებადობის კოეფიციენტი;

$V$  – მოცულობა;

$T^0$  – ტემპერატურა (მხედველობაში მიიღება თერმოდინამიური წონასწორობის მომენტი).

ამ ტემპერატურისას ფაზათა  $\rho_{სითხე}$  და  $\rho_{ორთქ.}$  სიმკვრივეები შეიძლება გამოითვალოს 5.5 ცხრილის საშუალებით.

აირის სრული მასა ტოლია

$$M = V[\rho_{სითხე} K_0 + \rho_{ორთქ.} (1 - K_0)],$$

ხოლო სრული კონდენსაციისას ( $V$  მოცულობის სრული ათვისებისას, მისი სიმკვრივე შეადგენს  $\rho_* = M/V$ , რასაც შეესაბამება  $P_*$  წნევა, 3.7 ცხრილის მიხედვით.

მაგ. პროპანისათვის, როცა  $K_0 = 0,9$ ;  $T^0 = 10^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{სითხ.} = 0,514 \cdot 10^3 \text{ კგ/მ}^3$ ;

$\rho_{ორთქ.} = 13,6 \text{ კგ/მ}^3$ ;

$$M = V \cdot [0,514 \cdot 10^3 \cdot 0,9 + 13,6(1 - 0,9)] = V \cdot 464 \text{ კგ},$$

ხოლო  $\rho_* = M/V \text{ კგ/მ}^3$ .

3.7 ცხრილიდან მიღებულ სიმკვრივის მნიშვნელობას შეესაბამება  $T_* = 40^\circ\text{C}$  და წნევა  $P_* = 1,37 \text{ მპა}$  (ჭარბი წნევა 1,27 მპა).

ტემპერატურის შემდგომი ზრდისა და თხევადი, ფაზის გაფართოებისას მოხდება წნევის მკვეთრი ზრდა, რეზერვუარის კედლებზე ძაბვის მნიშვნელობების საგრძნობი მომატება და უეცარი რღვევა თხევადი პროპანის ამოფრქვევით.

რადგან რეზერვუარში პარამეტრების პირველადი (საწყისი) მნიშვნელობები იცვლება ტემპერატურის ცვლილებისას, წნევის შესაძლო ზრდისა და ორთქლის ფაზის მნიშვნელობანი შემცირებით გამოწვეული საშიშროებები შეიძლება განხორციელდეს ანგარიშით.

მოცემულია  $V$  მოცულობის რეზერვუარი, რომელიც საწყისი მომენტისათვის შევსებულია თხევადი აირით, რომლის მასაა  $M$ , გარემოს ტემპერატურაა  $T_0$ .

სავარაუდოდ ორთქლის ფაზის ნაირსახეობის მიხედვით, აირის პარამეტრები  $P_*$ ,  $\rho_{\text{თხ}}$ ,  $\rho_{\text{ორთ.}}$  გამოითვლება 5.4 ცხრილიდან.

მასის ბალანსის ფორმულიდან

$$M = \rho_{\text{სითხე}} V_{\text{ორთ.}} + \rho_{\text{ორთ.}} (V - V_{\text{სითხე}})$$

გამოითვლება  $V_{\text{სითხე}}$ ,  $V_{\text{ორთქ.}}$  მოცულობები:

$$\rho_{\text{სითხე}} = (M - \rho_{\text{ორთ.}} V) / (\rho_{\text{სითხე}} - \rho_{\text{ორთქ.}}), \quad V_{\text{ორთქ.}} = V - V_{\text{სითხე}}.$$

ეს ვარაუდი მართებულია, თუ აღმოჩნდება, რომ  $V_{\text{სითხე}} < V$ , ანუ  $V_{\text{ორთქ.}} > 0$ .

ამ შემთხვევისათვის  $M_{\text{სითხე}}$  და  $M_{\text{ორთქ.}}$  მასები

$$M_{\text{სითხე}} = \rho_{\text{სითხე}} \cdot V_{\text{სითხე}}; \quad M_{\text{ორთქ.}} = \rho_{\text{ორთქ.}} \cdot V_{\text{ორთქ.}}$$

მაგალითისათვის, 50 ლიტრიან ( $V = 0,05 \text{ მ}^3$ ) რეზერვუარში ჩატვირთულია  $M = 40 \text{ კგ}$  პროპანი, გარემო ჰაერის ტემპერატურა  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ , 3.7 ცხრილის მიხედვით  $P_* = 0,95 \text{ მპა}$ ,

$$\rho_{\text{სითხე}} = 490 \text{ კგ/მ}^3, \quad \rho_{\text{ორთქ.}} = 20,15 \text{ კგ/მ}^3, \text{ ხოლო მოცულობა}$$

$$V_{\text{სითხე}} = (30 - 20,15 \cdot 0,05) / (490 - 20,15) = 0,0617 > V = 0,05 \text{ მ}^3.$$

ანუ ვარაუდი ორთქლოვანი ბალიშის შესახებ არ მართლდება, რეალური წნევა გაცილებით მეტია გაჯერებულ ორთქლის  $P_*$  წნევაზე.

ზღვრული ჩატვირთვის შემთხვევაში, როცა ორთქლის ფაზა გაქრება, ამ პროცესს შეესაბამება შეკუმშული პროპანის მასა

$$M = \rho_{\text{პ}} \cdot V = 490 \cdot 0,05 = 24,5 \text{ კგ.}$$

სადაც  $\rho_{\text{სითხე}}$  – თხევადი ენერგომატარებლის სიმკვრივე თერმოდინამიკური წონასწორობის დროს ბოლო მარტივი დამოკიდებულების გამოყენება შეიძლება რეზერვუარებში ჩატვირთული შეკუმშული აირის დასაშვები მასის სწრაფი შეფასებისათვის.

განხილვისათვის, 80%-იანი ბუტანის შემთხვევაში პროპანბუტანის ნაერთის კონდენსაცია ხდება 0,1043 მპა წნევის ქვეშ,  $-4^\circ\text{C}$  ტემპერატურისას.

მაგალითისათვის შეიძლება ანალიზი ჩატარდეს ქ. თბილისში, 2006 წლის აგვისტოში ერთ-ერთ ქუჩაზე მომხდარ ავარიულ აფეთქებას, რომლის დროსაც მოხდა 50 ლ აირის ჭურჭლიდან ჩატვირთული აირის ავარიული ამოფრქვევა.

აფეთქება მოხდა ავტოშემკეთებელ საამქროში. ვიზუალური გამოკვლევის შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ სიტუაცია შეესაბამება „კონსტრუქციის ძლიერ დაზიანებას“. სავარაუდო იყო, რომ აფეთქება მოხდა  $V = 50$  ლიტრიანი რეზერვუარის რღვევის შედეგად, რომელშიც მოთავსებული იყო პროპან-ბუტანის შეკუმშული ნაერთი.

პარამეტრების ანგარიში შეიძლება ჩატარდეს რეზერვუარის რღვევისა და საწვავის ამოტყორცნის საფუძველზე.

სავარაუდო იყო, რომ თხევადი აირის ამოტყორცნის შედეგად, სათავსოში სადაც ის იყო განთავსებული, წარმოიქმნა აირფანგბადოვანი ღრუბელი (სტექიომეტრული ნაერთი სიმკვრივით  $\rho_{სტექ.} = 1,315$  კგ/მ<sup>3</sup>, სრული მასა

$$M_{სტექ.} = \rho_{სტექ.} \cdot K, \quad V = 1,315 \cdot 0,8 \cdot 19 \cdot 2 = 202,0 \quad \text{კგ.}$$

ჰაერის საწყისი მასა, როცა მისი სიმკვრივე  $\rho = 1,225$  კგ/მ<sup>3</sup> ტოლია  $M_{ჰ} = 188,2$  კგ. ამოფრქვევის მასა შეადგენს

$$M = 202,0 - 188,2 = 13,8 \quad \text{კგ.}$$

აფეთქების წინ ბალონში აირი იმყოფებოდა წნევის ქვეშ, დამოკიდებული ტემპერატურაზე. სავარაუდოა რომ. რეზერვუარის რღვევა მოხდა წნევის დამწვევი მცველი სარქველის მწყობრიდან გამოსვლის გამო, ხოლო გადახურება გარე სითბური წყაროსაგან.

თუ გარემოს ტემპერატურაა  $T$ , ჭარბი წნევა  $\Delta P$ , ხოლო აირის ფაზების  $\rho_{სითხე}$  და  $\rho_{ორთქლ.}$  სიმკვრივეებია. ზაფხულის შემთხვევაში მიიღება შემდეგი მნიშვნელობები, რომლებიც მოცემულია ცხრილ 5.6-ში.

საშიში სიტუაცია მყარდება, როდესაც ხდება გადახურება, რის შედეგადაც ხდება თხევადი ფაზის გაფართოება, ხოლო აირის ფაზა საერთოდ ქრება. ეს შეიძლება მოხდეს რეზერვუარის 100%-იანი გადავსების შედეგად, ანუ  $\rho_{სითხე} = M/V_{რეზ.} = 13,8/0,05 = 276,48$  კგ/მ<sup>3</sup>, რაც არარეალურია.

ცხრილი 5.6

T°C	10	25	35	45	55
$\Delta P$ მპა	0,53	0,85	1,11	1,43	1.79
$\rho_{სითხე}$ კგ/მ <sup>3</sup>	514	490	474	451	437

$\rho_{\text{ორთქ. კგ/მ}^3}$	13,6	20,15	25,3	34,5	40,22
------------------------------	------	-------	------	------	-------

45°C ტემპერატურისას სიმკვრივე  $\rho_{\text{სითხე}} = 451$  კგ/მ<sup>3</sup>, რომელიც შეესაბამება  $M_* = 451 \cdot 0,05 = 22,55$  კგ. ეს სიდიდე თითქმის ზუსტად შეესაბამება სახელმწიფო სტანდარტებით მიღებულ ნორმებს. რეზერვუარის ავსების ნორმა შეადგენს 0,425 კგ/ლ, ანუ 50 ლიტრიანი რეზერვუარისათვის

$$M_{**} = 0,425 \cdot 50 = 21,2 \text{ კგ} \approx M_*$$

რადგან  $M_* > M$ , ანუ ნაერთის კონცენტრაცია იწვევს საწვავის თანაბარი გადანაწილების პირობებში აღმატება სტექიომეტრულ მნიშვნელობას.

აფეთქების ალბათობა ძალიან მაღალია, რადგან კონცენტრაციის ქვედა ზღვარი და სტექიომეტრული ნაერთის შემადგენლობა მიიღწევა აორთქლებისა და აირჰერის დიფუზიის ადრეულ სტადიაში (ეტაპზე).

ანალიზიდან ჩანს, რომ აფეთქების მომენტში საკონტაქტო აირის რაოდენობა არ იყო ნაკლები სტექიომეტრულ ნაერთზე, ამასთან ერთად აფეთქების მთავარი გამომწვევი მიზეზი იყო რეზერვუარის 45°C-მდე გადახურება.

მიღებული შედეგიდან ჩანს, რომ შესაბამისად გათხევადებული აირით რეზერვუარების ავსება წარმოადგენს საშიშრობას, თუ მოსალოდნელია ტემპერატურის გაზრდა 45°C-მდე. მითითებულ ტემპერატურაზე ნაჯერი ორთქლის (პროპანისათვის) წნევა 1,43 მპა ნაკლებია საანგარიშო 1,6 მპა წნევაზე, მაგრამ ტემპერატურის უმნიშვნელო ზრდის შემთხვევაში სითხის გაფართოების შედეგად ორთქლის ფაზის გაქრობისას წნევა შეიძლება მყისიერად გაიზარდოს, რაც წარმოადგენს რღვევის მიზეზს.

ავარიული აფეთქების შედეგების ანალიზი ჩატარებულია სტექიომეტრიული შემადგენლობის აირჰერიანი ნაერთის აალების პირობის საფუძველზე, ანუ ამოფრქვევის მასისათვის  $M = 13,8$  კგ. მიღებულია ჭარბი წნევის მაქსიმალური  $\Delta P_{\text{მაქს.}} = 56$  კპა, რომლის დროსაც წნევის ზრდის სიჩქარეა 1,63 მპა/წმ-ში, ხოლო დროის შუალედად აიღება ნაზრდი მაქსიმუმამდე, რომელიც ტოლია 69 მწმ.

პარამეტრების მითითებული მნიშვნელობების დროს ადგილი აქვს ძლიერ დაზიანებებს, როგორც რკინაბეტონის, ასევე ლითონის კარკასის რღვევას, პანელების ჩამონგრევას, რასაც ადგილი ჰქონდა ზემოთ მოყვანილი კატასტროფის დროს.

## 5.4. ქალაქების დაყოფა ზონებად, რისკის ხარისხის მიხედვით

ტექნოლოგიურ სისტემებში საიმედოობის გაზრდის მიმართულებით მიღებული ზომების მიუხედავად, სტატისტიკური მონაცემები მეტყველებს იმაზე, რომ სხვადასხვა ობიექტზე კატასტროფათა რიცხვი იზრდება.

ავარიის რისკის კოეფიციენტის შემცირების მიზნით უფრო ეფექტური მეთოდის ან საშუალების ასარჩევად საჭიროა ქალაქის ნებისმიერ ადგილზე საწარმოთა სხვადასხვა ვარიანტების არსებობისას საჭიროა საშიშროების მაქსიმალური შესწავლა და ანალიზი. ერთ-ერთი სასურველი ფორმაა ქალაქის ტერიტორიის ზონებად დაყოფა. ამ მიზნით ქალაქის რუკაზე იზოხაზებით გამოიყოფა ზონები, ავარიის რისკის სხვადასხვა საშიშროებით.

მთელ რიგ ქვეყნებში ქალაქის ზონებად დაყოფა ემსახურება, როგორც ხალხის სიცოცხლის დაცვას, ასევე ქალაქის მიზანმიმართული დაგეგმარების კატასტროფათა რისკის ხარისხის შესამცირებლად.

მაგალითად, ჰოლანდიაში ინდივიდუალური (კატასტროფის ალბათობა) რისკის დონე კანონით არის განსაზღვრული: I. უმცირესი ( $10^{-8}$ ) დონე და II. მაქსიმალურად მისაღები ( $10^{-6}$ ).

I დონის შემთხვევაში არ არის საჭირო რაიმე ღონისძიებების ჩატარება საშიშროების რისკის ხარისხის შესამცირებლად.

II დონის შემთხვევაში არ შეიძლება არანაირი თანხების დაზოგვა, იმისათვის რომ არ მოხდეს ამ დონის გადაჭარბება.

ამ ორ დონეს შორის წარმოდგენილი მნიშვნელობათა არე საშუალებას იძლევა შემცირდეს რისკის ხარისხის დონე, იმ კომპრომისის საფუძველზე, რომელიც არის დაშვება სოციალურ მოგებასა და ფინანსურ შესაძლებლობებს შორის.

როდესაც რისკი აღემატება I დონეს, წარმოიშვება აუცილებლობა საშიშროების შემცირებისა, რაც შეიძლება განხორციელდეს რამდენიმე მეთოდით:

- ქიმიურად საშიშ ობიექტში, რომელიც მდებარეობს საშიშ ზონასთან ახლოს ამაღლდეს ტექნოლოგიური დანადგარების საიმედოობა;
- სასურველია ასეთი ობიექტის ქალაქის ფარგლებს გარეთ გადატანა;
- ობიექტში შეიკვალოს ტექნოლოგიური ციკლი, საშიშროების რისკის ხარისხის შესამცირებლად;
- ამაღლდეს მოსახლეობის დაცვის დონე და აიკრძალოს საშიშ ზონაში შენობებისა და ნაგებობების მშენებლობა.

კატასტროფების რისკის ხარისხის შესამცირებლად უფრო მისაღები მეთოდის საბოლოო შერჩევას, უნდა მოხდეს დანახარჯების სრული ანალიზი, ზემოთ განხილული თითოეული ვარიანტისათვის. დანახარჯების სრული ანალიზისათვის, ყველაზე მისაღებ ფორმას წარმოადგენს ქალაქების ზონებად დაყოფა, საშიშროების რისკის ხარისხის მიხედვით.

## ძირითადი დასკვნები

1. შემუშავებულია კონსტრუქციების და მათი ცალკეული ელემენტების რღვევის, ავარიის რისკის თვისობრივი და რაოდენობრივი ფაქტორების განსაზღვრის მეთოდика, ჩამოყალიბებულია საგანგებო სიტუაციების და ზარალის სახეები.
2. შესწავლილია სხვადასხვა კონსტრუქციების ქცევა დარტყმისას და გაკეთებულია მათი ზღვრული მდგომარეობის ნორმირება.
3. დამუშავებულია საანგარიშო მოდელები ნაგებობების სტრუქტურული მთლიანობის მონიტორინგის მობილური კომპლექსური საიმედობის თეორიაზე დაყრდნობით.
4. დადგენილია შენობის ცვეთის მაჩვენებელი და სიხშირული მახასიათებელი, გაკეთებულია შენობის საკუთარი რხევის სიხშირის ანგარიში, დადგენილია რთული კონსტრუქციების კვეთის პარამეტრები.
5. დამუშავებულია კონსტრუქციების ავარიის რისკის შეფასების მეთოდები და დაყოფილია დასახლებული პუნქტები რისკის ხარისხის მიხედვით.
6. საიმედობის შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია მიზანმიმართული საპროექტო ალბათობის დადგენა ამა თუ იმ ნაგებობის ან კონსტრუქციის მუშაობის საიმედობის შესახებ. იგი ითვალისწინებს თავის მხრივ, მოსალოდნელი ავარიის შედეგების სიმძიმეს, რაც დგინდება ანალოგიური სიტუაციების გაანალიზების შედეგად.

## ლიტერატურა

1. კ. ბაბილოძე, პ. ქონიაშვილი, მ. წაქაძე, ი. ღარიბაშვილი. მეთოდური მიდგომები შენობა-ნაგებობების ავარიების ანალიზისა და რისკის მართვისათვის. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 2. 2006, 82-87 გვ.
2. კ. ბაბილოძე, მ. კუბლაშვილი, მ. წიქარიშვილი, თ. მალრაძე. კონსტრუქციების ბზარმდეგობის ხარისხის განსაზღვრა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 2. 2006, 68-73 გვ.
3. კ. ბაბილოძე. საგანგებო სიტუაციებში კონსტრუქციაზე მოქმედი და დატვირთვის დაზუსტება და მათი ანგარიში. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 2. 2006, 29-32 გვ.
4. კ. ბაბილოძე, გ. მეტრეველი, ლ. მოღებაძე. დაცვის აქტიური სისტემებით აღჭურვილი შენობების საკვანძო ელემენტების ანგარიშის მეთოდები და რეკომენდაციები მათი პროექტირებისას. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 2. 2006, 57-60 გვ.
5. კ. ბაბილოძე და სხვ. პოტენციურად საშიში ობიექტების მოსალოდნელი ავარიების განვითარების შეფასება და რისკის დონის შერჩევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, 2006.
6. კ. ბაბილოძე. ცვეთის მაჩვენებელი და შენობათა ემპირიულ სინშირული მახასიათებლები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, № 2. 2007.
7. ბაბილოძე კ. ლალუნდარიძე გ. მალრაძე თ, წიქარიშვილი მ. „საგანგებო სიტუაციებში შენობა-ნაგებობებზე დატვირთვის ზადუსტება და ემპირიულ-სინშირული მახასიათებლები“. საერთაშორისო კონფერენციის „მექანიკის არაკლასიკური ამოცანები“ შრომები ტ.1 25-27 10.2007 ქუთაისი, საქართველო გვ. 164-170;
8. გ. კობიძე, მ. ყურაშვილი. ნაგებობათა სესმომდეგობა. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 1996;
9. კ. ზავრიევი, გ. ქარცივაძე და სხვ. სეისმომდეგო ნაგებობის საფუძვლები. თბილისი, განათლება, 1979.
10. გ. ქარცივაძე. სეისმომდეგეი მშენებლობა. 1979.
11. Бабилодзе К.Т. О необходимости уточнения сейсмических нагрузок на сложные конструкции. Международный научный журнал. «Проблемы механики» № 3(24), Тбилиси, 2006, с. 77-80.

12. Бабилодзе К.Т., Цикаришвили М.А. Новый подход к оценке конструкций на прочность. Международный научный журнал. «Проблемы механики» № 4(25), Тбилиси, 2006, с. 95-97.
13. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М., Машгиз, 1963, 232 с.
14. Гарофало Франк. Законы ползучести и длительной прочности металлов. Пер. с англ. В.М. Родегберга. М., Metallurgia, 1968, 304 с.
15. Гордеева Т.Ф., Жеглика И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. М.: Машиностроение, 1978, 200 с.
16. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. М., Metallurgia, 1978, 568 с.
17. Гордеева Т.А. Фрактография. В кн. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. Т. 1. Физические методы исследования металлов (справочное пособие). М.: Машиностроение, 1971, С.202-231.
18. Дейвис Р.Г. Волны напряжения в твердых телах. М.: Ил. 1961. С. 66-97.
19. Дефектоскопия детали при эксплуатации авиационной техники. П.И. Беда, Ю.А. Гладков, С.П. Лунько и др., М.: Воениздат, 1978, 228 с.
20. Дорофеев А.П., Казаманов Ю.Г. Электромагнитная дефектоскопия, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1980, 233 с.
21. Дроздовский Б.А., Фридман Я.Б. Влияние трещин и механические свойства конструкционных сталей. М.: Metallurgia, 1960, 260 с.
22. Екименков Л.И. К исследованию закономерностей процесса усталостного разрушения алюминиевых сплавов в связи с частотой нагружения. – Закодская лаборатория. 1970, т. 36, № 10, С. 1261-1262.
23. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. Пер. с англ. под ред. В.С. Ивановой. М., Metallurgia, 1971, 263 с.
24. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981, 240 с.
25. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. М., Metallurgia, 1975, 456 с.
26. Испытательная техника: Справочник / Под ред. Ключева В.В. Кн. 1 – М.: Машиностроение, 1982, С. 241-281.
27. Испытательная техника: Справочник / Под ред. Ключева В.В. Кн. 2 – М.: Машиностроение, 1982, С. 117-123.

28. Kollins J.A. Failure of Materials in Mechanical Design. Analysis. Prediction. Prevention. В-У, John Wiley & Sons. 1981. Перев. с англ. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ. Предсказание. Предотвращение. М., Мир, 2984.
29. Котляровский В.А. Анализ импульсно нагруженных балок с учетом запаздывания динамической текучести. Строительная механика и расчет сооружений, 1980, № 2, с. 59-62.
30. Котляровский В.А. Статистическое моделирование сейсмических воздействий на сооружения. Строительная механика и расчет сооружений, 1988, № 3, с. 44-48.
31. Котляровский В.А. Удар по пластинке, находящейся на поверхности жидкости. Изд. АН СССР, МЖГ, 1978, № 3, с. 143-145.
32. Котляровский В.А. Влияние скоростных эффектов на поведение импульсивно нагруженных конструкций. Бетон и железобетон, 1978, № 10, с. 31-34.
33. Котляровский В.А. Динамический расчет балки за пределом упругости с учетом эффектов скоростного деформирования. Строительная механика и расчет сооружений, 1979, № 6, с. 58-55.
34. Котляровский В.А. Волны деформации в упругопластическом стержне при продольном ударе. Проблемы прочности, 1981, № 1, с.12-18.
35. Котляровский В.А. Пакет программ для динамического расчета металлоконструкций. Строительство и архитектура. Серия 3. Проектирование металлических конструкций. Научн.-техн. реф. сб., 1981, вып. 4, с.3-7.
36. Котляровский В.А. Методика расчета глубоководных платформ на сейсмические воздействия на основе непосредственно используемых инструментальных записей колебаний грунта и моделирования взаимодействия сооружения с основанием. Отчет ЦНИИПроектсталь-конструкция Госстроя СССР. Вып. ОСК-76. М., 1987.
37. Котляровский В.А. Вычислительный комплекс ШЕЛЬФ-4. Исходная информация. Составная часть подсистемы автоматизированного проектирования опорных частей глубоководных платформ для добычи нефти и газа на континентальном шельфе незамерзающих морей – САПР ШЕЛЬФ. ЦНИИПроектстальконструкция Госстроя СССР. М., 1988.
38. Котляровский В.А. и др. Расчет железобетонных конструкций за пределом упругости на действие ударной волны на ЭЦВМ. Научно-техническая информация. Вып. 1. ЦНИИИ им. Д.М. Карбышева, 1965.

39. Котляровский В.А., Костин А.А. Динамика упругопластических конструкций, взаимодействующих со средами. Тезисы докладов 10 семинара «Актуальные проблемы прочности», 23-26 апреля 1985 г. Изд. Тартусского гос. университета, 1985.
40. Котляровский В.А., Морозов В.И., Петров А.А. Расчет конструкций на динамические воздействия. В кн. Металлические конструкции. Справочник проектировщика, том. 1. М., изд-во Ассоциации строительных вузов «АСВ», 1998, с.2470302.
41. Котляровский В.А., Райнин И.М. Расчет стальных каркасов зданий и сооружений на действие взрывных, ударных и сейсмических нагрузок. Строительная механика и расчет сооружений, 1990, № 5, с. 52-56.
42. Котляровский В.А., Румянцева Р.А. Деформация упругопластической системы в грунте со свободной поверхностью, нагруженной импульсом давления. ФГВ, 1980, № 6, с. 79-85.
43. Котляровский В.А., Румянцева Р.А. Динамика деформируемой системы в упругосвязном слое при импульсном нагружении. ФГВ, 1978, № 1. с. 128-133.
44. Котляровский В.А. Румянцева Р.А., Шишикин А.И. Волны напряжений в грунтах при наличии кавитационных эффектов. ФГВ, 1977, № 2. с. 129-138.
45. Махутов Н.А. и др. Современное состояние проблем безопасности в промышленно развитых странах. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 1994, № 4, с.2-36.
46. Микишев Г.Н., Рабинович Б.И. Динамика тонкостенных конструкций с отсеками, содержащими жидкость. М., Машиностроение, 1971.
47. Методы разрушающих испытаний / Под ред. Шарпа Р.Н. М.: Мир, 1972, С.176-202, 251-255.
48. Надай А. Пластичность и разрушение твердых тел. Пер. с англ. под. ред. Г.С. Шапиро. М., Изд. Иностран. Лит., 1954. 647 с.
49. Неразрушающий контроль металлов и изделия. Справочник под ред. Г.С. Самойловича. М.: Машиностроение, 1975, 456 с
50. Новые методы оценки сопротивления материалов хрупкому разрушению. Пер. с англ. под пед. Ю.И. Работнова. М., Мир, 1972, 439 с.
51. Нетлетон М. Детонация в газах. М., Мир. 1989.
52. Никифоровский В.С., Шемякин Е.И. Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск, Наука, 1979.
53. Никиреев В.М., Шадурский В.Л. Практические методы расчета оболочек. М., Стройиздат, 1966.

54. Николаенко Н.А. Динамика и сейсмостойкость конструкций, несущий резервуары. М., Госстройиздат, 1963.
55. Персион А.А., Седых Ю.И., Маркман Ю.Н. Справочник монтажника специальных сооружений. Киев, Будивельник, 1976.
56. Потак Я.М. Хрупкие разрушения стали и стальных деталей. М., Оборонгиз, 1955, 389 с.
57. Разрушение. Т. 1. Микроскопические макроскопические основы механики разрушения. Пер. с англ. под ред. А.Ю. Ишлинского. М., «Мир», 1972, 418с.
58. Реквава П. А. Надтожность крупнопанельных зданий. Вероятностные оценки сейсмических нагрузок на сооружения. М. : Наука, 1987. С 29-33
59. Реквава П. А. Напряженно-деформированное состояние сейсмостойкого крупнопанельного здания, вызванное преднапряжением вертикальной и горизонтальной арматуры. ИЛ Строительство и архитектура, Груз НИИНТИ ГКНТГССР. 1985. №4. С. 1-6;
60. Реквава П. А. Оценка сейсмической реакции крупнопанельных зданий с учетом податливости основания. Труды II Национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Сочи, я 1997. С. 41.
61. Станюкович А.В., Никитин В.И. Оценка сопротивления усталости сталей в упругопластической области при высокой температуре. В кн.: Вопросы механической усталости. Под ред. С.В. Серенсена. М.: Машиностроение, 1964, с. 220-225.
62. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М., Стройиздат, 1984.
63. Управление риском в социально-экономических системах, концепция и методы ее реализации. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 1966, № 2, с. 18-60.
64. Фейгин М.И. Некоторые задачи динамики систем с ударными взаимодействиями. М.: Машиностроение, 1969, с. 389-398.
65. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения, том. 1, М., Мир, 1967.
66. Фролов К.В., Махутов Н.А., Грацианский Е.В. Основы научно-технической политики в области безопасности. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 1994, № 1, с.9-15.
67. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. М., Мир, 1973.
68. Peterson R.E. Stress concentration factors. John Wiley and Sons, New York-London-Sydney-Toronto. 1974. Перев. с англ. Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений. М., Мир, 1977.
69. Structural design for dynamic loads. N.-Y., Toronto, London, 1961.

70. Tsunedji Rikitake. Earthquake prediction. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, 1976, Перев. с англ. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений М., Мир, 1979.
71. Concrete structures under impact and impulsive loading. Synthesis Report. Bulletin d-information, 1988, N 187, СЕВ.
72. Housner G.W. Dynamic pressures on accelerated fluid containers. Bull. Seism. Soc. Amer., 1957. vol. 47, No.1, p. 15...35. The dynamic behavior of water tanks. Bull. Seism. Soc. Amer., 1963. vol. 53, p. 381-387.
73. Хантли Г. Анализ размерностей. М., Мир, 1970.
74. Bridgman P.W. Dimensional analysis. Yale University Press. Перев. с англ. Бриджмен П.В. Анализ размерностей. М., ОНТИ-ГЕТТИ, 1934.
75. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М., Недра, 1981.
76. Kotlyarevsky V.A. Computer-aides Analysis of Structural Dynamics with Regard for Physical and Geometrical Nonlinearity, Local Fractures and Interaction with Seismic Waves in Soil. Proc. Ninth conference on earthquake engineering. Abstract No.: 6482. Tokyo-kyoto. Japan. Augusr 2-9, 1988.
77. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М., Мир, 1977.
78. McConaghy W., Deese R. Duke Looks to Employ NUNOMS Concrete Modules at Ocone. Nuclear Engineering International, 1988, v. 33, № 403, p. 44-46. Перев. с англ. Макконаги У., Диз. Горизонтальный бетонный модуль для сухого хранения отработавшего топлива. Атомная техника за рубежом, 1988, № 11.
79. Frank J. Rahn, Achelles G. Adamantiades, John E. Kenton, Chaim Braun. A Guide to Nuclear Power Technology. John Wiley and Sons. New York, 1984. Перев. с англ. Справочник по ядерной энерготехнологии. / Под ред. В.А. Легасова. М., Атомэнергоиздат, 1989.
80. Software for Computers in the Safety Systems of Nuclear Power Stations. IEC Publ. 880, 1986.

## მადლიერება

მადლობას ვუხდით მეცნიერ-ხელმძღვანელებს ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს პაატა რეკვაავას და ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატს ნოდარ ახვლედიანს დიდი შრომისა და ღვაწლისათვის, რომელიც მათ გაწიეს ჩემს მიმართ, აგრეთვე მადლობას ვუხდით ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს პროფესორ რევაზ ცხვედაძეს და ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს პროფესორ მალხაზ წიქარიშვილს გაწეული დახმარებისა და კონსულტაციებისათვის.