

D457



საქართველოს ენოკვატიკონსა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობ-
გათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი

პისივის ბირთვადი ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველ-
ებისა და კრეფინიკების კრეფინიკური ამოცანები

05.03.04 - ჰიდროელექტროსადგურები,
ჰიდროენერგეტიკული და-
ნადგარები, ჰიდროგლიკა და
საინჟინრო ჰიდროლოგია

დავით ცოტნოს გი მირცხუაშვილი

სადისერტაციო ნაშრომი

ტიქნიკურ მეცნიერებათა დოქტორის
სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად

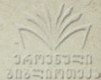


შისაძვარი.....

1. პილაროტიქნიკური ნაგებობათა საბეჭდო ნაშრომების შეფასების აბრევიატივი.....
- 1.1. კაპიტალის ტექნიკური მდგომარეობაზე ნაჭურჭლი გა-
მყოფდებების ხანგრძლივების დადგენა
- 1.2. ამოცანის ამოხსნა "გაზომვის" ფიქსაციის თვითა-
ღური სისწორის დანიშვნის შესახებ, ტექნიკოტიქნიკური
ნაგებობათა ნაჭურჭლი გამყოფდებების დროს.....
2. გაზომვის სისტემების რაციონალური განაწილება ბეტონ-
ნის კაპიტალში.....
- 2.1. შეფუძენის რაციონალური განაწილება ბეტონის კაპი-
ტალში
- 2.2. ტენზომეტრული რეგისტრების რაციონალური განლაგება
ბეტონის კაპიტალში.....
3. ბეტონის კაპიტალის მდგომარეობის შეფასება ტექნიკური
დიაგნოსტიკის სტატისტიკური მეთოდებით.....
- 3.1. ამოცანის დასაბამი.....
- 3.2. ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი და პრეგრაძია.....
- 3.3. ნაჭურჭლი დაკვირვებების მონაცემების ანალიზის
მეთოდები.....
4. ტენზომეტრული რეგისტრირება ნაგებობებზე.....
- 4.1. პიარის ტენზომეტრია.....
- 4.2. მისი რადიაცია.....
- 4.3. წყლის ტენზომეტრია.....
5. მყარი სხეულის თერმული თვისებები
- 5.1. თბოგადაცემა.....
- 5.2. თბოგადაცემა ფორმის კანონი
- 5.3. თერმული მისასიდათებები
- 5.4. სითბური ნაკადი, ნოთერმული ზედაპირები.....
- 5.5. თბოგამტარობა ანთროპომორული მყარ სხეულებში.....



- 5.6. საწყისის და სასაზღვრო პირობები.....
- 5.7. კონვექციური თბოგადაცემა.....
- 5.8. გამოსხივებით სითბოს გადატანა.....
- 6.1. ნაგებობების თერმული მდგომარეობის თეორიული საფუძვლები.....
- 6.1.1. შესავალი.....
- 6.1.2. ლეფორმაციის ტენზორი.....
- 6.1.3. ძაბვის ტენზორი.....
- 6.1.4. თერმული წარმოშობის ლეფორმაციები.....
- 6.2. ნაგებობების თერმული მდგომარეობის მოდელი.....
- 6.2.1. რიცხვითი მეთოდები ბეტონის კაშხლების თერმული მდგომარეობის ანალიზისათვის.....
- 6.2.2. აპროქსიმაცია რიცხვით მეთოდებში.....
- 6.2.3. რიცხვითი მეთოდები დიფერენციალური მეთოდების ბაზაზე.....
- 6.2.3.1. სასრულ ელემენტების მიხედვით გაანგარიშების მეთოდი.....
- ~~ფორმული მეთოდი მდგომარეობის ანალიზისათვის.....~~
- 6.2.3.1.1. სივრცის დისკრეტიზაცია.....
- 6.2.3.1.2. დროის დისკრეტიზაცია.....
- 6.2.3.2. დრეკადი "ქვივის" ანალიზი.....
- 6.2.3.2.1. საერთო ფორმულდება.....
- 7.1. ნაგებობის თერმული მდგომარეობის რიცხვითი ანალიზი.....
- 7.2. ნაგებობებში სტრუქტურულ ეფექტებზე ტემპერატურის გავლენა.....
- 7.3. ნაგებობებზე პილაროსტატიკის მოქმედებით და ტემპერატურული რეჟიმით გამოწვეული სტრუქტურული ეფექტების შეფასების მოდელი.....
- 8.1. რესკის ღონის შეფასების ზოგიერთი შესაძლებლობის შესახებ, პილაროსტატიკური ნაგებობების პროექტირების დროს.....



- 8.1.1. პროექტირების დროს დაშვებული შეცდომები და მათი აღრიცხვის მეთოდი რისკის გაანგარიშებაში
- 8.1.2. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობების და მათი ელემენტების საიმედოობის დონის შეფასების შესამღებელი გზები...
- 8.2.1. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის (კაშხლის) ხანგამძლეობის შეფასება ნატანის გავლენის გათვალისწინებით...
- 8.2.2. ტვიშის ჰესის გრავიტაციული კაშხლის ხანგამძლეობის შეფასება
- 9. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის ნაგებობის საიმედოობის შესაფასებლად.....
- 9.1. სტატისტიკურ მოდელირების მეთოდი
- 9.2. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება ნაგებობის საიმედოობის შესაფასებლად.....
- 9.2. ბეტონის გრავიტაციულ კაშხლების მდგრადობის გაანგარიშებები სტატისტიკური მეთოდის საშუალებით.....
- 9.2.1. ბეტონის გრავიტაციულ კაშხლების მდგრადობის გაანგარიშების სტრუქტურა.....
- 9.2.2. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება ბეტონის გრავიტაციულ კაშხლების მდგრადობის შესაფასებლად.....
- 9.3. ბეტონის გრავიტაციული კაშხლების რეკონსტრუქციის საიმედოობის გაანგარიშება.....
- 10. სენსორი ზემოქმედების დროს სხვადასხვა რეჟიმის საიმედოობის შეფასება.....
- 10.1. საიმედოობის შეფასება "ზემოქმედება-წინააღმდეგობა" ანალიზით.
- 10.2. ამოვარდნის თეორიის ხერხების საშუალებით საიმედოობის შეფასება.....
- 10.3. ნაგებობების საიმედოობის შეფასება ავტომატური პროცესში წინააღმდეგობის ცვლილების გათვალისწინებით.....
- 10.4. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საიმედოობის მახასიათებელი შეფასება.....

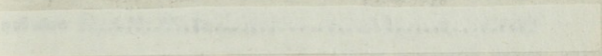


ქართული
ენათმეცნიერება

10.5. დაკვირვებების შედეგების კორექტირება ზაიხის მიღ-
გომის გათვალისწინებით

დასკვნა

ლიტერატურა



დაკვირვებების შედეგების კორექტირება ზაიხის მიღ-
გომის გათვალისწინებით

დასკვნა

ლიტერატურა

დასკვნა

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ისტორიამ არ შემოგვინახა პირველი კაშხლების შექმნის ზუსტი თარიღი. უძველესი ცივილიზაციის დღემდე მოღწეული ნანგრევები ადასტურებენ, რომ კაშხლები შენდობოდა რამდენიმე ათასი წლის წინ. უძველეს დროში კაშხლებს აშენებდნენ სარწყავად და წყალდიდობების თავიდან ასაცლებლად. ეს ნაგებობები ხშირად გვოცებენ თავისი სრულყოფილებით. მიუხედავად ამისა, პიდროტქენიკური მშენებლობის პრაქტიკაში ხშირია დაზიანებების, ნგრევის და კატასტროფების შემთხვევები, რომლებსაც თან სდევდა დიდი რაოდენობის ადამიანთა მსხვერპლი /127, 145, 146, 147, 148, 159, 173, 179, 180, 181/.

ამჟამად მსოფლიოში 15000-ზე მეტი კაშხალია და თითოეული მათგანი წარმოადგენს განსაზღვრულ საშიშროებას. ზოგიერთი ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, რ.წ. XII საუკუნიდან დღემდე, მოხდა 2000 კაშხლის ავარია.

კაშხალის ნგრევის პირველი ფაქტი, რომელიც ისტორიაშია დაცემული, მოხდა საფრანგეთში, გრენობლის ახლოს ("მიწის კაშხალის" ნგრევა). კატასტროფა მოხდა მიწის კაშხალის დანგრევის შედეგად (მეწყერისაგან გამწვეული იყო ზღუდარი, რის შედეგადაც 28 წლის განმავლობაში ბურ-დ-უასონის ვაკეზე წარმოიქმნა 28 მეტრის სიღრმის ტბა). დიდი იყო დაზიანებების შედეგად მიღებული ზარალი, ასევე დიდი იყო დაღუპულთა რიცხვი.

XX საუკუნეში დაცემულია 200 დიდი ავარია, მათ შორის ბოლო 40 წლის მანძილზე 55 ავარია. საინტერესოა აღვნიშნოთ, რომ მცირე კაშხლების ავარია უფრო ხშირია, ვიდრე დიდი კაშხლების. ეს ძირითადად იმით აიხსნება, რომ მცირე კაშხლების მშენებლობის დროს არ არის გათვალისწინებული გაანგარიშებისა და ექსპლუატაციის სრულყოფილი წესები, ძირითადად არ ტარდება ნატურალური დაკვირვებები.



სტოქტონ კრიკის კაშხალი აშშ-ში, რომლის სიმაღლეა 55მ, დაინგრა 1950 წელს უბარისხო ყრილის გამო.

ორსის მიწის კაშხალი ბრაზილიაში, რომლის სიმაღლეა 36მ, დაინგრა იმის გამო, რომ წყალსავალი მდებარეობდა გაცილებით უფრო მაღალ ღონეზე, ვიდრე საჭირო იყო. ზღვიერთა მონაცემების მიხედვით კაშხალი დაინგრა 1960 წელს. დაიღუპა დაახლოებით 1000 ადამიანი.

1963 წელს, პორტუგალიაში, ანალოგიური მიზეზების გამო დაინგრა ბილარის ქვაყრილის კაშხალი, რომლის სიმაღლე იყო 30 მ.

55 მეტრის სიმაღლის "ევკლიდ და კუნხას" მიწის კაშხალი დაინგრა 1977 წელს ძლიერი წყალმოვარდნის შედეგად წყლის გადაღინების გამო.

დაუერ სან ფერნანდოს მიწის კაშხალი დაინგრა ზედა ბიუტეში მემყერის შედეგად, რომელიც ჩამოწვა 1971 წელს მიწისძვრის დროს.

აშშ-ში დოს-ანჟელესის ახლოს, 20 მ სიმაღლის ბოლდუინ პილის მიწის კაშხალი დაინგრა 1963 წელს. დანგრევამდე კაშხალი ფუნქციონირებდა მხოლოდ 12 წელიწადს. სახელმწიფო კომისია, რომელიც სწავლობდა ბოლდუინ ხილვის შემთხვევას, მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ კატასტროფის დროს 1963 წ. 14 დეკემბერს, წყალსაცავის ფუძეში მოხდა ტექტონური ძვრა. ამ რაიონში ზოგიერთი ასეთი პროცესები შეიმჩნეოდა ობიექტის აშენებამდე დიდი ხნით ადრეც.

კონტროლის ზუსტად აწყობილი სამსახურის წყალობით, მიუხედავად დიდი ზარალისა, წესამდებელი გახდა დიდი მსხვერპლის თავიდან აცილება /დაიღუპა 5 ადამიანი/.

აშშ-ში ტექტონის მიწის კაშხალი დაინგრა /1976წ/ წყალსაცავის ბირველ ავსებისთანავე. დანგრევის მიზეზად თვლიან მთავარი ვიწრო კაშხლის სივრცით კალაპოტის გასწორების არასწორ პროექტს. წყალმა შეაღწია გასწორებული კალაპოტის ძლიერშეღწევად გრუნტში.



ესპანეთში, ვეგა დე ტორას კონსტრუქციული ბეტონის კაშხალი, რომლის სიმაღლე იყო 348, დაინგრა 1959წ. პირველ ავსებისთანავე, მიზეზად ითვლება კაშხლის ფუძესა და ტანს შორის დრეკალობის მოდულის დიდი სხვაობის გამო გამოწვეული დიდი გამჭიმავი ძაბვები.

საფრანგეთში, 61წწ სიმაღლის მალპასეს ბეტონის თაღოვანი კაშხალი დაინგრა 1959წ. 2 დეკემბერს ის ფუნქციონირებდა დაახლოებით 5 წელიწადს. კაშხლის ნგრევის შედეგად წარმოქმნილია ტალღამ 11 კმ მანძილზე მიადგინა ხმელთაშუა ზღვამდე და გზაზე დაანგრია აბსოლუტურად ყველაფერი. დაიღუპა 420 ადამიანი. სპეციალისტების დიდმა ნაწილმა ავარიის მთავარ მიზეზად დაასახელა მარცხენა ნაპირის ქვეშ გრუნტის არაგამბეღობა. აგრეთვე გამოითქვა ვარაუდი ავარიის სხვა მიზეზებზე. გამოკვლევამ აჩვენა, რომ კაშხალი მოზრუნდა მარცხენა ნაპირზე განლაგებული წერტილის გარშემო.

მალპასეზე 1955 წლიდან ტარდებოდა ყოველწლიური გაზომვები, რომლებიც აჩვენებდნენ კაშხლის გადახრას. კაშხლის ფუძეში გადანაცვლება შეადგენდა 17მმ, ხოლო მთავარი კონსტრუქციის მონაცემებით პროექტით დასაშვები გადახდა ამ ადგილში იყო 10 მმ. სასამართლოში გამოიკვამ, რომ ნაგებობის გადაადგილებებს შესწავლას ჰდენდა სპეციალური ფირმა, მაგრამ გადამეტებული გადაადგილების შესახებ დამპროექტებლის იმფორმირებულნი იყვნენ მხოლოდ ავარიის შემდეგ.

1979წ. 11 აგვისტოს ინდოეთში, გუჯარათის შტატის დასავლეთით დაინგრა 268 სიმაღლის მარხუ II-ის ქვის წყალსაგდებიანი მიწის კაშხალი. ამ ობიექტის მშენებლობა დამთავრდა 1972წ. იგი დაინგრა წყალმოვარდნის შედეგად. წყალმა წაიღო 700 მეტრი მიწაყრილი კაშხლის მარჯვენა მხარეს და 1970 მეტრი მარცხენა მხარეს. კატასტროფის შედეგად დაიღუპა 2000 ადამიანი, ზოგიერთი წყარო კი ასახელებს 25000 ადამიანს, დაზარადა 150000 ადამიანი. ნგრევამდე ერთი დღით ადრე მწყობრიდან გამოვიდა



სატელეფონო და სხვა კავშირები. წყალსაცავის გადავსების მიზნად ოფიციალურად თვლიან ძლიერ წყალმოვარდნას, რომელიც გამოწვეული იყო მუსონური წვიმებით კატასტროფის შედეგად მსხვილი ქალაქი მოჩვი გადაიტვა ჭურჭყისა და რამოდენიმე ფუტის სიმაღლის ნაგავის გროვად. წყალდიდობამ დაანგრია 12000 სახლი და ნაწილობრივად დაზიანდა 7000 სახლი. დაიღუპა 15 მილიონი დოლარის მოსავალი.

კაშხლების მშენებლობის ისტორიის მთელ მანძილზე ყველაზე დიდი ნგრევა მოხდა 1965 წ. 2 დეკემბერს იტალიის პროვინციაში ვენტოში, სადაც აშენებული იყო 265 მეტრის სიმაღლის თაღვანი კაშხალი ვაიონტი. კაშხლის მშენებლობა დამთავრდა 1960 წელს და იგი ითვლებოდა მსოფლიოში ყველაზე მაღალ თაღვან კაშხლად. წყალსაცავის ტევადობა იყო 150 მლნ. კუბომეტრი. კანიონის მარჯვენა მხრიდან ჩამოსული მეწყერის მოცულობა შეადგენდა 240 მლნ. კუბომეტრს. მან დაფარა წყალსაცავი 1,8 კმ. მანძილზე, ხოლო 150 მეტრით წყალსაცავის ღონის სიმაღლეზე მაღლა. კლდოვანი მასის სწრაფმა დაშვებამ 30 მ/სეკ. სიჩქარით, შექმნა საპიერო ტალღა, რომელმაც ააგდო წყალი და ქვები კანიონის მარცხენა კედლის განწვერივ 240 მეტრის სიმაღლეზე, წყალსაცავის ჩვეულებრივ ზედაპირზე მაღლა. კატასტროფის მიზეზი იყო წყალსაცავში კლდოდან ჩამოშვებული მეწყერი. მაღალი სიჩქარით მოძრავი დიდი მასის დარტყმამ გამოიწვია წყალსაცავში უზარმაზარი ტალღების გაჩენა, რომლებმაც დაიწყეს გადმოღვრა კაშხალიდან. მეწყერისა და წყლის წნევის შედეგად კაშხალი მიიღო 36000 მეგატონის ძალის დარტყმა. კაშხლიდან 1,6 კმ მანძილზე გიგანტური ტალღის სიმაღლე იყო 70 მეტრზე მეტი. მრავალი კილომეტრის მანძილზე შიავეს დაბლობზე წყალმოვარდნის ტალღა ანადგურებდა ქალაქებს და დასახლებულ პუნქტებს. მეწყერს ხელი შეუწყო ძლიერმა წვიმებმა. კატასტროფის შედეგად დაიღუპა 2600 კაცი.

ზემოთ წარმოდგენილი მონაცემები იმაზე მიტყვევებენ, რომ მიუხედავად გაანგარიშების, პროექტირების, მშენებლობის და ექსპლუატაციის მეთოდების სრულყოფისა, ავარიებს ისევ აქვთ ადგილი და სამწუხაროდ, არც თუ ისე იშვიათად.

ავარიების შედეგად გამოწვეული უზარმაზარი ზარალი გახდა მიზეზი მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში კაშხლების ნგრევისა და მათი დაზიანების მონაცემების შეგროვება და ანალიზი.

ინფორმაციის შეგროვების, ავარიებისა და დაზიანებების მონაცემების ანალიზთან ერთად სულ უფრო ხშირად ისმის საკითხი ნაგებობების დაზიანების და ავარიების გამომწვევი მიზეზების ღრმა შესწავლის, თეორიული გამოკვლევების ჩატარების შესახებ. სადაც გათვალისწინებული უნდა იყოს იმ ფაქტორების სტოქასტიკური ხასიათი, რომელიც განსაზღვრავს ობიექტის ნორმალურ მუშაობის დროში, მეტად აქტუალური გახდა ამოცანა სხვადასხვა კონსტრუქციების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის ეტაპიდან "სიცოცხლის" ბოლომდე, მუშაობის საიმედოობის შესწავლის აუცილებლობის შესახებ.

ისევე როგორც ყველგან, მთელი მსოფლიოში ყოველ საბჭოთა კავშირში ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საიმედოობის უზრუნველყოფისათვის მრავალი სამეცნიერო ნაშრომი მიმდევრილია: [3-6; 9-10; 12, 13, 15, 18, 19, 20, 22-25, 27, 28, 29, 31, 32, 34, 37, 40-70, 72, 75, 78, 82, 83, 85, 86, 88-91, 95, 97, 98, 101-120, 123, 124, 129, 130, 132, 134-137, 138, 141, 142, 153, 156, 161, 162, 164, 166, 168, 172, -175, 179-186, 188, 199]

საქართველო ძალზე მდიდარია წყალენერგეტიკული რესურსებით, ქვეყანა იყენებს ამ პოტენციური შესაძლებლობების მხოლოდ 12%, საქართველოში აგებულია როგორც ენერგეტიკული, ასევე ირიგაციული დანიშნულების მქონე კაშხალების მეტად მცირე რაოდენობა.

ამ ნაგებობების სიმაღლე და მასშტაბის მდებარეობა აუცილებლად უნდა განისაზღვროს.

ჩატარდეს მათი ტექნიკური მდგომარეობის გულმოდგინე შესწავლა

ზოგიერთ კაშხალზე დაკვირვება მაღალ ღონებზე, მაგალითად: ენგურის კაშხალზე, შინვალის კაშხალზე, ალგეთის კაშხალზე, მაგრამ ბევრ ნაგებობას გამომყენებლების მხრივ არ ემთხვევა ყურადღება. მრავალი ნაგებობა უნდა აღიჭურვოს გაზომვების საფუძვლი კუთვნილი საშუალებებით, რათა ჩატარდეს შემდგომი გეგმაზომიერი გამოკვლევები.

ნაგებობებზე ავტომატური დაკვირვებების საშუალებების მოწყობა და მისი საიმედოობის მონაცემების ავტომატური მიღება ყველაზე მეტად ეფექტურია დღემდე არსებულ ყველა მეთოდებს შორის. ამიტომ მათი შემდგომი სრულყოფა, საიმედოობის შეფასების ახალი მეთოდების შექმნა წარმოადგენს მნიშვნელოვან ამოცანას და ამ ამოცანის გადაწყვეტა ნაგებობების ავარიის რისკს მინიმუმამდე დაიყვანს.

მაღალგანვითარებულ ქვეყნებში /შვეიცარია, საფრანგეთი, იტალია/ შექმნილია და წარმატებით იყენებენ ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების ავტომატიზირებული კომპლექსებს, მსოფლიო ბაზარზე ასეთი კომპლექსების საბაზრო ღირებულება შეადგენს ათი ათასობით დოლარს, მაგალითად: "მიდას" კომპლექსი იტალიაში დაახლოებით 70 ათასი დოლარი ღირს.

კაშხალების საიმედოობის უზრუნველყოფის პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებლად გახდის გაიზარდოს მრავალი ჰესისა და ირიგაციული წყალსაცავების ეფექტურობა და ამგვარად შესაძლებელი გახდება ამ ობიექტების სტაბილური, მომგებიანი ფუნქციონირება.

სადასრულო მიზნები. გამოკვლევის მიზანია კაშხალების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების ავტომატიზირებული უნივერსალური მეთოდის დამუშავება და აგრეთვე პროექტირების ეტაპზე ნაგებობათა საიმედოობის მნიშვნელოვანი ამოცანების გადაწყვეტა.

გამოკვეთის მიზნის შესაბამისად დასმული და გადაწვეტილი ნიშნის

შემდგომი ამოცანები:

- ნაგებობებზე ინტენსიური ნატურალური გამოკვლევების ხანგრძლივობის დადგენა,

±: პირობებში ნაგებობების ნატურული გამოკვლევების დროს

- სხვადასხვა პირობებში დაკვირვებისას ფიქსაციის "გაზომვის" ოპტიმალური სიხშირის დადგენა,

- ნაგებობებში გამზომი სისტემების რაციონალური განლაგება,

- ბეტონის ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკა,

- ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის იხვედი დეტერმინისტული მოდელების შექმნა, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ნატურული მონაცემების საფუძველზე ოპერატიულად შეფასდეს ნაგებობების საიმედოობა,

- ნაგებობების სხვადასხვა სტრუქტურულ ევოლუციებზე ტემპერატურის ზემოქმედების შეფასების მეთოდის დამუშავება,

- პირობებში ნაგებობის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების საფუძველზე ალგორითმების და პროგრამული კომპლექსის დამუშავება; JBM პერსონალური კომპიუტერების საფუძველზე.

- კაშხალის ფუნქციონირების ხანგრძლივობის შეფასება ნატონის ზემოქმედების შემთხვევაში (წყალსაცავის დაღამვა)

- სტატისტიკური მოდელების მეთოდების გამოყენება პროექტირების ეტაპზე ნაგებობათა საიმედოობის შეფასების საფუძველზე.

ავტორი იცავს:

- ნაგებობებზე ინტენსიური ნატურული გამოკვლევების ხანგრძლივობის დადგენის მეთოდოლოგიას,

- სხვადასხვა პირობებში დაკვირვებისას ფიქსაციის "გაზომვის" ოპტიმალური სიხშირის დადგენა ნატურული გამოკვლევების ჩატარების



პერიოდში აგრეთვე ნაგებობებში გამოზომი სისტემების რაციონალური ნაწილება;

- ბეტონის ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკას;
 - ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის დეტერმინისტული მოდელის შექმნას, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ნატურული მონაცემების საფუძველზე ოპერატიულად შეფასდეს ნაგებობების საიმედოობა;
 - ნაგებობების სტრუქტურულ ეფექტებზე ტემპერატურის ზემოქმედების შეფასების მეთოდის დამუშავება;
 - შენობის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისათვის ალგორითმების და აპროგრამული კომპლექსის დამუშავებას JBM პერსონალური კომპიუტერებისათვის;
 - კაშხალის ფუნქციონირების ხანგრძლივობის შეფასება მეთოდისა და ნატანის ზემოქმედების შემთხვევაში (წყალსაცავის დაღამვა)
 - პროექტირების ეტაპზე ნაგებობათა საიმედოობის შეფასებისათვის სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებას;
- სამუშაო სრულდებოდა 1982-1993 წლებში საქართველოს ენერგეტიკის და პილროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტში, საქართველოს აგრარულ უნივერსიტეტში, იტალიის ნაციონალური ენერგეტიკული ფირმის "ენელის" მილანის პილრაველიკის და პილროტექნიკურ ნაგებობათა კვლევის ცენტრში, პილროტექნიკური ნაგებობების დიაგნოსტიკის საკვლევ ცენტრში სამეცნიერო-კვლევითი თემები: "ნატურული დაკვირვებების მონაცემების განზოგადობა და ანალიზი ბეტონის პილროტექნიკურ ნაგებობათა თეორიული და მოდელური გამოკვლევების საფუძველზე" /0.55.08.06. /, დავალება 114ა "დამუშავდეს საპასუხისმგებლო პილრონაგებობების ნატურული გამოკვლევების კომპლექსური ჩატარების და ორგანიზაციის ეფექტური მეთოდები, მათი საექსპლუატაციო საიმედოობის შეფასების მეთოდები".



კვლევის მიზნები: სამუშაოს ძირითადი მიზანი მიღწეულია სამამულო, ასევე საზღვარგარეული წყაროების განზოგადებისა და ანალიზის საფუძველზე, საიმედოობის თეორიის, სტატისტიკური მეთოდების, ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეთოდების, ბოლო ელემენტის მეთოდის, ტექნიკური მეთოდების დიაგნოსტიკის გამოყენების საფუძველზე. მიღებული შედეგების უფლებამოსილება დასაბუთებულია ნატურული და თეორიული მონაცემების შეჯერებით.

ნაგებობის მიზნობრივი სინახლე შედეგები

- დამუშავებულია ნატურული დაკვირვებების ხანგრძლიობის დადგენის მეთოდოლოგია;
- დამუშავებულია ფიქსაციის "გაზომვის" ოპტიმალური სიხშირის დადგენის მეთოდოლოგია ნატურული გამოკვლევების ჩატარებისას,
- დამუშავებულია საზომი სისტემების რაციონალური განაწილების მეთოდოლოგია,
- დამუშავებულია ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის დეტერმინისტური მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა ნატურული მონაცემების საფუძველზე შეფასდეს ნაგებობის მუშაობის უნასიანობა;
- დამუშავებულია ნაგებობების სტრუქტურულ ეფექტებზე ტემპერატურის ზემოქმედების შეფასების მეთოდოლოგია,
- დამუშავებულია პერსონალური კომპიუტერების პროგრამების კომპლექსი ნაგებობის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისათვის,
- დამუშავებულია ნატანის გავლენის მოქმედებით კაშხლის ხანგრძლიობის შეფასების მეთოდოლოგია,
- სტატისტიკური ცდების საფუძველზე დამუშავებულია მეთოდოლოგია ნაგებობების საიმედოობის შეფასებისათვის.

ნაშრომის კრატტიკული ლიტერატურა

- დამუშავებულია ინტენსიური ნატურული დაკვირვებების ხანგრძლივობის დადგენის მეთოდოლოგია, პროცესების ფიქსაციის "გაზომის" ოპტიმალური სიხშირის დაწესება, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე საზომი სისტემების რაციონალური განაწილება;

- დამუშავებულია ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებაზე მეთოდოლოგია ნაგებობების საიმედოობაზე ძირითადად მოქმედი ფაქტორების უფრო მეტად დასაბუთებული გათვალისწინება თეორიული და ნატურული გამოკვლევების საფუძველზე;

- დამუშავებულია პროგრამების კომპლექსი PC IBM პერსონალური კომპიუტერისათვის ნაგებობათა ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებაზე;

- დამუშავებულია ნატანის გავლენის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ხანგრძლივობის განსაზღვრის მეთოდოლოგია, (წყალსაცავის დაღამვა)

- დამუშავებულია სტატისტიკური ცდების მეთოდოლოგია ნაგებობათა საიმედოობის შეფასებაზე.

ნაშრომის რეზიუმე. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგები გამოყენებულა საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკური სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის ნატურული გამოკვლევების განყოფილებაში, ენგურპესზე ნატურული გამოკვლევების ჩატარებისას.

ნაშრომის შედეგები გამოიყენებულა ალგეის წყალსაცავის კაშხალზე ნატურული დაკვირვებების ჩატარებისას და აგრეთვე დაღის მთის წყალსაცავის კაშხლის გამოზომი საშუალებით აღჭურვისას.

ნაშრომის ზოგი შედეგი შევიდა პუბლიკაციაში "რეკომენდაციები ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საიმედოობის შეფასებისათვის" II-84წ-86. ჰიდროპროექტი, მოსკოვი 1986.

ნაშრომის აკრუბაცია სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები

ბი მოხსენებულ და განხილულ იყო ახალგაზრდა მეცნიერთა და სპეციალისტთა საკავშირო კონფერენციაზე "ქვეების მშენებლობა მთის პირობებში /ფოთი, 1982/; ახალგაზრდა მეცნიერთა და სპეციალისტთა საკავშირო სკოლა-სემინარზე "სამშენებლო მასალების და კონსტრუქციების ხარისხი და საიმედოობა სეისმურ მშენებლობაში" /ზათუმი, 1984/; მშენებარე და ექსპლუატირებული მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების მდგომარეობის შეფასების მეთოდების და საშუალებების კომისიის სემინარზე" გამოკვლევები ქანებისა და ნაგებობიანი გრუნტის ურთიერთქმედების შესახებ" /საბერო, 1985/, ახალგაზრდა მეცნიერთა და სპეციალისტთა VI სამეცნიერო-ტიქნოლოგიური VI რესპუბლიკური კონფერენციაზე "წყლის რესურსების გამოყენებისა და მელიორაციის საკითხები/ ერევანი, 1985/, ახალგაზრდა მეცნიერთა და სპეციალისტთა სკოლა - სემინარზე "საშენ მასალათა და კონსტრუქციათა ხარისხი და საიმედოობა სეისმურ მშენებლობაში /თბილისი, 1986/, საკავშირო სამეცნიერო-ტიქნოლოგიური თაბირზე "მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდში ჰიდროტიქნიკური ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება კომპლექსური გამოკვლევების შედეგად: ნატურული, თეორიული და ლაბორატორიული" /ჯვარი, 1987/. პიდროლოგიური გამოკვლევებისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო კონგრესზე /ოტავა, კანადა, 1989/; წყლის ეკოსისტემებისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო კონფერენციაზე/ ნამური, ბელგია, 1991/ (ფრენტასა და წყლის სექციაზე საერთაშორისო კონფერენცია "სოფლის მეურნეობაში კვლევების ორგანიზაცია" ტელ.ავ-ვი ისრაელი 1993)

დისერტაციის თემის შედეგები გამოქვეყნებულია სამეცნიერო ნაშრომებში.



ნაშრომის მითითება დისერტაცია შედგება 9 თავისა და დასკვნისა

ბისაგან, გამოყენებულია 189 სამეცნიერო წყარო, ნაშრომში გვერდია.
აქდან ცხრილი, ნახატი.

საქართველოს
ეროვნული
ბიბლიოთეკა

I. ჰიდროტიქნიკური ნაგებობათა საინჟინორობის შეფასების

ანუხანები

 1.1. კაშხლების ტექნიკური მდგომარეობაზე ნატურული
 გასუკვეთების ხანგრძლივობის დადგენა

კაშხლებზე მომხდარი ავარიების და დაზიანებების ანალიზს მრავალი მკვლევარი უთმობს დიდ ყურადღებას არა მხოლოდ საქართველოში, არამედ საზღვარგარეთაც. ამის ნათელი დადასტურებაა მრავალრიცხოვანი ნაშრომები, რომლებიც წარმოდგენილია ბოლო დროს დიდი კაშხლებისადმი მიძღვნილ კონგრესებზე /ნიუ-დელი, რიო-დე-ჟანეირო, ლოზანა/, საერთაშორისო კონფერენციებზე, რომელიც მიეძღვნა კაშხლების საინჟინორობას, (კონინბრა /პორტუგალია/) აგრეთვე საერთაშორისო სიმპოზიუმზე კაშხლების უსაფრთხოებაზე უწყვეტი დაკვირვებები", /კანდჯუში ჩინეთში/ ამ მხრივ უნდა აღინიშნოს შრომა, რომელიც შესრულებულია საქართველოს ენერჯეტიკისი და ჰიდროტექნიკური ნაგებობათა სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში [20,70,111,179] და საზღვარგარეთ [145,146,147,156,159]

მირთადი ფაქტორების, რომლებიც მოქმედებენ კაშხლების საინჟინორობაზე, ანალიზის მიზნით ჩატარებულია დაახლოებით 700 ინციდენტის სტატისტიკური დამუშავება, ხოლო ავარიებისა და დაზიანებით 900 კაშხლის, ამასთან ერთად გამოკვლეულია ავარიებისა და ინციდენტების ინტენსიობის დამოკიდებულება შემდეგ ფაქტორებთან: ჯდენასა და ფუბის მდგრადობის დაკარგვასთან: კაშხლის ფუბები ტანში და ნაპირების გასწვრივ ამოღებულ ფილტრაციასთან, წყალსაცავების ავსებასთან და დაცლასთან, კაშხლის სხეულში ტემპერატურისა და ჯდენის ბზარებთან, შენაცვლებით გაყინვისა და გაღვლასთან, გარემოს აგრესიულობასა და მასალის არასაკმარის სიმკვრივესთან, წყალსაცავში წყლის დონის რევასთან და ქარისაგან გამოწვეული ტალღების ზემოქმედებასთან; სტიქიურ უბედურებებთან. [20,70,111]



საიმედოობის თეორიის საფუძველზე, სხვადასხვა ტიპის კაშხალების სათვის დადგენილია ამ ნაგებობების უავარიო, უინციდენტო და შეუფერხებელი მუშაობის დროისა. აღბათობის სიმკვერივი განაწილება.

ანაღიზის შედეგად დადგენილია, რომ კაშხალებზე ავარიებისა და ინციდენტების ინტენსიობის განაწილება დროში, კაშხლის ტიპების დამოუკიდებლად, კარგად აღწერება ვიზუალის განაწილების კანონით. ამასთან, განაწილების მასშტაბითი პარამეტრი იცვლება 17 დან 254-დე, ხოლო ფორმის მახასიათებელი პარამეტრი - 0,1 -დან 0,5-მდე.

ქვემოთ მოყვანილია ზოგიერთი დადგენილი მონაცემები, რომლებიც სხვადასხვა ტიპის კაშხალების საიმედოობას მახასიათებლებია.

გრამოტაპიური კაშხალები კაშხალების შეუფერხებელი მუშაობის აღბათობა მისი 60 წლის ექსპლუატაციის მანძილზე შეადგენს 0,967 და 0,9 აღბათობით იმყოფება სარწმუნო ინტენვალში /0,967-0,977/. ამასთან ერთად უავარიო მუშაობის აღბათობა, იმავე პერიოდის მანძილზე შეადგენს 0,989 და იმყოფება სარწმუნო ინტენვალში 0,987-0,992. ხოლო ინტენვალი 0,974-0,979 აჩვენებს უინციდენტო მუშაობის აღბათობას 0,977 ნახ. 1.1.

გრაფიტაციული კაშხალების ავარიებისა და ინციდენტების დიდი ნაწილი ფუძის მდგრადობის დაკარგვისაა განპირობებული. ამ ფაქტორის მოქმედების ინტენსიობა შედარებით მაღალია, ასევე ფილტრაციისა კაშხალის ტანსა და ფუძეში /შეცხვამისად 15 და 14%, ტემპერატურისა და ჯდენის ბზარები /12%/ პირველად შემჩნევა მშენებლობის დამთავრებიდან 2-3 წლის მერე და ექსპლუატაციის დაწყებისთანავე. ამის შემდეგ ინტენსიობა კლებულა და იწყება ნაგებობების "ნორმალური" მუშაობა. გაყინვისა და გალღობის შენაცვლების ზემოქმედება /15%/ და წყლის აგრესიულობა /12%/ შეიძლება კაშხალის ექსპლუატაციიდან 10-15 წლის შემდეგ, ხოლო კაშხალის საიმედოობაზე არსებით გავლენას ახდენს 40-60 წლის შემდეგ.



თაღოვანი კაშხლები. კაშხლები შეუფერხებელი მუშაობის აღბათობა მისი 60 წლის ექსპლუატაციის მანძილზე, შეადგენს 0,918 და იმყოფება სარწმუნო ინტერვალში 0,866-0,950. უავარიო მუშაობის აღბათობა, 0,978 40 წლის ექსპლუატაციის მანძილზე, იმყოფება სარწმუნო ინტერვალში 0,976-0,981. თაღოვანი კაშხლების უინციდენტო მუშაობის აღბათობა 60 წლის ექსპლუატაციის მანძილზე შეადგენს 0,929 და იმყოფება ინტერვალში 0,921-0,937 /ნახ. 1.1./

ფუძის მდგრადობის დაკარგვა თაღოვანი კაშხლების ავარიები ისა და ინციდენტების დიდ ნაწილის მთავარი ფაქტორია. თაღოვანი კაშხლების დაზიანების მაქსიმალური ინტენსიობა 2 ჯერ მეტია, ვიდრე გრავიტაციული კაშხლებისა და ხდება ექსპლუატაციის პირველ 2-3 წელიწადში. ექსპლუატაციის პირველ წლებში ავარიები და ინციდენტები ხდება ტემპერატურისა და ჯდენის ბზარების გამო /12%/. ფილტრაცია კაშხლის ფუძეში /14%/ და კაშხლის ტანში /9%/ ვლინდება კაშხლის საიმედოობაზე შესაბამისად პირველი 3-4 წლის განმავლობაში, თუმცა ცნობილია შემთხვევები, როცა ინციდენტები და ავარიები წარმოიშვებოდნენ მითითებული დროის შემდეგ, თუმცა მათი წილი უმნიშვნელოა. გაყინვისა და გაღებვის შენაცვლება /15%/ და წყლის აგრესიულობა /14%/ ასევე როგორც გრავიტაციული კაშხლებში, ადენენ ზემოქმედებას ექსპლუატაციის დაწყებიდან 10-15 წლის შემდეგ.

აღნიშნული მასალების კაშხლები. კაშხლები შეუფერხებელი მუშაობის აღბათობა შეადგენს 0,901 და იმყოფება სარწმუნო ინტერვალში 0,892-0,910.

რაც შეეხება უავარიო მუშაობის აღბათობას, იგი ექსპლუატაციის იგივე პერიოდის განმავლობაში შეადგენს 0,967 და იმყოფება სარწმუნო ინტერვალში 0,963-0,972. ხოლო უინციდენტო მუშაობის აღბათობა 0,935 იყარება 0,931-0,942 ინტერვალში /ნახ. 1.1./.

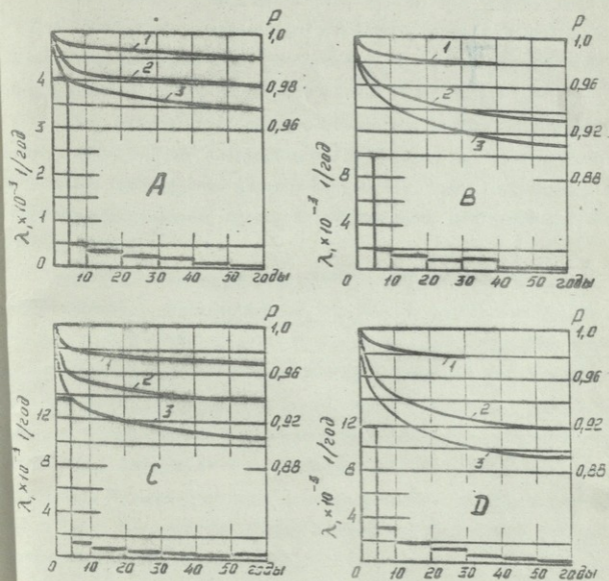


ფუძის მდგრადობის დაკარგვა თაღვანი კაშხლების ავარიებისა და ინციდენტების დიდ ნაწილის მთავარი ფაქტორია. თაღვანი კაშხლების დაზიანების მაქსიმალური ინტენსიობა 2 ჯერ მეტია, ვიდრე გრავიტაციული კაშხლებისა და ხდება ექსპლუატაციის პირველ 2-3 წელიწადში. ექსპლუატაციის პირველ წლებში ავარიები და ინციდენტები ხდება ტემპტურისა და ჯენის ბზარების გამო /12%/. ფლტრაცია კაშხლის ფუძეში /14%/ და კაშხლის ტანში /9%/ ვლინდება კაშხლის საიმედოობაზე შესაბამისად პირველი 3-4 წლის განმავლობაში, თუმცა ცნობილია შემთხვევები, როცა ინციდენტები და ავარიები წარმოიშვებოდნენ მითითებული დროის შემდეგ, თუმცა მათი წილი უმნიშვნელოა. გაყინვისა და გაღობის შენაცვლება /15%/ და წყლის აგრესიულობა /14%/ ასევე როგორც გრავიტაციული კაშხლებში, ახდენენ ზემოქმედებას ექსპლუატაციის დაწყებიდან 10-15 წლის შემდეგ.

აღგობრივი მასალების კაშხლები. კაშხლის შეუფერხებელი მუშაობის აღბათობა შეადგენს 0,901 და იმყოფება საწმუნო ინტერვალში 0,892-0,910.

რაც შეეხება უავარიო მუშაობის აღბათობას, იგი ექსპლუატაციის იგივე პერიოდის განმავლობაში შეადგენს 0,967 და იმყოფება საწმუნო ინტერვალში 0,963-0,972. ხოლო უინციდენტო მუშაობის აღბათობა 0,935 ივარება 0,931-0,942 ინტერვალში /ნახ. 1.1/.

აღგობრივი მასალების კაშხლის ძირითადი დამანგრეველი ფაქტორია ფლტრაცია ფუძის გავლითა და ნაპირების გასწვრივ /17%/, წყლით ქიმზე გადავლება /15%/, აგრეთვე კაშხლის ტანში ფლტრაცია /12%/, რომელიც იმავე ვადაში ვლინდება, რომელშიც ზემოთ განხილულ შემთხვევებში /ზუზუნბრივია, წყლის ქიმზე გადავლების გარდა/.



ნახ. 1.1. სხვადასხვა ტიპის კაშხლების საიმედოობის მარკენებლები:
 A - გრავიტაციული, B - თაღვანი, C - ადგილობრივი მასალების,
 D - კონტროლის, - შეუფერხებელი მუშაობის ინტენსიობა,
 - უავარიობის /1/, უინციდენტობის /2/, შეუფერხებლობის /3/
 აღბათობა



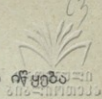
კონტროლური კაშხალები. ამ ტიპის კაშხალების შეუფერხებელი

მუშაობის აღბათობა 60 წლის ექსპლუატაციის მანძილზე შეადგენს 0,89 და იმყოფება საარწმუნო ინტერვალში 0,887-0,896. რაც შეეხება უავარიო /3წლის მანძილზე/ და უინციდენტო/ 60 წლის მანძილზე/ მუშაობას, მათ შესაბამისად გააჩნიათ მნიშვნელობები 0,976 და 0,914 და იჭარბებიან ინტერვალებით 0,963-0,988 და 0,889-0,928 /ნახ. 1.1./

ასეთი კაშხალების ძირითადი დამანგრეველი ფაქტორია ფუძის მდგრადობის დაკარგვა /24%/ და ფილტრაცია /23%/. აგრეთვე ისეთი ფაქტორები, როგორცაა: შენაცვლებითი გაყინვა და გაღებობა, წყლის აგრესიულობა და არასწორი ექსპლუატაცია, ყველაფერი ეს ერთნაირად მოქმედებს მათ საიმედოობაზე /12%/.

ყველა ზემოთ განხილულ კაშხალებზე, დამოუკიდებლად იმისა, თუ რომელი ტიპისაა, ისეთი ფაქტორები, როგორცაა: ჯდენის ბზარები, ნაგებობების ჯდენა. ჯდენა და ფუძის მდგრადობის დაკარგვის ინტენსიობა მაღალია ექსპლუატაციის დაწყებიდან 3-4 წლის განმავლობაში. ფილტრაცია კაშხლის ტანში, ფუძის გავლით და ნაპირების გასწვრივ, კავიტაცია და გაცვეთა, წყალსაცავებში წყლის ღონის რყევა და ტალღური ზემოქმედებები დომინირებენ პირველი 4-5 წლის განმავლობაში. მასალის არასაკმარისი მდგრადობა, შენაცვლებითი გაყინვისა და გაღებობის ზემოქმედება და აგრეთვე წყლის /გარემოს/ აგრესიულობა არსებითად მოქმედებენ კაშხალის საიმედოობაზე 40-60 წლის შემდეგ.

ამგვარად, დამოუკიდებლად იმისა, თუ რომელი ტიპისაა კაშხალი, აგრეთვე მიუხედავად მშენებლობის პერიოდისა და ექსპლუატაციის პირობებისა, კაშხაზე ინციდენტის და ავარიების მაქსიმალური ინტენსიობა შეიმჩნევა წყალსაცავის ავსებიდან პირველი 5-7 წლის განმავლობაში, ანუ, ამ პერიოდში დიდია ზემოთგანხილული ძირითადი ფაქტორთა ზემოქმედება კაშხალის საიმედოობაზე. 5-7 წლის შემდეგ, როდესაც მოხდება კაშხალის "შეგუ-



ება", ინციდენტებისა და ავარიების ინტენსიობა კლებულობს და იწყება ნაგებობების "ნორმალური" ექსპლუატაცია, რომელიც საშუალო ხანგრძლივობა 47-60 წელი. ამ პერიოდის დამთავრების შემდეგ იწყება "დაბერება", ანუ თვითონ კაშხლის მასალის თანდათანობითი დაშლა.

მტყუნებათა ინტენსიურობის მრუდები, რომელიც ნაშრომშია მიღებული /111, 179/, შესაძლებლობას იძლევიან ამოიხსნას კაშხლებზე გამოკვლევის ვადების დადგენის მნიშვნელოვანი ამოცანა.

განვიხილოთ $\lambda(t)$ გრაფიკი /ნახ. 1.1./ უფრო დაწვრილებთ.

ყველა განხილული ტიპის კაშხლებისათვის მტყუნებათა ინტენსიურობის გრაფიკის თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ $\lambda(t)$ არის დროის ფუნქციის მონოტონურად კლებადი, ისეთი რომ

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = C_0 \quad /1.1/$$

სადაც C_0 მტყუნებათა ინტენსიურობის დამყარებული მნიშვნელობა.

იმისათვის რომ ვიპოვოთ $\lambda(t)$ შეიძლება გამოვიყენოთ უმცირეს კვადრატების მეთოდი. მიღებული მტყუნებათა ინტენსიურობის მრუდები აპროქსიმირდებიან ფუნქციური დამოკიდებულებით, ასეთი სახით:

$$\lambda(t) = C_1 e^{-\alpha t} + C_0 \quad /1.2/$$

სადაც C_0, C_1, α უცნობი კოეფიციენტები, ამასთან ერთად

$$C_0 > 0, \quad C_1 > 0, \quad \alpha > 0$$

კოეფიციენტები C_0, C_1, α განისაზღვრებიან საფეხუროვანი მრუდით /ნახ. 1.1./

C_0 კოეფიციენტი გამოიანგარიშება ფორმულით

$$C_0 = \frac{\lambda_1 \lambda_n - \lambda^2_{საშ}}{\lambda_1 + \lambda_n - 2 \lambda_{საშ}} \quad /1.3./$$

სადაც λ_1 - მრუდის ერთი პირველი ორდინატა

λ_n - მრუდის ორდინატა, რომლის აბსცისა აირჩევა ერთი ბოლო ტოლი მნიშვნელობისაგან

$\lambda_{საშ}$ - ექსპერიმენტული მრუდის ორდინატა, რომლის აბსცისა აირჩევა $t_{საშ} = (t_1 + t_n)/2$ პირობიდან

C_1, α მნიშვნელობები გამოიანგარიშება ფორმულებით

$$\ln C_1 = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \varphi_i^2 - \sum_{j=1}^K x_j \varphi_j^2 \sum_{j=1}^K x_j}{K \sum_{j=1}^K x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^K x_j \right)^2} \quad /1.4./$$

$$\alpha = \left| \frac{K \sum_{j=1}^K x_j \varphi_j - \sum_{j=1}^K x_j \sum_{j=1}^K \varphi_i}{K \sum_{j=1}^K x_i^2 - \left(\sum_{j=1}^K x_j \right)^2} \right| \quad /1.5./$$

სადაც K - მტყუნებათა ინტენსიურობის მრუდის ნახტომების სიმრავლე.

$$\varphi_i = \ln(C_j - b_0) \quad x_j = t/2$$

ისეთი პიდროტექნიკური ობიექტებისათვის, როგორცაა კაშხალები, შეიძლება მივიღოთ, რომ საიმედოობის ნორმირებულ მაჩვენებელს წარმოადგენს შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა მოცემულ დროში. $P(t_0)$

კაშხალის შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა, რომელზედაც დროის განმავლობაში ტარდება ნატურული გამოკვლევები, შეიძლება განვსაზღვროთ ტოლობით

$$P(t_0) = e^{-\int_{t_{\text{ნაბ}}}^{t_{\text{ნაბ}} + t_0} \lambda(t) dt} \quad /1.6./$$

თუკი /2.6./-ში ჩავსვამთ /2.2/, ვიღებთ დამოკიდებულებას ნატურული გამოკვლევების ჩატარების დროის განსაზღვრავად

$$t_{\text{ნაბ}} = \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \frac{\alpha}{C_1} \left[\frac{C_0 t_0 + \ln}{e^{-\alpha t_0} - 1} \right] \right\} \quad /1.7./$$

ცნობილია, რომ კაშხალის ექსპლუატაციის საწყის პერიოდში დეფექტების გამომჟღავნება და მათი აცილება განსაზღვრავს მათ მომავალ მუშაობას.



ნაგებობის დეფექტების დადგენის ერთ-ერთი ქმედითი საშუალებაა კომპლექსური ნატურული გამოკვლევები.

ნატურული გამოკვლევების მთავარი ამოცანაა - დროზე გამოვლინდეს დამახასიათებელი უწყისივრობები, ანომალური მოვლენები და ა.შ.

კაშხლებზე ნატურული გამოკვლევების ხანგრძლივობის სწორად დადგენისათვის საჭიროა განისაზღვროს მტყუნებათა ინტენსიურობის ფუნქცია $\lambda(t)$, ანუ პროცესის მათემატიკური მოდელი.

სხვადასხვა წყაროების თანახმად "მისახმარებს" პროცესის მათემატიკური მოდელის სახით გამოიყენებიან სხვადასხვა განაწილებები: ექსპონენციალური, ნორმალური, ვეიბულის.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კაშხლებზე ავარიებისა და ინციდენტების ინტენსიურობა აღიწერება ვეიბულის ორპარამეტრული კანონით:

აჩსებული ფუნქციონალური გამოსახულებით მტყუნებათა ინტენსიურობისათვის $\lambda(t)$ გრავიტაციული, თაღვანი და გრუნტის მასალების კაშხლებისათვის გაანგარიშებულია დრო სხვადასხვა სახის ნატურული გამოკვლევებისათვის $t_a = 100$ წელიწადს. გაანგარიშების შედეგები დატანილია 1.1. ცხრილში.

ცხრილი 1.1.

ნატურული გამოკვლევების ვარიანტი კაშხლებზე

ნატურული გამოკვლევები	კაშხლის ტიპი		
	გრავიტაციული	თაღური	გრუნტის მასალებზე
ფუძის გეოლოგია	1 წელი	0,6 წელი	6 წელი
ფილტრაცია:			
- ტანში	7 წელი	1,4 წელი	6 წელი
- ფუძეში	9 წელი	6 წელი	3 წელი
დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა	4,5 წელი	1 წელი	7 წელი



მოცემული მეთოდი საშუალებას იძლევა უფრო დასაბუთებულად დავ-
ნიშნო ინტენსიურ ნატურული გამოკვლევების ვადები და ამით გარკვე-
ულად იყოს გარანტირებული ნაგებობების შემდგომი უსაფრთხო ექსპლუა-
ტაცია.

1.2. ამოხანის ამოხსნა "გაზომვის" ფიქსაციის ოპტიმალური
სიხშირის დანიშვნის შესახებ, პილროტიქნიკურ ნაგებო-
ბებზე ნატურული, გამოკვლევების დროს

მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდში ჩატარებული მეცნიერული
გამოკვლევების ძირითადი მიზანია პილროტიქნიკურ ნაგებობათა ნორმალუ-
რი ფუნქციონირების უზრუნველყოფა.

პილროტიქნიკური ნაგებობების მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პრო-
ცესის დროს ჩატარებულმა გამოკვლევებმა და საკონტროლო დაკვირვებებმა
ცხადყო, რომ ერთ-ერთ მთავარ მომენტს წარმოადგენს დაკვირვებების სიხ-
შირისა და ხანგრძლივობის დადგენა.

დაკვირვებისა და სიხშირის ხანგრძლივობის დაუსაბუთებლობის შემ-
თხვევაში შესაბამისი ინტონაცია შეიძლება საკმარისი არ აღმოჩნდეს, ან
შეიძლება იყოს ზედმეტად მოცულობითი, რაც მეტად ამაღლებს გამოკვლე-
ვის ლირებულებას. ამის გარდა, ნატურული დაკვირვებების ხანგრძლივობა
და სიხშირე კარნახობს გაზომვის სისტემის t_{emin}

მუშაობის მინიმალურად აუცილებელ ვადას, რაც ნატურულ დაკვირვე-
ბებშია მიღებული. წინა ცდებიდან გამომდინარე აწესებენ დაკვირვებების
სიხშირეს, ზოგ შემთხვევაში გადამწყვეტილება იღებს ნებაყოფლობით ხა-
სიათს.

ჩვენს მიერ შემთავაზებულია ამოხანის მიახლოებითი ანალიზური
ამოხსნა დაკვირვების ოპტიმალური სიხშირის დასადგენად /ანათვლების
აღება/



ვისარგებლოთ კაშხლის ტან ში, არსებული და აბაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობაზე დაკვირვებით /ენგურის თაღვანი კაშხლის მაგალითზე. /ნახ. 1.2.-1.5./

ამოხსნის სიმარტივისათვის შემოვიფარგლოთ საწყისი ეტაპით /30 დღე-წამე/ შემდეგ ეტაპებზე ამოხსნა ანალოგიური იქნება. შემოვიტანოთ დაშვება, რომ დეფორმაციის ცვლილების ფიქსირება აუცილებელია მეორეული საზომი აპარატურის საშუალებით მაშინ, როცა სხვაობა ორ მიმდევრო გაზომვებს შორის არის $0,5 \cdot 10^{-4}$.

ფიქსირდება რა დეფორმაციის ცვლილება დროში, შეძლება ავსავთ მათი განაწილების კანონი.

მოცემული ამოცანის ამოხსნის დროს განხილული იყო დიდი რაოდენობის საზომი გარდაქმნელების ჩვენებები. შესაბამისი საზომი წერტილები იმყოფებოდნენ როგორც ზედაპირებზე, ასევე ნაგებობების შინაგან ზონაში. მათი განმასხვავებელი ნიშანი იყო არა მარტო გეომეტრიული განლაგება ნაგებობების სხეულში, არამედ ხშირად არსებითი განსხვავება ბეტონის თერმორეგულირების პროექტის მოთხოვნილებების დაცვის ხარისხის მიხედვით, მისი სიმტკიცური დეფორმაციული თვისებების ფორმირებით და ა.შ. მითითებული უმრავლესობიდან განხილულია მ საზომი გარდაქმნელი / სგ /, რომლებიც განლაგებული არიან კაშხლის ზედაპირებზე და რომლებზედ შეიმჩნეოდა ცვლილებები.

დროში ცვლილებების კანონის განაწილების შემოწმებამ გვაჩვენა, რომ შეიძლება მისი აპროქსიმირება ვიბულ-გნედენკოს ორპარამეტრიანი განაწილების კანონით. განაწილების კანონის პარამეტრების შესაფასებლად გამოიყენება კვანტილიებისა და მომენტების მეთოდი.

დაკვირვების სიხშირის დაწესების ამოცანის ამოსახსნელად გამოიყენება ბარლოუ-პროშანის მეთოდი /79, 126/.

ყველა ცვლილების ფიქსაციის ღირებულება აღვნიშნოთ C_1 . ვთქვათ, ცვლილების ფიქსაცია K სრულდება t მომენტში. დავუშვათ, რომ ცვლილებები მოხდა t დროის განმავლობაში, რომლის დროსაც

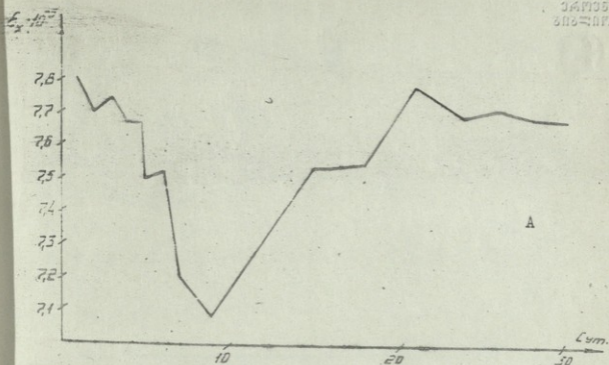
$$x_K < t < x_{K+1} \quad /1.7/$$

ცვლილების არგამოვლინების ღირებულება დროში აღვნიშნოთ C_2 . მაშინ ცვლილების გამოვლინების საერთო ხარჯები შეადგენენ

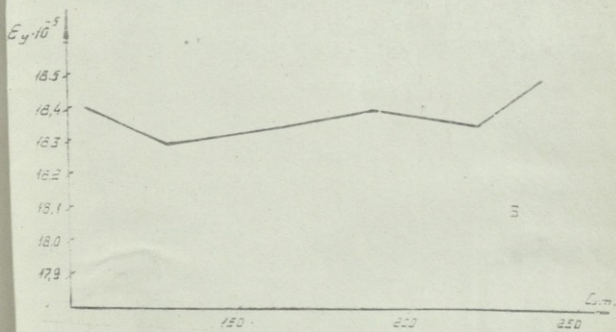
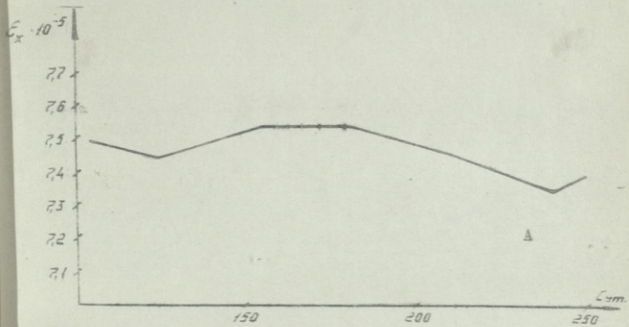
$$(K+1) C_1 + (x_{K+1} - t) C_2 \quad /1.8/$$

ხოლო საშუალო დანაკარგები

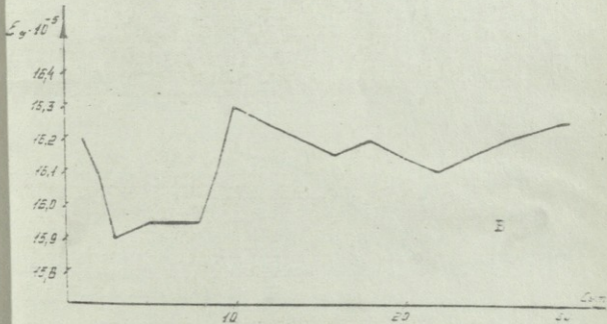
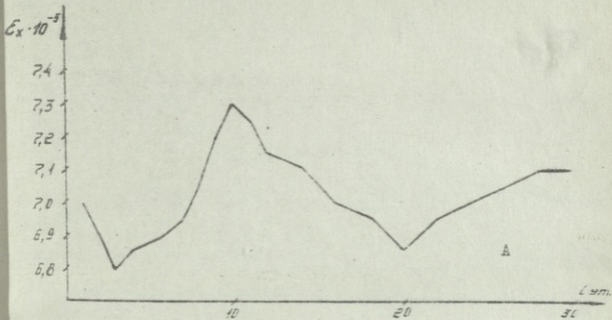
$$E = \sum_{K=0}^{\infty} \int_{x_K}^{x_{K+1}} [C_1(K+1) + C_2(x_{K+1} - t)] dF(t) \quad /1.9/$$



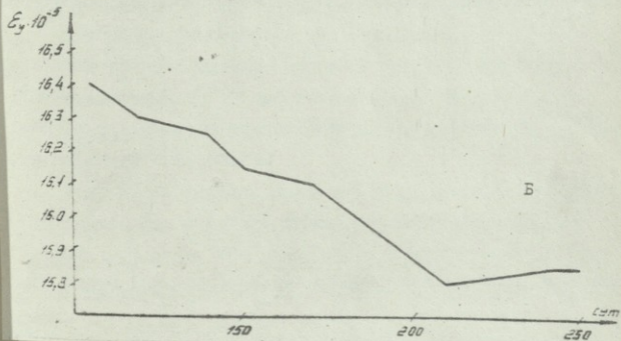
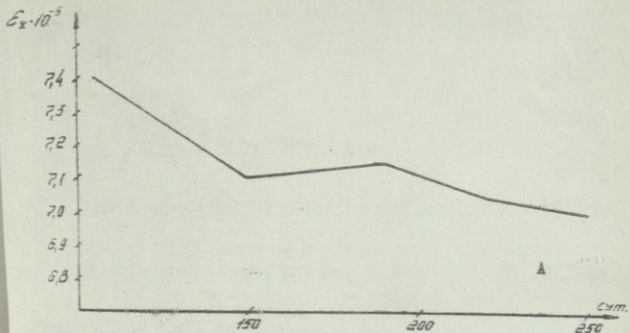
ნახ. 1.2. ბეტონის ფართობითი დეფორმაციების ცვლილება თაღვან /ა/ და კონსოლურ /ბ/ მიმართულებებში გამყარების საფეხის პერიოდში.



ნახ. 1.3. ბეტონის ვარდობითი დეფორმაციების ცვლილება თაღოვან /ა/ და კონსოლურ /ბ/ მიმართულებებში ღრობი.



ნახ. 1.4. ბეტონის ვარდობითი დეფორმაციების ცვლილება თაღვან /ა/ და კონსოლურ /ბ/ მიმართულებებში გამყარების საწყის პერიოდში



ნახ. 1.5. ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციების ცვლილება თაღოვან /ა/ და კონსოლურ /ბ/ მიმართულებებში დროში

სადაც $F(x)$ ცვლილების დროში განაწილების ფუნქციაა.

იმისათვის რომ ცვლილების ფიქსაციის სიხშირე x_k იყოს ოპტი-

მალური, აუცილებელია პირობა, რათა ყველა k

$$\frac{\partial E}{\partial x_k} = 0$$

ამიტომ

$$x_{k+1} - x_k = \frac{F(x_k) - F(x_{k-1})}{f(x_k)} - \frac{C_1}{C_2} \quad /1.10/$$

სადაც $f(x_k)$ არის დასაკვირვებელი სიდიდის ცვლილების სიმკვრივე დროში.

x_k თანამიმდევრობა განისაზღვრება რეკურენტულად, თუკი ავირჩევთ

x_1 $\frac{C_1}{C_2}$ ფართობა, ჩვენ შემთხვევაში, უნდა მივლოთ ნულთან ძალიან ახლოს, რადგანაც შემოწმების ღირებულება გაცილებთ იაფია, ვიდრე აღმორჩენილი ცვლილებისა, ყველა აქედან გამომდინარე შედეგებით /მაგალითად, ბეტონის ბლოკში ბზარების გაჩენა და სხვა/.

1.2. ცხრილში მოცემულია ცვლილებების განაწილების კანონები ~~შეესაბამება~~ /1.10/ ფორმულის ამოხსნის შედეგად $\frac{C_1}{C_2} = 0$ დაშვებისას განსაზღვრულია ცვლილების ფიქსაციის სიხშირეები, რომლებიც მოტანილია 1.3. ცხრილში.

მიღებული მონაცემების ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ საწყის ეტაპზე ცვლილების ფიქსირება აუცილებელია გახშირებული გრაფიკით. შემდეგში ფიქსაციებს შორის ინტერვალები იზრდებიან. ამის გარდა, გამოკვლევის სხვადასხვა ეტაპზე ფიქსაციის სიხშირე სხვადასხვა უნდა იყოს.

განვიხილოთ უბანი, რომელზედაც უნდა ჩატარდეს ნაგებობის დაბა-ბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობის გაწმენკები, დაწყებული 30 დღე-ღამი-დან. როგორც დროში ცვლილების განაწილების კანონის შესწავლამ დაგვა-ნახა, მოცემულ ეტაპზე შეიძლება მისი აპროქსიმირება ექსპონენციალური კანონით

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda(x)}$$

1.4. ცხრილზე მოტანილია დასაკვირვებელი პროცესის ცვლილების ფიქსაციის გრაფიკი 30 დღე-ღამის შემდეგ.

ასეთი ამოხსნა უფლებას იძლევა დასაბუთებლად დავადგინოთ სხვადასხვა ეტაპზე ნატურული გამოკვლევების სიხშირე.

დაკვირვებების არჩეული ოპტიმალური გეგმა უზრუნველყოფს, ნატურული დაკვირვებების მანძილზე შედარებით სარწმუნო ინფორმაციის მიღებას და დასაკვირვებელი პროცესის ყველა შესაძლებელი ცვლილების ფიქსაციის-დიდ ალბათობას.

შემოთავაზებული მეოთხედი გამოიყენებოდა ენგურის თაღვანი კაშხალის ნატურული გამოკვლევების დროს. აღნიშნული მეოთხედი საფუძველზე შედგენილი იყო გამზომი სისტემიდან ანთვლების აღების დამახასიათებელი გრაფიკები, რომლებიც განლაგებულნი არიან ქვედა პორიზონტებზე.

კაშხალის ზედა პორიზონტების ყველა ზონისათვის შერჩეული იყო ნაგებობის დაბალ წერტილებზე დასაკვირვებელი გრაფიკების მახასიათებელი სიხშირეები.

დამუშავებული მეოთხედი ასევე შეიძლება გამოვიყენოთ სხვა ობიექტებზე, საცდელ ბლოკებზე დაკვირვების მახასიათებელი სიხშირეების დასადგენად.

მეოთხედი ასევე უშვებს სტატისტიკური მოდელირების გამოყენებას, ცვლილებების განაწილების კანონის დაუდგენლობის შემთხვევაში.

ცვლილებების განაწილების კანონი ზოგიერთ

გამზომი წერტილები სათქმის



გამზომი სისტემის ნომერი	ადგილსამყოფელი სექციები/ღონე/	განაწილების კანონი
18	18/311	$1 - e^{-0,011t^{0,569}}$
35	18/343	$1 - e^{-0,004t^{-0,448}}$
50	18/393	$1 - e^{-0,0089t^{-0,482}}$
58	18/443	$1 - e^{-0,0023t^{-0,591}}$
95	18/485	$1 - \exp(-0,013t^{-0,379})$
29	12/343	$1 - \exp(-0,025t^{-0,724})$
20	26/343	$1 - \exp(-0,512t^{-0,015})$
25	26/393	$1 - \exp(-0,003t^{0,582})$

30 დღე-ღამის განმავლობაში ზოგიერთი გამზომი წერტილისათვის

დასაკვირვებელი პროცესს ცვლილების ფიქსაციის ოპტიმალური გრაფიკი

სს. 1.3.

გამზომი სისტემის ნომერი	გაზომვის ფიქსაციის სიხშირე „გრაფიკი“
18	5,0; 14,3; 26,2/ 39,2; 53,4; 69,6; 88,1; 108,9; 131,6; 161,6; 193,2; 228,5; 265,9; 395,9; 348,8; 394,9; 508,7; 572,2; 642,2; 722,2;
35	4,0; 15,0; 31,1; 51,1; 76,1; 101,9; 133,8; 167,2; 206,1; 249,9; 292,7; 342,7; 397,2; 467,0; 545,0; 628,0; 706,0; 791,0
50	4,0; 16,7; 31,8; 51,0; 77,7; 107,0; 138,0; 176,0; 219,0; 269,0; 323,0; 377,0; 437,0; 503,0; 577,0; 655,0; 740,0;

1.4. ცხრილი

30 დღე-ღამის განმავლობაში ზოგიერთი გამზომი წერტილი-
საფრის დასაკვირვებელი პროცესის ცვლელების ფქსაციის
ოპტიმალური გრაფიკი

გამზომი სისტემის ნომერი	გამომვის ფქსაციის სიხშირე						„ზრავი“
18	1087	1452	1817	2182	2647	2912	
35	1141	1491	1841	2191	2641	2891	
50	1120	1490	1860	2230	2600	2970	

2. გამზომი სისტემების რაციონალური განაწილება ბეტონის კაშხლებში

2.1. შვეულების რაციონალური განაწილება ბეტონის კაშხლებში

თაღვან კაშხლების ჰორიზონტალური გადაადგილებების შესწავლა მთელ მის სიმაღლეზე ნაგებობის ქცევის შესწავლის საშუალებას იძლევიან. გადაადგილებებზე დაკვირვებები მიმდინარეობს შვეულების საშუალებით, რომლებსაც განალაგებენ ძირითად კვეთში და მაქსიმალური კვეთებში. მაღალი კაშხლების კონსტრუქციული თავისებურების გამო ხშირად არ ხერხდება შვეულის ერთ შვეულ ხაზზე დაყენება. ამიტომ მათ ჯგუფებად ანაწილებენ ვერტიკალურ კვეთებში, რომლებიც გადიან სათვალერებელ გაღერებაზე და შტოლნებზე 30-50მ ბიჯით. შვეულების ან ჯგუფის მონაცემებით ფიქსირდება კონსოლების ჰორიზონტალური გადაადგილება და იგება შესაბამისი ეპიურები.

აღნიშნული ბიჯის /30-50მ/ ამორჩევა განისაზღვრება დამპროექტებლის გამოცდილებით და მნიშვნელოვან წილად ატარებს ნებოწყობლობით ხასიათს.

აღნიშნული ამოცანის ამოსახსნელად ჩვენ ვისარგებლეთ ენგურის კაშხლის ჰორიზონტალური გადაადგილების დაკვირვების გამოცდილებით და აგრეთვე სტატისტიკური მეთოდებით, ბარლოუ-ჰანტერ-პროშანის /I26/ მათემატიკური მოდელის გამოყენებით, რომელიც ჩვენს მიერ აღწერეს გამოყენებული წინა თავში მოცემული ამოცანის ამოსახსნელად და უფრო ადრე კაშხლების ინსპექტირების ოპტიმალური სტრატეგიის აღნიშვნის ამოცანის ამოსახსნის დროს /70/. 1983-1986 წწ. განმავლობაში შვეულების მარკვენებლები /ნახ.2.1./ ფიქსირდებოდა კონსოლების ჰორიზონტალური გადაადგილების ცვლილების სიხშირე არა უმეტეს 28მ-სა და დატანილი იყო 2.1 ცხრილში, ღონიდან კაშხლის ფუძისკენ 240მ დაშორების მიხედვით.

ამის შემდეგ ვაგებდით გაზომვების შედეგების შესაბამის განაწილების სიხშირულ მრუდეებს /ექსპერიმენტალური და თეორიული/, რისთვისაც განაზღვრავდით ჰორიზონტალური გადაადგილების ცვლილების სიხშირეს ათი მეტრის სიგრძის უბანზე.

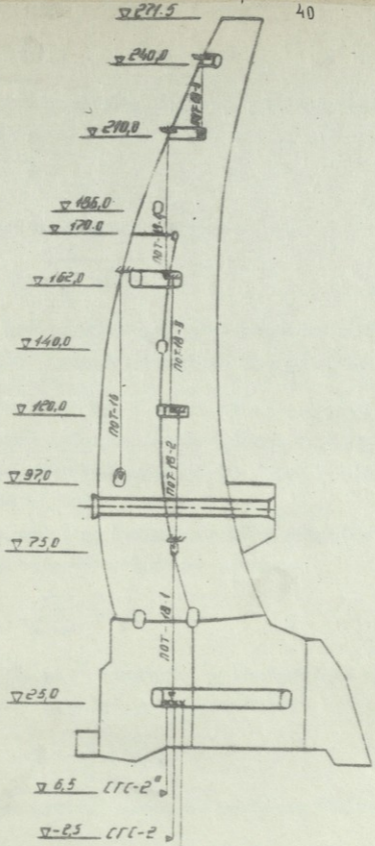
$$y_k = \frac{n_k}{0,1n_k} \quad (k=1..N, N=6)$$

/2.1/

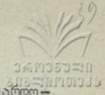
სადაც n_k არის გადაადგილების ცვლილების აბსოლუტური სიხშირე
 k_k არის კონსოლის მიმდინარე კოორდინატა, რომელიც აივლებება
 ღონიდან 240მ.

ტაბ. 2.1

შვეულის საპროექტო ნომერი	ღონე	გადაადგილების ცვლილების აბ- სოლუტური სიხშირე	კონსოლის მიმდინარე კოორდინატა
18 პ07-5	240	157	0
18 პ07-4	210	159	30
18 პ07-3	162	138	78
18 პ07-2	120	96	120
18 პ07-1	75	49	165
სრც-2	25	10	215



ნახ. 2.1. ენგურტვისის თაღვანი კაშხლის ძირითადი კონსოლების კვეთში შვეულების განლაგების სქემა



ამის შემდეგ იმავე უბნებზე აღგენდნენ ექსპერიმენტული ფარდობით სიხშირებს

$$P_k = \frac{\nu_k}{\sum_{i=1}^n \nu_i} \quad /2.2/$$

დისპერსია განისაზღვრებოდა ფორმულით

$$\sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^n P_j \hat{L}_j^2} \quad /2.3/$$

სადაც P_j არის გადაადგილების ცვლილების ფარდობითი სიხშირე

L_j არის j - უბნის შუაგულის კოორდინატა $L_j = \frac{1}{2} (L_{j-1} + L_j + 1)$

გაანგარიშების მონაცემებით აგებულ იქნა გადაადგილების ნახტომის ექსპერიმენტი განაწილების სიხშირის მრუდი და შეუპირისპირდა განაწილების ცალმხრივი წორმალური კანონის მრუდს. [14, 26, 33, 71, 73, 94, 96, 131, 148+150, 163]

განაწილების ცალმხრივი წორმალური კანონის მრუდი შეიძლება იყოს წარმოდგენილი განაწილების სიმკვრივის ფორმულით

$$f(L_j) = \sqrt{\frac{2}{\pi \sigma^2}} e^{-\frac{L_j^2}{2\sigma^2}} \quad /2.4/$$

ცნობილია რა L_j და σ სიდიდეები, გამოიანგარიშება განაწილების სიმკვრივე $f(L_j)$ ხოლო შემდეგ თანაფარდობიდან

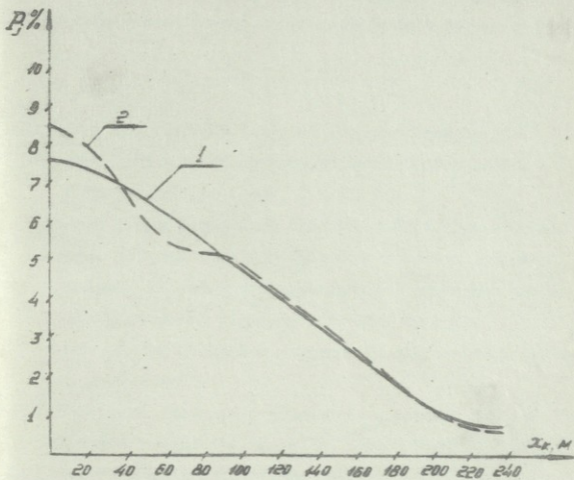
$$\tilde{P}_j = \frac{f(L_j)}{\sum_{j=1}^n f(L_j)} \quad /2.5/$$

გადაადგილების თეორიული ფარდობითი სიხშირული "ნახტომები".

ამრიგად, მიღებული ექსპერიმენტული და თეორიული არიან პორიონტალური, ნახტომებისათვის ფარდობითი სიხშირეები. ისინი გამოსახული არიან პროცენტებში და ქვემოთ არიან მოყვანილი:

$P_j \%$	8,6	5,4	5,3	3,5	1,6
$\bar{P}_j \%$	7,4	6,6	5,1	3,5	0,75

ორდინატების ღერძზე გადაზომავენ გადაადგილების "ნახტომების" ფარდობით სიხშირეებს პროცენტებში, ხოლო აბსცისის ღერძზე მანძილს მეტრებში და ზემოთ მოყვანილი მონაცემების გამოყენებით ცხრილზე დაგვაქს ექსპერიმენტული /-/ და თეორიული /-/ სიხშირული მრუდის წერტილები /ნახ. 2.2/ აგებული მრუდები თვალნათლივ გვიჩვენებენ ექსპერიმენტული და თეორიული სიხშირული მახასიათებლების სიახლოვეს გადაადგილების "ნახტომებისათვის". ამგვარად, კაშხალის სიმადლეზე პორიონტალური გადაადგილების "ნახტომების" სიხშირეები შეიძლება აპროქსიმირდნენ განაწილების ცალმხრივი ნორმალური კანონით.



ნახ. 2.2. ბირითადი კონსოლების ჰორიზონტალური გადაადგილების გაზომვების შედეგების თეორიული /1/ და ექსპერიმენტული /2/ განაწილების მრუდები



განაწილების დადგენილი კანონის მიხედვით შეიძლება ამოცხსნა ნაგებობაში შვეულების რაციონალური განაწილების ამოცანა, ბარლო-ჰანტერ-პროშანის /126/, მოდელი ნაგებობების უავარიოდ მუშაობის სისხშირული მახასიათებლების ბაზაზე ეკონომიური კრიტერიუმის გამოყენება საშუალებას იძლევა აგრეთვე შვეულების ვერტიკალური კოორდინატების მანამიმდევრობის მიღება, რომელიც აფიქსირებს მათ განლაგებას.

$$x_{k+1} - x_k = \frac{F(x_k) - F(x_{k-1})}{f(x_k)} - \frac{c_1}{c_2} \quad /2.6/$$

სადაც c_1 - არის ერთი გამზომი სისტემის /შვეულას/ ღირებულება.

c_2 - არის კაშხალის მუშაობის მტყუნების აღმოუჩინებლობის ღირებულება, რომელიც მოდის 16 სიგრძეზე.

$F(x)$ - არის კაშხალის უავარიოდ მუშაობის განაწილების ფუნქცია.

$f(x)$ - არის კაშხალის უავარიოდ მუშაობის აღბათობის სიმკვრივე, რომელიც პირიზონტალური გადაადგილების ცვლილების სიხშირის პისტოგრამის ინტერპოლაციის გზით მიიღება.

x_k - არის გაზომვის სისტემის /შვეულების/ განლაგების მიმდინარე კოორდინატა.

/2.6./ ფორმულის პრაქტიკული გამოყენება ვარაუდობს ფიზიკური ხასიათის მოსაზრებების საფუძველზე, x_0 და x_1 კოორდინატების შერჩევას.

მანამიმდევრობა განისაზღვრება რეკურენტულად $\frac{c_1}{c_2} = 0$ რადგანაც $c_1 \ll c_2$

რამდენადაც $f(x)$ აღბათობის სიმკვრივე საკმაოდ კარგად ინტერპოლირდება განაწილების ცალმხრივი ნორმალური კანონით, $F(x)$ განაწილების ფუნქცია შეიძლება გამოვსახოთ ლაპლასის $\varphi(x)$ ფუნქციით. ზუსტად $\frac{c_1}{c_2} \approx 0$ და მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ /2.6/ ფორმულა შეიძლება ჩაწვიროთ ასეთი სახით

$$x_{k+1} = x_k + \frac{\varphi(z_k) - \varphi(z_{k-1})}{f(z_k)} \quad /2.7./$$

სადაც

$$f_k = \frac{x_k}{S}$$

როგორც აღნიშნული იყო, რეკურენტული ფორმულით /2.6/ სარგებლობისათვის აუცილებელია ორი საწყისი პირობა. ამ პირობების შესაბამისად შევირჩიოთ კოორდინატები x_0 და x_1 თავდაპირველად ავირჩიოთ ნებისმიერად, საბოლოოდ შევირჩედოთ ასეთ მნიშვნელობაზე, რომლის დროსაც Δx_k "ფუნქცია" საკმაოდ ჩქარა იღებს სტაციონალურ ხასიათს /ანუ აღარ არის დამოკიდებული -ზე/.

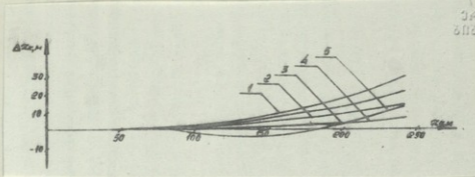
2.3. ნახ-ზე გამოსახულია Δx_k მრუდების ოჯახი, რომლებიც განსაზღვრულია x_1 პარამეტრით.

საუკეთესო შემთხვევაში მითითებულ პირობას აკმაყოფილებს $x_1 = 50$ მ. მნიშვნელობა. სწორედ ეს მნიშვნელობა იყო გამოყენებული /2.7/ ფორმულაში, რომლის მიწვევებითაც შედგენილია 2.2. ცხრილი.

ამ ცხრილში დატანილია თაღოვანი კაშხალის ძირითად კონსოლში შვეულღების რაციონალური განაწილების გამომანგარიშების შედეგები.

2.2. ცხრილი

კონსოლის უბანი	x_k, m	f_k	Z_k	$f(Z_k)$	$\Phi(Z_k)$	$x_k = x_{k+1} - x_k$
1	50	0,46	0,33	0,38	0,37	
2	101,8	0,95	0,67	0,29	0,67	51,8
3	157,8	1,42	0,1	0,15	0,84	56,0
4	218 6					60,8



46

ნახ. 23. შვეულბურის რადიონალური განაწილების გრაფიკი
-ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის

1. 650, 2. 600, 3. 550, 4. 500, 5. 450.

თუკი ზღა კოორდინატებიდან გადავალთ ღონეებზე, მივიღებთ, რომ კაშხლის სხეულში არსებული სწორი შვეულები უნდა განლაგდეს 240, 190, 138, 2 და 11,4მ ღონეებზე. სულ დასჭირდება 4 შვეული, ანუ ერთი ერთეული ნაკლები, ვიდრე ძირითად კონსოლებში.

უნდა განიმარტოს, რომ შექცეული შვეულია, რომლის მიმართაც ტარდება დაკვირვებები, და ყენდება 50მ სიღრმის ჭაში.

2.2. ტენზომეტრული როზეტების რაციონალური განლაგება გიტონის კაშხალში

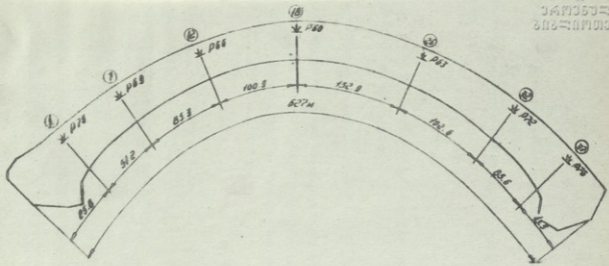
კაშხლის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის დაკვირვებისათვის განკუთვნილი ტენზომეტრული როზეტების /ტ.ხ./ რაოდენობა და დანადგარის ადგილი ინიშნება თეორიული და მოდელური გამოკვლევების საფუძველზე.

კაშხალში გამოზომი სისტემების რაციონალური განაწილება, განაპირობებენ ნატურული დაკვირვებების ღირებულების შემცირების და ამავდროულად, ნაკლებობის სტატისტიკურ მდგომარეობაზე იძლევიან მაქსიმალურ ინფორმაციას.

გავაანალიზოთ ტენზომეტრული როზეტების განლაგება, რომლებიც დაყენებული არიან ენგურჭესის კაშხლის თაღის ზედა ზედაპირიდან 1მ-ის მანძილზე, 203 მ-ის ღონეზე /ნახ. №2.4. 4, 7, 12, 18, 26, 32, 37 სექციებში და კაშხლის მარცხენა გვერდიდან დაშორებულები, შესაბამისად 25, 83/77; 162, 3/262, 6; 395, 5; 497, 6; 583, 2მ. და მდლიანი თაღის 626, 5მ-ის სიგრძეზე.

თავდაპირველად განვსაზღვროთ თაღში ძაბვის სიბშირული მახასიათებლების ცვლილება არანაკლებ 0,5 მპა ტენზომეტრული როზეტების მარცხენა-ღობის მიხედვით ტრ. №75, 69, 66, 60, 63, 72 და 78, 1983-დან 1986 წლის მანძილზე.

ამის შემდეგ ავაგოთ თაღის ძაბვის გაზომვის შედეგების ექსპერიმენტული და თეორიული განაწილების წირები /მრულები/ და განსაზღვროთ მათი სიბშირის მახასიათებლები. გამოსახულებიდან დავადგინოთ ძაბვის ცვალებების ფარდობითი ექსპერიმენტალური სიბშირე.



ნახ. 2.4. 2038-ის დონეზე, მაღოვანი კაშხლის პორიზონტალურ კვეთში ტენზომეტრული როზეტების განლაგების სქემა

$$y_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^n n_j}$$

სადაც n_j - არის თაღში ძაბვის სიხშირის ცვლილება უბნებზე.

N - არის უბნების რაოდენობა.

ძაბვის ფარდობითის თეორიული სიხშირის ცვალებების გამოთვლიან შემდეგი ფორმულით

$$\tilde{w}_i = \frac{\omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \quad /2.9/$$

სადაც $\omega_i = \omega(x)$ არის განაწილების ინტერპოლაციური სიმკვრივე, რომელიც ექვემდებარება ნორმალურ კანონს

$$\omega(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad /2.10/$$

\bar{x} - არის შემთხვევითი სიდიდის მათემატიკური ლოდინი

σ - არის შემთხვევითი სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრა.

თაღში ძაბვის ექსპერიმენტული და თეორიული სიხშირეების ნაპოვნი მნიშვნელობები 2.3. ცხრილშია დაყვანილი.

ცხრილი 2.3.

თაღის უბანი	სექცია	ნ რ- ზეტის	მანძილი მარჯვენა ნაპირიდან, მ.	n	y %	ω %
1	4	75	25,8	19	6,64	4,68
2	7	69	77,0	21	7,34	12,55
3	12	66	162,3	65	22,72	22,55
4	18	60	262,6	74	25,90	27,02
5	26	63	395,5	50	17,48	21,48
6	32	72	497,6	35	12,23	11,38
7	37	78	583,2	22	7,69	0,32



ექსპერიმენტული და თეორიული განაწილების წირის /მრუდის/ გაანგარიშების შედეგები გრაფიკულად ნაჩვენებია 2.5 ნახ-ზე.

მიუხედავად $s \sqrt{i}$ და $\lambda(i)$ ფუნქციების წერტილოვან დაშორებლსა, მათი ინტეგრალური მახასიათებლები, რომლებიც გამოხატავენ სხვადასხვა ხლომილებების აღბათობას, პრაქტიკულად ერთმანეთს ემთხვევიან.

ახლა დავაწესოთ გაზომვის სისტემებს შორის რაციონალური მანძილი. ამისათვის ვისარგებლებთ მათემატიკური მოდელით /2.6/

$$x_{c+1} = x_c + \frac{F(x_c) - F(x_{c-1})}{f(x_c)} - \frac{C_1}{C_2}$$

რადგანაც $f(x)$ აღბათობის სიმკვერივე ექვემდებარება გაუსის განაწილების ნორმალურ კანონს, განაწილების $F(x)$ ფუნქცია შეიძლება გამოვხატოთ ლაპლასის $\Phi(x)$ ფუნქციით, /2.6./ გამოსახულება მიიღებს შემდეგი სახე

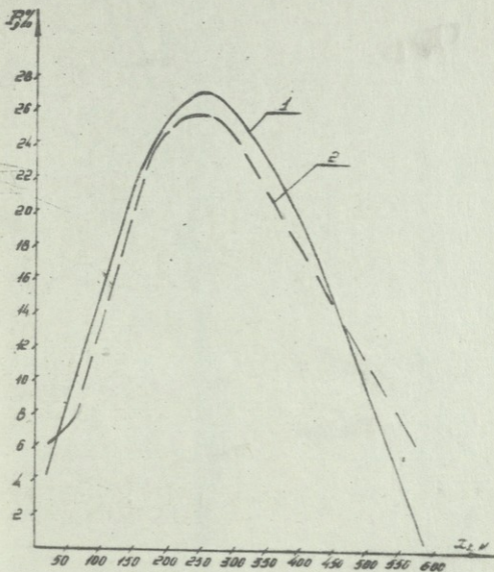
$$x_{c+1} = x_c + \frac{\sigma}{2} \frac{\Phi(z_c) - \Phi(z_{c-1})}{f(z_c)} - \frac{C_1}{C_2} \quad /2.11/$$

სადაც $z_c = \frac{x_c - \bar{x}}{\sigma}$ $z_{c-1} = \frac{z_c}{\sigma \sqrt{2}}$ $\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}{N-1}$ $\frac{C_1}{C_2} \approx 0$

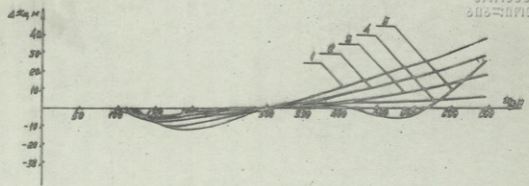
N - არის უბნების რაოდენობა

ავარჩიოთ თანმიმდევრული მნიშვნელობები $x_c = 120, 115, 110, 105, 100$, რომლებიც აკმაყოფილებენ /2.11/ მათემატიკურ მოდელს $x_1 = 0$ -ის დროს და რეკურენტული პროცედურების საშუალებით განვსაზღვროთ შესაბამისი ფუნქციები და ავაგოთ მრუდები.

2.6. ნახ-ზე გამოსახული მრუდების ოჯახიდან ვირჩევთ იმას, რომელსაც გააჩნია უფრო სტაციონალური ხასიათი. ეს ის მრუდი იქნება, რომლის ფუნქციები მიღებულია $x_1 = 105$ -ის დროს.



ნახ. 2.5. 2108-ის დონეზე კვეთში კაშხლის თაღში ძვლებების
 განაწილების მონაცემები, თეორიული /1/ და ექსპერიმენტალური /2/



ნახ. 2.6. ტენზომეტრული რეზულტების რაციონალური განლაგების დამოკიდებულების
გრაფიკი სხვადასხვა მნიშვნელობის ათვის:

1 12m, 2. 11.5; 3. 11.0; 4. 10.5; 5. 10.0.

201 მ-ის დონეზე კაშხალის საზომ კვეთში ტენზომეტრული როზეტების რაციონალური განაწილების გაანგარიშების შედეგები 2,4 ცხრილშია მოტანილი

ცხრილი 2/4.

თალის უბანი	ქ _{კმ}	შ _კ	ჯ _კ	ქ(შ _კ)	ფ(ჯ _კ)	ს _კ = შ _{კ+1} - - შ _კ
1	105,0	-0,85	-0,60	-0,28	-0,60	
2	188,7	-0,46	-0,32	-0,36	-0,33	83,7
3	268,7	-0,08	-0,06	-0,40	-0,05	80,0
4	343,3	0,27	0,19	0,38	0,22	74,6
5	419,0	0,62	0,44	0,33	0,47	75,7
6	499,8					

ამ ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ პირველი ტენზომეტრული როზეტი ენგურის თალური კოშკისათვის 203 მ-ის დონეზე უფრო რაციონალური იქნებოდა, თუკი განლაგდებოდა კაშხალის მარჯვენა ნაპირის ბოლოდან 105 მ-ის მანძილზე, ხოლო მომდევნოები 83,7; 80,0; 74,6; 75,7; 88,8 მ-ის შემდეგ, რაც შეესაბამება კაშხლის 9, 13, 19, 23, 28 და 33 სექციებს.

გამზომი სისტემების ნაგებობების სხეულში ამგვარი განლაგება, ერთ საზომ კვეთში მათი რაოდენობის შემცირებას გახდინდა შესაძლებლს.

პროექტირებადი და ახლად მშენებარე ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისათვის გამზომი სისტემების შორის რაციონალური მანძილის დანიშნვისათვის, აუცილებელია დამუშავებული მეთოდის გამოვიყვანოთ ლაბორატორულ მოდელებზე, რომლებზედაც დატვირთვა და ზემოქმედება იქნება იმიტირებული. ამასთან, ჰორიზონტალური გადაადგილების ცვალებადობის და მათის მიხედვით, კაშხალის მოდელისთვის ვადგენ განაწილების კანონებს.

რის შემდეგაც ბარლო-ჰანტერ-პროშანის მათემატიკური მოდლის გამოყენებით, გამოომ სისტემების შორის ინიშნება ოპტიმალური მანძილი.

ენგურჰესის თაღვანი კაშხლის ნატურული დაკვირვების ბაზაზე, გამოომი სისტემების რაციონალური განაწილების შემთავაზებული მეთოდის გამოყენებით, დამუშავებული იყო რეკომენდაციები გამოომი სისტემების მოცულობისა და ნომენკლატურის დასაზუსტებლად, რომლებიც ხუთნაშესის თაღვანი კაშხლის უავარიო მუშაობის მაქსიმალური გარანტიებისათვის იყო საჭირო.



3. ზეტონის კაშხალების მდგომარეობის შეფასება ტიპიური დიაგნოსტიკის სტატისტიკური მეთოდებით

3.1. ამოცანის დასმა

გამზომი სისტემებით აღჭურვილი, მაღალი ზეტონის კაშხალების მშენებლობასთან დაკავშირებით, მათი ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება დღიური-დღე უფრო და უფრო აქტიუალური, როგორც საქართველოში, ასევე საზღვარგარეთაც. თუმცა ხანგრძლივი ექსპლუატაციის განმავლობაში, ზოგიერთი ტიპის გამზომი სისტემების საშუალებით ნაგებობების უსაფრთხოებაზე მულტივი კონტროლი არ ხერხდება ამ სისტემების პერიოდულად მწყობრიდან გამოსვლის გამო.

ენგურშესის თაღვანი კაშხლის მშენებლობისა და დროებითი ექსპლუატაციის დროს გახტარდებოდა გაზომვები პირდაპირი და შექცეული შედეგებით შემდეგი მიზეზების გამო: 1982-1983წწ განმავლობაში $\Pi 0-1$ და -თან მიდგომების უქონლობის გამო, $\text{CNC}-1, 3, 11, 29$ -თან დაზიანების გამო, 1984-1985წწ $\Pi 0-5$ თან მიდგომების უქონლობის გამო, $\text{CNC } 13, 14$ და 22 -თან დაზიანების გამო; $\text{CNC}-12$ და 15 დაზიანების გამო, ხოლო $\text{CNC}-1$ და 29 შედეგები საერთოდ განადგურდა. ანალოგიური მაგალითების მოყვანა შეიძლება ნაგებობაში ჩასადგმელი გამზომი სისტემების მიმართაც, რომელიც რემონტს და შევლას არ ექვემდებარება. 1972-1983წწ განმავლობაში კაშხალზე მწყობრიდან გამოვიდა 405 სიმური ტიპის გარდამქმნელი და 455 თერმისტორის ტიპის. ყოველწლიურად მწყობრიდან გამოსულა გამზომი სისტემების რიცხვი იზრდება, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს დიდი იმფორმაციის დაკარგვა. ამიტომ მნიშვნელოვანია შეფასდეს ნაგებობის საიმედოობა, როდესაც სრულიად არ არის ძირითადი პარამეტრები და არის „ირიბი“.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება არა საკმარისი ინფორმაციის პირობებში. ამ ამოცანის ამოსახსნელად გამოიყენება სახეობა გარჩევის საერთო მეთოდი /21, 57, 64, 100/.



დამუშავებული და მათემატიკურად დასაბუთებული სახეობა გარჩევის მეოთხედიდან /ტიქნიკური დიაგნოსტიკის/ ყველაზე მეტად ზოგადი და უნივერსალურია: მ.ა.აიზერმანის, ე.მ.ზრავერმანის და ლ.ი.როზონოეროვის /1/ მიერ შემოთავაზებული პოტენციალური ფუნქციების მეოთხედი.

გამოვიყენოთ ეს მეოთხედი ენგურის კაშხალის ნატურული გამოცვლებებში.

(სახეობა გარჩევის თეორიიდან პოტენციალური ფუნქციების მეოთხედი ჩვენს მიერ პირველად იყო გამოყენებული ენგურის თაღვანი კაშხალის/70/ ბეტონის ბლოკებში ნაადრევი ზზარწარმოქმნის პროგნოზირებისას.) ძირითად მაჩვენებლად ვთვლით 240 მ-ის ღონეზე ძირითადი კონსოლის პორიზონტალურ გადაადგილებას, რომელიც განსაზღვრავს ნაგებობის მდგრადობას, თუმცა მათ აღგლას შეიძლება იყოს სხვა ტიპის სააკონტროლო პარამეტრით /პიეზომეტრული დაწნევა, კონტაქტური ნაკერის გახსნა, ფილტრაციის ხარჯი, წყალსაცავის ავსების სიჩქარე/, რომლებიც საპროექტო ორგანიზაციების მიერ ინიშნებიან. ირიბი მაჩვენებლები კი არიან ბეტონში თაღური და კონსოლური ძაბვები, სექციათშორისო ნაკერების გახსნა და ტემპერატურა ბეტონში.

3.2. ამოხანის ამოხანის აღგორიში და პროგრამა

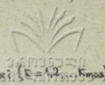
სახეობა გარჩევის თეორიის პოტენციალობის მეოთხედის გამოთვლით მარე გაშუქებულია [1]

დავუშვათ, რომ ჩვენ გვაქვს შემდეგი ამოსავალი ინფორმაცია:

1. ძირითადი მაჩვენებლის მნიშვნელობების $P_i, i=1, 2, \dots, N$

სადაც i არის გაზომვის ნომერი, N - არის მათი რაოდენობა დაკარგულია $(N+1) - l$ მაჩვენებლის გაზომვა;

2. $P_{სადაც}$ არის ძირითადი მაჩვენებლის რაღაც მნიშვნელობა, რომელიც საზღვრისაა მიღებული; იგი ინიშნება საპროექტო ორგანიზაციის მიერ და გადაეცემა საექსპლუატაციო სამსახურს;



3. ირბი არა პირდაპირი მარცენებლების მნიშვნელობები $(i=1,2,\dots,N)$ სადაც K არის ირბი/თანმხლები/ მარცენებლის ნომერი.

K_{max} - არის მათი რაოდენობა $N+1$ - არის ირბი მარცენებლების გაზომვების რაოდენობა,

4. α, γ, ρ_i $(i = 1, 2, \dots, N+1)$ - ე.წ.

გამრჩევი ფუნქციის ოპტიმატიზაციის პარამეტრები /იხ. ქვემოთ/,
პირველ მიახლოებაში რეკომენდირებულია ავიღოთ $\rho_i = 1$ $\alpha = 3$ $\gamma = 4$

ჩვენს შემთხვევაში ამოცანის ამოხსნა დავიყვანება გამოკვლევამდე: გადამეტდება თუ არა დაკარგული $N+1$ გაზომვის სიდიდე ნაგებობების მდგომარეობის სასაზღვრო მნიშვნელობას P საზღვრ. მარცენებელს, ანუ სამართლიანია თუ არა უტოლობა P საზღვრ. $> P_i$

განსაზღვროთ \bar{x} საშუალო მნიშვნელობა და ყოველი ირბი მარცენებლის და საშუალო კვადრატული გადახრა s_k

$$x_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ki} \quad P_k = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ki} - \bar{x})^2 \quad s_k = \sqrt{D_k} \quad /3.1/$$

სადაც $K=1, 2, \dots, K_{max}$

ყურადღება იმას უნდა მივაქციოთ, რომ \bar{x}_k s_k სიდიდეები იმყოფებიან N /და არა $N+1$ / ირბი მარცენებლების გაზომვებთან.

განვსაზღვროთ ნორმირებული ირბი მარცენებლები გაზომვებისათვის $i=1, N+1$

$$x_{kj} = \frac{x_{ki}}{s_k} \quad /3.2/$$

სადაც $K=1, 2, \dots, K_{max}$ $i=1, 2, \dots, N, N+1$

და ე.წ. i და j გაზომვების შორის მანძილი „ R_{ij} ”

$$R_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^N (x_{ki} - x_{kj})^2} \quad /3.3/$$

სადაც $i=1, 2, \dots, N+1$ $j=1, 2, \dots, N+1$



ვიპოვოთ პირობითი პოტენციალები მიღებულ

მუხტით

წი რტირში

$$\varphi_{ij} = \begin{cases} 0 & i=j \\ q_i [1 + \alpha R_{ij}^{-1}]^{-1} \delta_{სასაზღ} & i \neq j \end{cases} \quad /3.4./$$

სადაც $\delta_{სასაზღ} = \begin{cases} 1 & p \text{ საზღვრ.დროს } > P_i \quad i=1, 2, \dots, N+1 \\ -1 & p \text{ საზღვრ.დროს } < P_j \quad j=1, 2, \dots, N+1 \end{cases}$

ჩავაწეროთ გამრჩევი ფუნქცია

$$\psi_j = \sum_{i=1}^N \varphi_{ij} \quad /3.5/$$

რომლის დროსაც უნდა შესრულდეს ნიშნების შემდეგი კანონი

$$P_j < P_{სასაზღ} \quad \psi_j > 0$$

$$P_j > P_{სასაზღ} \quad \psi_j < 0$$

/3.6/

გამრჩევი ფუნქციის პირველი მნიშვნელობები მეთოდის შემოწმების საშუალებას იძლევა, ანუ შემოწმდეს: შეესაბამებიან თუ არა $\text{sign}(\psi)$

ნიშნები P_j მაჩვენებლის მნიშვნელობებს, თუ მითაღებული ნიშნების წესი ირღვევა, საჭიროა α, ν, q_i პარამეტრებით ვარიირება მანამ, სანამ არ მიიღწევა შესაბამისობა $\text{sign}(\psi_j)$ ნიშნებსა და P_j მაჩვენებლის მნიშვნელობებს შორის.

როდესაც ნიშნების წესი სრულდება გამრჩევი ფუნქციის პირველი მნიშვნელობისათვის, $\text{sign} \psi_{N+1}$ ნიშანი აძლევს ინფორმაციას იმის შესახებ,

სრულდება თუ არა ტოლობა $P_{N+1} < P_{სასაზღ}$

$$\text{sign}(\psi_{N+1}) > 0 \quad P_{N+1} < P_{სასაზღ}$$

$$\text{sign}(\psi_{N+1}) < 0 \quad P_{N+1} > P_{სასაზღ}$$

/3.7./

აღგორითმი რეალიზებულია ეცმ-ის პროგრამის სახით. 3.1. ცხრილში მოცემულია გაბტმეების მნიშვნელობები, რომლებიც ჩატარებულია 1985-1986წწ



ენგურჰესის თალოვანი კაშხლის ძირითად კვეთში 240 მ ღონეზე /31,5მ-ით კაშხლის თხემს ქვემოთ/ ამისათვის გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები: $\bar{n}_{\alpha_1}, \bar{n}_{\alpha_2}, \bar{n}_{\kappa_1}, \bar{n}_{\kappa_2}$ - თალოვანი და კონსოლური ძაბვები. (მპ), 18 მანძილზე კაშხლის ზედა და ქვედა ზედაპირიდან $\bar{\epsilon}_{17_1}, \bar{\epsilon}_{17_2}, \bar{\epsilon}_{18_1}$ და $\bar{\epsilon}_{18}$ - 17 და 18 სექციითაშორისი ნაკერების გახსნა მმ-ში, 18 მანძილზე კაშხლის ზედა და ქვედა ზედაპირებიდან T_1 და T_2 - ბეტონის ტემპერატურა 0° 1 მ-ის მანძილზე კაშხლის ზედა და ქვედა ზედაპირიდან

L - კონსოლის პორიზონტალური გადაადგილება, მმ.

10.07.1986წ გაზომილი, 94მმ-ის ტოლი გადაადგილება, გამოყენებული იყო, როგორც საკონტროლო.

ხოლო გადაადგილებები, რომლებიც შესაბამებოდნენ გაზომვის თარიღებს 15.06.1985წ, 1.03 და 5.06.1986 წლებიდან არ იყვნენ დაფიქსირებული საზომი სისტემის მიუწოდომლობის გამო.

ამიტომ მათი მნიშვნელობები 3.1 ცხრილში არ არის მოცემული.

აუცილებელია დავადგინოთ, ამტბებენ თუ არა გაუზომავი გადაადგილებები L საზღვ. - 103მმ /მოცემული მნიშვნელობის ამორჩევას აქვს რამდენიმე პირობითი ხასიათი/.

პროგრამის ბაზაზე მიღებულია გამრჩევი ფუნქციის Ψ_j j -სვეტი ნომერი/ შემდეგი მნიშვნელობები;

$$\Psi_1 = 0,53 \cdot 10^{-2} \quad \Psi_2 = 0,41 \cdot 10^0 \quad \Psi_3 = 0,12 \cdot 10^1 \quad \Psi_4 = 0,10 \cdot 10^1 \quad \Psi_5 = 0,35 \cdot 10^{-1}$$

$$\Psi_6 = -0,72 \cdot 10^0 \quad \Psi_7 = -0,75 \cdot 10^0 \quad \Psi_8 = -0,19 \cdot 10^0 \quad \Psi_9 = -0,18 \cdot 10^0 \quad \Psi_{10} = -0,14 \cdot 10^{-1}$$

$$\Psi_{11} = 0,44 \cdot 10^{-3} \quad \Psi_{12} = 0,33 \cdot 10^{-2} \quad \Psi_{13} = 0,35 \cdot 10^{-3} \quad \Psi_{14} = 0,13 \cdot 10^{-1}$$

Ψ_j გამრჩევი ფუნქციის მნიშვნელობების ნიშნები $/j = 1.10/$

მალიანად შესაბამებიან უტოლობებს $k_j < k_{სასაზღ} / j = 1.10/$

სახელდობრ

$$k_j < k_{სასაზღ} \quad \Psi_j > 0$$

$$k_j > k_{სასაზღ} \quad \Psi_j < 0$$

კატორღვის ნომერი და ძარილი

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ნაპრობო	25,05	15,06	20,06	23,06	25,06	1,07	5,07	15,07	20,07	15,08	10,07	15,08	1,03	5,06
ბაბა	-2,1	-3,3	-8,7	-3,8	-4,0	-4,5	-4,7	-5,8	-6,6	-6,7	-1,8	-2,6	-1,5	-3,7
ბაბა	-1,6	-2,1	-2,3	-2,5	-2,5	-3,0	-3,0	-3,3	-3,7	-4,0	-1,1	-1,7	-3,7	-2,3
£17 88	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2
£18 88	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5	0,2
T ₁ C	11,5	14,5	14,5	14,5	14,5	15,0	15,0	16,4	16,5	18,9	7,5	13,8	7,5	13,5
G ₂ 833	-2,2	-3,3	-3,8	-4,2	-4,4	-5,0	-5,6	-6,7	-7,0	-8,8	-2,5	-2,8	-2,9	-3,8
G ₂ 833	-2,5	-3,0	-3,1	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,4	-1,7	-1,9	-1,9	-3,1
£17 88	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
£18 88	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2
T ₂ C	12,4	15,5	15,5	15,5	15,5	15,6	15,9	16,0	17,0	20,3	10,0	11,1	10,0	14,5
L 88	65,5	76,4	83,0	87,8	98,0	108,0	110,0	118,0	123,0	130,0				





რამდენადაც $j = 11, 12, 13, 14$ $\Psi_i > 0$ შესაბამისი გადაადგილებები

$L_{11}, L_{12}, L_{13}, L_{14}$ არ აღემატებიან მნიშვნელობას 10388 .

ნათელი რომ პროგრამის გამოყენება ხდება ბეტონის კაშხლების ტექნიკური დიაგნოსტიკის შემადგენელი ნაწილი.

ჩვენს მაგალითში ამორჩეული პორიზონტალური გადაადგილებების სასაზღვრო მნიშვნელობა არის პირობითი. მისი ნამდვილი მნიშვნელობის მიღება შესაძლებელთა თეორიული ანგარიშების ან ლაბორატორიულ მოდელებზე ისეთი დატვირთვის შექმნის გზით, რომლებიც მოდელს მიიყვანენ დაშლის წინა პერიოდამდე.

"შესასწავლი" მატრიცისათვის შეიძლება ფყოს გამოყენებული კაშხლის დაძაბულ-დეფორმირებული გამოკვლევების მონაცემები და აგრეთვე თეორიული ანგარიშები. სწორედ მათ უნდა აღწერონ შექმნილი სახე.

3.3. ნატურული დამკვირვებების მონაცემების ანალიზის მეთოდები

ნატურული გამოკვლევების შედეგების რაოდენობლივი ანალიზისათვის გამოიყენება სტატისტიკური დამუშავების სხვადასხვა ხერხი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ბეტონის კაშხლის ქვევის ხასიათი /9, 10/.

გაზომვის საშუალებით მიღებული ნატურული გამოკვლევების მონაცემები ახასიათებენ, როგორც "ნაგებობა-ფუძის" სისტემის ერთობლივ მუშაობას ასევე დეფორმაციებსა და ძაბვებს სხვადასხვა კვეთში და გაზომვის წერტილებში. ამ შედეგების მდლიანი ანალიზი შესაძლებელია მხოლოდ ფაქტორების დამოუკიდებელი შესწავლის დროს /ჰიდროსტატიკური დატვირთვა, ბეტონისა და გრუნტის ტემპერატურა, ტემპერატურის გრადიენტი, დაძაბვის დრო/, რომლებიც განსაზღვრავენ ნაგებობის სტატისტიკურ მდგომარეობას.



კამბალზე უშუალო გაზომვების შედეგები განპირობებულია ძირითადი ფაქტორების ჯამური გავლენით და მხოლოდ განსაკუთრებულად ხელსაყრელ პირობებში იქმნება იმის საშუალება, რომ გაიზომოს საერთო გადაადგილებები, დეფორმაციები, წინვები, ნაკერების გახსნა ცალკეული ფაქტორის ზემოქმედებით. ამიტომ დიდ მნიშვნელობას იძენს აღნიშნული საკითხის შესწავლა მათემატიკური /სტატისტიკური/ მოდელირების მეთოდის ბაზზე/მ2/. მათემატიკური მოდელი გვაძლევს რაოდენობრივი და ლოგიკური ურთიერთკავშირისა და შესაბამისობის რეალური სურათის აღწერას ნაგებობების ძირითადი პარამეტრისა და მოქმედი ფაქტორების კავშირის, შეზღუდვის სისტემასა და ეფექტური კრიტერიუმის მახასიათებლებს შორის. ნაგებობების სიცოცხლეში მომხდარი ფიზიკური პროცესების მოდელირება შედგება რიგ ურთიერთდაკავშირებული ეტაპების აგან: მოდელირების ამოცანის დასმა, მათემატიკური აღწერის შედგენა, მისი ალგორითმიზაცია და პროგრამირება, მოდელის აღიკვეთლობის შემოწმება.

სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის პრაქტიკულ საფუძველს წარმოადგენენ ერთგვაროვანი სისდიდეების ერთობლიობა, რომლებიც მიიღებიან ორგანიზებული დაკვირვების შედეგად, ხოლო მეთოდოლოგიური - ალბათობის თეორია, როგორც ამ სფეროში უმეტესი ნაშრომების განხილვამ აჩვენა, მათემატიკური მოდელის გამოსავალი პარამეტრების დროში განვითარების ანალიზისა და პროგნოზისათვის ბევრი მკვლევარი შემოიფარგლა ძირითადი ფაქტორებით: პილროსტატისტიკური დაბვირთვით, ტემპერატურით და დროსთან დაკავშირებული შეუქცევადი ცვლილებებით.

$$x = F(H, T, t) \quad /3.3.1./$$

სტატისტიკური მეთოდი /გაფლენის კოეფიციენტების მეთოდი/ საშუალებას იძლევა დადგინდეს თითოეული მოქმედი ფაქტორის გავლენა ნაგებობის ქვევაზე ნატურული გაზომვების შედეგების საფუძველზე. გაფლენის კოეფიციენტების მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ პარამეტრის ყველა გაზომილი მნიშვნელობა წარმოდგენილია მათემატიკურ მოდელში, სადაც შედიან ცვლადები მუდმივი კოეფიციენტებით განტოლების სისტემის ამოხსნა



საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ეს კოეფიციენტები, რომლებიც წარმოადგენენ გავლენის კოეფიციენტებს.

საწყისი მათემატიკური მოდელი შეიძლება წარმოვქმნოთ იყოს სამი დამოუკიდებელი შემადგენლისაგან

$$x_0 = U(H) + Q(T) + V(t) \quad /3.3.2./$$

სადაც x_0 - გაზომილი ჯამური სიდიდე /გადაადგილების, მავის, დეფორმაციის/

ჰიდროსტატიკური გაწნევა განისაზღვრება წყალსაცავში წყლის დონის და გამოისახება n ხარისხის პოლინომით. ენგურის კაშხლის ათვისება არჩევა შემოიფარგლა მესამე ხარისხის პოლინომით, რადგანაც გავლენის ყველა კოეფიციენტი უფრო მაღალ H ხარისხებთან, როგორც რეგრესიის განტოლებამ გვარჩენა, ნულის ტოლია

$$U(H) = \alpha_1 H + \alpha_2 H^2 + \alpha_3 H^3 \quad /3.3.3./$$

სადაც H - ჰიდროსტატიკური დატვირთვის მდგენელი

ნაგებობის პარამეტრების არაერთგვაროვანი ცვლილების აღრიცხვისათვის, მაგრამ სხვადასხვაგვარად მიმართული წყლის დონის შემთხვევაში /წყალსაცავის ავსება ან დაცლა/, შეყვანილია /3.3.3/ დამოკიდებულებაში კიდევ ერთი წევრი ΔH დაწინევიდან

$$U(H) = \alpha_1 H + \alpha_2 H^2 + \alpha_3 H^3 + \alpha_4 \Delta H \quad /3.3.4./$$

სადაც $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ - ჰიდროსტატიკური დატვირთვის გავლენის კოეფიციენტი: ΔH - განსხვავებაა წყლის დონის ნიშნული ზედა ბიეფში (წ.დ.ნ) გაზომვის მომენტსა და წინა დევეში წყლის საშუალო დონეს შორის.

ტიმპერატურული ფაქტორით გამოწვეული გადაადგილების გამოსაანგარიშებლად გამოიყენება ტემპერატურის გამზომი საშუალები კაშხლის რამდენიმე პორიზონტალურ კვეთში. ითვლება რა ტემპერატურათა ველი ერთგანზომილებიანად და ბრტყელი კვეთის შიპოთებიდან გამომდინარე, ტემპერატურული



გადაადგილები, შეიძლება მივიღოთ ტემპერატურის წრფივად გასაშუალებელი განაწილების შესაბამისად. ამიტომ განსახილველი კაშხლის კონსოლის განიც კვეთს ცყოფთ ხუთ ჰორიზონტალურ თაღად არაგადაკვეთი ტემპერატურათა ველებით, რაც განპირობებულია, საზომი კვეთების რაოდენობით /ჩვეულებრივად სამივე საკმარისია/. ბეტონის საშუალო ტემპერატურის ფუნქცია ხუთ კვეთში მიიღება შემდეგი სახით

$$Q(T) = \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 + \beta_3 T_3 + \beta_4 T_4 + \beta_5 T_5 \quad /3.3.5./$$

სადაც $\beta_1 \dots \beta_5$ - არის 75, 120, 162, 210 და 240 მ-ის ღონეზე ენგურის კაშხლის $T_1 \dots T_5$ კვეთის შესაბამისი საშუალო ტემპერატურის გაფენის კოეფიციენტები.

საშუალო ტემპერატურა განსახილველ კვეთში

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_{i-1} + t_i}{2} \Delta b_i}{l} \quad /3.3.6/$$

სადაც t_i - არის ტემპერატურა i წერტილში, Δb_i - არის წერტილებს შორის მანძილი, სადაც ცნობილია ტემპერატურა, l - არის კაშხლის სიგრძე მოცემულ კვეთში.

საშუალო ტემპერატურის გრადიენტის ფუნქცია გამოისახება შემდეგი დამოკიდებულებით

$$R(\theta) = \gamma_1 \theta_1 + \gamma_2 \theta_2 + \dots + \gamma_5 \theta_5 \quad /3.3.7./$$

სადაც $\gamma_1 \dots \gamma_5$ - არის შესაბამისი საშუალო ტემპერატურული $\theta_1 \dots \theta_5$ გრადიენტების გაფენის კოეფიციენტები კვეთებში 75, 120, 162, 210 და 240 მ ღონეზე, რომლებიც გამოიანგარიშებიან ფორმულით

$$\theta = \frac{12}{l^3} \sum_{i=1}^n \frac{t_{i-1} + t_i}{2} b_i x_i \quad /3.3.8./$$

სადაც x_i - არის მანძილი განსახილველი კაშხლის კვეთის ცენტრიდან წერტილებს შორის შესაბამისი შუალედის ცენტრამდე, სადაც ტემპერატურაა გაზომილი.

გამოიყენება რა /3.3.5/ და /3.3.7/ დამოკიდებულება, განისაზღვრება კაშხლის სხეულის ტემპერატურული რეჟიმი როგორც მათი ჯამი

$$Q(T) + R(\theta) = \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 + \dots + \beta_5 T_5 + \gamma_1 \theta_1 + \gamma_2 \theta_2 + \dots + \gamma_5 \theta_5 \quad /3.3.9/$$

ნაგებობების ვერტიკალურ გადაადგილებაზე მომქმედ ფაქტორებს მიეკუთვნება კაშხლის სხეულში ბეტონის წყობის სიმაღლე და პიეზომეტრული დაწინევა. პიეზომეტრული დაწინევები, რომლებიც იზომებიან პიეზომეტრებით, ფლტრაციული ნაკადი სხვადასხვა წერტილებში, დროის გარკვეული მომენტში ახასიათებენ დაწინევას, გასაშუალებელს წყლოვანი ფენის რაღაც სიმაღლეზე.

სექციისში ბეტონის სიმაღლის z ფუნქცია და პიეზომეტრული დაწინევის გამოისახება მეორე ხარისხის ორი წევრით.

წევრების მინიმალური რაოდენობის დროს ისინი საკმაოდ კარგად ასახავენ მოცემული მოვლენებს და შესაბამისად აქვთ ასეთი სახე

$$S(z) = q_1 z + q_2 z^2 \quad /3.3.10/$$

$$P(h) = \mu_1 h + \mu_2 h^2 \quad /3.3.11/$$

ჯამში იძლევიან

$$S(z) + P(h) = q_1 z + q_2 z^2 + \mu_1 h + \mu_2 h^2 \quad /3.3.12/$$

სადაც q_1, q_2, μ_1, μ_2 - კაშხლის სექციის სიმაღლის და პიეზომეტრული დაწინევის შესაბამისი გაცდენის კოეფიციენტები

ტემპერატურული დეფორმაციები ნაგებობაში ჩაღებულ გამზომი საშუალების /საფუძველში და ნაკერებში / არყოფნის შემთხვევაში შეიძლება გამოისახონ გარემოს ტემპერატურით, რომელიც ნაგებობაში საშუალო ტემპერატურის დადგენის შემდეგ განსაზღვრავს კაშხლის ტემპერატურული დეფორმაციების შეცვლას.



ფუნქცია, რომელითაც აპროქსიმირდება გარემოს ტემპერატურის ცვლილებას, შეიძლება იყოს გამოსახული ასეთი სახით / 15 /

$$Q(T_e) = \beta [t_c + A \cos(\omega t - \varphi)] \quad /3,3,13/$$

სადაც β - არის გარემოს ტემპერატურის გაჯენის კოეფიციენტი

t_c - არის საშუალომრავალწლიური ჰაერის ტემპერატურა

მშენებლობის რაიონში

$$t_c = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} t_i \quad /3,3,14/$$

სადაც t_i - არის საშუალო თვიური ჰაერის ტემპერატურა

1957-198 წწ დაკვირვების მონაცემების მიხედვით $t_i = 13,1^{0}C$

A - არის ტემპერატურის წლიური ცვლილების ამპლიტუდა^{0}C}

$$A = \frac{\pi}{24} \sum_{i=1}^n |t_i - t_c| \quad /3,3,15/$$

ω - არის ცვლილების სიხშირე $1/სთ$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad /3,3,16/$$

T - არის საათების რაოდენობა წელიწადში 8760 სთ.

τ - არის დრო, რომელიც ათვლილია წლის დასაწყისიდან, სთ,

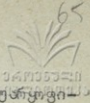
φ - არის კოსინუსოიდის სწყისიკ ფაზა

$$\varphi = \frac{\pi}{6} \frac{\sum_{i=1}^n |t_i - t_c| (i - 0,5) + 6 [\sum_{i=1}^n |t_i - t_c| - \sum_{i=1}^n |t_i - t_c|]}{\sum_{i=1}^{12} |t_i - t_c|} \quad /3,3,17/$$

" H " და " K " ინდექსები მიუთითებენ იმაზე, რომ ჯამდება მხოლოდ სამი სხვაობის $|t_i - t_c|$ აბსოლუტური სიდიდეები, რომელთა მნიშვნელობები უარყოფითებია /ანუ $t_i < t_c$ დროს/ შესაბამისად წლიურ დასაწყის და ბოლო დღეებში.

$$V(t) = \delta_1 e^{-t_1} + \delta_2 e^{t_2} \quad /3,3,18/$$

δ_1, δ_2 - t ფაქტორის გავლენის კოეფიციენტები



/3.3.18/ გამოსახულებაში პირველი შესაკრები, ხარისხის უარყოფითი მაჩვენებლიანი ექსპონენციალური წევრის სახით/ასახავს კაშხლის აღმართვის "ისტორიას" და დამოკიდებულია H, T, Θ და სხვ. ცვლადების ათვის დაწყების არჩევაზე, ხოლო მეორე - ხარისხის დადებითი მაჩვენებლით - ასახაობენ შეუქცევად მოვლენებს რელაქსაციაიდან, ბეტონის ჯდენიდან. და სხვა.

საერთო გადაადგილებისთვის დრო აითვლებოდა 01.01.198 წლიდან /არსებული მონაცემებით/ ხოლო ბეტონში ძაბვისათვის და რადიალური ნაკერების დეფორმაციისათვის - წყალსაცავში საზომი კვეთის ღონის მიღწევიდან. გაზომვის ერთეულად მიღებული იყო წელიწადი. უნდა აღინიშნოს, რომ დროის ათვის დაწყების ნებისმიერი განსაზღვრებას არა აქვს პრაქტიკული მნიშვნელობა. ამგვარად, მხედველობაში მიღებულია /3.3.4./, /3.3.9/, /3.3.10/, /3.3.11/, /3.3.13/ და /3.3.18/, ფუნქციები რომლებიც ასახაობენ ნაგებობის მდგომარეობაზე ძირითადი ფაქტორების გავლენას, შეიძლება ჩაიწეროს მათემატიკური მოდელი, რომელიც აპროქსიმირებს კაშხლის მდგომარეობის პარამეტრებს:

პორიზონტალური გადაადგილებები

$$L = \alpha_1 H + \alpha_2 H^2 + \alpha_3 H^3 + \alpha_4 \Delta H + \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 + \dots + \beta_5 T_5 + \gamma_1 \Theta_1 + \gamma_2 \Theta_2 + \dots + \gamma_5 \Theta_5 + \delta_1 e^{-t_1} + \delta_2 e^{-t_2} \quad /3.3.19/$$

ვერტიკალური გადაადგილები

$$S = q_1 z + q_2 z^2 + \alpha_1 H + \alpha_2 H^2 + \alpha_3 H^3 + \alpha_4 \Delta H + \mu_1 k + \mu_2 k^2 + \beta [\tau_c + A \cos(\omega \tau - \varphi)] + \delta_1 e^{-t_1} + \delta_2 e^{-t_2} \quad /3.3.20/$$

ძაბვა ბეტონში

$$\sigma = \alpha_1 H + \alpha_2 H^2 + \alpha_3 H^3 + \alpha_4 \Delta H + \beta [\tau_c + A \cos(\omega \tau - \varphi)] + \delta_1 e^{-t_1} + \delta_2 e^{-t_2} \quad /3.3.21/$$

რადიალური ნაკერების გახსნა

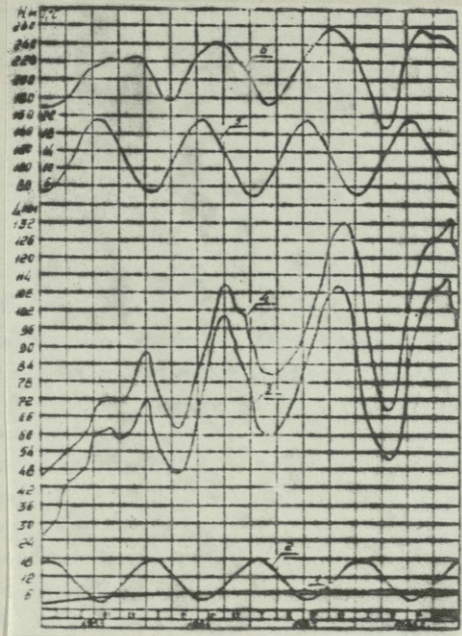
$$\begin{aligned} \xi = & \alpha_1 H + \alpha_2 H^2 + \alpha_3 H^3 + \alpha_4 H + \beta [t_c + A \cos(\omega \tau - \varphi)] + \\ & + \delta_1 e^{-t_1} + \delta_2 e^{t_2} \end{aligned} \quad /3.3.22/$$

მათემატიკური მოდელის /3.3.19/ გავლენის უცნობი კოეფიციენტები /რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები/ განისაზღვრებიან უმცირესი კვადრატების მეთოდით.

ანალიზის შემდეგ ეტაპზე განსაზღვრდება გავლენის ხარისხის მიზნის ფუნქციაზე ყველა ფაქტორიდან, რომელიც მოქმედებს შესასწავლ სისტემაში და მათგან გამოყოფენ ყველაზე მეტად მნიშვნელოვანს. ამისათვის შესაბამის მათემატიკურ მოდელის წარმოადგენენ განტოლების სახით რანჟირებული მნიშვნელობის ცვლადით და ხლეჩენ მათ განსაზღვრულ ფაქტორებზე სპეციალური მათემატიკური პროცედურების საფუძველზე.

ამ მიზნით, ამ განტოლებიდან გამოიკლება კერძო წარმოებულის ნამრავლი მიღებული გავლენის კოეფიციენტებთან. შემდეგ, განისაზღვრება რა შემადგენელი პარამეტრები საშუალო კვადრატული ცვლილებით, ადგენენ ცალცალკე ყველა პარამეტრის გავლენას /წონა/ მიზნის ფუნქციაზე /17/.

ყველა ძირითადი ფაქტორის გავლენის ხარისხის /წონა/ რომელიც ზემოქმედებს ახდენს ენგურის კაშხალის პორიზონტალურ გადაადგილებებზე, განსაზღვრული იყო სტატისტიკური ანალიზის მეთოდით /19/, ფაქტორის წონის გათვლის შედეგები დატანილია 3.3.1. ცხრილზე 3.3.1 ნახ-ზე წარმოდგენილია რადიალური გადაადგილებების შემადგენლობის დამოკიდებულებები ძირითად ფაქტორებზე.



ნახ. 3.3.1. ბირითადი კონსოლის პორიზონტალური გადაადგილების შემდგენლები 240მ ნიშნულზე ფაქტორებიდან: დროის /1/; პაერის ტემპერატურა /2/; წ.დ.ზ.პ. /3/; 4 - ჯამური გადაადგილებები; 5- პაერის ტემპერატურა; 6 - წ.დ.ზ.პ.

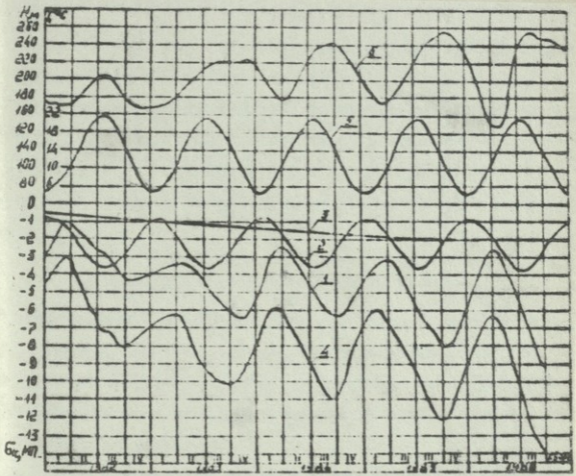
ღონე g	ფაქტორის წონა		
	H	T	t
25	0,873	0,005	0,122
75	0,841	0,019	0,140
120	0,758	0,038	0,204
162	0,769	0,058	0,173
210	0,729	0,089	0,182
240	0,786	0,124	0,090

3.3.1. ცხრილის მონაცემების ანალიზიდან და 3.3.1. ნახაზზე გრაფიკების შედარებიდან გამომდინარეობს, რომ ენჯურის კაშხლის ჰორიზონტალურ გადაადგილებაზე ძირითად გავლენას ახდენს პიდროსტატიკური დატვირთვა, ხოლო გადანაცვლების ტემპერატურული მდგენელი უფრო საგრძნობია კაშხლის ზედა მეთხედში.

ფაქტორების წონის გაანგარიშების შედეგები, ენჯურის კაშხლის 12-11 სექციის 103 მ-ის ღონეზე თაღვანი და კონსოლური ძაბვისადვის, მოყვანილია 3.3.2. ცხრილში.

ამგვარად ხდება წონის ფაქტორის განსაზღვრება თაღვანი კაშხლის სხვა საკონტროლებელ კვეთებზე.

3.3.2. ნახაზზე მოტანილია 103 მ ღონეზე 12-11 სექციის კონსოლური ძაბვის მდგენელების მრუდები. როგორც ჩანს, მოცემულ საზომ წერტილში კონსოლური ძაბვის ცვლილებაზე ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს პიდროსტატიკური დატვირთვა, ხოლო ტემპერატურის გავლენა 2-ჯერ ნაკლებია.



ნახ. 3.3.2. 12.2. სექციის ბეტონში კონსოლური ძაბვის შემდგენლები
 103.0 ნიშნულზე, ფაქტორებიდან წ.დ.ზ.ბ. /1/; პაერის
 ტემპერატურა /2/; დროის /3/; 4- ჯამური ძაბვა,;
 5 - პაერის ტემპერატურა; 6- წ.დ.ზ.ბ.



დონე	სექცია	ფაქტორის წონა			
		H	T	t	
		ნა	0,78	0,19	0,03
103	12-11	ნკ	0,58	0,26	0,16

ანალოგიური გზით არის გაანალიზებული ნორმალური ძაბვის მდგენელის გავლენა ნაგებობების სხვა საკონსტრუქციო კვებებზე. დადგენილია, რომ ძაბვაზე ძირითად გავლენას ახდენს ჰიდროსტატიკური დატვირთვა, მაშინ როცა ჰაერის ~~სხვა~~ ტემპერატურის გავლენა იგრძნობა პირველი სვეტის ზედა ნაწილში და ნაგებობების ქვედა ზედაპირზე, ხოლო დროის ფაქტორის გავლენა, ყველა შემთხვევაში, დიდი არ არის და აქვს მიღვევადი ხასიათი.

4. ტემპერატურის ზემოქმედება ნაგებობაზე

მრავალ ფაქტორთა შორის, რომლებიც ზემოქმედებას ახდენენ ნაგებობებზე /ზეტონის/ ერთ-ერთი აქტიური არის ტემპერატურა /16/. აქედან გამომდინარე ნაგებობების ტანში ტემპერატურთა ველის შესწავლას მისი მშენებლობის დროს და ასევე ექსპლუატაციის პერიოდში აქვს განსაკუთრებული მნიშვნელობა.

ნაგებობის თერმულ მდგომარეობაზე გავლენას ახდენენ ისეთი ფაქტორები, როგორცაა კლიმატი, მასალის თვისება, მშენებლობის ტექნოლოგია, ნაგებობის კონსტრუქცია და ა.შ. კლიმატური ფაქტორი შესაძლებლობას იძლევა აპროქსიმაციის დასაშვები ხარისხით განისაზღვროს მყარი სხეულის სასაზღვრო პირობები. ნაგებობების სხეულში ტემპერატურათა ველის განსაზღვრისათვის ძირითადია ნაგებობის მასალების მახასიათებლები, ნაგებობების კონსტრუქცია, აგრეთვე მშენებლობის ტექნოლოგია; ამოყვანის თანმიმდევრობა და ა.შ. აგრეთვე ახდენენ განსაზღვრულ გავლენას ნაგებობის ტემპერატურაზე.



4. 1. ჰაერის ტემპერატურა

ჰაერის ტემპერატურა ბირთვითი ფაქტორთა სასაზღვრო პირობების განსაზღვრავად, რაც განაპირობებს ბეტონის ნაგებობების თერმულ მდგომარეობის როგორც მშენებლობის დროს, ასევე ექსპლუატაციის პერიოდშიც. ნაგებობების ზედაპირის ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს საშუალოწლიური ტემპერატურიდან, მდგომარეობაში მიიღება ასევე კონვენციისა და მზის რადიაციის მოქმედება.

საქართველოს თერმული რეჟიმი განპირობებულია ძირითადად მზის სისტემის გეოგრაფიული მდგომარეობით, წყალსატევებით, მცენარეულობით, თოვლის საფარით, ატმოსფეროს ცირკულაციით. ამ ფაქტორების შედეგად ტემპერატურული რეჟიმი დიდი კონტრასტით ხასიათდება /36/.

საქართველოს ტერიტორიაზე ყველაზე ცივი თვე იანვარია. თუმცა საქართველოს მაღალ რაიონებში /ზღვის დონიდან 2700-2800მ/ თებერვალი იანვარზე უფრო ცივა /ნახ. 4.1./

ნიშნულებს 2700-2800მ ზღვის დონიდან საქართველოსათვის აქვთ "ტემპერატურის საზღვრის" მნიშვნელობა. საქართველოს ტერიტორიაზე ყველაზე მაღალი ტემპერატურა არის ივნისის და ივლისის თვეში. ივლისისა და აგვისტოს თვის ტემპერატურების სხვაობა არის მეთაფი გრადუსი.

საქართველოში საშუალო თვიური მაქსიმალური ტემპერატურა შეინიშნება აღმოსავლეთ საქართველოს სახმრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, ქვემოქართლისა და ალაზნის ვაკეზე /ივლისში 24⁰-25⁰ ფარგლებში/. მაღალი ტემპერატურით გამოირჩევიან ჩრდილო-ზღვის პირეთის რაიონები და კოლხეთის დაბლობის ცენტრალური ნაწილი /ივლისში 23.5⁰ მაღლა/ ნახ /4.2.; 4.3/

საქართველოს ტემპერატურის რეჟიმზე მოქმედებენ მთიდან მოზერლი მშრალი ქარები, ან როგორც მათ უწოდებენ ფენები. ფენები უფრო ხშირად გვხვდებიან დასავლეთ საქართველოში. იყო შემთხვევები, როდესაც ფენების გამო ტემპერატურა იანვარში 0⁰ დან 16,5⁰ - მაღლა აწეულა რამდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში. ძირითადად ფენების დროს ტემპერატურა მაღლა იწევს 3-4⁰-ით.

მომავალი მშენებლობის ადგილზე, ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ის პრექტორებისა და ტერიტორიის უმეტეს, შემთხვევაში ტემპერატურული მონაცემები არა გვაქვს ხშირად იყენებენ მეზობელი ადგილის ტემპერატურულ დაკვირვებებს უახლოესი კლიმატური სადგურიდან.

ნაგებობების სავარაუდო მშენებლობის ზონაში ჰაერის ტემპერატურაზე ინფორმაციის დამუშავება მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს. დამუშავება შეიცავს დასაკვირვებელი ტემპერატურების ანალიტიკური დამოკიდებულების აპროგნოზირებას. დასაკვირვებელი ტემპერატურული აპროგნოზირებისათვის არსებობს მრავალგვარი მეთოდები, მაგრამ ჩვენი აზრით ყველაზე კარგია სპექტრული განაწილება ცნობილია, რომ ჰაერის ტემპერატურა შეიძლება ჩავთვალოთ მიახლოებით დროის პერიოდულ ფუნქციად.

ენტურის თაღვანი კაშხლისათვის ჩატარებული იყო ანალიზი 1 წლის, 2 წლის, 3 წლის, 4 წლის პერიოდებში /გაზომვით ყოველ 2 საათში/. მიღებული შედეგების ანალიზები აჩვენებენ, რომ საინტერესოა 1 წლის და 1 დღე-ღამის პერიოდების განხილვა. ტემპერატურის ზემოქმედების დანარჩენ მდგენელებს აქვთ ნათლად გამოხატული შემთხვევითი ხასიათი განიხილებოდა 4, 8, 12 საათიანი ტემპერატურის ცვლილებები /ნახ. 4.4./.

მრავალი გამოკვლევა გვიჩვენებს, რომ წყლური ტემპერატურის ტალღა ეხება ნაგებობის წახნაგების 0,5-0,8 მეტრის ზონას. დღიური ტემპერატურის ტალღა არსებით გადაენას ახდენს ნაგებობის დამაბულ დეფორმირებულ მდგომარეობაზე და ნაწილობრივ ბზარწარმოქმნაზე.

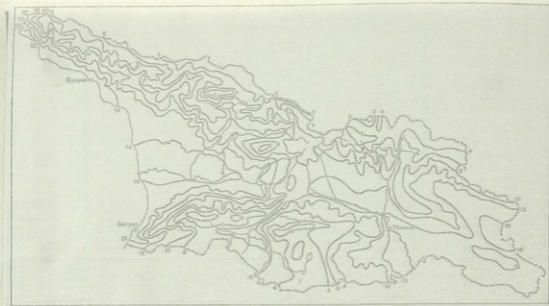
ასევე უნდა შევიჩინოთ ნაგებობების ფუძეში თერმული ტალღების შედეგად. ნაშრომში /189/ კეთდება დასკვნა, რომ წყლური ტემპერატურის ტალღა მიიღება 12 მ-ის სიღრმეზე მოყვანილი მიუთითებს კაშხალ-ფუძის სისტემის თერმულ მდგომარეობაზე კაშხლის ფუნდამენტის თერმის მნიშვნელობაზე.



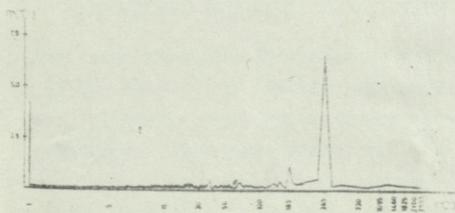
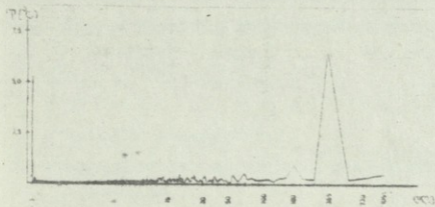
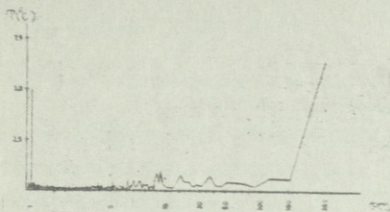
ნახ. 4.1. პინდის საშუალო ტერიტორია. იანვარი



ნახ. 4.2. პაერის საშუალო ტემპერატურა. ივლისი



ნახ. 4.3. პაერის ტემპერატურა. წილჩადი.



ნახ. 4.4. ადრემული სპექტრი ტემპერატურების

ფართობის ზედაპირის ერთეულზე მცარდნი საერთო S ენერგია ტოლია

$$Q_T = \int_{t_0}^{t_1} J_T dt = \int_{t_0}^{t_1} \frac{Jk}{\cos \kappa} \cos \gamma dt \quad /4.2./$$

სადაც t_0 და t_1 - წარმოადგენენ მომენტებს, რომლებს შვესაბამიან ზედაპირზე მზის ამოსვლას და ჩასვლას.

$\cos \kappa$ და $\cos \gamma$ - მნიშვნელობები განისაზღვრებიან, როგორც t_0 და t_1 სფერული ტრიგონომეტრიის საფუძველზე /189/.

იმის დაშვების შემთხვევაში, რომ კაშალებს მზის რადიაციის შესაბამისად გააჩნიათ ზომები, რითაც ისინი შეიძლება ნახევრად განუსაზღვრულ სხეულებად ჩაითვალოს, მაშინ κ რადიაციის მუდმივი მოქმედების დროს შეიძლება მივიღოთ ზედაპირზე ტემპერატურის აწევის მნიშვნელობა.

$$T(\theta, t) = \frac{aJk}{k} \left\{ 1 - e^{-\frac{\bar{k}^2 k^2 t}{\kappa^2}} \left[1 - P \sqrt{\frac{\bar{k}^2 k^2 t}{\kappa^2}} \right] \right\} \quad /4.3./$$

სადაც a - შთანთქმის კოეფიციენტი;

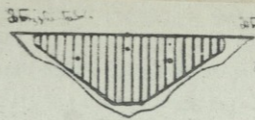
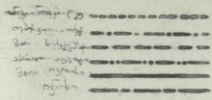
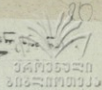
\bar{k} - ნაგებობისა და გარემოს შორის თბოგამტარობის კოეფიციენტი.

4.3. წყლის ტემპერატურა

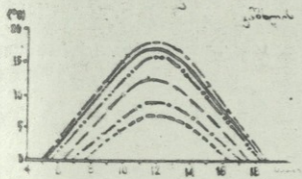
წყალსაცავის წყლის ტემპერატურა წარმოადგენს მნიშვნელოვან ფაქტორს ბეტონის თერმული ანალიზის დროს სასაზღვრო პირობების განსაზღვრისათვის. იგი განისაზღვრება პროგნოზირების მეთოდებით, უშუალო გამოწვევებით ან დაპროექტების ეტაპზე-ცდის საფუძველზე.

წყალსაცავში წყლის ტემპერატურაზე არსებულ გავლენას ახდენს შაერის ტემპერატურა, მზის რადიაცია, მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმი და ა.შ.

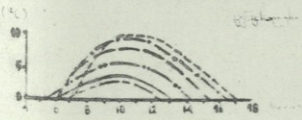
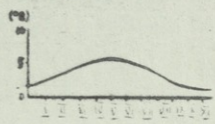
სადაც	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	სადაც
ტფილისი	4,3	5,6	9,1	11,6	14,8	16,4	16,9	15,0	10,9	8,0	4,5	3,6	120,7
შირაქი	4,9	6,3	9,2	11,8	14,4	15,2	16,4	16,1	12,1	8,5	5,2	4,8	125,3
მუხრანი	4,7	6,0	9,2	11,2	13,2	15,2	15,2	14,8	11,4	8,3	5,2	4,0	117,9
სკრა გორი	4,4	5,9	9,0	11,4	13,7	15,2	15,6	14,9	12,2	8,4	5,3	4,1	120,0
აქმეტა	4,7	5,9	9,1	11,4	13,7	15,4	16,7	14,7	11,2	8,1	5,2	4,2	120,3
ანასოული	4,6	5,3	8,3	13,5	16,0	16,8	15,3	14,7	10,5	6,9	4,8	4,1	118,9
კუთაისი	4,8	6,5	10,4	12,1	14,6	15,7	14,8	14,0	12,0	9,2	5,9	4,2	124,2
საქარა	4,8	6,3	9,8	12,1	14,4	15,4	14,8	14,1	12,0	8,8	6,7	4,8	123,6
ჭყატურა	4,9	6,5	10,6	12,6	14,3	16,2	15,5	14,8	12,6	9,3	6,1	4,4	128,7
ხულო	4,7	6,4	9,6	12,0	14,1	14,8	14,3	13,6	11,8	8,7	5,9	4,5	120,4
ციცა	4,9	6,4	9,8	12,3	14,6	15,7	14,8	14,9	11,9	8,8	6,0	4,4	123,9
სუხუმი	4,7	5,7	9,3	12,4	15,5	16,5	18,1	16,4	12,7	9,2	5,9	3,8	130,3
კაზბეგთ, ვ. გ.	5,8	8,1	11,8	15,0	19,1	19,6	19,0	17,6	13,7	9,8	7,3	4,4	150,9
შოვი	5,9	8,0	12,2	14,8	17,5	19,5	19,8	17,1	13,9	10,0	6,9	5,8	149,7
ბახმარო	6,1	8,2	12,6	15,5	18,2	19,0	18,2	16,6	13,1	10,5	7,3	5,5	151,0
აბაშუმანი	6,3	8,5	13,0	15,5	18,0	19,3	19,2	17,6	14,4	10,6	7,3	5,6	155,3
ლიბანი	6,6	8,3	14,0	15,3	18,2	19,0	18,9	17,4	14,3	11,0	7,3	5,5	155,7
ბაკურიანი	6,3	8,5	13,0	15,4	17,8	18,5	18,5	17,5	14,6	10,8	7,3	5,5	153,7
მანგლისი	6,3	8,4	12,9	15,4	17,8	18,7	18,9	17,4	14,0	10,2	7,0	5,6	152,6
თელავი	4,8	6,9	9,5	10,6	15,3	16,6	16,8	15,0	10,3	7,5	4,2	4,0	121,8



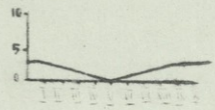
განმარტება: გეოგრაფიკული და სეზონური ცვლილებები.



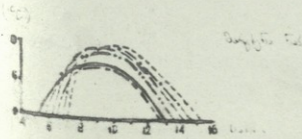
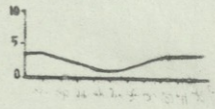
ა) გეოგრაფიკული ცვლილება



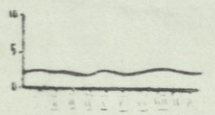
ბ) სეზონური ცვლილება



გ) გეოგრაფიკული ცვლილება



დ) სეზონური ცვლილება

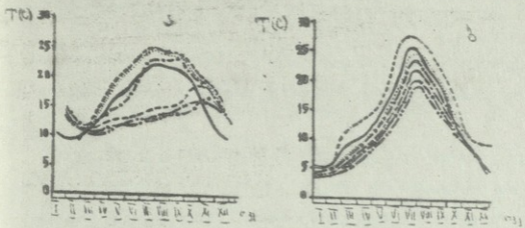


ნახ. 4.5. რადიაციის მიზეზით დღიური და საშუალო თვიური ტემპერატურის შეცვლა დღის განმავლობაში და საშუალო თვიურად 189 ნაშრომის საფუძველზე.



4.6. ნახატზე მოტანილია საშუალო თვითური ტემპერატურის გაზომვის მონაცემები, ზედა ბიეფში, წყალსაცავის სხვადასხვა სიღრმეზე, პორტუგალიის ორი კაშხლისათვის: შიკოტიე და კასტელიო დე ბოდე /პორტუგალია/ /169/.

სხვადასხვა კაშხლებზე დაკვირვების შედეგების განზოგადებისას შეიძლება აღინიშნოს, რომ წყალსაცავში წყლის ტემპერატურა ერთი დღის განმავლობაში თითქმის მუდმივია, სიღრმეში წყლის ტემპერატურა პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული წყალსაცავში წყლის ღონეზე.



ნახ. 4.6. კასტელიო დე ბოდეს /ა/ და პიკოტეს /ბ/ წყალსაცავებში საშუალოთვიური წყლის ტემპერატურის მონაცემები

ბაერის ტემპერატურა		-----
წყლის ზედაპირზე		-----
სიღრმეში	3 მ
"	10 მ
"	20 მ	---
"	40 მ	-----
"	60 მ	-----
"	80 მ	-----

5. მყარი სხეულების თერმული თვისებები

5.1. თხივ ქაჯიმა

სიბო წარმოიშვება ენერჯის სხვა ფორმებისაგან. სიბოს გადაცემა დამყარებულია ფერმოლინამიკის ძირითად კანონებზე, ორ სხეულის შორის სიბოს გადაცემას ადგილი აქვს ყველთვის, როცა დგინდება მათ შორის ტემპერატურის სხვაობა და მას აქვს მიმართულება უფრო მაღლი ტემპერატურის მქონე ობიექტიდან დაბალი ტემპერატურის მქონე ობიექტისკენ

/30, 99, 130/.

განვიხილოთ თბოგადაცემის შედეგი პროცესები: თბოგამტრობა, კონ-
 ვექცია და რადიაცია.

თ ბ თ გ ა მ ტ რ ა რ ო ბ ა ა რ ი ს

თბური მოძრაობისა და მიკრონაწილაკების ურთიერთქმედების შედეგად,
 სხეულის უფრო მეტად გამთბარი უნიდან ნაკლებად გამთბარ უბანზე ენერ-
 გიის გადატანა.

ჩვეულებრივად, თბოგამტრობას უწოდებენ გადასატანი ენერჯიის რაო-
 დენობას, რომელიც განისაზღვრება, როგორც ტემპერატურის გრადიენტის
 პროპორციული ტემპერატურის ნაკადის სიმკვრივე. მიღებულია უნდა ჩაით-
 ვალოს, რომ ნივთიერების შიგა ენერჯიასთან დაკავშირებული თბოგამტრო-
 ბა დაკავშირებულია უფრო მაღალი ენერჯეტიკული დონის მქონე ნაწილაკების
 ენერჯიის გადაცემაზე უფრო დაბალ ენერჯეტიკული დონის ნაწილაკებზე.

ასევე შეიძლება მივეცეთ შედეგი განსაზღვრება იმას, რომ ერთი
 სხეულიდან მეორეზე გადაცემული ენერჯია განისაზღვრება სხეულების ერთ-
 მანეთზე შესრულებული სამუშაოთი, ერთი სხეულიდან მეორე სხეულზე, თბო-
 გადაცემის გზით გადაცემული ენერჯიის რაოდენობა განისაზღვრება სიბზოს
 რაოდენობით, რომელსაც აძლევს ერთი სხეული მეორეს. შიგა ენერჯიის ნა-
 მატი ტოლი უნდა იყოს A^* სისტემაზე მოხდენილი სამუშაოსა და სისტე-
 მაზე მინიჭებული სიბზოს რაოდენობის ჯამისა.

$$U_2 - U_1 = Q + A^* \quad /5.1./$$

სადაც U_1 და U_2 - სისტემის შიდა ენერჯიის სწორი და საბოლოო
 მნიშვნელობები. ჩვეულებრივად $-S$ განიხილავენგარე
 როგორც სხეულზე სისტემის მიერ შესრულებულ სა-
 მუშაოს.

განტოლებას შეიძლება მივეცეს ასეთი სახე:

$$Q = U_2 - U_1 + A \quad /5.2/$$

განტოლება გამოხატავს ენერჯიის მუდმივობის კანონს და წარმოადგენს
 თერმოდინამიკის პირველი კანონს.



კონვექცია დამყარებულია გარემოს მაკროსკოპული ნაწილის გაღვრაზე, რომელსაც სითბოს გადატანასთან მივყავართ. განსხვავებენ ბუნებრივს, რომელიც გარემოს ტემპერატურისა და სიმკვრივის გრადიენტების არაერთგვაროვნეობაა გამოწვეული და იძულებითს, რომელიც გამოწვეულია გარემოზე გარე ზემოქმედებით. კონვენციას შეიძლება შედეგი განსაზღვრებაც მიეცეს: ის დამოკიდებულია მოზარაობაში, ან სითბოს ნაწილებს შორის სითბოს ენერჯის გაცვლასთან ან მათ და სხვადასხვა ტემპერატურის მყარ ზედაპირებთან.

კონვექციით სითბოს გადაცემა შეიცავს სითბოს განივის კონონების სითბოს გადაცემის, ენერჯის მულტიფიკაციის და ა.შ. ერთდროულ შესწავლას.

თერმული რადიაცია არის ელემენტარული ან ელექტრომაგნიტური ტალღების აბსორბციით სხეულებს შორის სითბოს გადაცემის პროცესი. ელექტრომაგნიტური სპექტრი არის გამოსხივების უწყვეტი მწკრივი, სხივებიდან რადიოტალღებამდე.

სპექტრის სხვადასხვა უბნების დასახელებები იძლევიან გამოსხივების წყაროს მოხერხებულ კლასიფიკაციას. გამოსხივების ფიზიკური ბუნება მთელ სპექტრზე ერთგვარია. სპექტრის მთელ დიაპაზონზე მათ გააჩნიათ გავრცელების ერთნაირი სიჩქარე, ერთნაირი ელექტრომაგნიტური ბუნება, განსხვავებაა მხოლოდ სიხშირეები და ტალღების სიგრძეში. უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა დასახელების სპექტრების არეები გადაიხურებიან და ეს დასახელებები დავაგვირებული არიან გამოსხივების წყაროსთან, მაგალითად: მოპრავი ელექტრონებით შეიქმნა რადიო და მიკროტალღური გამოსხივება, ცხელი სხეულებით - ინფრაწითელი, ძლიერ გაცხელებული სხეულებით - ხელუნი სინათლე, ულტრაიისფერი - აირის განმუხტვით, ელექტრორკალით, რენტგენის სხივები "ანტიკათოდზე ელექტრონების დაცემული, სხივები რადიოაქტიური ატომების ბირთვით.

5.2. თბოგადაცემა ფურცის კანონი

თბოგადაცემების ძირითადი კანონი ცნობილია, როგორც ფურცის კანონი /143/ მისი ფორმულირება შემდგენიარად შეიძლება. ფართობზე გამავალი სითბოს რაოდენობა, რომელიც განლაგებულია დროის ერთეულის განმავლობაში სითბური ნაკადის ნორმალის მიმართულეობით ფართობისა და თერმულ გრადიენტის ნამრავლის პროპორციულია

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda E \frac{\partial T}{\partial n} \quad /5.5/$$

სადაც λ - თბოგამტარობის კოეფიციენტი.

ან სხვა ფორმულირებით, ნაკადის სიმკვრივე პროპორციულია ტემპერატურადა გრადიენტისა და მახთან დაკავშირებულია λ პროპორციულობის კოეფიციენტით.

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T \quad /5.6./$$

ნიშანი - მიუთითებს სითბური ნაკადის და ტემპერატურის გრადიენტის ვექტორების საწინააღმდეგო მიმართულებაზე.

კოეფიციენტს უწოდებენ თბოგამტარობის კოეფიციენტს და ახასიათებს ნივთიერების უნარს გაატაროს სითბო. სამგანზომილებიანი ტემპერატურის ველის განხილვისას, როდესაც არ არის სითბოს შიდა წყაროები, შეიძლება ნივთიერება T ტემპერატურის t დროის და x, y, z კოორდინატებს შორის დამოკიდებულება, თბოგამტარობის დიფერენციალური განტოლების სახით

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{e\varphi} \nabla^2 T \quad /5.7./$$

ამ განტოლებაში თბოგამტარობის λ თბოტევადობის C და φ სიმკვრივის კოეფიციენტები მიღებულია დანარჩენი პარამეტრებისაგან დამოუკიდებლად.

$\nabla^2 T$ ლაპლასის ოპერატორის წარმოადგენს.

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad /5.8./$$

$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot g}$ კომპლექსს ეწოდება ტემპერატურა გამტარობის კოეფიციენტი.

განვიხილოთ გაზომილი ერთგვაროვანი მყარი სხეულის მოცულობა მართკუთხა პრიზმის ფორმით, წახნაგები კოორდინატების ღერძების პარალელურია, მართკუთხა პრიზმის ცენტრს წარმოადგენს წერტილი $P(x_i)$

/ნახ. 5.1./ დავუშვათ, რომ წახნაგის სიგრძე dx , ხოლო F_i და F_{i+1} წახნაგებს შეესაბამება სიჭრტყეში, $x_i = x_i - dx$ $x_{i+1} = x_i + dx$

წახნაგიდან პრიზმაში შემავალი სითბური ნაკადი გამოისახება შემდეგი სახით.

$$4 \left(q_i - \frac{\partial q_i}{\partial x_i} dx_i \right) dx_i dx_n \quad /5.9./$$

ხოლო მოპირდაპირე წახნაგიდან შემავალი

$$4 \left(q_i + \frac{\partial q_i}{\partial x_i} dx_i \right) dx_i dx_n \quad /5.10./$$

შემავალი და გამოსული სითბოს რაოდენობის განსხვავებას დროის ერთეულში, ტოლია ამ მოცულობაში, დროის ერთეულში, დაგროვილი სითბოს რაოდენობის.

ეს განსხვავება ტოლია

$$-8 \frac{\partial q_i}{\partial x_i} dx_1 dx_2 dx_3 \quad /5.11/$$

ან სითბური ნაკადის განსაზღვრებით

$$8\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} dx_1 dx_2 dx_3 \quad /5.12/$$

პრიზმაში დაგროვილი სითბოს რაოდენობა დროის ერთეულში

$$8\rho c \frac{\partial T}{\partial t} dx_1 dx_2 dx_3 \quad /5.13/$$

5.12 და 5.13-ის გატოლებისას მივიღებთ ფურიეს ცნობილ განტოლებას

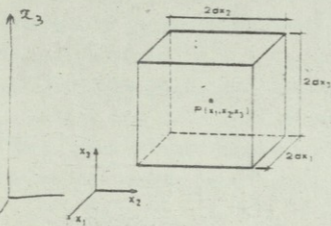
$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad /5.14/$$

$$\text{ახ} \quad \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} = \frac{\partial T}{\partial t}$$

რადიანაც $\lambda / \rho c = a$

სადაც a - თბოგამტარუნარიანობის კოეფიციენტი.

თუკი არსებობს სიბრტყის წიგა წყარო და $Q(x, t)$ გენერირებულ ენერჯიაა დროის ერთეულში



ნახ. 5.1.

მოცულობის ერთეულზე, მაშინ მივიღებთ ჯორიეს განტოლებას

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} + Q - c \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad /5.16/$$

$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ დროს /5.14/ განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} \quad /5.17/$$

რაც წარმოადგენს ლაპლასის განტოლებას, ხოლო /5.16/ განტოლება შემ-

დეგი სახისაა

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} + Q = 0 \quad (i = 1, 2, 3)$$

/5.18/



ფორმის განტოლების გამოყვანის დროს λ, ρ, c მუდმივებად მიღებული იყვნენ. სხვა შემთხვევაში /5.16/ განტოლება იღებს ასეთი სახეს

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q - c \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (i = 1, 2, 3) \quad /5.20/$$

5.3. თერმული მახასიათებლები

სიბზოს გამტარობის პროცესში მონაწილე თერმული მახასიათებლები არიან თბოგამტარობის კოეფიციენტები, კუთრი თბოტევადობა, თერმო გამტარობის კოეფიციენტები.

თბოგამტარობის კოეფიციენტი ახასიათებს ნივთიერების უნ არს გაატაროს სიბზო და მისი მნიშვნელობა განსაზღვრავს სიბზოს რაოდენობას, რომელიც გადის დროის ერთეულში ზედაპირის ერთეულს 1^0 -ით ც ტემპერატურის ცვლილების დროს სიბზური ნაკადის ერთეული სიგრძეზე.

$$\lambda = \frac{Q}{tF\Delta T/l} \quad /5.21/$$

თერმული გამტარობის მნიშვნელობა დამოკიდებულია სხეულის ქიმიურ შემადგენლობაზე, მის ფიზიკურ მდგომარეობაზე, ასევე ტემპერატურასა და წნევაზე. თბოგამტარობის კოეფიციენტი იცვლება საკმაოდ დიდ დიაპაზონზე.

კუთრი თბოტევადობა ეწოდება სიბზოს რაოდენობას, რომელიც საჭიროა 1 კგ ნივთიერების გასათბობად 1^0 ც -ით. თბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს აღინიშნება C_p /კკალ/კგ⁰ც/ასეთი, ხოლო მუდმივი მოცულობის დროს C_v

კუთრი თბოტევადობა არის სიბზოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა, რა-თა სხეულის მდგომარეობის შეუცვლელად, ტემპერატურის ერთ ერთეულზე აიწიოს ნივთიერების მასის ერთეული. წარმოვადგენთ ენერჯის დაჯგოებასა და მუშაობის რაოდენობასთან დაკავშირებული მახასიათებელს, რაც ტემპე-

რატორის აწვევის თანმხლებია. კუთრი თბოტევადობის მნიშვნელობა დადამოკიდებულია ნივთიერების ტემპერატურაზე და მის გათბობაზე გამოყენებულ მეთოდზე.

ტემპერატურგამიტარობის კოეფიციენტი არის კომპლექსური სიდიდე, რომელიც ახასიათებს ტემპერატურის ცვლილებას არასტაციონალურ სიბრტყეებში. რაც უფრო მაღალია ნივთიერების თერმო გამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, მასში უფრო დიდია ტემპერატურის გავრცელება. თერმო გამტარობის კოეფიციენტი ასოთი აღინიშნება

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_p \rho} = \frac{\lambda}{C_p \gamma} \quad /5.22./$$

სადაც γ - არის კუთრი წონა.

5.4. სიბრტყის ნაკადი. იზოთერმული ზედაპირები

ერთნაირი ტემპერატურის მქონე წერტილების გეომეტრიული ადგილი ქმნის იზოთერმულ ზედაპირს. ცხადია, რომ სივრცის ერთსა და იმავე წერტილში ერთდროულად არ შეიძლება იყოს სხვადასხვა ტემპერატურა, ანუ სხვადასხვა ტემპერატურის იზოთერმული ზედაპირები არ გადაიკვეთებიან.

ტემპერატურის ცვლილება სხეულში შეინიშნება იზოთერმული ზედაპირებით გადაკვეთილ მიმართულებაში. მაქსიმალური ცვლილება მიიღება იზოთერმული ზედაპირებისკენ ნორმალის მიმართულებით.

ტემპერატურის ცვლილების ფარდობის ზღვარს, ნორმალზე იზოთერმული ზედაპირებს შორის მანძილთან, ეწოდება ტემპერატურის გრადიენტი.

$$\lim \left(\frac{\Delta T}{\Delta n} \right)_{\Delta \rightarrow 0} = \text{grad } t$$

სიბრტყის ენერჯია ვრცელდება ტემპერატურის კლების მხარეს. გადასატანი სიბრტყის რაოდენობას ეწოდება სიბრტყის ნაკადი.

სიბრტყის ნაკადის სიდიდე Q წარმოადგენს მიმართულების ვექტორს,

რომელიც ემთხვევა გავრცელებული სიბზის მიმართულებას.

5.5. თბობამტარება ანოტროპიულ მყარ სხეულში

სამშენებლო მასალებში, განსაკუთრებით კლდის მასივებში, ანიზოტროპია - მნიშვნელოვანი ფაქტორია.

პიპოტება ამ მასალებში იმაში მდგომარეობს, რომ სიბზური ნაკადის ვექტორი წარმოადგენს იზოთერმის ნორმალს, რომელიც გადის წერტილზე, არა ნამდვილია. ასეთ შემთხვევაში ითვლება, რომ ვექტორ-ნაკადის თითოეული შემდგენი წარმოადგენს აერმული გრადიენტის შემადგენლობის წრფივ ფუნქციას.

$$Q_i = -\lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad /5.23/$$

სადაც λ_{ij} - არის მთრე რიგის ტენზორი, რომელსაც შეიძლება ეწოდოს თბობამტარობის ტენზორი.

ანიოტროპიულ სხეულებისათვის ფორიეს კანონს აქვს შემდეგი სახე

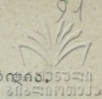
$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + Q - c \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad /5.24/$$

5.6. სწ ყისი და სასაზღვრო პირობები

ფორიეს განტოლების ამოხსნა მდგომარეობს $T(x; t)$

ფუნქციის განსაზღვრაში, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს განტოლებასა და აგრეთვე, სწ ყის და სასაზღვრო პირობებსაც.

ამასთან ერთად, სწ ყისი პირობები შეესაბამებიან, თბური ნაკადის სწ ყის მომენტში, მყარ სხეულში ტემპერატურა განაწილებას, ხოლო სასაზღვრო პირობები შეესაბამებიან ტემპერატურების ან ნაკადების ზედღებას მყარი სხეულის ზედაპირზე, ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.



საწყის მომენტში შემოთავაზებულია, რომ ტემპერატურა ცნობილია ან ტემპერატურა უწყვეტ ფუნქციას წარმოადგენს, მაშინ საჭიროა, რომ ამოცანის ამოხსნა მისწრაფოდეს მოცემულ ამოხსნისაკენ მაშინ, როცა t მისწრაფის ნულისაკენ.

სასაზღვრო პირობები შეესაბამებიან მდგომარეობას:

ცნობილია T ტემპერატურა სასაზღვრო ზედაპირის ყველა /ან ზოგიერთ/ წერტილებში;

ცნობილია თბური ნაკადი სასაზღვრო ზედაპირის ყველა ან ზოგიერთი წერტილიდან.

5.7. კონვექციური თბოგადაცემა

კონვექციური თბოგადაცემის ცნება მოიცავს თბოგადაცემის პროცესს სითხეს, აირსა და მყარ სხეულის შორის, მათი ურთიერთშეხების დროს.

ძირითადი ფორმულა, რომელიც აღწერს სითხესა და მყარი სხეულის ზედაპირს შორის თბოგადაცემას, დადგენილი იყო ნიუტონის მიერ.

$$Q = \alpha (T_w - T_f) F \quad /5.25/$$

სადაც Q - არის მყარი სხეულსა და სითხეს შორის გადაცემული თბური ნაკადი

F - არის მყარი სხეულის ზედაპირის ფართობი

α - არის ზედაპირისა და სითხეს შორის თბოგადაცემის კოეფიციენტი.

იგი განისაზღვრავს თბოგადაცემის ინტენსიობას, მის განზომილებას კკალ/მ² სთ⁰ც. თბოგადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ტოლია ზედაპირის ერთეულზე, დროის ერთეულში გაცემული სითბოს რაოდენობის, ზედაპირსა და სითხეს შორის 1⁰ც-ში ტემპერატურის სხვაობისას.

პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის /5.25/ ფორმულა პრინციპულ გამარტივებს არ იძლევა. მოცემული პროცესის მთელი სირთულე მდგომარეობს თბოგადაცემის კოეფიციენტის ერთი სიდიდის განსაზღვრაში.



თბოგადაცემის კოეფიციენტი დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორზე, მყარი ზედაპირის ფორმასა და ზედაზე, სიიხის სიჩქარეზე, ტემპერატურა-თა სხვაობაზე და ა.შ.

როდესაც არსებობს სიიხის ნაკადი მყარ ზედაპირთან კონტაქტში, ამ ზედაპირზე მოდებული სიიხის შრე იღებს განსაკუთრებულად განსაზღვრულ მნიშვნელობას. ეს შრე არსებობს სიიხის სიბლანტივად გამოწვეული ტანგენციული ძაბვის მეოხებით. ეს არის ე.წ. სასაზღვრო შრე. ამ შრის სისქე დამოკიდებულია სიბლანტეზე, სიმკვრივეზე, სიიხის სიჩქარეზე, სისქეზე და წინასახილველი ზედაპირის ფორმაზე და იცვლება მტკად მცირე სიდიდე-დან გამდენიმე მილიმეტრამდე.

დამტკიცებულია, რომ სასაზღვრო შრეში სიიხის მოძრაობას აქვს დამინალური ხასიათი.

სასაზღვრო შრის გარდა აუცილებელია განვიხილოთ გარდამამავლი შრის ცნება. გარდამამავალი შრე არსებობს ყოველთვის, როცა ადგილი აქვს კონვექტიურ თბოგადაცემას, როგორც ბუნებრივს, ასევე იძულებითს. გარდამამავალი შრის სისქის დასადგენად, ამ შრეში /133/, დასაშვებია სიიხის ბადაცემის ჰიპოთეზა გამტარობის მეოხდის მიხედვით.

კონვექციით თბოგადაცემის პრობლემის გადაწყვეტა არ არის ჩვეულებრივი მოვლენა, რადგანაც იგი განისაზღვრება არა მხოლოდ სითბური, არამედ ჰიდროდინამიური მოვლენებითაც. მეელი ამ მოვლენების ერთობლიობა აღიწერება დიფერენციული განტოლებების სისტემით - თბოგადაცემის განტოლებით, თბოგამტარობის განტოლებით, მოძრაობის განტოლებით და უწყვეტობის განტოლებით.

დიფერენციული განტოლებების სისტემის ანალიზური გადაწყვეტა წარმოადგენს რთულ ამოცანას და მიღებულია მხოლოდ ზოგიერთი კერძო შემთხვევებისათვის /125/.

ბოლო ამ წელწადში განვიხილავთ ჰიპოთეზა ამ ამოცანების გადაწყვეტაში ეგმ-ზე რიცხვითი მეოხდით.

5.7.1. სიხის მოძრაობის განზომილებები

განვიხილოთ დეკარტის კოორდინატთა სისტემა და ვთქვათ

V_i ($i=1,2,3$) სიჩქარის ვექტორის მდგენელია x_i წერტილში, არქარება შეიძლება გამოვსატოთ შემდეგი გამოსახულებით

$$\frac{dV_i}{dt} = \frac{\partial V_i}{\partial t} + \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial t} = \frac{\partial V_i}{\partial t} + V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \quad /5.27/$$

განვიხილოთ სიმძიმის ძალის არსებობა წნევის ძალა P_i და ხახუნის ძალა V_i შეიძლება ჩავწეროთ ნიუტონის განტოლება სიხის მოცულობის ერთეულის მოძრაობისათვის

$$\rho \frac{dV_i}{dt} = \rho \left(\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) = \rho_i + P_i + V_i \quad /5.28/$$

თუ x_3 ემთხვევა სიმძიმის ძალის მიმართულებას, ρ_1, ρ_2 მდგენელები ნულოვანი იქნებიან, ხოლო ρ_3

$$\rho_3 = \rho(\rho_0 - \rho) \quad /5.29/$$

სადაც ρ - არის თავისუფალი ვარდნის არქარება, ρ_0, ρ სიხის სიმკვრივე T, T_0 ტემპერატურის დროს.

დინამიური ძალების, როგორც წნევის ძალების განხილვისას

$$P_i = - \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (i=1,2,3) \quad /5.30/$$

სადაც არის წნევა, ხახუნის ძალები შეიძლება შემდეგი განტოლებიდან მივიღოთ

$$V_i = \mu \left(\frac{\partial^2 V_i}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 V_i}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 V_i}{\partial x_3^2} \right) + \frac{\mu}{3} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_i} + \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_k}{\partial x_k} \right) \quad /5.31/$$

$$(i=1,2,3 \quad j=2,3,1 \quad k=3,1,2)$$

/5.28/ განტოლებაში თუკი ჩავსვათ /5.29/, /5.30/ და /5.30/ განტოლებებს, მივიღებთ ნავიე-სტოქსის ცნობილ განტოლებას.

5.7.2. უწყვეტობის განტოლება

განვიხილოთ წიბოს ელემენტალური პარალელოპიპედი, რომელიც სივრცეში კოორდინატების მიმართულებების პარალელურია.

ვთქვათ F_i და F_{i+1} იქნებიან წახნაგები სიბრტყეებში შესაბამისად $x_i = x_i - dx_i/2$ $x_i = x_i + dx_i/2$

სიხის მასა dm რომელიც შედის F_i წახნაგიდან i მიმართულებით დროის მონაკვეთში იქნება

$$dm_i = \rho V_i (dx_j dx_k) dt \quad /5.32/$$

სიხის მასა m იგივე მიმართულებით F_{i+1} წახნაგის გავლით და დროის იგივე მონაკვეთში შემდეგი გამოსახულების გამოსახება

$$dm = (\rho V_i + \rho \frac{\partial V_i}{\partial x_i} dx + V_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} dx) dx_j dx_k dt \quad /5.33/$$

მასის შენახვის კანონის თანახმად ვიღებთ უწყვეტი სიხის განტოლებას

$$\rho \frac{\partial V_i}{\partial x_i} + V_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad /5.34/$$

უკუმშველი სიხის შემთხვევაში /5.34/ განტოლება იღებს სახეს

$$\frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0 \quad /5.35/$$

5.7.3. თბოგამტარობის განტოლება მოძრავ სიხებში

თბოგამტარობის დეფერენციალური განტოლება შეიძლება განვიხილოთ სიხის მოძრაობის შემთხვევაში. სიხური ნაკადის ვექტორი წარმოადგენს ნილია, როგორც კონვექტიური წივრი მდგენელებიდან რომელიც ემატება გამტარობის სათანადო ნაწილს ρ, e, T, V_i

$$Q_i = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x_i} + \rho e T V_i \quad /5.36/$$



თუკი /5.36/ ჩავსვამთ ფორმის განტოლებაში, მივიღებთ მოძრაობის

ბაში მყოფი სიძვის თბოგამტარობის განტოლებას

$$\frac{\partial T}{\partial t} + V_i \frac{\partial T}{\partial x_i} - \alpha^2 \nabla^2 T = 0$$

/5.37/

5.8. გამოსხივებით სიძვის გადატანის უდრეობის განტოლება

გამოსხივებით სიძვის გადატანას შეუძლია შეადგინოს სიძვის გადატანის დიდი ნაწილი.

როდესაც სხივი სხეულზე ეცემა, მისი ნაწილი შეაწვევს სხეულის ზედაპირიდან, დარჩენილი ენერგია ირეკლება. სხეულში შეღწეული ენერგია იდან ნაწილი შთანთქმება და ზრდის ტემპერატურას, ხოლო მეორე ნაწილი გადაეცემა.

ცნობილია, რომ სიძვის გადატანის რადიაციული მექანიზმი უნიკალურია მოლეკულურთან ერთად არსებობდეს ისინი ურთიერთი მოქმედებენ და ეს არსებობს ენერგიის გადატანის პროცესის აღწერას.

გამოსხივება ყველა სხეულისათვისაა დამახასიათებელი და ყველა მათგანი ენერგიას უწყვეტად გამოასხივებს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სხვა სხეულებზე მოხვედრისას ამ ენერგიის ნაწილი იწმენება, ნაწილი ირეკლება, ხოლო ნაწილი სხეულში გადის.

სხივური ენერგია, რომელიც შთანქმება, გარდაიქმნება სიძურად, არეკლილი ენერგიის ნაწილი ხვდება სხვა სხეულებს და შთანთქმება. ანალოგიური ემართება სხივური ენერგიის იმ ნაწილს, რომელიც სხეულში გადის. ამგვარად, ნებისმიერი სხეული არა მხოლოდ უწყვეტად ასხივებს, არამედ უწყვეტად შთანთქავს სხივურ ენერგიას.

გაცემული ან მიღებული სიძვის რაოდენობა განისაზღვრება სხივური ენერგიის სხეულით გამოსხივებული ან შთანთქმული რაოდენობის სხვაობით. ასეთი სხვაობა ნულისგან განსხვავებულია, თუკი სხივური ენერგიის ურთიერთდაცვლაში მონაწილე სხეულებს ტემპერატურა განსხვავებულია.

სხეულების ერთნაირი ტემპერატურის დროს სისტემა იმყოფება "ნომ-

რაც სიმბურ წონასწორობაში".

სხივური ენერჯიის ერთეულად მიჩნეულია ერთი კილო კალორიის ექვივალენტური ენერჯიის რაოდენობა. ენერჯია გამოსხივებული სხეულის მას-დროის ერთეულში, გამოსახება კკალ/სთ-ში. დროის ერთეულში, ზედაპირის ერთეულით გამოსხივებულ ენერჯიას ეწოდება "გამოსხივებული" ან სხეულის გამოსხივების უნარი ~~ჯამობრივად~~

დროის ერთეულზე გამოსხივებული ენერჯიის რაოდენობა დამოკიდებულია სხეულის მახასიათებლებზე, მის ტემპერატურაზე, აგრეთვე განფენილობაზე და მისი ზედაპირის მდგომარეობაზე.

შთანქმის რაოდენობა დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორზე, როგორცაა გამოსხივების დაცემის კუთხეზე. სხეულის ზედაპირი ერთნაირად არ იქცევა რადიაციის ყველა სახის მიმართ, შთანქმის და არეკვლის კოეფიციენტები იცვლებიან განსახილველი რადიაციის ტალღების სიგრძის ცვლასთან ერთად.

5.8.1. სიმბური გამოსხივების ძირითადი

კანონები

ლამბერტის კანონი

შავი სხეულისათვის ლამბერტის კანონი აღგენს, რომ გამოსხივება, რომელიც სხვადასხვა მიმართულებით სხეულის მიერაა გამოცემული, გამოსხივების კუთხეების კოსინუსების პროპორციულია. ამგვარად \neq , მიმართულებით გამოსხივებული ნაკადი შედგენილია განისაზღვრება

$$dQ_2 = \frac{E}{\pi} dW dA \cos \varphi$$

/5.36/

სადაც dW არის სივრცითი კუთხე, φ გამოსხივების კუთხე.

ყველა მიმართულებით გამოსხივებული ენერჯიის საერთო ნაკადი

ტილია

$$dQ = \int dQ_{\Sigma} = \frac{E}{\pi} dA \int_0^{2\pi} \cos^2 \alpha d\omega \quad /5.39/$$

სტივან-ბოლცმანის კანონი

სტივან-ბოლცმანის კანონი ადგენს, რომ აბსოლუტურად შავი სხეულით გამოსხივებული ენერჯიის სრული რაოდენობა, მისი აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია.

$$E = \sigma T^4 \quad /5.40/$$

სადაც σ არის სტივან-ბოლცმანის კოეფიციენტი

კლანის კანონი

სხეულის გამოსხივების უნარი არის ენერჯიის რაოდენობა, რომელიც გამოსხივდება დროის ერთეულში, ერთეული ზედაპირიდან ყველა სიგრძის ტალღისათვის $\lambda = 0$ დან $\lambda = \infty$ მდე.

თუცა ხანგრძლივი შესწავლისათვის აუცილებელია λ

სიგრძის ტალღებზე, სხვადასხვა ტემპერატურის დროს, ენერჯიის გამოსხივების განაწილების კანონის ცოდნა $E_{\lambda} = f(\lambda, T)$ სიდიდე E_{λ} ასე განისაზღვრება:

$$E_{\lambda} = \frac{dE}{d\lambda} \quad /5.41/$$

არის სპექტრული ინტენსიობა, ან უბრალოდ, გამოსხივების ინტენსიობა, მისი განზომილება კვად/მგ სთ.

პლანკმა შესძლო თეორიულად დაედგინა ინტენსიობის ცვლილების კანონი აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის.

$$E_{\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad /5.42/$$



- სადავ λ - არის სიგრძე ტალღის
- T - არის სხეულის აბსოლუტური ტემპერატურა⁰
- C_1 - არის მუდმივი ტოლი $3.77 \cdot 10^{-16}$ კკაღ/მ²სთ
- C_2 - არის მუდმივი ტოლი $1.44 \cdot 10^{-2}$ მ²

კირჩხივის კანონი

კანონი აღგენს კავშირს სხეულის გამოსხივებისა და შიანთქმის უნარის შორის. იგი გვაუწყებს, რომ გამოსხივარი უნარის ფარდობა ყველა სხეულების შიანთქმელის მიმართ, ერთნაირად ტოლია აბსოლუტურად შივი სხეულის გამოსხივების უნარის, იგივე ტემპერატურის დროს და დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე.

6. 1. ნაბიჯობების თერმული მდგომარეობის თერმული საფუძველი

6. 1. 1. შესავალი

დრეკადობის თეორია აღგენს საერთო განტოლებებს, რომლებიც ძაბვა-სა და დეფორმაციას შორის წრფივი დამოკიდებულების დაშვების შემთხვევაში, საშუალებას იძლევიან განვსაზღვროთ სხეულში დეფორმაციისა და ძაბვის მდგომარეობა.

მოცემულ თავში დრეკადობის თეორიის განტოლება წარმოდგენილია იმ ფორმით, რომელსაც უნდა ექვემდებარებოდნენ სამგანზომილებიანი წონასწორობის შემთხვევები. განსაკუთრებით განიხილება თერმული წარმოშობის დეფორმაციები.

6. 2. 1. დეჰარმაციის ტენზორი

განვიხილოთ დეკარტის კოორდინატთა სისტემაში x_i ($i=1,2,3$) განხილული მყარი სხეული. გადაადგილება მყარი სხეულის ნებისმიერ



წერტილში წარმოადგენს ვექტორს, რომელიც განისაზღვრება U_m (სივრცითი) შემადგენებით და დეფორმაციით, რომელიც ხასიათდება ცხრა შემადგენელი ϵ_{ij} ($ij = 1, 2, 3$) დეფორმაციის ტენზორით, რომელიც სიმეტრიული მატრიცის შემქმნელია.

დეფორმაცია დროიდებულთა გადაადგილებასთან, უსასრულოდ მცირე დეფორმაციების პიპოთეზაში:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (ij = 1, 2, 3) \quad /6.1.1./$$

დეფორმაციის ტენზორის შემადგენელი უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ განტოლებას

$$\frac{\partial^2 \epsilon_{ij}}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_{ij}}{\partial x_j^2} = 2 \frac{\partial^2 \epsilon_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad /6.1.2./$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(-\frac{\partial \epsilon_{jk}}{\partial x_i} + \frac{\partial \epsilon_{ki}}{\partial x_j} + \frac{\partial \epsilon_{ij}}{\partial x_k} \right) = 2 \frac{\partial^2 \epsilon_{ij}}{\partial x_j \partial x_k} \quad /6.1.3./$$

$$(i = 1, 2, 3 \quad j = 2, 3, 1 \quad k = 3, 1, 2)$$

6.1.3. ძაბვის ტენზორი

დაძაბული მდგომარეობა განისაზღვრება ცხრა მდგენელიან σ_{pq} ($p, q = 1, 2, 3$)

ძაბვის ტენზორით, რომელიც წარმოადგენს ძაბვის მდგენელს

უსასრულოდ მცირე ზედაპირის სამ ელემენტში, რომლებიც კოორდინატების სისტემის პარალელურები არიან. ძაბვის ტენზორის მდგენელები აწარმოებენ სიმეტრიულ მატრიცას.

ძაბვის ტენზორის მდგენელები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ განტოლებას:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + \chi_i = 0 \quad /6.1.4./$$

$$(ij = 1, 2, 3)$$

იმის დაშვების შემთხვევაში, რომ მოქმედებს მასიური ძაღა X, P_i
 ზედაპირული ძაღების არსებობის შემთხვევაში P_i ($i = 1, 2, 3$)
 მდგენელი წინასწორობის პირობა მოითხოვს

$$\forall ij \ n_j = P_i \quad (ij = 1, 2, 3) \quad /6.1.5./$$

სადაც n_j - არის წახნაგის სიბრტყისკენ ნორმალის მიმმართველი

როდესაც სავადასხვა ძაღების მოქმედების შედეგად სხეული დეფორ-
 მირდება, დადგენილი დაძაჭული მდგომარეობასა და დეფორმაციის შორის
 არსებობს დამოკიდებულება

თუკი ზემოქმედების ძაღების მოცილებით სხეული აღიდგენს სწყის
 კონფიგურაციას, მაშინ სხეული დრეკადია, ხოლო თუ არსებობს ძაღვასა
 და დეფორმაციის შორის წრფივი ფარდობა, მაშინ სხეული წრფივი-დრეკა-
 დია. ძაღვისა და დეფორმაციის ტენზორების შემდგენებს შორის წრფივი
 ფარდობა, ცნობილია გუკის კანონით და გამოისახება განტოლებით

$$\forall ij \ n_j = D'_{ijke} \ \epsilon_{ke} \quad (ijke = 1, 2, 3) \quad /6.1.6./$$

სადაც D'_{ijke} - არის დრეკადი მუდმივები

$$\epsilon_{ij} = H'_{ijke} \ \delta_{ke} \quad /6.1.7./$$

H'_{ijke} - არის დეფორმაციის კოეფიციენტები

D'_{ijke} და H'_{ijke} მატრიცები სიმეტრიულები არიან.

სიმეტრიის გამო დეფორმაციის და ძაღვის ტენზორებს გააჩნიათ ექვსი
 დამოუკიდებელი შემდგენი და შეიძლება ვექტორებით გამოსახვა:

$$\begin{bmatrix} \epsilon_p \\ \vdots \\ \tau_{pq} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \delta_p \\ \vdots \\ \tau_{pq} \end{bmatrix} \quad /6.1.8./$$

$$p = 1, 2, 3$$

$$q = 2, 3, 1$$



სადაც $\epsilon_p = \epsilon_{pp}$ $\sigma_p = \sigma_{pp}$ $\tau_{pq} = \tau_{qp}$ $p \neq q$

$$\tau_{pq} = 2 \epsilon_{pq} \quad (p \neq q)$$

/6.1.6./ და /6.1.7./ დამოკიდებულება შეიძლება ჩავწერთ

$$\begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ & & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} \\ & & & d_{44} & d_{45} & d_{46} \\ \text{sim} & & & & d_{55} & d_{56} \\ & & & & & d_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \end{bmatrix} \quad /6.1.9/$$

$$\begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \\ & & b_{33} & b_{34} & b_{35} & b_{36} \\ & & & b_{44} & b_{45} & b_{46} \\ \text{sim} & & & & b_{55} & b_{56} \\ & & & & & b_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \end{bmatrix} \quad /6.1.10/$$

ან უფრო კომპაქტური ფორმით

$$\sigma_i = D_{ij} \epsilon_j \quad /6.1.11/$$

$$\epsilon_j = H_{ij} \sigma_i \quad /6.1.12/$$

($i, j = 1, 2, \dots, 6$)

სხეულის დაბალულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გამოსაკვლევად გამოიყენებიან გრძივი დრეკადობის შემდეგი მუდმივი მოდული E_i ($i=1, 2, 3$) ზღვრის მოდული G_{ij} ($i=1, 2, 3$ $j=2, 3, 1$) და პუასონის კოეფიციენტი ν



6.I.4. თერმული წარმოშობის დეფორმაციები

სტრუქტურული ანალიზის ბევრ შემთხვევაში ბუნებრივია საწყისი დეფორმაციებისა და ძაბვების არსებობა, რომლებიც თერმული ზემოქმედებისაგან არიან არმომშობილი. ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს შემდეგ გამოსახულებას.

$$\epsilon_i = D_{ij} (\epsilon_j - \epsilon_j^0) + \epsilon_i^0 \quad / 6.I.I3 /$$

დაც: ϵ_i^0 და ϵ_j^0 შესაბამისად არის საწყისი დეფორმაცია და ძაბვა თერმული დეფორმაციები, ძირითადად დამოკიდებულია მასალის მახასიათებლებსაგან. კერძოდ წრფივი გაფართოების კოეფიციენტისაგან $/d_i/$, რომელიც მახასიათებს მოცემულ მიმართულებაში ტემპერატურის ცვლილების ზემოქმედების შედეგად მოცულობის ცვლილებას. ანიზოტროპიული სხეულის შემთხვევაში უნდა აღინიშნოს წრფივი გაფართოების სამი დამოუკიდებელი კოეფიციენტი ორთოგონალურ მიმართულებებში.

თერმული ხასიათის ძაბვები, ძირითადად, დამოკიდებულნი არიან ტემპერატურაზე, მყარი სხეულების თერმულ და მექანიკურ თვისებებზე, მასალის თვისებების ცვლილებაზე და ა.შ.

თერმული წარმოშობის დეფორმაციები ϵ_j^0 ($j = 1, 2, \dots, 6$)

ტემპერატურისათვის შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად

$$\begin{bmatrix} \epsilon_p \\ \vdots \\ \gamma_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_p \Delta T \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

/ 6.I0.I4 /

/ $p = 1, 2, 3$, $q = 2, 3, 1$ /



კავშირების მდგომარეობის თერმული ანალიზის დროს ვაწყდები რომლებიც ძირითადად ხასიათდებიან კომპლექსური მახასიათებლებით, მასალის თერმული თვისებების ცვალებადობა ბეტონისა და კლდის მასივების გამყფები, ნაპრალები, ბზარების არსებობა. ანიჭებენ ამ არეებს ანიზოტროპულ ხასიათს. აქედან გამომდინარე აღნიშნული პრობლემების გადასაწყვეტად მიმართავენსინამდვილის იდეალიზაციას, რომელიც ამოცანის ნაწილობრივ გამართლებას მოითხოვს. ასეთი იდეალიზაცია და მისი ხარისხი წარმოადგენს დისკუსიის მთავრად თემას. შექმნილი მოდელები მიისწრაფვიან ასახონ გარემოს თერმული მდგომარეობა, ანზოგადებენ რა მაკროსკოპულ ფორმაში იმას, რაც ხდება მიკროსკოპულ დონეზე:

თერმული პრობლემების გადაწყვეტა შეიცავს ორ ფაზას. პირველი ფაზა შეესაბამება მყარ სხეულებში ტემპერატურის განაწილებისა და თერმული ნაკადების განსაზღვრას., ხოლო მეორე - თერმულ რეჟიმზე სტრუქტურის სავასუხო რეაქციებს.

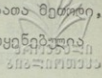
ამ ორივე სახის ანალიზისათვის აუცილებელია ამოიხნას დიფერენციალური განტოლებები და უნდა დაკმაყ ოფილდეს შესასწავლ პრობლემასთან დაკავშირებული გარკვეული სასაზღვრო პირობები, ხოლო გარდამავალი რეჟიმების შემთხვევაში უნდა მოხდეს პირობების ზედღება.

ასეთი დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნა, ზოგიერთ შემთხვევაში, შესაძლებელია ანალიზური გზით. ხუმცა, უმეტეს შემთხვევებში, თერმული პრობლემების გადასაწყვეტად აუცილებელია მივიმართოთ ექსპერმენტალურ ან რიცხვით გაანგარიშებებს.

დიფერენციალური განტოლებების ანალიზური გზით ამოხსნისას, ძირითადად მიმართავენ მეთოდებს, რომლებიც დამყარებულია ფურიეს მეთოდსა და ლაპლასის გარდაქმნებზე. ხანგრძლივი დროის მანძილზე გამოიყენებოდნენ მხოლოდ მარტივი შემთხვევებით შემოფარგლული ეს ანალიზური ამოხსნები.

რიცხვით მეთოდებში, რომლებიც წარმოადგენენ დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის ამოხსნას, გამოიყოფა დიფერენციალურ მეთოდებზე დამყარებული ნიმუშები -სასრული ელემენტების მეთოდი და სასრულსხვაობათი მეთოდი. მოყვანილი

მეთოდებიდან საწყის ეტაპზე უფრო გამოიყენებოდა სასრულს ხვდობათა მეთოდი, ხოლო შემდგომში იგი შეიცვალა პროგრესული მეთოდებით, სადაც გამოყენებულია სასრულ ელემენტები.



6.2.I. რიცხვითი მეთოდები გეომეტრიის კანონის მიხედვით
მდგომარეობის ანალიზისათვის

როგორც ვნახეთ თერმული მდგომარეობის პრობლემების ანალიზისათვის აუცილებელია დადგინდეს მოდელის სახე რომელიც გამოყენებას ექვემდებარება ხოლო შემდეგ თერმული და თერმომექანიკური ასპექტების შეფარდებით, უნდა მოხდეს ამ მოდელის დახასიათება. თერმული ამოცანების ამოსახსნელად, რომლებსაც მიეკუთვნება ტემპერატურის განაწილების განსაზღვრა. ან თერმული ზემოქმედების დროს ნაგებობების სტრუქტურული ქცევა, აუცილებელია ამოიხსნას დიფერენციალური განტოლებები და დაკმაყოფილდეს ამოცანის სასაზღვრო პირობები, ხოლო გარდამავალი რეჟიმების შემთხვევაში უნდა მოხდეს საწყისი პირობების ზედღება.

სასრულ სხვაობათი მეთოდების გამოყენება წარმოადგენს თერმული პრობლემებისათვის რიცხვითი მეთოდების გამოყენების პირველ ცდას.

დიფერენციალური განტოლების აპროქსიმაციისათვის ძირითადად მიჰყვებიან პრობლემების ცვლის გზას დროისა და სივრცის რიგით, ფურცელს დაშლისაგან გამოდინარე მნიშვნელობებისა და ტემპერატურის ფუნქციებით. მეორე გზა, რომელიც გამოიყენება საკვანძო წერტილებს შორის თერმული წონასწორობის განტოლების პრობლემაში, რომელიც ესაზღვრებიან დისკრეტიზირებულ არეს.

რადგანაც კომპლექსური სამგანზომილებიანი არეების განსახილველად ამ მეთოდის გამოყენება ადვილი არ არის, სასრულ სხვაობათა მეთოდი შეცვლილია სასრულ ელემენტების მეთოდით.

სასრულ ელემენტების მეთოდზე დამყარებული ნიმუშები გამოიყენებიან მათი ზოგადობისა და ცვალებადობის გამო. მეთოდი ძირითადად იყენებს ინტეგრაციის ტექნიკას, რომელიც უწყვეტი ფუნქცია მაგ. / ტემპერატურა / მიიღება ცვალებადებით არის წერტილებს სასრული რიცხვის ფუნქციების მნიშვნელობის პრობლემის განსაზღვრისგან გამოდინარე. ისინი შემოსაზღვრავენ ქვეარეებს

სასრულ ელემენტებს /, სადაც შესწავლის დაქვემდებარებული ფუნქცია იქნება განსაზღვრული მიახლოებით ინტერპოლაციის კანონებით. პირველ ნაშრომებს ნორის, აღსანიშნავია ზენკევიჩის, სპუნგის / I78 / ველსონის / I76 /, სინდონისა და ნიკელის / I78 /, ზენკევიჩის და პარეკის / I87 /, პოლიგასა და ველსონის შრომები / I82 %

6.2.2. აპროქსიმაცია რიცხვით მეთოდებით.

რიცხვითი მეთოდების ქვეშ გაერთიანებულია ანალიზის ტექნიკაზე დამყარებული მეთოდები, რომლებიც დიფერენციალური განტოლების მიახლოებითი ამოხსნის საშუალებას იძლევიან.

რიცხვითი მეთოდები შეიძლება გაერთიანებულნი იყვნენ დიფერენციალურ და ინტეგრალურ მეთოდებში. სასრულ სხვაობათა და სასრულ ელემენტთა მეთოდი შედიან დიფერენციალურ მეთოდებში.

მეორე მხრივ სასაზღვრო ელემენტების მეთოდი მიეკუთვნება ინტეგრალურ მეთოდებს, რადგან ზუსტად აკმაყოფილებს დიფერენციალურ განტოლებებს მთელ არეში, საზღვრებს გარდა.

აღნიშნული მეთოდების კლასიფიკაცია შესაძლებელია წონითი ცლომილებების მეთოდით.

წონითი ცლომილებების მეთოდი ეს არის რიცხვითი აპროქსიმაციის მეთოდი.

შედეგად გამოიყენება დიფერენციალური განტოლებების ერთობილობისათვის

$$A(u) - a = 0 \quad / 6.2.1 /$$

არეში სასაზღვრო პირობებით

$$B(u) - b = 0 \quad / 6.2.2. /$$

$$C(u) - c = 0 \quad / 6.2.3 /$$

მეთოდებს შესაბამისად განისაზღვრება ξ_1 და ξ_2 .

რიცხვით მეთოდებში ესწრაფვიან u მიახლოებითი ამოხსნის განსაზღვრას, თვლიან მათ მიახლოებისა და საზღვრებს დაყოფილს ქვეარეობად, რომლის მიხედვით განისაზღვრება აპროქსიმაციის ფუნქციები

$$u = N_i u_i$$

სადაც: N_i - არის ინტერპოლირებული ფუნქციები, ხოლო u_i - არის ფუნქციების მნიშვნელობა საკვანძო წერტილებში.



იძლევა რა აპროქსიმაცია განსაზღვრულად / 6.2.4 /-ში, წონის მეთოდის გამოყენებას / 6.2.I /, / 6.2.2 / და / 6.2.3 /. დიფერენციალური განტოლების ერთობლიობისა თვის / 6.2.I /, / 6.2.2 / და / 6.2.3 /, მიგვაძლავს შემდეგ ტოლობა მდე :

$$\int_V (A(u) - a) w_1 dv + \int_{S_1} (B(u) - b) w_2 ds + \int_{S_2} (C(u) - c) w_3 ds = 0 \quad / 6.2.5 /$$

სადაც: w_1, w_2, w_3 - წარმოადგენენ წონის ფუნქციას, რომლებსაც უნდა დააკმაყოფილონ პირობა, რომ / 6.2.5 / -ში ინტეგრალებს გააჩნიათ სასრული მნიშვნელობები.

მა წონითი ფუნქციები შეიძლება განისაზღვრონ ისე, როგორც / 6.2.4 /-ზე არის ნაჩვენები

$$w = M_j w_j \quad / 6.2.6 /$$

სადაც: M_j - არის ინტერპოლაციის ფუნქცია, ხოლო w_j არის წონის ფუნქციის მნიშვნელობა საკვანძო წერტილებში.

/ 6.2.4 / განტოლების შეყვანას / 6.2.I /, / 6.2.2 / და / 6.2.3 / დიფერენციალურ განტოლებებში მივყავართ ცდომილების ფუნქციის განსაზღვრასთან.

$$\epsilon_1 = A(u) - a \quad / 6.2.7 /$$

$$\epsilon_2 = B(u) - b \quad / 6.2.8 /$$

$$\epsilon_3 = C(u) - c \quad / 6.2.9 /$$

რომლებიც შესაბამისად განსაზღვრულია V, S_1, S_2 - ში. / 6.2.5 / ტოლობა გულისხმობს ცდომილებების მინიმუმირებას. მათ განსაზღვრავს რა u არეებზე და საზღვრებზე, მიიღება განსახილველი წონითი ფუნქციების აპროქსიმაციის სხვადასხვა მეთოდები.

გვაქვს რა მხედველობაში ცდომილების ფუნქციის გამოსახულება და ის ნიშნავს, რომ w_j მნიშვნელობები ნებისმიერია, შეიძლება გამარტივებული განტოლების მიღება.

$$\int_V \epsilon_1 M_j dv + \int_{S_1} \epsilon_2 M_j ds + \int_{S_2} \epsilon_3 M_j ds = 0 \quad / 6.2.10 /$$

აპროქსიმაციის სხვადასხვა მეთოდების სისტემატიზაცია დაფუძნებულია ფუნქციების დაშვების პირობებზე, აპროქსიმაციის ფუნქციაზე და შედეგებიან თუ არა N_i და M_j ტოლი ფუნქციები. აპროქსიმაციის მეთოდებისადმი მიმართება აღვნიშნოთ სამი ფორმულირება:

1. კლასიკური ფორმულირება, როცა აპროქსიმაციის ფუნქცია აკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობას $E_2 = E_3 = 0$

2. სუსტი ფორმულირებები, სადაც დაკმაყოფილებულია ერთი სასაზღვრო პირობა, ან $E_2 = 0$ ან $E_3 = 0$

3. ინტეგრალური ფორმულირებები, სადაც დაკმაყოფილებულია პირობა. $E_2 \neq 0$ და $E_3 \neq 0$

6.2.3. რიცხვითი მეთოდები დიფერენციალური მეთოდების გაზაზმ

დიფერენციალური მეთოდები მოიცავენ დისკრეტიზაციის მთელ არეს რომლის-მისაც იხსენება / 6.2.2 /-ში მოხსენიებული დიფერენციალური განტოლებები ისწრაფვიან, სრულად ან ნაწილობრივ, დაკმაყოფილდეს სასაზღვრო პირობები მეთოდების შიგნით, ეტევა აღრე მითითებული კლასიკური და სუსტი ფორმულირებები.

კლასიკურ ფორმულირებებში, სადაც, როგორც ჩვენ წინა ნაწილში ვნახეთ, ცლობილებების განტოლება დაიყვანება $E_2 = E_3 = 0$

$$\int_V \epsilon_1 w_1 dv = 0 \quad / 6.2.10 /$$

ამ ფორმულირებათა შორის თავისი მნიშვნელობის მიხედვით, წარმოებს ასეთი მითვლა:

გალიორკანის მეთოდი.

ამ მეთოდში წონით ფუნქციებად გამოყენებულია საკუთრივ ინტერპოლიაციის მეთოდური ფუნქციები.



5/ წერტილოვანი კოლუკაციის მეთოდი,

ამ მეთოდში წონითი ფუნქცია მოცემულია ფორმულით

$$w = \delta(x - x_i) \quad / 6.2.II /$$

სადაც: $\delta(x - x_i)$ დირაკის დელტა ფუნქცია, რომელსაც აქვს შემდეგი თვისებები, რომ $\delta(x - x_i) = 0$ თუ $x \neq x_i$

$$\int_{x_i-a}^{x_i+a} \delta(x - x_i) dx = 1 \quad \text{ბოცა}$$

ა მიისწრაფვის ნულისაკენ

ასეთი წონითი ფუნქციების არჩევა ექვივალენტურია იმისი, რომ ცდომილება ითვლება ნულის ტოლად მთელ რიგ x_i წერტილებში.

6/ სასრულსხვაობათა მეთოდი .

ამ მეთოდში წონითი ფუნქცია მოცემულია ფორმულით

$$w_1 = N_i \delta(x - x_i) \quad / 6.2.I2 /$$

მოლინომები N_i განსაზღვრავენ როგორც აპროქსიმაციის ფუნქციები.

ა/ უმ ცირეს კვადრატთა მეთოდი

ამ მეთოდში წონის ფუნქცია ცდომილების ვარიაციების ტოლად ითვლება, რის შედეგადაც მივიღებთ

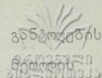
$$\int_V \epsilon_1 \delta \epsilon_1 dV = 0 \quad / 6.2.I3 /$$

როგორც წინა ნაწილში მივუთითეთ, სუსტ ფორმირებებში საჭიროა მხოლოდ ერთი სასაზღვრო პირობების დაკმაყოფილება, რიც შედეგადაც გვაქვს ცდომილებების განტოლება. $\epsilon_3 = 0$ გათვალისწინებით.

$$\int_V (A(u) - a) w_1 dV + \int_{S_1} (B(u) - b) w_2 dS = 0 \quad / 6.2.I4 /$$

ამგვარად ვღებულობთ ე.წ. " სუსტ ფორმას ", თანაც შეიძლება დამტკიცება, რომ საუკეთესო სუსტი ფორმა შეესაბამება იმას, რომელშიც u და w ფუნქციებიდან მოითხოვენ უწყვეტობის ერთნაირ ხარისხს.

სუსტი ფორმულირებები წარმოადგენენ სასრული ელემენტებისათვის ამოცანის უკეთეს წერტილს. უნდა მივუთითოთ, რომ გადგრეკინის ცნობილი ფორმულირება ითვლება, თუკი ჩავთვლით ტოლად ინტერპოლაციის ფუნქციებს, აპროქსიმაციისა და წონის ფუნქციებს. ($N_i = M_i$)



სასრულ ელემენტების მიმუშებში, ამოცანის დიფერენციალური განტოლების უშუალოდ მიახლოებული ფორმულირებებისა და წონის ცდომილებების გარდა, არსებობენ გაანგარიშებების მოდელი, რომელიც დამყარებული არიან ვარიაციულ პრინციპებზე.

განსაზღვრების თანახმად, ვარიაციულ პრინციპში, ღვინდება ფუნქციონალი / სკალარული სიდიდე /, რომელიც გამოსახულია ინტეგრალური ფორმით

$$F = \int_V A(u, \frac{\partial u}{\partial x_i}, u_1, \dots) dv + \int_S B(u + \frac{\partial u}{\partial x_i}, u_1, \dots) ds \quad / 6.2.I5 /$$

და ვიღებთ ისეთი ამოცანის ამოხსნას, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა u მცირე ვარიაციების შემთხვევაში F გახდეს სტაციონალური, რასაც აღვნიშნავთ აქვს მაშინ, როცა

$$\delta F = 0 \quad / 6.2.I6 /$$

ამ მეთოდში u განისაზღვრება

$$u = N_i a_i \quad / 6.2.I7 /$$

აქადაც, ჩვეულებრივ, a_i რიტის კოეფიციენტია.

/ 6.2.I5 / განტოლებაში თუკი შევიყვანთ აპრქსიმაციას და გავითვალისწინებთ / 6.2.I6 / პირობას, მივიღებთ განტოლებებს;

$$\frac{\partial F}{\partial a_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad / 6.2.I8 /$$

6.2.I3. სასული ელემენტების მიხედვით გაანგარიშებები მეთოდი

ამოცანის ფორმულირება თერმული მდგომარეობის ანალიზისათვის

6.2.3.I.I. სივრცის დისკრეტიზაცია

თერმული პრობლემების ამოსახსნელად სასრული ელემენტების გამოყენება უმჯობესი მეთოდია, რომლის თერმული თვისება ივარაუდება ტემპერატურის დანოტივებული და მოდელირებული, შეიძლება განხორციელდეს, როგორც 6.2.2 განყოფილებაში



ბაში იყო ნათქვამი, წონის ცლომილებების მეთლის გამოყენებით.

ერთგვაროვან მყარ სხეულში სითბოს გარდამავალი გამტარობის უწყვეტი, ფერენციალური განტოლებები, რომლებსაც სივრცეში უჭირავს V არე, შეიძლება α_i ღერძთა სისტემაში ჩაიწეროს.

/ $i = 1, 2, 3$. / შემდეგ ნაირად.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\kappa'_i \frac{\partial T}{\partial x_i} + Q - c \frac{\partial T}{\partial t} \right) = 0 \quad /6.2.19/$$

სადაც: T არის ტემპერატურა, t -არის დრო, κ'_i -ძირითადი თერმული მუდმივები, Q -გენერირებული სითბო და c -არის სითბოტევადობა.

სასაზღვრო პირობები, შეიძლება იყვნენ სქემატიზირებულნი შემდეგი სახით:

ა/ A_1 ზედაპირის გასწვრივ სითბოს მოღება. $T - \bar{T} = 0$ /6.2.20/

ბ/ A_2 ზედაპირზე სითბოს ნაკადის მოღება $\kappa_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_i} n_j - q - \bar{\lambda} T = 0$ /6.2.21./

სადაც: κ_{ij} -არის თერმული გამტარობის ტენზორი, n_i არის A_2 -კენ ნორმალის მიმმართებული კოსინუსები, q -არის გენერირებული ან მოცულობის ერთეულზე გაცემული სითბო /სითბოს ზედაპირული წყაროები/

$\bar{\lambda}$ -არის სხეულისა და გარემოს შორის საერთო ტემპერატურის კოეფიციენტი, რადგანაც განტოლების მარცხენა ნაწილები /6.2.19/ და /6.2.20/.

/6.2.21/ უნდა უტოლებოდა არის ყველა წერტილებისა და მის საზღვრებზე მაშინ წონის ცლომილებების მეთლის გამოყენებით მივიღებთ

$$\int_V \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\kappa'_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q - c \frac{\partial T}{\partial t} \right] W dv + \int_{A_1} (T - \bar{T}) W_1 ds + \int_{A_2} \left(\kappa_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_i} n_j - q - \bar{\lambda} T \right) W_2 ds = 0 \quad /6.2.22/$$

სადაც: W_1, W_2, W_3 -არის წონის ნებისმიერი ფუნქციები.

წონის ცლომილებების მეთლი მინიმუმირებას უკეთებს ცლომილებებს არეში და საზღვრებებზე. შესაბამისად განვიხილავთ რა "სუსტ" ფორმულირებას რომელიც შეესაბამება წინა განტოლების ინტეგრაციას ნაწილებად და ზუსტად. ვაკმაყოფილებთ სასაზღვრო პირობას A_1 , მისი გათვალისწინებით, რომ $W_2 = -W_1 / n_i$ მივიღებთ:

$$\int_V \kappa'_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \frac{\partial W}{\partial x_i} dv - \int_V Q W dv + \int_V c \frac{\partial T}{\partial t} W dv - \int_{A_2} q \frac{W}{n_i} ds - \int_{A_2} \bar{\lambda} T \frac{W}{n_i} ds = 0$$

ფუნქციების სახით წარმოდგენილი w, T ფუნქციების სახით
 / გალერკინის მეთოდი /, რაც შეესაბამება ერთნაირი ინტერპოლირებული
 ფუნქციებს, გვექნება.

$$T = N_k T_k^e \quad / 6.2.24 /$$

$$w = \delta T = N_k \delta T_k^e \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad / 6.2.25 /$$

სადაც: P - არის სასრული ელემენტების კვანძების რაოდენობა

N_k - არიან ინტერპოლაციური ფუნქციები

T_k^e - არის ტემპერატურის მნიშვნელობა ელემენტის საკვანძო წერტილებში

δT_k - არის კვანძის მუდმივები / 6.2.25 / მიიღებს სახეს

$$\int_V K_i \frac{\partial}{\partial x_i} (N_k T_k^e) \frac{\partial}{\partial x_i} (N_m \delta T_m^e) dV - \int_V Q N_m \delta T_m^e dV + \int_V c \frac{\partial}{\partial t} (N_k T_k^e) N_m \delta T_m^e dV -$$

$$\int_{A_2} \frac{q}{h_i} N_m \delta T_m^e ds - \int_{A_2} \frac{\bar{h}}{h_i} N_k T_k^e \delta T_m^e ds = 0 \quad / 6.2.26 /$$

$$\delta T_m^e / T_k^e \int_V K_i \frac{\partial N_k}{\partial x_i} \frac{\partial N_m}{\partial x_i} dV - \int_V Q N_m dV + \frac{\partial T_k^e}{\partial t} \int_V c N_k N_m dt - \int_{A_2} \frac{q}{h_i} N_m ds - T_k^e \int_{A_2} \frac{\bar{h}}{h_i} N_k N_m ds \quad / 6.2.27 /$$

რადგანაც $\delta T_m^e \neq 0$ მაშინ / 6.2.27 / ან შეიძლება დავადგინოთ

$$C_{km}^e \frac{\partial T_k^e}{\partial t} + D_{km}^e T_k^e + F_m^e = 0 \quad (k, m = 1, 2, \dots, p) \quad / 6.2.28 /$$

სადაც:

$$C_{km}^e = \int_V c N_k N_m dV \quad / 6.2.29 /$$

$$D_{km}^e = \int_V K_i \frac{\partial N_k}{\partial x_i} \frac{\partial N_m}{\partial x_i} dV - \int_{A_2} \frac{\bar{h}}{h_i} N_k N_m ds \quad / 6.2.30 /$$

$$F_m^e = - \int_V Q N_m dV - \int_{A_2} \frac{q}{h_i} N_m ds \quad / 6.2.31 /$$

6.2.3.I.2. ღრთის დისკრეტიზაცია

/ 6.2.28 / განტოლების ინტეგრაცია მოიცავს ღრთის განზომილებას, რის
 გამოც აუცილებელი ხდება ამ განზომილების დისკრეტიზაცია სასრულ
 ელემენტებად.

$$T = N_i' T_j$$

$$(i = 1, 2, \dots, N)$$

/6.2.32 /

სადაც: N_i' - ფორმის ფუნქციაა T ტემპერატურის მნიშვნელობა ყოველ მომენტში, N გათვალისწინებულ მომენტთა რაოდენობა.

ძირითადად მხედველობაში მიიღება, ფორმის ფუნქცია, მხოლოდ ორი ან სამი დროის მომენტისათვის, რომელიც შეესაბამება პირველი ან მეორე ხარისხის ვარიაციებს 6.2.31 ნახ. ნაჩვენებია ეს სასრული ელემენტები დროში თუ მხედველობაში მივიღებთ წრფივ ელემენტებს დროში და 6.2.28 განტოლებას მივცემთ პატრიცულ ფორმას მივიღებთ.

$$c \frac{\partial T}{\partial t} + DT + F = 0$$

/ 6.2.33 /

საიდანაც ადვილად მივიღებთ წონითი ცლომილებების განტოლებაზე:

$$\int_0^1 W \left[c \left(T_n \frac{\partial N'_n}{\partial t} + T_{n+1} \frac{\partial N'_{n+1}}{\partial t} \right) + D \left(T_n N'_n + T_{n+1} N'_{n+1} \right) + F \right] dy = 0$$

/6.2.34/

ამ გამოსახულებაში დაშვებულია, რომ გაანალიზებული არე შეესაბამება მხოლოდ ერთ სასრულ ელემენტს დროში, რომელიც მოთავსებულია n და $n+1$ წამებს შორის, ხოლო N წარმოადგენს წონით ფუნქციას. ფორმის ფუნქციები და მათი წარმოებულები, მოცემულია:

$$\begin{aligned} N'_n &= 1-y & \frac{\partial N'_n}{\partial t} &= -\frac{1}{\Delta t} \\ N'_{n+1} &= y & \frac{\partial N'_{n+1}}{\partial t} &= \frac{1}{\Delta t} \end{aligned} \quad /6.2.35 /$$

სადაც: Δt არის დროის n და $n+1$ მომენტებს შორის დროის ინტერვალი /6.2.34/ განტოლების ამოხსნა ტრანსფორმირდება ამოცანაში, რომელშიც ცნობილია T_n ტემპერატურის საწყისი მნიშვნელობები და საჭიროა მიახლოვებით განისაზღვროს T_{n+1} მნიშვნელობა, რის შედეგად შესაძლებელი იქნება რეკურენტული ფორმულის მიღება დაშვებისას რომ D იქნებიან დროიდან და წონის ფუნქციის ნებისმიერი მნიშვნელობისაგან დამოუკიდებელი /35/

$$\left(\frac{c}{\Delta t} + D\theta \right) T_{n+1} + \left[-\frac{c}{\Delta t} + D(1-\theta) \right] T_n + \bar{F} = 0 \quad /6.2.36 /$$

$$\theta = \int_0^1 W y dy / \int_0^1 W dy \quad /6.2.37 /$$

$$\bar{F} = \int_0^1 W F dy / \int_0^1 W dy \quad /6.2.38 /$$

თუ \bar{F} ფუნქციისათვის მიღებულია ინტერპოლაციის იგივე კანონი, რაც მიღებულია T - ძვის, მივიღებთ:

$$\bar{F} = F_{n+1} \theta + F_n (1-\theta) \quad /6.2.39 /$$

იმის დაშვებით, რომ მხედველობაში მიიღება პარაბოლური ელემენტები რომლის ფორმის ფუნქციები მოცემულია 6.2.3.I ნახ-ზე.

$$\begin{aligned} N'_{n+1} &= y(1+y) / 2 \\ N'_n &= (1-y)(1+y) \\ N'_{n-1} &= -y(1-y) / 2 \end{aligned} \quad /6.2.40 /$$

წონის ცდომილების მეთოდის გამოყენებით მივიღებ შემდეგ რეკურენტულ ფორმულას, რომელიც T_{n+1} გამოთვლის საშუალებას იძლევა ნებისმიერი ტემპერატურების მნიშვნელობებისათვის n და $n+1$ მომენტებში

$$(T_c + \beta \Delta + D) T_{n+1} + [(1 - 2\gamma) c + (\frac{1}{2} - 2\beta + \gamma) D] T_n + [-(1 - \gamma) c + (\frac{1}{2} + \beta - \gamma) D] T_{n-1} + \bar{F} = 0 \quad / 6.2.41 /$$

სადაც:

$$\gamma = \int_{-1}^1 w(y + \frac{1}{2}) dy / \int_{-1}^1 w dy \quad / 6.2.42 /$$

$$\beta = \int_{-1}^1 \frac{1}{2} w F dy / \int_{-1}^1 w dy \quad / 6.2.43 /$$

აგრეთვე, როგორც / 6.2.36 / რეკურენტული ფორმულისათვის იყო განსაზღვრული, შეიძლება მივიღოთ:

$$\bar{F} = F_{n+1} \beta + F_n (\frac{1}{2} - 2\beta + \gamma) + F_{n-1} (\frac{1}{2} + \beta - \gamma) \quad / 6.2.45 /$$

მოცემულ რეკურენტულ ფორმულაში სხვადასხვა სქემები შეესაბამება წონის ფუნქციის სხვადასხვა ტიპებს, რომლებიც გამოიყენებიან წონის ცდომილების მეთოდის " დროისათვის " გამოყენების შემთხვევაში.

6.2.3.2. მერმოდრომული ძვევის ანალიზი

6.2.3.2.I. საერთო ფორმულირება

განვიხილოთ სტრუქტურის ზოგადი / საერთო / შემთხვევა სამგანზომილებიან წონასწორობაში, რომელიც განსაზღვრულია დეკარტის ღერძთა სისტემაში $x_m / m = 1, 2, 3 /$ და დაყოფილია E სასრულ ელემენტებად. u_m წერტილის გადაადგილება ნებისმიერ ელემენტში, შეიძლება გამოიხატოს საკვანძო წერტილების u_{im}^e გადაადგილებით ამ წერტილის კოორდინატებისათვის გამოთვლილი N_i ინტერპოლირებული ფუნქციის საშუალებით.

$$u_m = N_i u_{im}^e \quad (i = 1, 2, 3 \dots p \quad m = 1, 2, 3)$$

სადაც: P - არის ელემენტის საკვანძო წერტილების საერთო რიცხვი.

E_p - დეფორმაცია მიიღება საკვანძო წერტილების გადაადგილებით.

თან დამოკიდებულებაში F_{pm} დეფორმაციულ რეაქტორის მიშვეობით. დამოუკიდებლად გადაადგილებისა, უსასრულო მცირე წრფივი დეფორმაციების ჩვეულებრივი ჰიპოთეზით., საერთო გამოსახულების საშუალებით:

$$E_p = F_{pm} u_m = F_{pm} N_i U_{im}^e = A_{pim} u_m$$

$$(i = 1, 2, \dots, p \quad p = 1, 2, \dots, 6 \quad m = 1, 2, 3)$$

/6.2.48/

ეს თანაფარდობა ასევე შეიძლება იყოს გამოყახული უწყვეტი არევის შემთხვევაში:

$$\begin{bmatrix} E_p \\ \vdots \\ \bar{\sigma}_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_p}{\partial x_p} \\ \frac{\partial u_p}{\partial x_q} + \frac{\partial u_q}{\partial x_p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_p} \delta_{mp} \\ \frac{\partial}{\partial x_q} \delta_{mp} + \frac{\partial}{\partial x_p} \delta_{mq} \end{bmatrix} u_m$$

$$(p = 1, 2, 3 \quad q = 2, 3, 1 \quad m = 1, 2, 3)$$

/6.2.49 /

რადგანაც ინტერპოლირებული ფუნქციები გამოსახებიან ყველა ტიპის ელემენტებისათვის შესაფერის ψ_i კოორდინატებში, გამოსახულებები, რომლებიც აღვნიშნავთ გადაადგილებების წარმოებულის თანაფარდობს, დეკარტის კოორდინატებთან შეჭარდებით, გამოიანგარიშებიან შემდეგი გამოსახულებით:

$$\frac{\partial u_m}{\partial x_k} = \left(\frac{\partial N_i}{\partial x_j} \frac{\partial y_j}{\partial x_k} \right) U_{im}^e = A_{ik} U_{im}^e$$

$$(i = 1, 2, 3 \dots p \quad k = 1, 2, 3)$$

/6.2.50/

/ 6.2.49 / ვექტორი

$$\begin{bmatrix} E_p \\ \bar{\sigma}_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{ip} \delta_{mp} \\ A_{iq} \delta_{mp} + A_{ip} \delta_{mq} \end{bmatrix} U_{im}^e$$

/6.2.51 /

ძაბვა წრფივ-ღრეკადი ქცევის პირობებში მოცემულია

$$G_p = D_{pq} A_{qj} n u_{jn}^l - D_{pq} \varepsilon_q^0 + G_p^0$$

$$(j = 1, 2, \dots, p \quad n = 1, 2, 3 \quad pq = 1, 2, \dots, 6) \quad /6.2.52 /$$

სადაც: ε_q^0 G_p^0 - შესაბამისად წარმოადგენენ, თერმული წარმოშობის ღვწორმაციებს / ტემპერატურის ცვლილებები / და საწყის ძაბვებს.

ნორმალური ძაბვის ტანგენციურისაგან განცალკევების შემთხვევაში / 6.2.52 / იღებს ასეთ სახეს :

$$\begin{bmatrix} G_p \\ \tau_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{pn} & 0 \\ 0 & G_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_n \\ \tau_{pq} \end{bmatrix} - \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_n \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_p^0 \\ \tau_{pq}^0 \end{bmatrix}$$

/6.2.53 /

სადაც: $p = 1, 2, 3$, $q = 2, 3, 2$, თუ / 6.2.51 / შევიყვანოთ, გვიქნება

$$\begin{bmatrix} G_p \\ \tau_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{pn} A_{ip} & \delta_{np} \\ G_p (A_{jq} \delta_{np} + A_{jp} \delta_{nq}) \end{bmatrix} u_{jn}^l - \Delta T \begin{bmatrix} D_{pn} \alpha_n \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_p^0 \\ \tau_{pq}^0 \end{bmatrix}$$

/6.2.54 /

თუკი Θ_m და P_m იქნებიან ელემენტების მოცულობაში, და საზღვრებზე განაწილებული ძალები და საერთო პოტენციური ენერჯიის სტაციონარულობის პირობებში / 6.2.48 / და / 6.2.52 /-ის შეტანის შემთხვევაში, მივიღებთ ძალთა და გადაადგილებების წონასწორობის განტოლებას საკვანძო წერტილებში.

$$K_{ijmn}^l u_{jn}^l = Q_{im}^l + P_{im}^l + S_{im}^l + T_{im}^l$$

$$(ij = 1, 2, \dots, p \quad mn = 1, 2, 3)$$

/6.2.55/

K_{ijmn}^l თუკი საშუალებით წარმოვადგინთ ელემენტის სი ტენზორს
მატრიცას და შესაბამისად $Q_{im}^l, P_{im}^l, S_{im}^l, T_{im}^l$ საშუალებებით საკვანძო
ძალებს, რომლებიც მასიური და ზედაპირული ძალების, საწყისი დეფორმაცი-
ების და ძაბვების ექვივალენტურები არიან. ამ მატრიცების საერთო წევრები
მოცემულია:

$$K_{ijmn}^l = \int_V A_{pim} D_{pq} A_{qjn} dv \quad /6.2.56 /$$

$$Q_{im}^l = \int V N_i Q_m dv \quad /6.2.57 /$$

$$P_{im}^l = \int V N_i P_m dv \quad /6.2.58 /$$

$$S_{im}^l = \int V A_{pim} D_{pq} E_q^0 dv \quad /6.2.59 /$$

$$T_{im} = - \int V A_{pim} G_p^0 dv \quad /6.2.60 /$$

მიღებულია რა ყველა ელემენტისათვის წონასწორობის განტოლება,
სტრუქტურის საკვანძო წერტილებში შეიყვანება შეთავსებადობა განტოლე-
ბები. ეს თვერაციები ძირითადად სტრუქტურის საკვანძო წერტილების
მოსაწესრიგებლად და სხვადასხვა მატრიცების და ექვივალენტების გასაჯერებლად
გზადად ტარდება, ანუ, თუკი ჩავთვლით მატრიცებს და ექვივალენტებს საკვან-
ძო წერტილებში სტრუქტურის თავისუფლების ხარისხის საერთო რიცხვის
ტოლად და განსაზღვრული საკვანძო წერტილების შესაბამისად, პირდაპირ
შეგვკრებთ ყველა ელემენტის შენატანს ~~XXXXXX~~,

ბოლოს, ყველა ელემენტის წილის შეკრებით, მივიღებთ საერთო გან-
ტოლებას.

$$K_{ijmn} U_{jn} = Q_{im} + P_{im} + S_{im} + T_{im} \quad /6.2.61 /$$

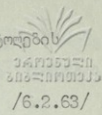
(ij = 1, 2, ... N)

სადაც: N - არის სტრუქტურის საკვანძო წერტილების საერთო რიცხვი.
/ 6.2.61 / განტოლება შეიძლება ჩავწერთ მატრიცული ფორმით.

$$KU = S \quad /6.2.62 /$$

6.2.3.2.2. ბარბანი კავშირები და განტოლების სისტემის
ამოხსნა

/6.2.62/-ში განსაზღვრულ წონასწორობის განტოლებაში აუცილებელია
შევიტანოთ საყრდენი ზედაპირების რეაქციების მარბულტირებელი ძალები



რაც გამოისახება გადაწვევებისასთან დამოკიდებულებაში, განტოლების საშუალებით:

$$R = -K' \mu$$

/6.2.63/

სადაც: K' - არის სიხისტის მატრიცი, რომელიც განსაზღვრულია საყრდენი ზედაპირისათვის. წონასწორობის საერთო განტოლება მოცემულია :

$$(K + K') \mu = \beta \quad /6.2.64 /$$

შეიძლება მივიღოთ სიხისტის K' მატრიცის გარეგან კავშირებთან ასოცირებული ორი ფორმულირება.

ერთ-ერთი ფორმულირება შეესაბამება სრული მატრიცების გამოყენებას. თუკი მხედველობაში მივიღებთ შეხების ზედაპირის ყველა წერტილის ურთიერთქმედებას. ამიტომ, ამ შემთხვევაში, მივიღებთ სტრუქტურული ამოცანის ამოხსნას აპროქსიმაციის გარეშე, სტრუქტურისა და საპირკველს შორის კავშირის შეფარდებით. დრეკალობის ცნობილი თეორიის ამოხსნიდან გამომდინარე /I78 / ეს მატრიცები ადვილად შეიძლება მივიღოთ სამგანზომილებიან სტრუქტურებში, რომლებიც განლაგებული სივრცულ დრეკად, ერთგვაროვან და იზოტროპულ გარემოში.

უკვე ჩვეულებრივად იქცა სასრული ელემენტებიდან გაანგარიშების ნიმუშების გამოყენება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან განისაზღვროს დეფორმირებული ფუძის მატრიცა და ბოლს, სიხისტიც შესაბამისი მატრიცა, რომელიც ემატება წონასწორობის საერთო განტოლებას. მეორე ფორმულირება შეესაბამება დაშვებას, რომ არ არსებობს ფუძის მოსაზღვრე წერტილებს შორის ურთიერთქმედება და ამიტომ მოცემულ წერტილში ძალები შეიძლება გამოვიანგარიშოთ მხოლოდ იმ წერტილის გადაადგილების საშუალებით. ერთ-ერთი ჩვეულებრივი მეთოდი, რომელიც იხმარება ბეტონის კაშხალებში საანგარიშოდ, მდგომარეობს ფობტის კოეფიციენტის გამოყენებაში, რაც წერტილის თავისუფლების სხვადასხვა ხარისხის ურთიერთკავშირის შესაძლებლობას იძლევა. ეს კოეფიციენტები განისაზღვრებიან ფუძის ბრტყელი მართკუთხა ზედაპირის საშუალო დეფორმაციიდან, რომელიც განიცდის განსაზღვრული განაწილებელი დატვირთვის ზემოქმედებას. ამ მართკუთხა საპირკველისათვის შეიძლება მოქნილობის მატრიცის გაანგარიშება, რომე-

ლიც, აღგენს სამი გადანაცვლების თანაფარდობას, ერთი ნორმალური ბრუნვას ფუძის სიბრტყისკენ და ერთ გრებას შესაბამისი ძალებითა და შიშვნილობით

$$\begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma' & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma' - \alpha'' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha'' & \alpha' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \delta' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ \chi_3 \\ \chi_4 \\ \chi_5 \end{bmatrix}$$

/ 6.2.65 /

საბავ: δ - არის მართკუთხა ფართობის საშუალო გადაადგილებები ,
 χ - არის საშუალო ძალები, მოქნილობის მატრიცის კოეფიციენტები მოთავსებულია ცხრილში $\frac{a}{E}$ თანაფარდობისა და პუასონის საფუძველის კოეფიციენტთან დამოკიდებულებაში.

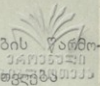
გარეგანი კავშირების დისკრეტიზაციისათვის, რაც შეესაბამება ფორმულირების ამ მეორე ტიპს შესაბამისად, შესაძლებელია ზედაპირული სასრული ელემენტების გაშლა, სასრული ელემენტებისათვის უკვე დადგინილი გადა-ნაცვლებისათვის ინტერპოლირებული ფუნქციების გამოყენებით $u = Nu^e$ / განისაზღვრება განზოგადებულ ძალებსა და ფუძის ზედაპირის წერტილებს შორის გადანაცვლების წრფივი ფარდობა:

$$\chi = Du \quad /6.2.66/$$

შეიძლება ფუძის ელემენტის ზედაპირის საერთო გამოსახულების განსაზღვრა:

$$K_e' = \int_A N^T D N ds \quad /6.2.67/$$

საყრდენები, რომლებიც ხისტად ითვლებიან, წარმოადგენენ ვინკ-დერის ტიპის საყრდენებს კერძო შემთხვევას, ამ შემთხვევაში K' მატრიცებს გააჩნიათ ყველა ნულთანაი ელემენტები, თავისუფლების ხარისხში წი ქსირებული ძალებთან შეფარდებული დიაგონალის ელემენტების გამოკლებით, რომლებსაც შეიძლება პქონდოდ პრაქტიკულად უსასრულო მნიშვნელობა და ამიტომ შეიძლება მნიშვნელოვნად ჩაითვალოს შესაბამის K ელემენტებთან შეფარდებით. მეორე მდგომარეობა გამოიხატება ნულისგან განსაზღვრული გადანაცვლების მნიშვნელობების u ზედღებაში.



ა-ბ ძალები მოედება სტრუქტურას, რომელიც გადანაცვლების
ქმნის შემთხვევაში ითვლება ხისტად დაყრდნობილად და გამოიხატება
მარბილტირებული გადანაცვლებები:

საყრდენის პირობების შეცვანის შემდეგ, საერთო სი ხისტის მატრიცა
აღარ არის განსაკუთრებული, რის შედეგადაც შეიძლება წრფივი ალგებრული
განტოებების სისტემის ამოხსნა. ძირითადად, გამოიყენება პირდაპირი
მეთოდები და გაიშლება სპეციალური მეთოდები ჩვეულებრივი ალგორითმები-
სათვის, სი ხისტის მატრიცის სპეციალური მახასიათებლის გამოყენებით,
სიმეტრული და ნულიდან განსხვავებული ელემენტების ზოლური განლაგე-
ბით. /I28 /.

7. ნაგებობის თერმული მდგომარეობის
 რიგგარეშე ანალიზი

ცნობილია, რომ ნაგებობის შიგნით ტემპერატურის განაწილება შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც კოორდინატებისა და დროის ფუნქციის

$$T = T(x, y, z, t) \quad /7.1./$$

$$t=0 \quad \text{მომენტში განსაზღვრული} \quad T = T(x, y, z, 0)$$

სასაზღვრო პირობებით S ზედაპირის წერტილებში. $T_S = T(x_S, y_S, z_S, t)$

ცხადია, რომ მოცემული შემთხვევისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ თბოგადაცემის ძირითადი კანონი „ფურიეს კანონი“, რომელიც 1 თავშია მოცემული.

$$Q + \rho V^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad /7.2./$$

სადაც Q - გამოიყოფა სიბზის დროის ერთეულზე, ბეტონის ნაგებობის შემთხვევაში, ჰიდროსაქურის სიბზის გამოყოფის დასრულების შემდეგ $Q=0$

საწყისი და სასაზღვრო პირობების ცნობილი a, Q მნიშვნელობის დროს, ცხადია, ნებისმიერი t - დროის განსაზღვრულ $T(x, y, z, t)$ მნიშვნელობა. უნდა აღინიშნოს, რომ საჭიროა დიდი რაოდენობის საწყისი და სასაზღვრო პირობები. აქედან გამომდინარე აუცილებლად უნდა ვთხოვთ ამ პროცედურის გამარტივების საშუალება ერთი უპირატესობით, პილროსტატიკურ ნაგებობებზე, კერძოდ კაშხლებზე, ნატურული დაკვირვებების წარმოების შემთხვევაში, გაზომილ ტემპერატურაზე რეალური ინფორმაციის გამოყენებით. ნაგებობების /კაშხლის/ ნებისმიერ წერტილში წარმოვადგინოთ ტემპერატურა შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$T(x, y, z, t) = AT + B \frac{dT}{dt} \quad /7.3./$$

სადაც T - არის გაზომვის ტემპერატურა არჩეულ /ნებისმიერ წერტილში/
 A და B - არიან კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია არიან მხოლოდ წერტილის კოორდინატებზე.

განვიხილოთ შემთხვევა /დავუშვათ/, როდესაც არ განვიხილავთ "შიგა" სიბრტის გენერაციას / $\Omega=0$ /, ასეთ შემთხვევაში /7.2./ განტოლება იღებს სახეს:

$$\alpha \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad /7.4./$$

იმ ვითარების გათვალისწინებით, რომ ზოგიერთ წერტილებში ნაგებობაზე დაყენებული თერმომეტრები დროთა განმავლობაში წყობიდან გამოდინან, რომ მათ ჩვენებებზე მოქმედებს ბევრი შემთხვევითი ფაქტორი, აგრეთვე სიბრტის რბევები ყოველთვის მკაცრად პერიოდულები არ არიან, მაშინ /7.3./ გამოსახულებაში განსაზღვრული ტემპერატურისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ნაგებობების მოცემულ კვეთში განლაგებული ყველა არსებული თერმომეტრების ჩვენებები, მაშინ /7.3./ შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით

$$T(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^n f_i T_i + \sum_{i=1}^n \varphi_i \frac{dT_i(t)}{dt} \quad /7.5./$$

სადაც T_i - არის i თერმომეტრის ჩვენებები, - n რაოდენობის თერმომეტრები, f_i , φ_i კოეფიციენტები წარმოადგენენ "ტემპერატურის გავლენის" ფუნქციებს და ისინი დამოკიდებული არიან მხოლოდ კოორდინატებზე.

თუკი ჩვენ გვეცოდინება f_i და φ_i ფუნქციები, მაშინ ნებისმიერ დროში შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნაგებობების შიგნით ტემპერატურის განაწილება /7.5./ გამოსახულების დეფერენცირებისას, მივიღებთ

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \sum_{i=1}^n f_i \frac{\partial T_i}{\partial t} + \sum_{i=1}^n \varphi_i \frac{d^2 T}{dt^2} \quad /7.6./$$

მაშინ /7.4./ გამოსახულება შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით

$$a \nabla^2 \left(\sum_{i=1}^n f_i T_i + \sum_{i=1}^n \varphi_i \frac{dT_i(t)}{dt} \right) = \sum_{i=1}^n f_i \frac{dT_i(t)}{dt} + \sum_{i=1}^n \varphi_i \frac{d^2 T_i(t)}{dt^2} \quad /7.7./$$

მოცემული გამოსახულება გადავწეროთ ასეთი სახით

$$a \nabla^2 \sum_{i=1}^n f_i T_i - \sum_{i=1}^n \varphi_i \frac{d^2 T_i(t)}{dt^2} = \sum_{i=1}^n (f_i + \nabla^2 \varphi_i) \frac{dT_i(t)}{dt} \quad /7.8./$$

ტემპერატურის სინუსოიდალური ცვლილების დროს კანონით /ორგანოზომილებიანი შემთხვევა/

$$T(x, y, t) = T(x, y) \sin[\omega t + \psi(x, y)] \quad /7.9./$$

სადაც ω - არის რხევების სიხშირე, $\psi(x, y)$ - საწყისი ფაზა

$$\omega = \frac{2\pi}{t} = \frac{2\pi}{8670} = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ სეკ}^{-2}$$

ნათელია, რომ ტემპერატურის სინუსოიდალური ცვლილების დროს

$$\frac{\partial^2 T_i^2}{\partial t^2} = -\omega^2 T_i$$

მაშინ /7.8/ განტოლება მიიღებს სახეს

$$\sum_{i=1}^n (a \nabla^2 f_i + \omega^2 \varphi_i) T_i = \sum_{i=1}^n (f_i - a \nabla^2 \varphi_i) \frac{dT_i}{dt} \quad /7.10./$$

მოცემული განტოლების სამართლიანობისათვის

$$\begin{cases} a \nabla^2 f_i + \omega^2 \varphi_i = 0 \\ f_i - a \nabla^2 \varphi_i = 0 \end{cases} \quad /7.11./$$

შემდეგი სასაზღვრო პირობების დროს

$$f_i = 1 \quad \text{როცა} \quad T_{i,1}^e \leq i \leq T^e$$

$$f_i = 0$$

$$\begin{aligned} \varphi_i = 0 & \quad T_{i,1}^e & \text{ნებისმიერი } K - \text{სათვის} & \quad /7.12/ \\ f_i \neq 0 & \quad \varphi_i = 0 & \text{ზედაპირის ყველა წერტილებზე} & \end{aligned}$$

კოეფიციენტის ცნობილი მნიშვნელობისათვის და ზემოთ აღნიშნული

სასაზღვრო პირობების დროს, შეიძლება /7.11/ განტოლების სისტემის ამოხსნა. პიდროტექნიკური ნაგებობებისათვის, ანალიზური გზით ამ განტოლებების ამოხსნა მეთისმეტად რთულია და ამიტომ შეიძლება რიცხვითი ამოხსნის გამოყენება.

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა /7.2./ განტოლება $Q \neq 0$ და ანალოგიურად /7.3/ წარმოვიდგინოთ Q , ნაგებობის შიგნით განლაგებული თერმომეტრებს არსებობის შემთხვევაში შეიძლება ჩაიწეროს

$$Q = \sum_{i=1}^n T_i(t) R_j(x, y) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial T_i(t)}{\partial t} K_i(x, y) \quad /7.13/$$

სადაც $R_j(x, y)$ და $K_j(x, y)$ "გავერცხის ფუნქციაა".

/7.13/-ის საშუალებით და ზემოთ გადმოცემული ფორმულირებებით /7.2./

შეიძლება შემდეგნაირად გადაიწეროს.

$$\sum_{i=1}^n T_i [a \nabla^2 f_i + \omega^2 \varphi_i + R_j] = \sum_{i=1}^n \frac{dT_i}{dt} (f_i - a \nabla^2 \varphi_i + K_i) \quad /7.14/$$

/7.11/ ანალოგიურად შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$\begin{aligned} a \nabla^2 f_i + \omega^2 \varphi_i + R_i &= 0 \\ f_i - a \nabla^2 \varphi_i - K_i &= 0 \end{aligned} \quad /7.15/$$

R_i, K_i ფუნქციები წარმოვიდგინოთ, როგორც ჯამები

$$R_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} U_j \quad /7.16/$$

$$K_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} V_j$$

სადაც

$$\nabla^2 U_i = 0$$

$$U_i = 1 \quad T_i = T_0$$

$$U_i = 0 \quad T_k \quad k \neq j$$

/7.16./ მხედველობაში მიღებთ /7.15/ მიიღებს ასეთ სახეს

$$\begin{aligned} \alpha \nabla^2 \varphi_i + \omega^2 \varphi_i + \sum_{i=1}^n a_{ij} V_i &= 0 \\ \varphi_i - \alpha \nabla^2 \varphi_i - \sum_{i=1}^n b_{ij} V_i &= 0 \end{aligned} \quad /7.17/$$

ამ სისტემის ამოსახსნელად, თავიდან აუცილებლად უნდა გადაწყდეს დაბლასის პრობლემა $\nabla^2 \psi_i = 0$ და უნდა მივიღოთ $\{U\}$ ვექტორი N წერტილებისათვის, სადაც N გაანგარიშების ბადის წერტილებია ყველა შიგა თერმომეტრისათვის აუცილებელია ორგანის ამოხსნას /7.17/ სისტემა:

$$a_{ij} = 1$$

$$a_{ik} = 0 \quad \text{როცა } k \neq j$$

$$a_{jk} = 0 \quad \text{ნებისმიერი } k$$

მაშინ /7.17/ სისტემა მიიღებს სახეს

$$\begin{aligned} \alpha \nabla^2 \varphi_i + \omega^2 \varphi_i + U_i &= 0 \\ \varphi_i - \alpha \nabla^2 \varphi_i &= 0 \end{aligned} \quad /7.18/$$

და როცა

$$b_{ij} = 1$$

$$b_{ik} = 0 \quad \text{თვის } k \neq j$$

$$b_{jk} = 0 \quad \text{ნებისმიერი } k$$

/7.17/ სისტემა იწერება

$$\begin{aligned} \alpha \nabla^2 \varphi_i + \omega^2 \varphi_i &= 0 \\ \varphi_i - \alpha \nabla^2 \varphi_i - U_i &= 0 \end{aligned} \quad /7.19/$$

/7.18/, /7.19/ სისტემებში, ნაგებობის ზედაპირის წერტილებში სასაზღვრო პირობები φ , ψ ნულად ატყვივენ, ამავდროს φ და ψ

მნიშვნელობები ნულია წერტილებში, სადაც თერმომეტრებია განლაგებული.

ჩვენ ვღებულობთ $2N$ T_i ამოხსნას, φ_i და ψ_i არჩეული გაანგარიშების ბადის ყველა წერტილისათვის, და ორჯერ ყველა თერმომეტრისათვის.



განვიხილოთ, მოკლედ სასრული ელემენტთა მეთოდზე დაფუძნებული ამოხსნის
 ვექვათ D ღომენი დაყოფილია საკმაოდ დიდი რიცხვის D_e ქვე-
 ღომენებათ.

განსაზღვროთ მეზობელ-ქვე ღომენების კონტაქტური ზედა პირების
 საკვანძო P წერტილებით და ყველა D_e ქვე-ღომენში f_i და φ_i
 ფუნქციების ცვლილება.

$$f_i(e) = \sum_{n(e)} N_{en} f_{in}$$

(7.20)

$$\varphi_i(e) = \sum_{ne} N_{en} \varphi_{in}$$

სადაც N_{en} წინასწარ განსაზღვრული ფორმის ფუნქციები. ამ შემთ-
 ხვევაში f_{in} და φ_{in} 2^N მნიშვნელობა, რომელიც 2^N საკ-
 ვანძო წერტილშია განსაზღვრული საშუალება გვაძლევს მიახლოებით განსაზღ-
 ვროთ f_i და φ_i მთელი D ღომენზე.

ფორმალურად შეიძლება განვიხილოთ ისეთი S_n - ფორმის ფუნქცია,
 რომელიც განსაზღვრულია მთელი D ღომენზე. ამავდროს S_n განსხვავ-
 ლება ნულისაგან მხოლოდ იმ ქვე-ღომენებისათვის, რომელნიც შეიცავენ n
 კვანძს. აქედან გამომდინარე შეიძლება დაიწეროს

$$f_i = \sum S_n f_{in}$$

$$\varphi_i = \sum S_n \varphi_{in}$$

$$\begin{cases} S_n \neq 0 & \text{ყველა } D_e(n) \\ S_n = 0 & D - D_e(n) \end{cases} \quad (7.21)$$

ახლა განტოლებები () ფორმალურად ექვივალენტურია

F - "ფუნქციონალის" სტაციონარული პირობებისათვის f და φ თვის.
 რაც შეიძლება ვარიაციული პრინციპის გამოყენებით.

შემდეგ ნაირად ჩამოიწეროს:

$$F = \frac{1}{2} \int_D (\omega^2 \varphi^2 - f^2) dV - a \int_D \text{grad } f \cdot \text{grad } \varphi dV$$

(7.2I.1)

ხოლო F ფუნქციონალის მიახლოებით F^* მნიშვნელობის განსაზღვრა

(7.2I) გამოყენებით შეიძლება შემდეგი სახით:

$$F^* = -a \int_D \left(\left\{ \varphi \right\}^T \left[\frac{\partial S}{\partial x} \right]^T \left[\frac{\partial S}{\partial x} \right] \left\{ f \right\} + \left\{ \varphi \right\}^T \left[\frac{\partial S}{\partial y} \right]^T \left[\frac{\partial S}{\partial y} \right]^T \left[\frac{\partial S}{\partial y} \right] \left\{ f \right\} + \left\{ \varphi \right\}^T \left[\frac{\partial S}{\partial z} \right]^T \left[\frac{\partial S}{\partial z} \right] \left\{ f \right\} \right) dV + \frac{1}{2} \int_D (\omega^2 \left\{ \varphi \right\}^T [S]^T [S] \left\{ \varphi \right\} - \left\{ f \right\}^T [S]^T [S] \left\{ f \right\}) dV$$

(7.2I.2)

რაც მატრიცულ ფორმით შეიძლება გადაიწეროს

$$F = \frac{1}{2} \left\{ \begin{matrix} f_{in} \\ \varphi_{in} \end{matrix} \right\}^T K \left\{ \begin{matrix} f_{in} \\ \varphi_{in} \end{matrix} \right\}, \quad [K] = \begin{bmatrix} K_{ff} & K_{f\varphi} \\ K_{\varphi f} & K_{\varphi\varphi} \end{bmatrix}$$

(7.2I.3)

სადაც

$$[K_{ff}] = \int [S]^T [S] dV$$

$$[K_{f\varphi}] = a \int_D [B]^T [B] dV$$

(7.2I.4)

$$[K_{\varphi f}] = [K_{f\varphi}]^T$$

$$[K_{\varphi\varphi}] = -\omega^2 [K_{ff}]$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial S}{\partial x} \\ \frac{\partial S}{\partial y} \\ \frac{\partial S}{\partial z} \end{bmatrix}$$

ჩანს რომ F^* არის f_{in} φ_{in} $2N$ უცნობის ფუნქცია და ამიტომ მისი სტაციონარულობის პირობაში იძლევა ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial F^*}{\partial f_{in}} \\ \frac{\partial F^*}{\partial \varphi_{in}} \end{Bmatrix} = [K] \cdot \begin{Bmatrix} f_{in} \\ \varphi_{in} \end{Bmatrix} = \{0\} \quad (7.21.5)$$

რაც სასაზღვრო პირობებთან ერთად მოცემული პირობებების საფუძველზე განსაზღვრავს. ძირითად პირობებს ახლა წარმოადგენს წრფივ განტოლებათა დიდი სისტემის ($2N$ რიგის) ამოხსნა.

0.გ.მ-ზე ამ მეთოდის რეალიზაციისათვის საჭიროა ორგანიზაციული და ანგარიშების ბაღის დამუშავება, ამისათვის შეიქმნა პერსონალური კომპიუტერების პროგრამა ბეისიკის ენაზე. გაანგარიშებები ხდებოდა 286/287 ტიპის პერსონალურ კომპიუტერებზე. ბაღის გაანგარიშებები ტარდებოდა ენგურის თალღვანი კაშხალის ძირითად კვებისათვის. შემავალი მონაცემებს წარმოადგენდნენ ნაგებობის სიმაღლე, ნაგებობის ზედაპირის კოორდინატები და ბაღის არჩეული სიხშირე. გამოსავალზე მიღებული იყო წრფივი სამკუთხედი ელემენტების ყველა წერტილების კოორდინატები, აგრეთვე გამოსაკვლევი კაშხლის სასრული ელემენტები გაანგარიშებული ბუდი /7.I./ /ა ნახაზე, და ენგურის თალღვანი კაშხალისათვის, სასრული ელემენტთა სისტემის შემქმნის მაგალითი.

7.2. ნაგებობებში. სტრუქტურული ეფექტიზაცია,
ტიმპერატურის გაზომვა



მოცემული თავის წინა ნაწილში განსაზღვრული იყო χ და ψ ტემპერატურის გავლენის ფუნქციები. ისინი განსაზღვრული იყვნენ ნაგებობის კედლის ყველა წერტილის სასრულ სხვაობათა ბადისათვის. დიდ ინტერესს წარმოადგენს ტემპერატურული ველის გავლენის შეფასება სხვადასხვა სტრუქტურულ ეფექტებზე. ტემპერატურის გავლენის ფუნქციის გასაანგარიშებლად, როგორც უკვე იყო აღნიშნული, გამოყენებული იყო ორგანოზომილებიანი სასრულ ელემენტური ბადე სამკუთხა წრფივი ელემენტებით. განვიხილოთ გაუსის მიხედვით სასრულ ელემენტთა პარაბოლური ბადე ინტეგრირების ცხრა წერტილით. მ წერტილიანი ელემენტებისათვის გვაქვს

$$x_i = \sum_{j=1}^8 N_j(\xi_i, \eta_i) x_j \quad 1 \leq i \leq 8 \quad /7.22/$$

$$\psi_i = \sum_{j=1}^8 N_j(\xi_i, \eta_i) \psi_j \quad 1 \leq i \leq 9 \quad /7.23/$$

სადაც ξ, η - არის მ წერტილიანი ელემენტის კოორდინატები

ξ_i, η_i - კოორდინატების მნიშვნელობა ინტეგრირების წერტილებში

$N(\xi, \eta)$ - ელემენტების ფორმების ფუნქციები.

6 წერტილიანი ელემენტის შემთხვევისათვის გვაქვს

$$x_i = \sum_{j=1}^6 N_j(\xi_i, \eta_i) x_j \quad 1 \leq i \leq 6$$

$$\psi_i = \sum_{j=1}^6 N_j(\xi_i, \eta_i) \psi_j \quad 1 \leq i \leq 6$$

სადაც N - ელემენტის ფორმის ფუნქციები, ξ_i, η_i კოორდინატების მნიშვნელობა i ინტეგრირების საერთო წერტილებში.

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = \frac{E_1 + E_2}{1 - \beta^2}$$

$$E = \frac{E_1 + E_2}{1 - \beta^2}$$

$$E = \frac{E_1 + E_2}{1 - \beta^2}$$

ნახ. 7.1. სასრულ ელემენტთა ზღვი ენგურის კაშხლისათვის.



ყველა პარაბოლური ელემენტისათვის, ინტეგრირების წერტილებში, ვიყენებთ კოორდინატები. ყველა მოცემული წერტილისათვის ვებრუნებთ შესაბამის სამკუთხა წრფივ ელემენტს და განვსაზღვრავთ ფორმის ფუნქციებს წერტილებში, ინტეგრირების წერტილთან შესაბამისად, f და φ მნიშვნელობების გამოყენებით, რაც განსაზღვრულია სამკუთხა ელემენტის საწერტილებში

$$f_i = f_1 L_{1i} + f_2 L_{2i} + f_3 (1 - L_{1i} - L_{2i}) \quad /7.24/$$

$$\varphi_i = \varphi_1 L_{1i} + \varphi_2 L_{2i} + \varphi_3 (1 - L_{1i} - L_{2i}) \quad /7.25/$$

სადაც $1 < i < 9$ L_{1i} L_{2i} ზონის კოორდინატები, L_1 და L_2 ინტეგრირების i წერტილებში.

განვიხილოთ სამგანზომილებიანი ბოლომენტური ბადე, თერმული პირობებში გამოწვეული ექვივალენტური ძალების განსასაზღვრავად.

$$E_1 = E_2 = E_3$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z \quad /7.26/$$

$$E \epsilon = \sigma (1 - 2\nu)$$

რეგ შემთხვევაში

$$\epsilon = \alpha \Delta \theta$$

$$\sigma = \frac{E \alpha \Delta \theta}{1 - 2\nu} \quad /7.27/$$

სხვათა შორის

$$F_e = \int_V B^T \sigma_e dV = \int_V B^T \frac{E \alpha \Delta \theta}{1 - 2\nu} dV =$$

$$/7.28/$$

$$= \frac{E \alpha}{1 - 2\nu} \int_V B^T \Delta \theta dV$$

$$F_e = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 [y^*] [B^T(\xi_i, \psi_j, \zeta_k) f(\xi_i, \psi_j, \zeta_k)] w_i w_j w_k$$

რიცხვითი ინტეგრირების გამოყენებით გვეძინება



/7.29/

სადაც $\xi_i, \psi_j, \zeta_k, w_i, w_j, w_k$

კოორდინატები

$$y^* = \det [y] [y^{-1}] \quad [y] \text{ იაკობიანი}$$

და წარმოდგენა შემდეგი სახით

$$[y] = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \psi} & \frac{\partial y}{\partial \psi} & \frac{\partial z}{\partial \psi} \\ \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{vmatrix}$$

/7.30/

განგარიშებისას, სამგანზომილებიან სივრცეში, F_e ძალის

წერტილებში ექვივალენტურებს f ტემპერატურის გავლენის ფუნქციებისათვის ისევე განსაზღვრავთ, როგორც ექვივალენტურ F_e ძალებს ψ ფუნქციისათვის.

ცხადია, ზემოთ აღნიშნული ამოცანისათვის აუცილებელია სამგანზომილებიანი სასრულ ელემენტური ბადის აგება, რაც ბევრ შემთხვევაში "ხელის" მიზიდვას მოითხოვს.

ნაშრომში ზემოთაღებულია, ზოგიერთ შემთხვევაში, მოცემული ამოცანის ამოხსნა პერსონალური კომპიუტერებისათვის დამუშავებული პროგრამის საშუალებით.

არსებული მონაცემების სფუმვლზე, პროგრამა საშუალებას იძლევა, სიმეტრიულ თაღოვანი კაშხალებისათვის აიგოს სამგანზომილებიანი სასრულ



ელემენტური ბადე. ცხრილში მოყვანილია ამ პროგრამის შე სატანი გამოსატანი მონაცემები ორი მაგალითისათვის.

მოყვანილი გაანგარიშებები, სამგანზომილებიანი სასრულ ელემენტთა ბადის გამოყენება, აგრეთვე მოცემულ პარაგრაფში გადმოცემული მეთოდის, როგორც აღნიშნული იყო, იბღვევიან ექვივალენტურ ბადებს, რაც შეესაბამება ნაგებობაში არსებულ თერმომგანაწილებას.

მიღებული მონაცემები, როგორც საწყისი, გამოიყენებიან სტრუქტურული ანალიზის პროგრამაში.

7.3. ნაგებობაზე კონტინუუმის მოძველვა და ტემპერატურული რეჟიმის გამოწვეული სტრუქტურული ეფექტების შესაბამისი მოძველვა

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ტემპერატურა ნაგებობების სხეულში წარმოადგენს წერტილის კოორდინატისა და აგრეთვე დროის ფუნქციას:

$$T = T(x, y, z, t) \quad /7.31/$$

არსებული საწყისების შემთხვევაში

$$T_0 = T(x, y, z, 0) \quad /7.32/$$

სასაზღვრო პირობებში

$$T_z = T(x_z, y_z, z_z, t) \quad /7.33/$$

სადაც z ინდექსი აღნიშნავს, წერტილი კაშხალის ზედაპირზე მდებარეობს. ჭრიეს განტოლებას აქვს ასეთი სახე

$$q + a \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad /7.34/$$

7.1. პარაგრაფში გადმოცემულის საფუძველზე $T(x, y, z, t)$

შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ

$$T(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^n f_i(x, y, z) T_i(t) + \sum_{i=1}^n \varphi_i(x, y, z) \frac{dT_i^*(t)}{dt} \quad /7.35/$$



სადაც n - არის თერმომეტრების რაოდენობა, რომელთა ჩვენებებს დისწინებენ გაანგარიშებებში.

$T_i(t)$ - არის ტემპერატურის გაზომვა თერმომეტრით

$$T_i^*(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) + c \quad /7.36/$$

სადაც $\omega = \frac{2\pi}{t}$

წარმოადგენენ ტემპერატურის გავლენის ფუნქციებს და ისინი შემდეგ პირობას აკმაყოფილებენ

$$f_i = 1 \quad x_i \quad y_i \quad z_i \quad \text{თვის}$$

$$f_i = 0 \quad x_i \quad y_i \quad z_i \quad \text{რათა}$$

$$f_i = 0 \quad x_j \quad y_j \quad z_j \quad \text{ყოველი } j \text{ თვის} \quad /7.37/$$

და განტოლების სისტემას

$$a \nabla^2 f_i + \omega^2 f_i = 0$$

$$f_i - a \nabla^2 f_i = 0 \quad /7.38/$$

f_i და f_i მნიშვნელობების გამოიყენებიან შესაბამისი ექვივალენტური ძალების განაზღვრისათვის

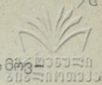
$$F_e = - \int_V [B]^T \{ \epsilon_0 \} dV \quad /7.39/$$

სადაც $[D]$ - არის დრეკადობის მატრიცა

$[B]$ - არის ელემენტების ფორმების წარმოებული ფუნქციების მატრიცა, რომლითაც დისკრეტიზირებულია სტრუქტურა

$$\epsilon_0 = \{ \alpha \delta t \} \quad /7.40/$$

F_e ექვივალენტური ძალების გაანგარიშებული მნიშვნელობები შედგებიან სტრუქტურული ანალიზის პროგრამაში, ნაგებობის სტრუქტურული ეფექტის გასაანგარიშებლად, გადაადგილების ან ძაბვის მაგალითზე.



კაშხლის j წერტილის გადაადგილების მაგალითი შეიძლება გამოვიყენოთ

სახით შემდეგნაირად

$$\delta_j(t) = \sum_{i=1}^n k_{ij} T_i(t) + \sum_{i=1}^n c_{ij} \frac{dT_i(t)}{dt} \quad /7.41/$$

სადაც $\delta_i(t)$ - არის კაშხლის j წერტილის გადაადგილებები,

k_{ij} c_{ij} კოეფიციენტები j წერტილის შესაბამისად განსაზღვრულია i თერმომეტრით

კაშხლის ძირითად კვეთისათვის დამუშავებული პროგრამის მიხედვით ენგურის კაშხლისათვის იქმნება წრიფივი, სამკუთხა სასრულ ელემენტთა ბადე, სასრულ ელემენტური ბადე მოყვანილია 7.1 ნახ-ზე. ამ ბადის მეშვეობით უნდა გაითვალისწინოს ნაგებობის ძირითად კვეთში თერმომეტრების განლაგება.

ენგურის თაღოვან კაშხალზე დიდი ყურადღება ეთმობოდა ნატურულ დაკვირვებებს. ნაგებობასა და საფუძველში, პროექტის მიხედვით, დაყენებული უნდა ყოფილიყო ხელსაყრების დიდი რაოდენობა, მათ შორის:

სწორი და შექცეული შვეულები, ტენზომეტრები /პლდს-400/, დეფორმომეტრები/პლდს-20000/ და 5000/, არმატურის დინამომეტრები 3სას 40, ნაპრაღის მზომავი პლკს-3, 10 თერმომეტრები პტს-60 პტატ -60 პიეზოდინამომეტრები პდს 3, 10, 30 გეოდეზიური მარკები, რეპერები და ა.შ.

ენგურის თაღოვან კაშხალზე პროექტით დაყენებული იყო პტს-60 ტიპის 474 სიმის თერმომეტრები, აგრეთვე 2460 პტტ-60 ტიპის.

მაღალი საიმედოობით გამოირჩეოდნენ პტს-60 ტიპის თერმო მეტრები, მაგი მაღალი საიმედოობა მიტყვევებდა სამშენ ებლო-სამონტაჟო სამუშაოების მაღალ დონეზე და აგრეთვე, ნატურული გამოკვლევების ხარისხზე.

7.3.1. ნახ-ზე მოცემულია ენგურის თაღოვან კაშხალზე გაზომვის სამუშაოების განლაგება, რაც განკუთვნილია კაშხალის დამაბუღ-დეფორმირებული მდგომარეობის საკონტროლოდ.



ნაგებობების ძირითად კვეთი აღჭურვილია ტემპერატურის საზომი გარდამქმნელებით 315, 343, 393, 443, 485 ნიშნულზე, სადაც განლაგებულია 40-ზე მეტი სიმიის გასაზომი გარდამქმნელები. ორგანოზომილებიანი ზადით ტემპერატურის გადენის ფუნქციის გასაანგარიშებლად ვიღებთ მთავრად თერმომეტრების გარკვეულ რაოდენობას, რომლებიც იმყოფებიან ტემპერატურის სხეულის შიგნით და წახანაგებთან და ვანტორციელებზე გათვლებს მოყვანილია აღგორითების პროგრამის მიხედვით, რომელიც საკმაოდ ზუსტადაა მოცემული 7.1. პარაგრაფში.

7.3.1. ცხრილში მოცემულია ენგურის თაღოვანი კაშხლის ადვის ტემპერატურის გადენის ფუნქციის გაანგარიშების ფრაგმენტი.

ტემპერატურის გადენის ფუნქციის ადვის ზემოთ აღნიშნული პროგრამით შესრულებული გაანგარიშებები გამოიყენებიან ექვივალენტური ძაღვის განსაზღვრის პროგრამაში.

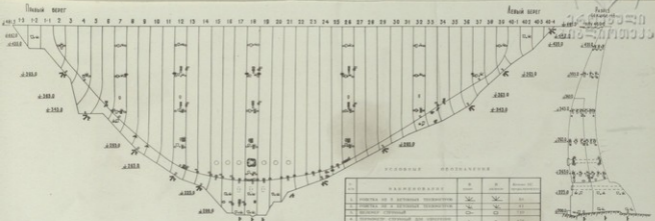
სამგანზომილებიანი სასრული ელემენტური ზადის ყველა წერტილში განსაზღვრული ექვივალენტური ძაღვები გამოიყენებიან, როგორც საწყისი პირობების სტრუქტურული ანალიზის პროგრამაში, რომელიც განსაზღვრავენ უნებ კოეფიციენტებს /7.3.11/ გამოსახულებაში

7.2.3. ცხრილი

სიტუაცია

1986წ. გაზომვები ნ.დ.6

A	160
B	186
C	200
D	220
E	240
F	258



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

№	НАЗНАЧЕНИЕ	В	В	Масштаб 1:1000
1	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
2	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
3	ПОДПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
4	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
5	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
6	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
7	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
8	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
9	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
10	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
11	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
12	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
13	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
14	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
15	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
16	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
17	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
18	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
19	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
20	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
21	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
22	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
23	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
24	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
25	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
26	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
27	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
28	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
29	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
30	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
31	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
32	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
33	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
34	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
35	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
36	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
37	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
38	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
39	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1
40	ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ	—	—	0.1

7.3.1. ცხრილი

КОЕ+ИДЕНТИМ F И F1



ජාතික විද්‍යා පාඨශාලාව

F	F1	Y3ER	F	F1	Y3ER	F	F1	Y3ER	F	F1	Y3ER
.0000D+00	.0000D+00	31	.0000D+00	.0000D+00	61	.0000D+00	.0000D+00	91	.0000D+00	.0000D+00	121
.0000D+00	.0000D+00	32	.4347D+00	-.3784D+01	62	.7193D-23	-.1489D-17	92	.2223D-05	.1134D-06	122
.0000D+00	.0000D+00	33	.1000D+01	-.5890D-15	63	.1117D-02	-.1567D-02	93	.4463D-05	.2221D-04	123
.0000D+00	.0000D+00	34	.5471D+00	-.4575D+01	64	.1179D-02	-.1156D-02	94	.3692D-05	.2648D-04	124
.0000D+00	.0000D+00	35	.2434D+00	-.1560D+01	65	-.2251D-23	-.4602D-17	95	-.1161D-05	-.1383D-04	125
.0000D+00	.0000D+00	36	.0000D+00	.0000D+00	66	.0000D+00	.0000D+00	96	.0000D+00	.0000D+00	126
.0000D+00	.0000D+00	37	.0000D+00	.0000D+00	67	.0000D+00	.0000D+00	97	.0000D+00	.0000D+00	127
-.6952D-05	.1350D-01	38	.8577D-01	-.2753D+00	68	.1303D-03	-.1392D-02	98	-.1738D-26	-.1483D-20	128
.1194D-05	-.2040D-02	39	.1724D+00	-.2071D+01	69	.3412D-03	.6142D-03	99	.1340D-05	.1116D-04	129
-.3179D-06	-.5772D-03	40	.1843D+00	-.2138D+01	70	.3548D-03	-.3317D-03	100	.1072D-05	.8965D-05	130
-.8457D-06	.9604D-03	41	.1085D+00	-.4423D+00	71	.1300D-03	-.3319D-02	101	.0000D+00	-.7922D-21	131
.0000D+00	.0000D+00	42	.0000D+00	.0000D+00	72	.0000D+00	.0000D+00	102	.0000D+00	.0000D+00	132
.0000D+00	.0000D+00	43	.0000D+00	.0000D+00	73	.0000D+00	.0000D+00	103	.0000D+00	.0000D+00	133
.4104D-03	-.6162D-01	44	.2575D-01	-.2341D+00	74	.6514D-04	-.1132D-03	104	.1914D-06	.2943D-05	134
.2156D-21	.2835D-17	45	.4816D-01	-.2514D+00	75	.1234D-03	-.2878D-04	105	.4692D-04	.4336D-05	135
.1762D-03	.1336D-01	46	.5326D-01	-.6674D-01	76	.1210D-03	.3695D-03	106	.3222D-06	.2616D-05	136
.8737D-04	-.2611D-02	47	.3455D-01	-.1703D+00	77	.5794D-04	.2393D-03	107	.4212D-07	.1441D-05	137
.0000D+00	.0000D+00	48	.0000D+00	.0000D+00	78	.0000D+00	.0000D+00	108	.0000D+00	.0000D+00	138
.0000D+00	.0000D+00	49	.0000D+00	.0000D+00	79	.0000D+00	.0000D+00	109	.0000D+00	.0000D+00	139
.1307D-01	.1972D+00	50	.7735D-02	-.4170D-01	80	-.3305D-25	-.1225D-19	110	.1412D-06	-.1343D-05	140
.1672D-01	-.3783D-01	51	.1455D-01	-.9109D-01	81	.2707D-04	-.1771D-03	111	.2359D-06	-.1931D-05	141
.1365D-01	-.1455D+00	52	.1637D-01	-.1612D+00	82	.2566D-04	-.1383D-03	112	.1558D-06	-.1571D-05	142
.7025D-02	-.2933D-01	53	.1099D-01	-.1210D+00	83	.8384D-24	.2027D-19	113	.3692D-07	.5553D-06	143
.0000D+00	.0000D+00	54	.0000D+00	.0000D+00	84	.0000D+00	.0000D+00	114	.0000D+00	.0000D+00	144
.0000D+00	.0000D+00	55	.0000D+00	.0000D+00	85	.0000D+00	.0000D+00	115	.0000D+00	.0000D+00	145
.1238D+00	-.1577D+01	56	.2308D-02	-.1424D-01	86	.4003D-05	.6009D-04	116	.1283D-06	-.1272D-05	146
.1667D+00	-.1926D+01	57	.4415D-02	-.3124D-01	87	.1190D-04	.6456D-04	117	.1894D-06	-.1821D-05	147
.1346D+00	-.6365D+00	58	.4897D-02	-.2256D-01	88	.1048D-04	.4070D-04	118	.1114D-06	-.1195D-05	148
.7131D-01	-.5234D+00	59	.3135D-02	-.4786D-03	89	.1344D-05	.4484D-04	119	.2052D-07	.3249D-06	149
.0000D+00	.0000D+00	60	.0000D+00	.0000D+00	90	.0000D+00	.0000D+00	120	.0000D+00	.0000D+00	150

ნაგებობის ძირითად კვეთში განლაგებული, ტემპერატურის საზომი სასაშუალოებით გაზომილი ტემპერატურის ცვლილების აპროქსიმაციისათვის არსებობს მრავალი მოდელი /55/. ისინი უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. წარმოვიდგინოთ აპროქსიმაციული ფუნქცია შემდეგი სახით

$$T(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) + C$$

და მისი წარმოებული

$$\frac{dT}{dt} = \omega A \cos(\omega t) - \omega B \sin(\omega t)$$

სადაც A და B კოეფიციენტებია.

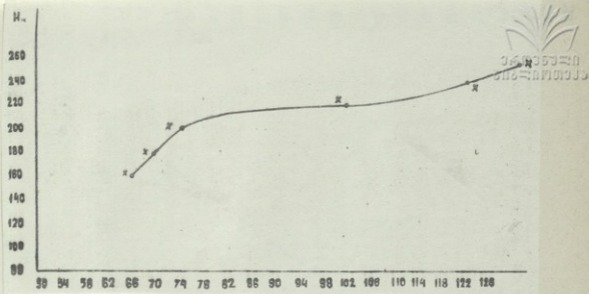
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

განგარიშებაში გამოყენებულია ზედა ბიფფში წყლის დონის 6 სიტუაცია, რომლებიც მოყვანილია 7.3.2 ცხრილში.

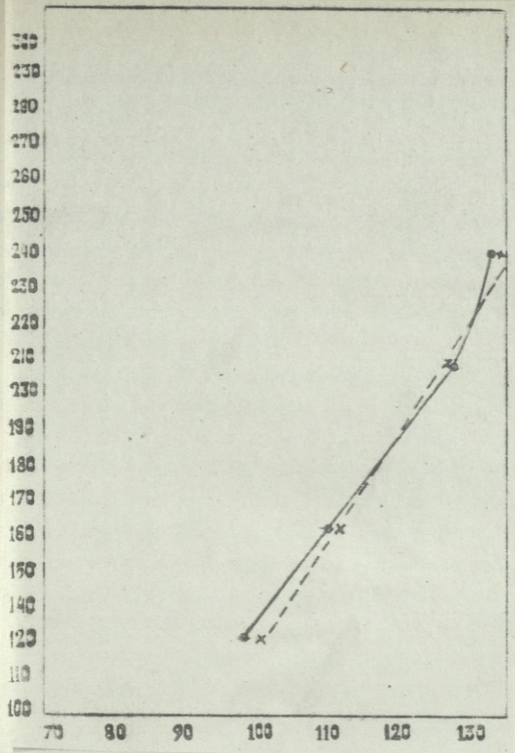
7.3.2. ნახ-ზე მოცემულია ნატურალური გაიზომილი და 2408 ნიშნულზე მყოფ წერტილში, ენგურის თაღვანი კაშალის პორიზონტალური გადაადგილების განმარტების ურთიერთშედარება

7.3.3. ნახ-ზე მოცემულია 256,9 მეტრის შემხვევაში, თაღვანი კაშალის 4 წერტილისათვის დამახასიათებელი გაზომილი და განგარიშებული გადაადგილებების შედარება /08.1986წ მონაცემები/.

შემთავაზებული მეთოდისასევე შეიძლება გამოყენებული იყოს ნაგებობის ტექნიკური მდგომარეობის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობის, მნიშვნელოვანი მახასიათებელი წერტილებში გაზომილი და გამოთვლილი სიდიდეების შედარებისათვის.



ნახ. 7.3.2. 2408 ნიშნულზე წნეურის კაშხლის ძირითად კონსოლის პორიზონ-
 ტალური ვადადგილების შედარება. / - გავომილი -
 /განგარიშებით/ /1986 წლის მონაცემები/



ნახ. 7.3.3. ენგურის თაღვანი კაშხლის ძირითადი კონსოლის
 გადაადგილებები
 - - - - - გასული განგარიშით
 08.1986 წლის მონაცემებით 256,9-ის დროს/

ლითად, რადიოტექნიკაში, მტყუნების საერთო რიცხვიდან 40-45% ხდებიან პრექტირებისას დაშვებული შეცდომებით, 20% - წარმოების დროს დაშვებული შეცდომებით, 30% - საექსპლუატაციო პირობებით და არასწორი მომსახურებით და დაახლოებით 5-7% - დამღვევით და ბუნებრივი ცვდით/163/.

პიდროტექნიკური ნაგებობების მტყუნებაზე, რადიოტექნიკური მსჯელობისათვის, არ არსებობენ სარწმუნო მონაცემები. თუმცა წინასწარ ან ადგილი საშუალებას იძლევა ვივარაუდოდ, რომ ამ ობიექტების მტყუნებები იმყოფებიან ზემოთმოყვანილ საზღვრებში. პრექტირების დროს დაშვებული შეცდომებისა და სხვა მიზეზების შედეგად, პიდროტექნიკური ნაგებობების წყობიდან გამოსვლის რისკის შესაფასებლად შეიძლება გამოიყენოთ, ბოლო დროს ფორმირებული, პიდროტექნიკური ნაგებობების საიმედოობის თეორია /160, 168, 185, 186/.

პრექტირების დროს არჩევის ან გადაწყვეტილებების მიღების პროცესში, აუცილებელია ღრუბულებების, რისკის დონის და ერთადერთი ვარიანტის ასარჩევად სხვადასხვა ვარიანტების გამონახვის ანალიზი.

მოცემულ ნაშრომში, ტერმინ "რისკის" ქვეშ /რომლის სინონიმია "საშიშროება" იგულისხმება ამა თუ იმ ნაგებობების ან მისი შემადგენელი ელემენტების არახელსაყრელი ფუნქციონირების საშიშროება. რისკის დონე საშუალებას გვაძლევს წარმოვიდინოთ ობიექტის დანიშნულებიდან შესაძლებელი გადახრები. ცნობილია რა რისკის მნიშვნელობა R ვიცით საიმედოობა, რადგან აც ისინი, როგორც შეუთავსები ხდომილებანი, დაკავშირებული არიან $R = 1 - P$ დამოკიდებულებით. სტატიაში "საიმედოობის ანალიზი" ან "ანალიზის რისკი" შეიძლება გამოიყენებიან როგორც ტოლმნიშვნელობიანი ცნება.

რიცხვის დონის რადიოტექნიკური განსაზღვრისათვის და პიდროტექნიკური ნაგებობებთან და ფუნქციონირების პირობებთან მისი დამოკიდებულების

გამოვლინებისაშვის, შეიძლება გამოვიყენოთ ორი ტიპის მარვენებლები
სტატისტიკური და ანალიზური /აღბათობით/, რაც გამოიყენება საინფორ-
მაციის თეორიაში /126, 149, 168/ სტატისტიკური მარვენებლებიდან შეიძლე-
ბა გამოვიყოს საერთო და კერძო. საერთო ითვალისწინებს ყველა ფაქტორის
გავლენას, ხოლო კერძო - ცალკეულ ფაქტორებს.

ობიექტის საშინაოების ფუნქციონირების სტატისტიკური მარვენებლე-
ბი გამოიანგარიშებიან ერთი ტიპის ობიექტების მასობრივი ექსპლუატაციის
რეალური მონაცემების მიხედვით, მათი ძირითადი ღირსება მდგომარეობს
მათი გამოთვლის ობიექტურობაში, რომლებიც ვარაუდთან და დაშვებასთან
არაშეუღები არიან. ამასთან ერთად სტატისტიკური მარვენებლები საშუა-
ლებას არ იძლევიან გამომჟღავნდეს ცალკეული ელემენტების ფუნქციონირე-
ბის რისკის ღონე, შეფასდეს ცალკეული საორგანიზაციო-ტექნიკური ღონის-
ძიებების ეფექტურობა, ცალკე გათვალისწინებულ იქნეს ექსპლუატაციის პი-
რობები, გამოვიყენოთ ეს მარვენებლები მომავალში რისკის პროგნოზირე-
ბისაშვის, ექსპლუატაციის პირობების შეცვლის შემთხვევაში, გამოვიყენოთ
ეს მარვენებლები რისკის ღონის ობტიმიზაციისაშვის, რისკის ღონე შეუ-
პირისპირდეს იმ შედეგებს, რომლებთანაც მივყავართ ამა თუ იმ მტყუნობის
წარმოქმნას.

8. 1. 1. პროექტირების ღონე დაშვებითი უცდომები და
მათი აღრიცხვის თქონი რისკის განზარაზობაში

პროექტირების ღონე, პროექტირების ხარისხის გასაუმჯობესებლად მი-
ღებული ზომების მიუხედავად, ხშირად უშვებენ უცდომებს და ცდომილებებს.
ამ უცდომებს განეკუთვნებიან: საანგარიშო ხარჯის და მათი განმეორება-
ლობისას, საფუძველში და კალაპოტში გრუნტის მახასიათებლების, საპირკვე-
ლის ჩაყრის სიღრმის, ადგილობრივი არტეზის სიღრმეების, პიდრაფიკური
წინააღმდეგობების არასწორი არჩევანი; საყრდენის მრუდის ამოსოფვის,



ტრაქტის წყალგამტარობის, წყალსაცემი ჭის, გაანგარიშების ტალღის სიმაღლე, ღის, ნაგებობის თხემის გადაწყვეტის და სხვა არასწორი გაანგარიშება.

პროექტირების დროს დაშვებული შეცდომები, რომლებიც ხელს უწყობენ რისკის გაზრდას ან შემცირებას, შეიძლება შემიღებავს დაგვიყოს.

პირველი ჯგუფი - შეცდომები, რომლებიც დაშვებულია გეოლოგიური, პიდროტექნიკური, პიდროლოგიური და სხვა საძიებო სამუშაოების არასაკმარისი მოცულობასთან და ხარისხთან.

მეორე ჯგუფი შეცდომებისა დაკავშირებულია არასწორი მონაცემების ანალიზთან, რომლებიც განაპირობებენ ნაგებობების ნორმალურ მუშაობას.

მესამე ჯგუფი შეცდომებისა განპირობებულია არასწორი გაანგარიშების სქემით და გაანგარიშების მეთოდით.

მეთხვე ჯგუფი - ეს არის მოცემულობის დამრგვალებით გამოწვეული შეცდომები.

მეხუთე ჯგუფი - გაანგარიშებებში არასწორი რეალიზაცია.

გამომსვლელი პარამეტრის გადახრა ყველა მომქმედელი პირველი პარამეტრის შემოქმედების შედეგად განისაზღვრება ფორმულა

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \xi_i(x, y) \Delta x_i \pm \left(\sum_{i=1}^n [\xi_i(x, y) \alpha_i \Delta x_i]^2 \right)^{1/2} \quad /8.2./$$

სადაც α_i კოეფიციენტი რომელიც ახასიათებს i პარამეტრის გადახრას ნორმალური განაწილების კანონიდან.

ზღვრული შეცდომების ანგარიში შესაძლებელია აღგებრული და აღბათური ჯამის საშუალებით. უპირატესობა ენიჭება აღბათური მეთოდის.

$$\Delta y = \left(\sum_{i=1}^n [\xi_i(x, y) \Delta x_i]^2 \right)^{1/2} \quad /8.3./$$

$$\alpha y = \left(\sum_{i=1}^n [\xi_i(\alpha x, y) \alpha x_i]^2 \right)^{1/2} \quad /8.4./$$

ამრიგად

$$\Delta y = \Delta x \sqrt{n}$$

$$dy = dx \sqrt{n}$$

გამომსვლელი პარამეტრის შეცდომა \sqrt{n} ჯერ აღემატება ყველა პირველადი პარამეტრის შეცდომას. ეს გარემოება უნდა იყოს გათვალისწინებული პარამეტრის მჭრუნების რიცხვითი მნიშვნელობის დადგენისას.

მეექვსე ჯგუფი შეცდომებისა განპირობებულია ეკონომიური მოსაზრებების გამო, პროექტირების დროს უსაფრთხოებაზე ყურადღების მოკლებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ არ არის, და ალბათ არც იქნება ნაპოვნი მეთოდი, რომელიც პროექტირების დროს თავიდან აგვაცილებდა შეცდომებს. მნიშვნელოვანია მოიპებნოს ისეთი საშუალება, რომელიც დაადგენს მათ ზღვრულ მნიშვნელობებს და აღრიცხვებს საიმედოობის გაანგარიშებაში, რაც საშუალებას იძლევა ეს შეცდომები მინიმუმამდე დავიყვანოთ.

კონსტრუქციის პირველი პარამეტრის გადახრა, შეცდომების თეორიის თანახმად /126, 131, 144, 148/ აღწერლია გამოსახულებით

$$\delta x_i = \delta x_0 \pm \delta x \quad /8.1./$$

სადაც $\delta x_0 = \sum_{i=1}^n \Delta x_{0i}$ - არის პირველი პარამეტრის სისტემატური შეცდომების გამო $\delta x = \left(\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 \right)^{1/2}$ ამ შეცდომების შემთხვევითი შემდგენების ჯამი.



8. 1. 2. პირობები ძველი ნაგებობების და მათი ტერიტორიების
საინვესტიციო ღონის ზედსწესის შესაძლებელი გზები

ობიექტების საინვესტიციო პროგნოზირებისას გაანგარიშების მოდელი უნდა შეესაბამებოდეს მათი ფუნქციონირების რეალურ სტრუქტურას, საინვესტიციო შესაძლებლობების, გაანგარიშების მოდელის მისაღებად, აუცილებელია ობიექტის მუშაობის სურათზე გვექმნოდეს ნათელი წარმოდგენა.

აღნიშნულთან დაკავშირებით, ობიექტის საინვესტიციო გაანგარიშება შეიძლება მხოლოდ პროექტირების ბოლოს, როდესაც ობიექტის ყველა პარამეტრია ცნობილი. უნდა აღინიშნოს, რომ თეორიულად გაანგარიშებული საინვესტიციო, როგორც წესი, უფრო ნაკლებად რეალურია. ამის მიზეზია ის, რომ წინააღმდეგობისა და დატვირთვის სტატისტიკური მახასიათებლები დადგენის დროს არ გამოირიცხება შეცდომები, ანუ მატულობს გაანგარიშებად, გარე დატვირთვის შესაძლებლობა მაქსიმალურად შესაძლოდ მიიღება, ხოლო გეომეტრიული ზომები - მინიმალურად შესაძლოდ. სიმეტრიის გაანგარიშებისას განიხილებიან დატვირთვის შედარებით მიმდებარე შემთხვევაში და ა.შ.

ერთად აღებულ ყველაფერ ამას მივყავართ რეალური საინვესტიციო მნიშვნელობის დაქვეითებამდე.

ობიექტის წყობიდან გამოყვანის განსაზღვრული უსასრულად ბევრი მიზეზი არ იქნება საშუალებას რისკი /მომავალში საინვესტიციო/ აღჭურვით ერთიანი გამოსახულებით, რაც ითვალისწინებს ყველას, ან თუნდაც ფაქტორების უმეტეს რაოდენობას, რომლებიც გამოვლინდებიან, როგორც წესი, მოულოდნელად, შემთხვევით და არარეგულარულად დროში. ამიტომ, პრაქტიკისათვის აქტუალურია დასახული ამოცანის მიხედვით ამოხსნის გზები. ამოხსნის დროს უპირატესობას ვაძლევთ ალბათობით მიმდებარე, რომლებსაც დიდი უნივერსალობა და ინფორმაციულობა გააჩნიათ.

პირობები ნაგებობების საინვესტიციო /რისკის დონე/ რეალურობიდან დამოკიდებულია ნაირგვაროვანი პარამეტრების ნაკრებზე. მათ შორის ძირითადია



საქართველოს
ხელისუფლების
სამართლებრივი
სერვისების ცენტრი

მიწიისხელა და მიწისქვეშა ნაწილები ს ზომები, ამ პარამეტრებს ს
აღვნიშნით / $x_1 \dots x_n$ ნაგებობის მეშაობის რეჟიმი / $z_1 \dots$
 $\dots z_n$ / ნაგებობების საიმედოობაზე მოქმედებენ არახელსაყრელი ფაქ-
ტორების მნიშვნელობა და ინტენსიობა / $z_1 \dots z_n$ /

საიმედოობა არსებობად დამოკიდებულია ასევე პარამეტრებს ს აგან, რომლებიც
გარემოს ახასიათებენ / $r_1 \dots r_n$ /

გადმოცემულის გაანგარიშებთ რისკის აღბათობა შეიძლება გამოი-
სახოს

$$Q = f(x_1 \dots x_n) F(z_1 \dots z_n) \varphi(r_1 \dots r_n) \quad /8.6./$$

დროული იქნება აღვნიშნოს, რომ საიმედოობის გაანგარიშების ათვის
აუცილებელი საწყისი მოწოდებები წინასწარ შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ
მკირე შემთხვევებისათვის.

საიმედოობა, პარამეტრების გარდა, რაც ფუნქციონირებას ახასიათებს,
დამოუკიდებელია ნაგებობების შემადგენელ ელემენტებს შორის კავშირის
თვისებაზე და გარემოზე, რომლის ფორმალიზაცია, როგორც წესი, შეუძლე-
ბელია განსაზღვრული სტატისტიკური საკონტროლებელი პარამეტრებით /8.6./
განტოლების ამოხსნა, ბევრი რთული ობიექტისათვის, მწელი ამოცანაა. ეს
ძირითადად განპირობებულია ფაქტორების გაანგარიშების სირთულთ, რაც
განსაზღვრავს ობიექტის ნორმალურ მეშაობას გარემოს რთული გავლენით. ამ-
ჟანად ამ მიზეზების გამო შეიძლება ამოიხსნას მხოლოდ ცალკეული ამოცა-
ნები.

თუცა ობიექტის წყობიდან გამოსვლა, როგორც წესი, ხდება მხოლოდ
ერთი მიზეზით, ფაქტიურად საიმედოობა განპირობებულია ჩამოთვლილი და
სხვა ფაქტორებით, რომლებიც ურთირთ მოქმედებენ რა ერთმანეთში, ამლიერე-
ბენ ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორის ზემოქმედებას. ობიექტის წყობიდან
გამოსვლა უნდა განვიხილოთ, როგორც განსაზღვრული \bar{Q} პარამეტრის გამო-
სავალი $\Pi_{\bar{Q}}$ ზღვრული მნიშვნელობის არის იქით



ამგვარად, ასეთი ხდომილების შესაძლებლობა შეიძლება შემდგომად დაგვიერთო

$$P = P(\bar{x} \in \Pi_{\%})$$

/8.7./

ან ვექტორის გამოსავალი $\bar{x} \in \Pi_{\%}$ არის იქნა

$$Q = Q(\bar{x}, \Pi_{\%})$$

/8.8./

პრაქტიკისათვის საინტერესოა წყალმოვარდნის სპინაალმდგომ ნაგებობების წყობიდან გამოსვლის რისკის შეფასება. ამ ობიექტების რისკის დონე, წყალმოვარდნის ზემოქმედების შემთხვევაში, შეიძლება ჩავთვალოთ რისკის დონეზე დამოკიდებულად ნაგებობაზე ცალკეული წყალმოვარდნის შემთხვევაში. თუ აღვნიშნავთ Q ზემოქმედების რისკის დონეს ცალკეული წყალმოვარდნის ობიექტზე, ხოლო n წყალმოვარდნის Q_n ზემოქმედების დროს, მაშინ აღბათობის თეორიის თანახმად /ცდების განმეორების თეორემები/ /131, 144, 146/ რომლის მიხედვითაც Q_m , Q კავშირი აღიწერება ბინომური განაწილებით, გვექნება

$$Q_m = C_n^m Q^m (1-Q)^{n-m}$$

/8.9/

სადაც

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

/8.10/

m აქ განსაზღვრული ნაგებობების წყობიდან გამოსვლის რიცხვია. რადგანაც სინამდვილეში სხვადასხვა წყალმოვარდნის ზემოქმედება /ნებისმიერი არაბელსაყრელი პირობების სხვა ამოცანების ამოხსნისას/ სხვადასხვა, უფრო სწორია ვისარგებლოდ არა კერძო, არამედ ცდების განმეორების საერთო თეორემით. /8.9/ გამოსახულების ნაცვლად განვიხილოთ უფრო გასამარტივებლად შეიძლება ვისარგებლოთ პუასონის განაწილებით /რომელიც არ იძლევა არსებით სხვაობას/ და ამასთან თუ სანაცვლოდ შევიტანთ nQ - წყობიდან გამოსვლის მათემატიკური ლოდინი

გვეძებნა $M_m = nQ$

$$Q_m = \frac{(nQ)^m}{m!} e^{-nQ} = \frac{(M_m)^m}{m!} e^{-M_m} \quad /8.11/$$

/8.11/ ფორმულა ადგენს მტყუნების გამოვლინების ალბათობის კავშირს n წყალმოვარდნის ზემოქმედების დროს, Q ალბათობა.

ანუ /8.11/ ფორმულა ადგენს ერთი წყალმოვარდნის ზემოქმედების შემთხვევაში საიმედოობის დონისა და მრავალი წყალმოვარდნის ზემოქმედების შემთხვევაში კავშირს. თუკი ვივარაუდებთ, რომ ნაგებობის წყობიდან გამოსვლის არყოფნა $m = 0$, გვეძებნა

$$Q_{m=0} = P = e^{-nQ} = e^{-M_m} \quad /8.12/$$

ამგვარად, ამის ალბათობა, რომ წყალმოვარდნის ზემოქმედების შემთხვევაში ობიექტი თუნდაც ერთხელ გამოვა წყობიდან, შეიძლება დადგინდეს გამოსახულებით

$$Q_{m \geq 1} = 1 - e^{-nQ} \quad /8.13/$$

$$Q_m \geq 1 - P \quad /8.14/$$

P - შეუფერხებელი ფუნქციონირების ალბათობა

/8.13/ განტოლება წარმოადგენს საიმედოობის მარკენებულს ნაგებობაზე n წყალმოვარდნების ზემოქმედების შემთხვევაში.

ორიგ შემთხვევებში მთელი სისტემის /პირობაგებობების/ საიმედოობა და შეიძლება შევადარებოთ მისი შემადგენელი ნაწილების /ქვესისტემების/ გარეშე. საერთოდ სისტემის შეუფერხებელი ფუნქციონირების გაანგარიშების სტრუქტურული სქემა შეიძლება წარმოადგინდეს იყოს თანმიმდევრული და პარალელური ელემენტების შეერთების კომბინაციების საიმედოობის მფლასაზრისიდან /126, 149, 152, 168/ თანმიმდევრული შეერთების შემთხვევაში შეუფერხებლობის ფუნქცია /რომლის დროსაც სისტემა შეუფერხებლად ფუნქციონირებს, თუკი ყველა ელემენტი შეუფერხებლად მუშაობს/ აქვს სახე

$$P(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t)$$

/გ. 15/

სადაც $P_i(t)$ - არის i ელემენტების შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა, როდესაც სისტემაში არსებობენ რეზერვული ელემენტები, მისი მტყუნება მხოლოდ მაშინ ხდება, როცა უმტყუნებს ყველა განხილული ელემენტი. ამ შემთხვევისათვის შეუფერხებლობის ფუნქციას აქვს სახე

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i(t))$$

/გ. 16/

პიდროტექნიკური ნაგებობების საინჟინერო შეფასება პრაქტიკაში, რაც შეადგენს N ელემენტების თანმიმდევრული შეერთების აგან, ხშირად გარუღებულია. ამოცანა მარტივდება სარწმუნო ინტეგრალის ქვედა საზღვრის შესახებ მონაცემების არსებობის შემთხვევაში. ქვედა საზღვრის გამოყენების შემთხვევაში /გ. 15/ ფორმულას არ შეუძლია მაღიანად აღწეროს პიდროტექნიკური ნაგებობების საინჟინერო, რადგანაც მათი სარწმუნო ინტეგრალის ქვედა საზღვარზე ყველა ელემენტის საინჟინერო დონის ერთობლივი მოხვედრების ალბათობა მტკად მცირე იქნება. ამიტომ /გ. 15/ ფორმულა მოგვცემს სინამდვილესთან შესაბამის შედეგებს, უფრო ზუსტ შედეგებს უნდა ველოდეთ შემდეგი მიდგომი გამოყენების შემთხვევაში /151/

ამოცანის ამოხსნის დროს უნდა ვივარაუდოთ ცალკეული ელემენტის საინჟინერო ცოდნა. დავუშვათ, რომ i ელემენტის P_{iH} საინჟინერო სარწმუნო ინტეგრალის ქვემოთ საზღვარი, რაც შეესაბამება მიღებული რეზერვების დონეს, აგრეთვე i ელემენტის P საინჟინერო წერტილოვანი შეფასება. გადმოცემულს გათვალისწინებით სისტემის საინჟინერო ქვედა საზღვარი, დაახლოებით გამოისახება

$$P_{iH} \cong P - t_f \tau_f$$

/გ. 17/

სადაც t_{γ} - არის მიღებული ნდობის შესაბამისი კოეფიციენტი

σ_p - არის საიმედოობის წერტილოვანი შეფასების P საშუა-
ლო კვადრატული გადახდა σ_p

საშუალო კვადრატული გადახრა σ_p შეიძლება ვიპოვოთ ლინეარია-
ციის მეთოდით /148, 152, 166/

$$\sigma_p \cong \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial P}{\partial P_i}\right)^2_{P=P}} \quad \chi_{P_i} \cong P \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{P_i}\right)^2 \sigma_{P_i}^2} \quad /8.18/$$

/8.17/-დან

$$\sigma_{P_i} = \frac{P_i - P_{iH}}{t_{\gamma}}$$

/8.19/ და /8.18/-ის შეტანისას, გვეძენება

$$\sigma_p = P \frac{t}{t_{\gamma}} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{P_{iH}}{P_i}\right)^2} \quad /8.20/$$

/8.17/-ის გათვალისწინებით /8.20/ მიიღებს სახეს

$$P_H \cong P \left[1 - \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{P_{iH}}{P_i}\right)^2} \right] \quad /8.21/$$

/8.21/ ფორმულა საშუალებას იძლევა, საიმედოობის ქვედა საზღვრის ცოდ-
ნის შემთხვევაში /აუცილებლობის და ზედა საზღვრის შემთხვევაშიც/ დგინ-
დებოდა მთლიანად ნაგებობების საიმედოობა. ილუსტრაციისათვის მოვიყვანო
რიცხვით მაგალით. დავუშვათ, ნაგებობა შედგება 4 ელემენტისაგან $N = 4$,
 $P_{iH} = 0,8$

მაშინ

$$P_H \cong 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^4 (1 - 0,8)^2} = 1 - 0,40 = 0,60$$

უნდა აღინიშნოს, რომ /8.15/, ფორმულის გამოყენება იძლევა მნიშვნელოვნად
ზვიანე შეფასებას $P_H = 0,8$ 0,41



რიგი პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნის შემთხვევაში /წარმოგდება/ გაცვეთა და სხვა/ ხშირად აუცილებელია ზღვრული მდგომარეობის დადგენა - დე დროის t_p ხანგრძლივობაზე გვექმნება წარმოდგენა. ამასთან, შეუფერხებელი მუშაობის აღბათობა შეესაბამება იმის აღბათობას, რომ ობიექტი იქნება დახასიათებული დროის ხანგრძლივობით, დავეუფლავთ, ზღვრული ჩარევების დიდი, ვიდრე t მიწვევამდე. სამივე აღბათობა შეიძლება გამოვსახოთ

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t_p) dt_p \quad /8.22/$$

ვივარაუდოთ, რომ დროის გახანგრძლივების განაწილება t_p მტყუნებამდე - ნორმალურია, განაწილების სიმკვრივე t_p იქნება

$$f(t_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{t_p}} \exp - \frac{(t_p - \bar{t})^2}{2\sigma_{t_p}^2} \quad /8.23/$$

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{t_p}} \int_t^{\infty} \exp \left[- \frac{(t_p - \bar{t})^2}{2\sigma_{t_p}^2} \right] dt_p \quad /8.24/$$

$$P(t) = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{t_p - \bar{t}}{\sqrt{2} \sigma_{t_p}} \right) \right] \quad /8.25/$$

სადაც σ_{t_p} - არის საშუალო კვადრატული გადახრა

Φ - არის ლაპლასის ტაბულირებული ფუნქციის აღნიშვნა.

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp \left(- \frac{z^2}{2} \right) dz$$

ნებისმიერი განაწილებისათვის ამოცანის ამოსახსნელად შეიძლება გამოყენებული იყოს გრაფიკული მეთოდი /163/

ობიექტის შეუფერხებელი ფუნქციონირების პირობები შეიძლება განვსაზღვროთ, პროექტირების დროს, ტრადიციული გზის მიღებით - პარამეტრების განმსაზღვრელი დასაშვები X დასაშ. და მოქმედი მნიშვნელობების

შეფარდებით, რაცა მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$$\gamma = \frac{X_{\text{გა.საშ}}}{X} > 1$$

/გ. 26/

ობიექტი შეუფერხებლად ფუნქციონირებს.

ნორმალური განაწილების ვარაუდში, მარაგის კოეფიციენტი, რაც ერთ-ერთულად წარმოადგენს სიჭარბის ღონეს, მტყუნების აღზარბა შეიძლება დავადგინოთ გამოსახულებით

$$Q = P(\nu < 1) = \Phi \left[\frac{-M_{\nu} - 1}{S_{\nu}} \right] \quad /გ. 27/$$

სადაც M_{ν} S_{ν} მარაგის კოეფიციენტის მათემატიკური ლოგინი და მარაგის კოეფიციენტის საშუალო კვადრატული გადახრა შესაბამისია.

რისკის ღონის გასაანგარიშებლად, სიმარტივის გამო, პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ ნორმალურ და ლოგნორმალურ განაწილებას. ამასთან ერთად ამ განაწილებების შესწავლა გვიჩვენებს, რომ ისინი მგბნობიარები არიან ამოსავალი მონაცემების გამონგარიშების დროს დაშვებული შეცდომების მიმართ, რომლებმაც გაანგარიშებისას მოითხოვენ მათემატიკური ლოგინის საიმედოობს და საშუალო კვადრატულ გადახრას. ეს განსაკუთრებულად გამოვლინდება "კულებში". ანუ მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობების დროს /152/. ამიტომ რიგ შემთხვევაში, მაქსიმალური და მინიმალური რისკის შეფასების დროს, უპირატესობა უნდა მიეცეს შემთხვევაში სიდიდეების განაწილების ასიმპტოტური კანონების გამოყენებას.

ექსტრემალური მნიშვნელობების /150, 152/ თეორიიდან ცნობილია, რომ როდესაც X განსაზღვრულია სიდიდეები i რეალიზაციებში დამოუკიდებელი არიან და ეს შემთხვევაში სიდიდეები შემოფარგლული არ არიან არც უდიდესი და არც უმცირესი მნიშვნელობებით, დაკვირვებების მონაცემებით აღიკვებურ შედეგებს იძლევა პირველი ტიპის, ე.წ. თრმაგი ექსპონენციალური განაწილების, ასიმპტოტური განაწილების გამოყენება.



თუ პრაქტიკის ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება ზემოქმედების სტატისტიკური მახასიათებლის, კონსტრუქციის დვისების პარამეტრების და λ სტატისტიკური მახასიათებლის / Π_g დასაშვებ ზღვარს იქით ფონსტრუქციის გამოსავლის საშუალო რიცხვი/ თეორიული დაკავშირება, მაშინ საიმედოობის პროგნოზის ამოცანა ამოხსნილად შეიძლება ჩაითვალოს. მაგალითად ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ ამოვარდნის თეორია /166/, რომლის საფუძველზე კონსტრუქციის /ობიექტის/ საიმედოობა დგინდება ფორმულით

$$P(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t) dt \right\} \quad /8.28/$$

სადაც $\lambda(t)$ - არის პროცესების შემთხვევითი ამოვარდნების ნაკადის ინტენსიობა $n = n(t)$

შემთხვევითი ზემოქმედების პროცესის ნორმალურ პროცესთან დაქვემდებარების შემთხვევაში, λ შეიძლება დავადგინოთ ფორმულით

$$\lambda = \frac{\dot{c}_n}{2\pi c_n} e^{-\frac{\Pi_g^2}{2c_n}} \quad /8.29/$$

სადაც - Π_g არის დასაშვები მნიშვნელობა

შემთხვევითი ფუნქციის აბსოლუტური მნიშვნელობისათვის

c_n^2 - არის ამ პროცესის დისპერსია

\dot{c}_n - არის შემთხვევითი პროცესის წარმოებულის დისპერსია, ანუ

$\frac{dh}{dt}$ ფუნქციები. ამ შემთხვევაში ობიექტის საიმედოობა გამოისახებ

$$P = \exp(-\lambda t) \quad /8.30/$$

რიგი პროცესებისა, რომლებმაც განაპირობეს პირობითი ობიექტების წესობიდან გამოსვლა/ თანდათანობითი წარცხვა, გაცვეთა, პლასტიკური დეფორმაციები, როგორც ამ პროცესების ანალიზმა გვიჩვენა, შეიძლება აპროქსიმირდნენ მარკოვის პროცესებით. ეს პროცესი შეიძლება აღვიწყოთ ფორმულა-პლანკ-ეინშტეინ-კლემოგოროვის განტოლებით

$$\frac{\partial n(t_0, x_0, t, x)}{\partial t} + a \frac{\partial n(t_0, x_0, t, x)}{\partial x} - \frac{b^2}{2} \frac{\partial^2 n(t_0, x_0, t, x)}{\partial x^2} = 0 \quad /8.31/$$

ამასთან სტოქასტიკური პროცესის პირობითი გარდამავალი სიმკვრივე, შეიძლება გამოისახოს დიფერენციალური განტოლებით

$$\partial x(t) = a dt + b d\eta(t) \quad /8.32/$$

/8.32/ განტოლება წარმოადგენს სტოქასტიკური განტოლების /8.31/ ფუნდამენტალურ ამოხსნას $n(x, t) = \beta(x)$ სასაზღვროს პირობებით იქნება

$$n(t, x) \Big|_{x=-\infty} = n(t, x) \Big|_{x=\infty}^{t_0=0} = 0 \quad /8.33/$$

$$n(t, x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{(x-at)^2}{2b^2 t}} \quad /8.34/$$

სადაც a - არის განმსაზღვრელი პარამეტრის ცვლილების საშუალო სიჩქარე

b - არის განმსაზღვრელი პარამეტრის დისპერსიის ცვლილების საშუალო სიჩქარე

მარკოვის აპარატის გამოყენებისათვის დაშვება არ აქვეითებს ანალიზის პრაქტიკულ ღირებულებას.

მისაღები რისკის მისაღწევად პრაქტიკაში ატარებენ გამოცდებს, განახორციელებენ საცდელ გადამუშავებას, ქმნიან საკონკურენტო ვარიანტებს. ეს რისკის შემამცირებელი ღონისძიებები, დაახლოებით ფორმალურად შეიძლება აღვწეროთ საიმედოობის ზრდის მოდულით /6/

$$P_n = 1 - e^{-\beta n} Q_0 \quad /8.35/$$

სადაც β - არის პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს პროექტირების ხარისხის ეფექტურობას

n - არის პროექტის ხარისხის თანდათანობით გაუმჯობესებისათვის დამუშავებული ვარიანტების რიცხვი



შ. - მტყუნების სპეცის აღზამობა.

/შ. 35/ გამოსახულება ხელს შეუწყობს იმ ვარიანტის არჩევას, რომელიც ხასიათდება რისკის მინიმალური ღონით. ცხადია, რომ ობიექტების წყობიდან გამოსვლის რისკის აბსოლუტური გამორიცხვის მიღწევა პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც ამას დასჭირდება უსაზღვროდ დიდი ეკონომიური დანახარჯები. გარდა ამისა რისკის მაქსიმალური ღონის მიღწევა შემოიფარგლება მიცნიერების, ტექნიკის და რიგი სხვა ფაქტორების შესაძლებლობებით.

რისკი - ღირებულება - რევეტურობა, ამ ტრიალის განხილვა გვიჩვენებს, რომ ელვენტარული მოთხოვნების დაკმაყოფილების შემთხვევაში, რისკის ღონეს უნდა ჰქონდეს სრულიად განსაზღვრული ოპტიმუმი. ეს ოპტიმუმი შეიძლება დადგინდეს ოპტიმალური გადაწყვეტის მონახვის ცნობილი ხერხებით /149, 152, 166/.

8. 2. 1. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის /კაშხლის/ ხანგამძლეობის შეფასება ნატანის გავლენის გათვალისწინებით

წყალსაცავის დაღამვის დრო და კაშხლის მონატანის დანაღებები ჩვეულებრივად გაიანგარიშებიან მეფოდებით, რომლებშიც აღირიცხება /გათვალისწინებულია/ მრავალი წლის მანძილზე, წყალსაცავის შესასვლელ კვეთში, წყლის ხარჯისა და ნატანების გასაშუალოება და აგრეთვე დაღამვის პროცესში მრავალწლიანი მონატანების ჩამონადენის ცვაღებადობის გავღენა.

შეღარებით ნელა დასაღამავი, მსხვილი წყალსაცავეების გაანგარიშებისათვის, არსებობენ საშუაღებები, რომლებიც თვალისწინებენ დაღამვის პერიოდის გაყოფას ორ ნაწილად და საშუაღებას, იბღევიან მიახლოებით აღირიცხონ როგორც შეტივტივებული, ასევე ნამტაცი ნატანები გ.ი.შამოვის მეფოდის მისეღვით, დაღამვის მოცულობა განისაზღვრება შემღეღენაირად /92/

$$W_{at} = W_{a_{\infty}} \cdot [1 - (1 - \frac{W_{a1}}{W_{a_{\infty}}})^t]$$

/გ. 2. 1./

სადაც W_{at} - არის t წლების მანძილზე ნატანების დაღეძვის მოცულობა
 $W_{a_{\infty}}$ - არის წყალსაცავში ნატანების დაღეძვის ზღვრული მოცულობა,
 რომლის მიღწევის შემთხვევაში დაღამვა წყდება
 W_{a1} - პირველი სტადიის ბოლო წლის დაწვლქების მოცულობა
 დაწვლის მოცულობის გასაანგარიშებლად ასევე შეიძლება გამოვი-
 ყენოთ ვ.ს.ლამბერტის ფორმულა /92/

$$W_{at} = W_{a_{\infty}} (1 - e^{-\frac{t}{E}})$$

/გ. 2. 2./

სადაც e - არის ნატურული ლოგარითმების საფუძველი
 E - არის წყალსაცავის დაღამვის მახასიათებელი
 რამდენადაც კაშხლის ნატანი დაწვლქები შეიძლება განვიხილოთ, რო-
 გორც დაზიანების თანდათანობით დაგროვება, ნაგებობის მტყუნება, რომ-
 ლებიც ამ პროცესითაა განპირობებული და დაკავშირებულია ექსპლუატაციის
 ნორმალური პირობების შექცევტასთან ან დარღვევასთან, თანდათანობითა,
 უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი სახის მტყუნებები გვხვდება უფრო ხშირად, რაც
 მნიშვნელოვანწილად ახდენს გავლენას ნაგებობების მუშაობის ეკონომიუ-
 რობაზე და ეფექტურობაზე. /8/-ში ხაზგასმულია, რომ ასეთი სახის მტყუნე-
 ბების გამოკვლევას არ ემთხება საკმარისი ყურადღება. ეს ეხება პიდრო-
 ტექნიკასაც, რისი დადასტურებაც არის თანდათანობით მტყუნებების შე-
 სახებ რეკომენდაციების არყოფნა შესაბამის თავებში.

საიმედოობის თეორიაში თანდათანობით მტყუნებების აღწერისათვის
 გამოიყენებიან კუმულაციური მოდლები /8/.
 თუკი ნატანების დაღეძვის პროცესს ჩავთვლით შემთხვევით შეუძქვე
 დაზიანების დაგროვებად, კაშხლის ხანგამძღობის შესაფასებლად გამოვი-
 ყენოთ ხსენებული მოდლებიდან ერთი. კრიტიკული მნიშვნელობის კაშხალთან

Նախնեմի սիմալեմե միլլեւա զաւախասիաաա սիլիա

$$\sum \frac{n(S_i)}{N(S_i)} = 1 \quad /8.2.3./$$

սալաւ $n(S_i)$ - աիւս վլլիս զաւախասիաաաա սիմլերիււիս զրոս զա-
 նախուիս ցիկլեւիս ղիււաւի

$N(S_i)$ - աիւս մոլլեմուլի սիմլերիււիս զրոս զաւախուիս ցիկլեւիս
 Նլլերուլի ղիււաւի

զաւլլաաա, ղոմ $N(S_i)$ զաւախուիս ցիկլեւիս ղիււաւի նախնեմիս λ ղ
 սիմալլեմլե միլլեւա մնիմլեմա սալլաաա զիլլա. մաւիւն

/8.2.3./ ֆորմլաւի, մլլաաաաաա մոմլլեւա գասաաաաաաաաաաաաաաաա
 ղաւաաաաա, միլլաաա

$$\langle U \rangle = \frac{\omega e t}{2\pi} \left\langle \frac{1}{N(S_i)} \right\rangle \quad /8.2.4./$$

սալաւ ωe - աիւս քրոլլեսիս ղլլաաաաա սիւսիւր

$\langle \rangle$ - աիւս գասաաաաաաաաաաաաաաա

գաւաաա

$\langle U \rangle = 1$

$$T = \frac{2\pi}{\omega e} \left[\int_0^\infty \frac{P(S) dS}{N(S)} \right]^{-1} \quad /8.2.5./$$

սալաւ $P(S)$ - քրոլլեսիս մալլաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաա

զաաա

աաա

$$N = \begin{cases} N_0 \left(\frac{S_0}{S}\right)^m & \text{աա } S \geq S_0 \\ \infty & \text{աա } S < S_0 \end{cases} \quad /8.2.6./$$

սալաւ N_0 - աիւս մաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաա

S_0 - աիւս զաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաա

m - աիւս աաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաաա

წყლის სიმღვრივის ცვლილებების შესახებ მონაცემები ღრმის მდებარეობის მიხედვით, მიახლოებით ჩავთვალოთ ცვლილება, რომელიც მიმდინარეობს გაუსის ემპირიული პარამეტრების კანონის მიხედვით, რომლის მაქსიმუმის აღზომის სიმკვრივეს განსაზღვრავს ფორმული

$$P(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_s} \exp \left[-\frac{(S - S_{0.95})^2}{2\sigma_s^2} \right] \quad /8.2.7/$$

სადაც σ_s - არის პროცესის საშუალო კვადრატული გადახრა
 $S_{0.95}$ - არის მისი მათემატიკური ლოდინი

თუკი /8.2.7/ და /8.2.6./ გამოსახულებას ჩავსვამთ /8.2.5./ და /8.2.6./ ფორმულაში, მივიღებთ

$$T = \frac{\sqrt{8\pi^3} N_0}{\omega_e} \int_0^{S_{max}} S^m \exp \left[-\frac{(S - S_{0.95})^2}{2\sigma_s^2} \right] dS \quad /8.2.8/$$

სადაც $\omega_e = 2\pi\nu$

სადაც ν - არის S_0 დონის S_t პროცესის მრუდის დადებითი გადაკვეთების რიცხვი

S_{max} - განხილული პერიოდის მანძილზე წყლის მაქსიმალური სიმღვრივის მნიშვნელობა

8.2.1. მაგალითი: სიმტკიცის მიხედვით გრავიტაციული კაშხლის ხანგრძლივობის განსაზღვრება დანამის პროცესის სტოქასტიკური ბუნების გათვალისწინებით

მონაცემები გაანგარიშებისათვის:

მდ. მდგრად საპროექტებელი ტობარის წყალსაცავის მარჯი მოცულობა

$$W_n = 100 \times 10^6 \text{ მ}^3$$

საპროექტებელი წყალსაცავის უბანზე მდინარის სიგრძე

$$L = 15 \times 10^3 \text{ მ}$$



წყალსაცავის რეგონში მდინარის საშუალო მრავალწლიანი ხარჯი

$$Q = 150 \text{ მ}^3/\text{წა}$$

წყალსაცავში ნატანების დაღეძვის სიმკვრივე

$$\rho = 1.2 \times 10^6 \text{ მ}^3/\text{მ}^3, \text{ კაშხალთან კრიტიკული სიმაღლის}$$

შესაბამისი დაღამვის მოცულობა

$$h_{\text{კრ}} = W_{\text{კრ}} = 67 \times 10^6 \text{ მ}^3$$

გაანგარიშების სვლა.

რეჟიმის ყოველწლიური მონაცემების და ხმელეთის წყლების ზედა-
პირული რესურსების შესაბამისად, წინა წლების მიხედვით, ტობარის
პესის წყალსაცავის მონაკვეთზე, მდინარე ენგურის საშუალო სიმღვრივე
მდეების მიხედვით შეაღწენს.

მ ვ ე	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	საშ. წელი
საშუალო სიმღვ- რევე მ/მ ³	40	163	362	290	550	493	740	740	485	440	155	42	384

საიდანაც ვღებულობთ წყლის სიმღვრივის საშუალოწლიური მნიშვნელობას.
დავუშვათ, რომ წყალსაცავის დანამება ხდება მხოლოდ 50/მ³ გადამე-
ტებული ნაკადის სიმღვრივის დროს.

ზემოთ მოყვანილი მონაცემებით განვსაზღვრავთ, რომ ციკლის /1 წე-
ლი/ განმავლობაში მიღებული დონის დაღებითი გადაკვეთების რიცხვი
1-ის ტოლია, ასე განვსაზღვრავთ პროცესის საშუალო კვადრატული გადახ-
რას, $\sigma_s = 250$, დაღამვის ციკლების ზღვრული რიცხვი N_0

მინიმალური დაღამვის სამღვრივის დროს $S_0 = 50$ და მუდმივას m
მადგენდ /მ. 2. 6./ გამოსახულების მიხედვით, ამისათვის ვსარგებლობთ
ერთ-ერთი ზემოთმოხსენებული დანამულობის დროის გაანგარიშების მეთო-
დით - გ. ი. შამიძის ორსტადიური მეთოდით - რომლის საშუალებითაც ვად-



გენთ მინიმალურს გადამეტებულ დანამულობის ციკლების რიცხვს, ნაკვეთის სიმღვრივის შემთხვევაში

ცხრილი მ. 2. 2.

სიმღვრივე გ/მ3	დანამულობის ხანგრძლივობა		წ ე ლ ი ჯამური ხან- გრძლივობა	ხარისხის მაჩ- ვენებელი
	1 სტადია	11 სტადია		
50	408	139	547	
100	204	58	262	1,06
200	102	21	123	1,07
300	68	12	80	1,06
400	51	7	58	1,07
500	41	5	46	1,07
600	34	4	38	1,07
700	29	3	32	1,07
800	26	2	28	1,07
900	23	1	24	1,07

მ. 2. 2. ცხრილის მონაცემების მიხედვით ვაღგენთ, რომ $N_0 = 547$

$$m = 1.07$$

/მ. 2. 6/ ფორმულის მიხედვით ვპოულობთ გრავიტაციული კაშხალების ხანგამ-
ბლიობის მაჩვენებელს - ნაგებობების სამსახურის ვადას.

უნდა აღინიშნოს, რომ გაანგარიშება გ. ი. შამოვის მედიის მიხედ-
ვით წარმოებს წყლის საშუალო წლიური სიმღვრივის გათვალისწინებით. მო-
ციმულ მაგალითში ეს საშუალო სიმღვრივე შეადგენს 334 გ/მ3. ნაგებობე-
ბის ნორმალური სამსახურის ვადა, ამ საშუალო სიმღვრივი ს გათვალისწი-
ნებით, არის 61 წელი.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეოთხე, რომელიც დაფუძნებულია ტვიშის ჰესის ნების კუმულატიური მოდელის გამოყენებაზე, საშუალებას იძლევა აღირიცხოს /გათვალისწინებულ იქნეს/ დაღამვის პროცესის შემთხვევითი ხასიათი, ანუ ავამალლოთ გაანგარიშებების სიზუსტე.

8. 2. 2. ტვიშის ჰესის გრავიტაციული კაშხლის ხანგამძლეობის შემაჯობა

მონაცემები გაანგარიშებისათვის:

- საპროექტებელი წყალსაცავის სრული მოცულობა $W = 13X 10^6$ მ³
- წყალსაცავის სიღრმე კაშხალისპირა კვეთში $h = 39$ მ
- მდინარის სიგრძე წყალსაცავის უბანზე $l = 7,35X 10^3$ მ
- წყალსაცავის რეგიონში მდინარის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი $Q = 1508$ მ³/წა
- წყალსაცავში, ნაკადის წარმოქმნილი ხარჯის დროს, ზღვრული განივი კვეთის ფართობი $A_{\Sigma} = 40082$
- წყალსაცავში ნატანების დაღეძვის სიმკვრივე $\rho = 1.2X 10^6$ გ/მ³

წყალსაცავის ხანგამძლეობის მარკენებლად მივიღოთ ის დრო, რომლის დროსაც კაშხალზე დაღეძილი ნატანების შრის სიმაღლე აღწევს თავის ზღვრულ მნიშვნელობას, ანუ /მნიშვნელობას/, რომელიც შეესაბამება ტვიშის ჰესის წყალსაცავის დანამვის ზღვრული მოცულობას.

გაანგარიშების ს მსგელობა.

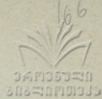
განგარიშობთ წონასწორული კალაპოტის მოცულობას, რომელიც ფორმირებულია მდინარით მიღიანად დაღამულ წყალსაცავში

$$W_p = l \cdot a_p = 7.35 \cdot 4 \cdot 10^5 = 3 \cdot 10^6 \text{ მ}^3$$

დაღამვის ზღვრული მოცულობა შეადგენს

$$(13 - 3) \cdot 10^6 = 10 \cdot 10^6 \text{ მ}^3$$

ნამახვანის ჰესის კასკადის წყალსაცავების დანამვის გამოკვდიების მიხედვით, ტვიშის წყალსაცავის დანამვის მოცულობას $W_{\Sigma} = 10X 10^6$ მ³



შესაბამება კაშხლისპირა ნატანების შრის სიმაღლე $h_n = 346$.

მოცემული მეთოდის მიხედვით, ხანგამძლეობის მარცენებლის გასაანგარიშებლად ვისარგებლოთ წყალსაცავის უბანზე მდ. რიონის სიმღვრივის საშუალო დღიური მონაცემებით

ცხრილი 8.2.3

თ ვ ე	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
საშუალო სიმღვ. გ/მ3	80	183	360	1090	556	603	1100	860	484	134	230	186

ამასთან საშუალოდღიური სიმღვრივე შეადგენს 493 გ/მ3.

დავუშვათ, რომ წყალსაცავის დაღამვის პროცესი ხდება მხოლოდ 150გ/მ3-ზე მეტი ნაკადის სიმღვრივის დროს. მოცემული მონაცემებიდან ვიხილავთ, რომ ერთი წლის ტოლი ციკლის მანძილზე ხდება მიღებული დონის ორი დადებითი გადაკვეთა. ამ მონაცემებით განსაზღვრული, პროცესის საშუალო კვადრატული გადაკვეთა Q_s ტოლია 372.

ზღვრული /მინიმალურად დაღამვის სიმღვრივი ს შესაბამისი

$h_n = 150 /$ დაღამვის ციკლის რიცხვს და მუდმივას m ვადგენთ $/m. 26/$ გამოსახულებით, წინასწარ, გ.ი. შამოვის მეთოდით განსაზღვრავთ, მინიმალურზე ზემოთ ნაკადის სიმღვრივის დროს, დაღამვის ციკლების რიცხვს /ცხრილი 8.2.3./

- 9. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის ნაგებობის სანიმუშობის შესაზუსტებლად
- 9.1. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი

სტატისტიკური მოდელირების მეთოდი /მონტე-კარლოს მეთოდი/ განისაზღვრება, როგორც შემთხვევითი სიდიდეების მოდელირების მეთოდი, მათი განაწილების მახასიათებლების შემდგომი გამოთვლისათვის. სტატისტიკური მეთოდი, მიხალოებით გამოთვლების დროს, პირველად გამოიყენება



პოლის ნაშრომში, რომელშიც განისაზღვრება რიცხვი, სვეტიცხოველს დახაზულ ქალაქზე ნემსის ტყორცნის საშუალებით.

ჩვენს ქვეყანაში მონტე-კარლოს მეთოდის გამოყენების პირველი სამუშაოები გამოჩნდა 1955 წელს /95, 107/. ამჟამად, ამ სფეროში მათი რიცხვი საგრძნობლად გაიზარდა, რაც აიხსნება ამ მეთოდით მრავალი მეცნიერული და ტექნიკური ამოცანის წარმატებით ამოხსნით. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდს ფართოდ იყენებენ მასობრივ მომსახურების სფეროში, ინფორმაციის გადაცემის თეორიის ამოცანებში, ეკონომიკაში და ა.შ.

მონტე-კარლოს მეთოდის გამოყენება ყველაზე ეფექტურია ამოცანებში ალბათობითი აღწერით

შემთხვევითი სიდიდეების მოდელირება მისი კონსტრუირების საშუალებას იძლევა, რაც შესაძლებელია ზოგიერთი შემთხვევითი მექანიზმის - ე.წ. "ფიზიკური გადაშლადის" საშუალებით, თუმცა მათ ვერ პოვებს ფართო გამოყენება, რადგანაც პრაქტიკულად შეუძლებელია მათი მულტივი და-მაგვიყოფილებელი სამუშაოს გარანტირება. როგორც წესი, მონტე-კარლოს მეთოდით ამოცანების ამოსახსნელად იყენებენ რეკურანტულ ფორმულებს, რომლებიც განსაზღვრავენ "ცრუს შემთხვევითი რიცხვების" თანმიმდევრობას.

ცრუს შემთხვევითი რიცხვების მისაღებად d_1, d_2, \dots ხშირად იყენებენ ნაშთების მეთოდს ფორმით

$$u_0 = 1 \quad u_n = u_{n-1} M \pmod{2^m} \quad d = u_n 2^{-m} \leq 1 \quad /9.1./$$

ეს მეთოდი შეიძლება შემდგომში რაიწეროს

$$d_{n+1} = \left\{ M d_n \right\} \quad d_0 = 2^{-m} \quad /9.2./$$

სადაც M - არის მთელი რიცხვი; ფიგურული ფრჩხილები აღნიშნავენ წილადურ ნაწილს

n - არის -ის მანტისური უჯრედის ორბითი თანჭიგის რიცხვი

ვარაუდობენ, რომ $M = 52^{p+1}$ სადაც P - მთელი რიცხვი.

წარმოვადგინო

$$d_n = \left\{ 5^{n(2p+1)} a_0 \right\} \quad /9.3./$$

საშუალებას იძლევა აღვწეროთ სიდიდის მიღებული თანმიმდევრობები შემდეგნაირად. ჩაიწერება წილადი აღრიცხვის სისტემაში 5 ფუძით:

$$2^{-m} = \sum_{k=1}^{\infty} a_k 5^{-k} = 0 \quad a_1, a_2, a_3 \dots \quad /9.4./$$

სადაც იღებს ერთ-ერთს მნიშვნელობებიდან: 0, 1, 3, 4, 4 /9.3/ თანაფარდობა ნიშნავს, რომ რიგი /9.4/-ში გადაიტანება $(2p+1)n$ პოზიციებზე მარჯვნივ და მიღებული რიცხვის მთელი ნაწილი უკუვიგდება. სტატისტიკური გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ სიდიდის მცირე მნიშვნელობის დროს იქნებიან შესამჩნევად "დამოკიდებულები". ამიტომ რეკომენდირებულია

მაქსიმალურის აღება იმათგან, სადაც

$$5^{2p+1} < 2^m \quad /9.5/$$

ცრუშემთხვევითი რიცხვების თანმიმდევრობის შემოწმება ჩვეულებრივად დაიყვანება იქამდე, რომ $K = 1.2 \dots K$ სადაც K - რამდენიმე ათეული, შემოწმდებიან, რამდენად თანმიმდევრულია $n \rightarrow \infty$

ავსებენ ერთეულ K - განზომილებიან კუბ კამერული ვექტორებს:

$$\begin{aligned} \xi^K &= (a_1 \dots a_k) \\ \xi^K &= (a_{k+1} \dots a_{2k}) \\ \xi^K &= (a_{k(n-1)} \dots a_{kn}) \end{aligned} \quad /9.6/$$

ასეთი ფუნქციების მქონე რიცხვების უსასრულო თანმიმდევრობას ეწოდება K - თანაბარი, მათთვის სრულდება თანაფარდობა

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f(\xi_n^K) \rightarrow \int_0^1 \dots \int_0^1 f(x_1 \dots x_k) dx_1 \dots dx_k \quad /9.7/$$

სადაც f - არის რიმიანის მიხედვით ინტეგრირებული ნებისმიერი ფუნქცია



მნიშვნელოვანია შემოწმდეს K - ცრუშემთხვევითი რიცხვების განაწილება
 რთა $K=1, 2, 3, 4$ -თვის. შემოწმება უნდა ჩატარდეს სტატისტიკური კრი-
 ტერიუმების საშუალებით. ამისათვის ერთეული K - განზომილებიანი კუბი
 ნაწილდება $M = \sum_{i=1}^K \xi_i^{(K)}$ ერთნაირ კუბურებზე, მოცემულობით τ^{-K}

დავუშვათ m_1, m_2, \dots, m_m

წერტილების რაოდენობა $\xi_1^{(K)}, \dots, \xi_N^{(K)}$, შეცაბამის წერტილებში მოხვდ-
 რით ($m_1 + m_2 + \dots + m_m = N$) , ცნობილია რომ საკმარისად დიდი N

$$\chi^2_{m-1} = \sum_{i=1}^m \frac{(m_i - N M^{-1})^2}{N M^{-1}} \quad |9.8|$$

თანაბრობისა და ვექტორების დამოუკიდებლობის პირობების შესრულე-
 ბის დროს $\xi_1^{(K)}, \dots, \xi_N^{(K)}$ მიახლოებით განაწილებული, როგორც χ^2_{m-1} მნიშ-
 ვნელობა $\lambda_{m-1} > \lambda_{m-1}^{(p)}$ ამორჩევითა, $\chi^2_{m-1}(p)$ განისაზღვრება
 განტრელებით

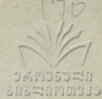
$$P[\chi^2_{m-1} \geq \chi^2_{m-1}(p)] = p < 1 \quad |9.9|$$

და პირობება შეიძლება დავაყენოთ ეჭვის ქვეშ. ცრუშემთხვევითი რიცხვ-
 ბის შესამოწმებლად აგრეთვე გამოიყენება "ტესტ სერია", "ჰოკერ-ტესტი"
 და სხვა.

ფორტხანის აღჭურვილ ენაზე შემთხვევითი რიცხვების აღწერისას
 ივარაუდება, რომ ძირითად პროგრამაში აღწერილია ცრუშემთხვევითი რიცხ-
 ვების გადაწოდის, რომლის მიმართაც მიმართავს აწარმოებს ოპერატორი

CALL RAND(R)სადაც R - არის ცრუშემთხვევითი რიცხვების სახელი.

პროგრამა RAND(R) მასში ჩადებული აღჭურვილობის საფუძველზე,
 რომელიც დგას უჯრედში R, რომელიც ანგარიშობს მის მომდევნო ცრუშემ-
 თხვევით რიცხვს ξ_{n+1} და ათავსებს მას იმავე უჯრედში.



9. 2. სტატისტიკური მეთოდების გამოყენების გამოყენება ნაგებობების საინჟინერო-კონსტრუქციის შესახებ სემინარად

მონტე-კარლოს მეთოდით საინჟინერო-კონსტრუქციის ამოცანის ამოსახსნელად აუცილებელია შემთხვევითი რიცხვების ფორმირება განაწილების სხვადასხვა კანონებით. ამ მიზნებისათვის თანაბარი, ნორმალური, ექსპონენციალური, რეგის და განზოგადებული განაწილების კანონებით რიცხვების მისაღებად, დამუშავებული იყო პროგრამა ფორტრანის ენაზე. შემდეგ მოყვანილი იყო ჩვეულებრივი დატერმინირებული გაანგარიშებები შემთხვევითი პარამეტრების ყველა რეალიზაციისათვის. გაანგარიშება სრულდება შემთხვევითი პარამეტრებით მიღებული მოცემული განაწილების კანონის ყველა სახისათვის, რომლებიც შედიან ამოსახსნელი ამოცანების აღგორიანში. ნათქვამზე დაფრთხილებით შევჩერდეთ, განაწილების ცნობილი კანონებით ვნიშნავთ ნაგებობის პარამეტრების შემთხვევითი სიდიდეების n რეალიზაციის და მოქმედ დატვირთვას.

$$x_1, x_2, x_3 \dots x_n, q_1, q_2 \dots q_n \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

არჩეული გაანგარიშების მოდელის თანახმად მოგვაქვს კონსტრუქციის დეტერმინირებული გაანგარიშება და განსაზღვრავთ ნაგებობის მდგომარეობის პარამეტრი. ნაგებობის მდგომარეობის ყველა განსაზღვრული პარამეტრის მნიშვნელობის მიღებას ვთვლით დასაკვირვებელ შემთხვევით სიდიდეად. ამ დასაკვირვებელი შემთხვევითი სიდიდისათვის განგარიშობთ საწყის, ცენტრალურ და ძირითად მომენტს IV რიგის ჩათვლით. გაანგარიშება წარმოებს ნამრავლების წესით. შემდეგ ეტაპზე, განსაზღვრული მომენტების საშუალებით, განსაზღვრავთ მაგლუვებელი მრუდის ტიპს, ფორმულით

$$\chi = \frac{\mu_3^2 (s+2)^2}{16(s+1)} \quad /9. 2. 1/$$



სადაც

$$S = \frac{6(z_4 - z_3^2 + 1)}{3z_3^2 - 2z_4 + 1}$$

z_3, z_4 - მესამე და მეოთხე პირთადი მომენტი

რიცხვითი მნიშვნელობით X განვსაზღვრავთ მაგლუვებელი მრუდის ტიპს. მაგლუვებელი მრუდის აღწერისათვის ვიყენებელი I-VII პირსონის მრუდებს ან ნორმალურ მრუდს

- როცა $X < 0$ - I პირსონის მრუდი
- როცა $X = 0$ 0 III, II პირსონის მრუდი
- როცა $X = \pm \infty$ - III პირსონის მრუდი
- როცა $0 < X < 1$ - IV პირსონის მრუდი
- როცა $X = 1$ - V პირსონის მრუდი
- როცა $1 < X < \infty$ - VI პირსონის მრუდი
- როცა $X = 0, z_3 = 0, z_4 > 3$ - " - VII პირსონის მრუდი
- როცა $X = 0, z_3 = 0, z_4 = 3$ - " - , ნორმალური განაწილების მრუდი

მაგლუვების აღგორიომი შედგენილია შემდეგი განაწილების სქემის

საფუძველზე

1 პირსონის მრუდი

ტიპის კრიტერიუმი უარყოფითია: $X < 0$

ამ მრუდის განტოლება

$$\bar{n}_j = \bar{n}_0 \left(1 + \frac{x}{l_1}\right)^{q_1} \left(1 - \frac{x}{l_2}\right)^{q_2}$$

სადაც

$$X = \frac{x - \bar{x}}{c}$$

$$\bar{x} = \bar{x} - 6 \frac{z_3}{2} \frac{S+2}{S-2}$$

$$x = x' - m_1 + \frac{6z_3}{2} \frac{S+2}{S-2}$$

$x' - m_1$ - არის საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრა განაწილების მანძილი

/გაქანება/ $l = l_1 + l_2$

$$l = 26 \sqrt{(S+1)(1-X)}$$

მუდმივები q_1 და q_2 ,/9,6/ ფორმულაში დგინდებიან ფორმულებით

$$\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \left\{ (s-2) \pm s(s+2) \frac{z_3}{t} \right\}$$

$$l_1 = \frac{q_1 l}{s-2} \quad l_2 = \frac{q_2 l}{s-2}$$

$$\tilde{n}_0 = n \frac{l_1^{q_1} \cdot l_2^{q_2}}{l^{q_1+q_2+1}} \frac{\Gamma(q_1+q_2+2)}{\Gamma(q_1+1) \Gamma(q_2+2)}$$

II პირსონის მრუდი

მრუდის განტოლება

$$\tilde{n}_j = n_0 \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right)^q$$

განაწილების მანძილი /გაქანება/ განისაზღვრება წერტილებით

და $x = \pm l'$

$$\hat{x} = \bar{x} \quad x = x' - m_1$$

მუდმივები q და l' განისაზღვრებიან ფორმულებით

$$q = \frac{5z_4 - 1}{2(3 - z_4)} \quad l' = \sqrt[6]{\frac{2z_4}{3 - z_4}}$$

$$\tilde{n}_0 = \frac{n}{2^{2q+1} l'^2} \frac{\Gamma(2q+2)}{\{\Gamma(q+1)\}^2}$$

გადაანაზრებულ სისშირეები \tilde{n}_j გამოიანგარიშება ლოგარითმების საშუალებით

$$\lg \tilde{n}_j = \lg \tilde{n}_0 + q \left[\lg \left(1 + \frac{x}{l'}\right) + \lg \left(1 - \frac{x}{l'}\right) \right]$$

III პირსონის მრუდი

მრუდის განტოლება

$$\tilde{n}_j = n_0 \left(1 + \frac{x}{l'}\right)^p e^{-\frac{px}{l'}}$$

განტოლებაში შემავალი მუდმივები პოვნებიან ფორმულებით

$$q = \frac{5z_4 - 9}{2(3 - z_4)} \quad l = \sqrt[6]{\frac{2z_4}{3 - z_4}} \quad \lg \tilde{n}_j = \lg \tilde{n}_0 + p \lg \left(1 + \frac{x}{l'}\right) - p \frac{x}{l'} \lg e'$$

IV პირსონის მრული

მრულის განტოლება

$$\tilde{n}_j = n_0 \left(1 + \frac{x^2}{p^2}\right)^{-q} e^{-\nu \arctan \frac{x}{t}}$$

$$x = x' - m - \frac{\nu}{t} \ell \quad z = -s = \frac{6(z_4 - z_3^2 - 1)}{2z_4 - 3z_3^2 - 6} \quad q = \frac{z+2}{2}$$

$$\nu = \frac{z(z-2)z_3}{\sqrt{16(z-1) - z_3^2(z-2)}} \quad \ell = \frac{6}{4} \sqrt{16(z-1) - z_3^2(z-2)}$$

$$\tilde{n}_j = \frac{n}{t} \frac{1}{F(z, \nu)}$$

ფუნქციების ლოგარითმების ცხრილით განვსაზღვრავთ $F(z, \nu)$

გამთანაბრებელ სიხშირეებს \tilde{n}_i

განგარიშობთ ლოგარითმების საშუალებით

$$\lg \tilde{n}_i = \lg \tilde{n}_0 - q \lg \left(1 + \frac{x^2}{p^2}\right) - \nu \arctan \frac{x}{t} \lg \ell$$

V პირსონის მრული

მრულის განტოლება

$$\tilde{n}_j = \tilde{n}_0 x^{-p} e^{-\frac{x}{t}}$$

მრულის განტოლებაში შემავალი მუდმივები, განისაზღვრებიან ფორმულა-
 ბით

$$p = 4 + \frac{8+4\sqrt{4+z_3^2}}{z_3^2} \quad \nu = 6(p-2)\sqrt{p-3}$$

მვლადი

$$x_0 = x' - m_1 + \frac{\nu}{p-2} \quad \tilde{n}_0 = \frac{n \nu^{p-1}}{\Gamma(p-1)}$$

გამთანაბრებულ სიხშირეებს განგარიშობთ ლოგარითმების სა-
 შუალებით $\lg \tilde{n}_i = \lg \tilde{n}_0 - p \lg x - \frac{1}{t} \nu \lg \ell$

VI პირსონის მრული

მრულის განტოლება

$$\tilde{n}_j = n_0 x^{-q_1} (x-t)^{q_2}$$

$$\left. \begin{matrix} q_1 \\ q_2 \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \left\{ s(s-2) \frac{z_3}{t} \pm (s-2) \right\} \quad \ell = \frac{5t}{2}$$

$$t = \sqrt{z_3^2 (s-2)^2 + 16(s+1)} \quad n_0 = \frac{n \ell^{q_1 - q_2 - 1} \Gamma(q_1)}{\Gamma(q_1 - q_2 - 1) \Gamma(q_2 + 1)}$$

$$\lg \tilde{n}_0 = \lg n + (q_1 - q_2 - 1) \lg \ell + \lg \Gamma(q_1) - \lg \Gamma(q_1 - q_2 - 1) - \lg \Gamma(q_2 + 1)$$

ცვლადი

$$x = x' - m_1 + \frac{(q_1 - 1)l}{q_1 - q_2 - 2}$$

VII პირსონის მრუდი

მრუდის განტოლება

$$\tilde{n}_i = n_0 \left(1 + \frac{x^2}{l^2}\right)^{-q}$$

სადაც

$$q = \frac{5z_4 - 9}{2(z_4 - 3)} > 0$$

$$l = \sqrt{\frac{2z_4}{z_4 - 3}}$$

$$\tilde{n}_0 = \frac{n}{l} \cdot \frac{\Gamma(q)}{\Gamma(q - \frac{1}{2}) \Gamma(-\frac{1}{2})}$$

$$\lg \tilde{n}_0 = \lg n - \lg l + \lg \Gamma(q) - \lg \Gamma(q - \frac{1}{2}) - \lg \Gamma(-\frac{1}{2})$$

$$x = x' - m$$

ნორმალური განაწილება

სიხშირეების გამოსაადგელი ფორმულა

$$\tilde{n}_i = \frac{n}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$x = \frac{x' - m}{\sigma}$$

განსაზღვრავთ მნიშვნელობას $f(x)$

ვპოულობთ გამიანაბრებელი სიხშირეების ლოგარითმს

$$\lg \tilde{n}_i = \lg f(x) + \lg(n) - \lg \sigma$$

დასასრულს უნდა აღინიშნოს, რომ I-VII პირსონის მრუდები პრაქტიკულად

შარაგენ ყველა შემთხვევითი სიდიდეების განაწილებას.

მაგლუვებელი მრუდის ტიპის განსაზღვრის შემდეგ ვასრულებთ რიც-

ხვით ინტეგრირებას ფორმულით

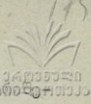
$$P = \int_0^{\infty} g(z) dz$$

სადაც $g(z)$ - არის ნაგებობის მდგომარეობის პარამეტრის ალბათობის

სიმკვრივე.

სტატისტიკური მოდელირების მიხედვით ნაგებობის მდგომარეობის

პარამეტრის შემოთავაზებული სქემატიზაცია, სხვადასხვა ნაგებობების საი



საიმედოობის შეფასების შემთხვევაში, მრავალი საინჟინრო გაანგარიშების დასაბუთების უნივერსალურია, გაანგარიშების ამ მოდელის გამოსაყენებლად აუცილებელია მივმართოთ განაწილების კანონს ცნობილი პარამეტრებით და შემთავაზებული სტემატიზაციის პირველი ნაწილით მივიღოთ შემთხვევითი სიდიდეების სასურველი რაოდენობა.

9.2. ბეტონის გრავიტაციული კაზელტის მდგრადობის გაანგარიშებაში სტატისტიკური მეთოდის საშუალებით ბეტონის გრავიტაციული კაზელტის მდგრადობის გაანგარიშების სქემა

1. ძვრზე მდგრადობის უზრუნველსაყოფად /16/

$$n_c N_p \leq \frac{m}{K_H} R$$

სადაც N_p - არის ძვრის გამომწვევი გაანგარიშებული განზოგადოებული ძალა,

R - არის წინააღმდეგობის გამწვევი ძალების განზოგადებული მნიშვნელობა;

n_c - არის დატვირთვის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი,

K_H - არის საიმედოობის კოეფიციენტი,

m - არის სამუშაოს პირობის კოეფიციენტი,

შეგი აღვნიშნავთ $N_p = -T$

$$R = P t_g \psi + c F$$

სადაც T, P - არის შორიზონტალური და ვერტიკალური ძალების შესაბამისი ჯამი,

$t_g \psi, c$ - არის ძვრის მახასიათებლები,

მდგრადობის მაჩვენებლისათვის A_{332} ვღებულობთ $A_{332} = \frac{m}{K_H} P = \frac{m}{K_H} (P t_g \psi + c F) / n_c T$

2. "ნაგებობა-საძირკველი" სისტემის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად ზღვრული მოხრუნების დროს

$$n_c \sum M_{აბბ} \leq \frac{m_n}{K_H} M_{333}$$

$$A_{აბბ} = \frac{m_n}{n_c K_H} \frac{\sum M_{333}}{\sum M_{აბბ}}$$

სადაც $\sum M_{აბ}$ და $\sum M_{აბ}$ - ძალების ჯამური მომენტები, რომლებიც მიხსრანფვიან მოაბრუნონ და შეაკავონ ნავებობა მობრუნების 0 ღერძის მიმართ, გამონაგარიშებული, როგორც ცალკეულად ყველა ძალის მომენტების ჯამი. საერთო სახით შეიძლება ჩაიწეროს

$$\sum M_{აბ} = T_e (h_e + d) + W_{\phi} (l_{\phi} - a) + W_e (l_e - a)$$

$$\sum M_{აბ} = G (l_g - a) + T_H (h_H + d) + Q_{L3} (l_{L3} / 2)$$

სადაც T_e, T_H, G, W_{ϕ} და W_e - არის ნავებობაზე მოქმედი გაანგარიშებული აქტიური ძალები

h_e, h_H, l_g, l_{ϕ} და l_e - არის მითითებული

ძალების მხები ნავებობის ქვედა წახნაგის წიბოს შეფერხებით

Q_{L3} - არის კლდოვანი

საფუძვლის თეღვის ზღვრული წინააღობის გაანგარიშების ძალა

Q_{L3} თეღვის ფართობის სივრძე

3. კლდის საბჯენის არსებობის შემთხვევაში მდგრადობის უზრუნ-

ველყოფად /58/

$$K = \frac{1}{H^2 R_{L3}^{აბ}} (56,18 R_{L3}^{საბჯენი} h^2 + H^2 R_{L3}^{აბ} \frac{W_{\phi}^{აბ}}{W_{\phi}^{აბ}}) \omega$$

- სადაც H და h - არის კაშხალის და საბჯენის სიმაღლე,
 $R_{L3}^{აბ}$ და $R_{L3}^{საბჯენი}$ - არის საფუძველში და საბჯენში კლდოვანი მასივის სიმტკიცე თეღვაზე,
 $W_{\phi}^{აბ}, W_{\phi}^{აბ}$ - არის ზღვრული ჰორიზონტალური და ტვირთის ტოქმე-
 დი, აღრიცხვით და აღურიცხვითად,
 ω - არის ნავებობების სიმაღლეზე დამოკიდებული შეს-
 წორების კოეფიციენტი 60, 100, 150მ. სიმაღლემდე
 და უფრო მაღლა შესაბამისად 1.036, 1.042,
 და 0,998



9.2.2. სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების მდგრადობის შესაფასებლად

გრავიტაციული ბეტონის კაშხალების მდგრადობის გაანგარიშებები ბერის, ზღვრული მოზრუნების ან გადაყირავების სქემებით, ანდა კლდის საბუნების გაანგარიშებით სრულდებოდნენ სტატისტიკური მოდელირების მეთოდით /107/. ნაგებობის საიმედოობა განისაზღვრებოდა ყველა გაანგარიშების სქემის მიხედვით. მთლიან საიმედოობას განსაზღვრავდნენ "უსუსტესი რგოლის მოდელის" მიხედვით /163/ $P = \min P_i$

ფორმულით, სადაც P_i არის საიმედოობის მნიშვნელობები გაანგარიშების განსაზღვრული სქემის მიხედვით.

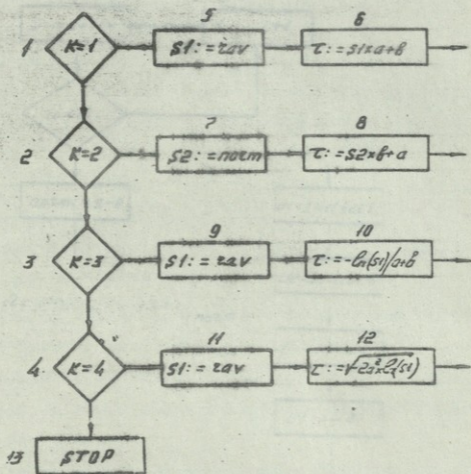
განვიხილოთ სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების მდგრადობის შესაფასებლად /96/

ბერის გაანგარიშებისას სიმტკიცის მაჩვენებლებს c, f ფაქტით შემთხვევით სიდიდეებად, აგრეთვე მოზრუნების, და კლდის სამბუნების გათვალისწინებით გაანგარიშებისას შესაბამისი შემთხვევითი ფაქტით $R_{sa}^{ლ.ა.}, R_{sa}^{ს.ა.}$ სიდიდეებს

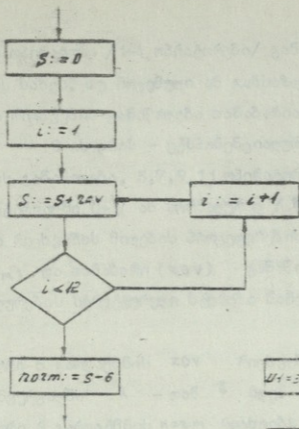
ფორტრანის ენაზე იყო შედგენილი პროგრამა /~~X X X X X X X X~~/, რომელიც რამდენიმე ბლოკისაგან შედგებოდა.

პირველ ბლოკში მოყვანილი იყო გაანგარიშებები სტატისტიკური გამოცდების მეთოდით. მივმართავთ c, f, R_{sa} განაწილების კანონს ვნიშნავთ მოცემული შემთხვევითი სიდიდეების რეალიზაციებს.

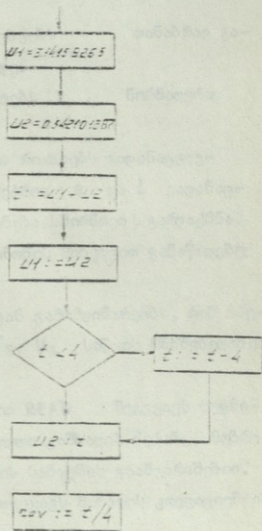
0:1 ინტერვალში თანაბრობის კანონის მიხედვით განაწილებული შემთხვევითი რიცხვები გარდაქმნიან შემთხვევით რიცხვებს განაწილების საჭირო კანონს მოცემული პარამეტრით, შემთხვევითი რიცხვების გაანგარიშების ალგორითმის სტრუქტურული სქემა, თანაბარი, ნორმალური, ექსპონენციალური, რელეის გაანგარიშების კანონებით მოცემულია 9.1 ნახატზე.



ნახ.9.1. შემახვევითი რიცხვების თანმიმდევრობის გაანგარიშების ალგორითმების სქემა, რომლებიც განაწილებულია არჩიან თანაბარი, ნორმალური, ექსპონენციალური და რღვევის კანონით



Յօժ. 9.2. Մոմանտների սման (norm)



Յօժ. 9.3. Մոմանտների սման



პირველი ოთხი ოპერატორი /1-4 ოპერატორები/ განსაზღვრავენ განაწილების კანონის სახეს. თუ მოცემული ან განსაზღვრული $\rho = 1$, მაშინ მიღებული რიცხვების განაწილება თანაბარია, $\rho = 2$ -ის დროს ნორმალური, $\rho = 3$ -ის დროს - ექსპონენციალური, $\rho = 4$ -ის დროს გვაქვს რეღვის განაწილება, 5, 7, 9, 11 ოპერატორები ახორციელებენ თანაბრად /ინტერვალში $0+1/$ ან ნორმალურად / $M(x) = 0$, $\sigma = 1/$ განაწილებული რიცხვების მიღების პროცედურებისკენ მიზრუნებას. ნორმალური (НОРМ) და თანაბარი (ЗДВ) განაწილებული რიცხვების მიღების პროცედურების სტრუქტურული სქემები ნაჩვენებია 9.2 და 9.3 ნახატებზე.

ოპერატორი 6 გარდაქმნის ZDV რიცხვებს თანაბრად განაწილებულ ინტერვალში a - დან b მდე.

ოპერატორი 8 გარდაქმნის ნორმალურად განაწილებულებს $M(x) = a$ $\sigma = b$

ოპერატორი 10 ანგარიშობს შემთხვევით რიცხვებს გადანაცვლებული ექსპონენციალური განაწილებით პარამეტრით a და b გადანაცვლებული პარამეტრით. ამასთანავე გამოიყენება სმირნოვის გარდაქმნა.

ოპერატორი 12 ანგარიშობს რეღვის კანონის მიხედვით განაწილებულ შემთხვევით რიცხვებს.

ყველა ზემოთ აღწერილი პროცედურებიდან გამომდინარეობს, რომ ოპერატორები, რომლებიც მიიწერენ ცვლად u_1 და u_2 სიწყის მნიშვნელობებს $u_1 = 3, 14 159265$; $u_2 = 0, 542101887$

მეორე ბლოკში ოპერატორის საშუალებით READ შეგვყავს მუდმივი სიდიდეები, რომლებიც შედიან გრაფიკაციული კაშხალის ძვრაზე, მიზრუნებაზე გაანგარიშების ფორმულაში და კლდის საბჯენის გაანგარიშებით. ამის შემდეგ ყოველი რეალიზაციისათვის მოგვყავს მარაგის კოეფიციენტის



დღევანდელი მინერალური გაანგარიშება. მიღებული მნიშვნელობები მიგვაჩვენებს, რომ საკვირველ შემთხვევით სიდიდეებია.

მესამე ბლოკში მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტების მონაცემების მიღებისას, ძვრის, მოზრუნების და კლდის საბჯენის შემთხვევაში, განიხილეთ განიხილეთ საწყისი, ცენტრალური და ძირითადი მომენტები მეოთხე რიგის ჩათვლით. იმავე ბლოკში განისაზღვრება კოეფიციენტი /კრიტიკული, რომლის მნიშვნელობის მიხედვითაც შეიძლება დადგინდეს I-VIII პირსონის მრუდების ტიპი ან ნორმალური განაწილების მრუდი. მიღებულ მრუდთან დამოკიდებულებაში გაანგარიშება მიმდინარეობს განსაზღვრული სქემით პირსონის მრუდებისათვის და ნორმალური განაწილებისათვის./

ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების მდგრადობის გაანგარიშების ადგილობრივი სტრუქტურული სქემა მოყვანილია 9.4 ნახატზე.

ამის შემდეგ სრულდება რიცხვითი ინტეგრირება ფორმული

$$p = \int_0^1 f(\kappa) d\kappa$$

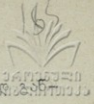
განსაზღვრავთ საიმედოობის ძვრის, ნაგებობის მოზრუნების და კლდის საბჯენის შემთხვევაში.

სტატისტიკური მოდელირების მეშვეობით ბეტონის გრავიტაციული კაშხალის მდგრადობის შეფასების შემთავაზებული მეტოდიკა გამოყენებული იყო საექსპლუატაციო მდინარე პატარა დილიში, ბეტონის გრავიტაციული კაშხალის დაპროექტებისათვის /ნახ. 9.5./

ძვრის მიმართ მდგრადობის განხილვის დროს ძვრის მახასიათებლები $f = 0,7$ $e = 20$ კნ

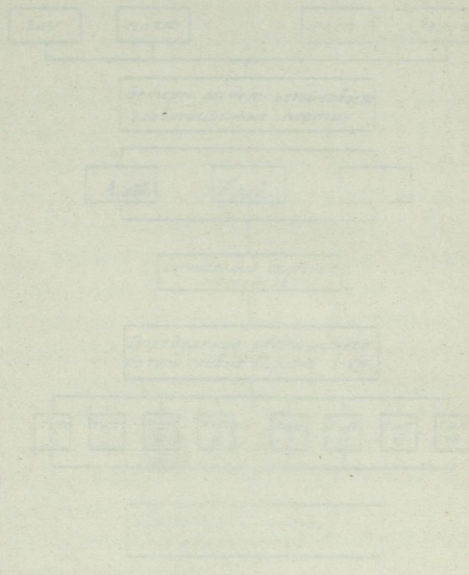
"ნაგებობა-საფუძველი" სქემით გაანგარიშების დროს, ზღვრული მიზნების წინააღმდეგ კლდის საფუძველის სიმტკიცე $R_a^{ლპ} = 15,0$ აპა ხოლო კლდის საბჯენის გაანგარიშების დროს $R_a^{საბ} = 9,0$

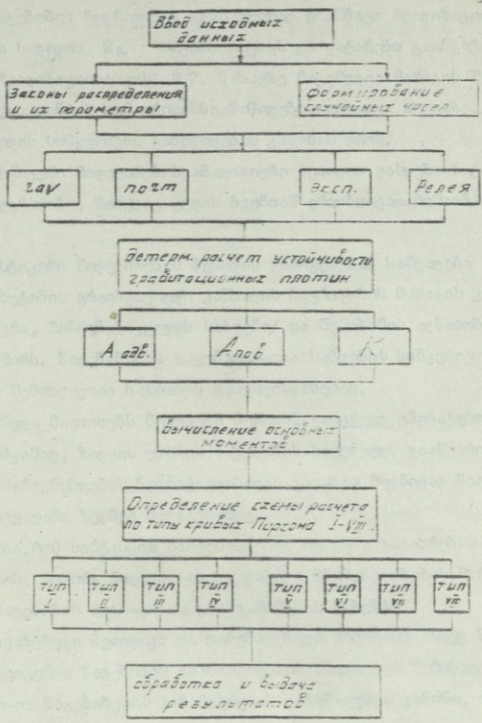
f და e პარამეტრების განაწილების კანონებით მოდელირებისას $V = 0,1$



ნორმალური განაწილების კანონისათვის, ასევე შესაბამისად განაწილების კანონისათვის, ყველა რეალიზაციისათვის მივღებთ შემთხვევითი კოეფიციენტის 10000 მნიშვნელობა.

განგარიშების მონაცემებით აგებულია მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის სიმკვრივის განაწილების გრაფიკი, საუბრეველის სიგანის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს ძველის შემთხვევისათვის /ნახ.9.6./





ՅՈՒՄ. 9.4. ՁեթաՑիւթույթ ճեթաՑիւթույթ
ՅՈՒՄՆԻՅ ՈՒՄՆԵՆՏԵՑ ԵՄՔԻՆՈՒՄՆԻՅ ՍԼՈՒԿԻՆ



სტატისტიკური მოდელირების მეთოდით, ზღვრული მოზრუნების სტატისტიკური მეთოდით ნაგებობის მდგრადობის განსაზღვრად ვნიშნავთ რეალიზაციის შემთხვევითი სიდიდის R_a საჭირო რიცხვს და ვატარებთ გაანგარიშებას ყველა რეალიზაციისათვის. 9.7. ნახატზე მოცემულია მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის სიმკვრივის განაწილების გრაფიკი თელავზე კლდოვანი საფუძვლის სიმკვრივის განაწილების კანონის დროს.

სტატისტიკური მოდელირების ანალოგიური მეთოდით ფასდება ბეტონის კაშხლის მდგრადობა, რომელიც კლდის ბუნებრივ ერობლივად მუშაობს /ნახ. 9.8/

სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მიგვცა დადგინდეს ბეტონის გრავიტაციული კაშხლის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტსა /მვრა, მოზრუნება, კლდის საბუნენი/ და შესაბამის აღბათობებთან უთიერდავშირს. ნაგებობების საფუძვლისა და საბუნენის სიმკვრივის მარკვენებლების შემთხვევითი ხასიათის გათვალისწინებით.

აღნიშნული მიუთითებს მოცემული მეთოდის გარკვეულ უპირატესობაზე, რადგანაც ამჟამად, ზიდვის უნარით ნაგებობის საფუძვლს გაანგარიშებაში, სიმტკიცის მარკვენებლების ნორმატიულობიდან გადახრა მულმივად მიიღება, ამას კი, მივყავართ ზედმიტ მარაგებამდე.

ნათელია, რომ სიმტკიცის მარკვენებლების რეალური გადახრების გაანგარიშების დროს, როგორც მაღალი, ისევე დაბალი მნიშვნელობების მხრივ, მაღაღება ნაგებობის მდგრადობის გაანგარიშების სიზუსტე.

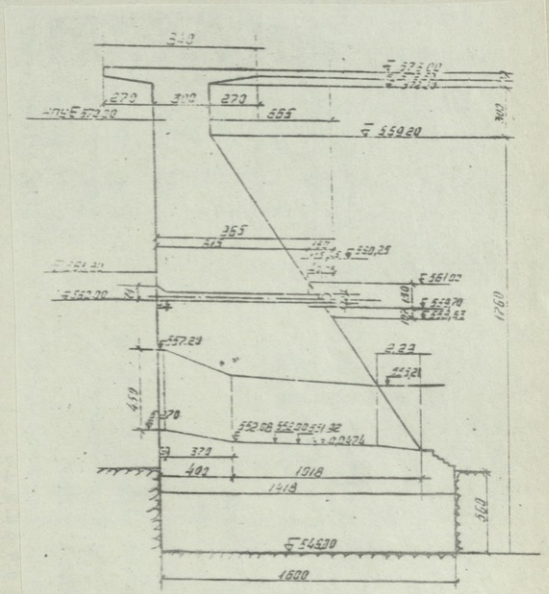
შემოთავაზებული მეთოდი და დამუშავებული პროგრამა ასევე შეიძლება გამოვიყენოთ ნაგებობის გაანგარიშების ანალოგიურ შემთხვევებზე, უკი ცნობილია ნაგებობების პარამეტრების განაწილების კანონი, რომელიც ცვლადებადობით ხასიათდებიან.

9.3. ზემოთნახსენებულ კაშხლის ოპტიმალური
სანიმულოების განსაზღვრა



საქართველოს
საქართველოს
საქართველოს

წინააღმდეგობით, ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით, ნაგებობის გაანგარიშების წარმოუგენილი მეთოდი საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ალბათობითი ბუნება, როგორც მასალის თვისებების ისევე დატვირთვების კერძოდ.



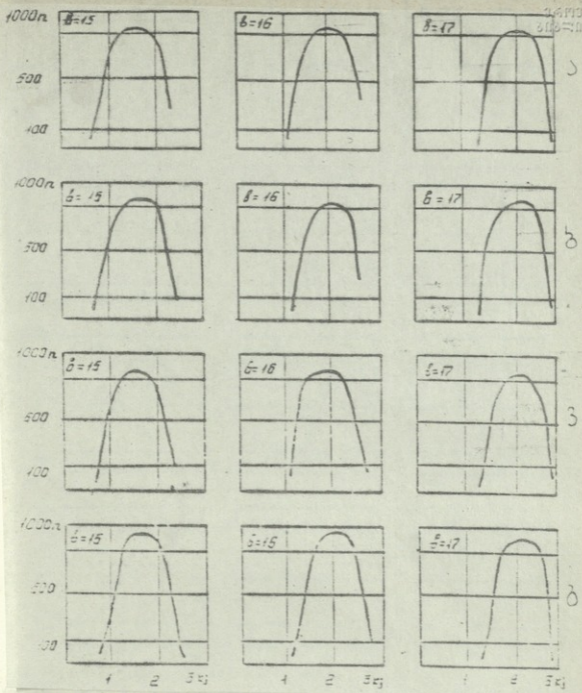
ნახ. 9.5. საპროექტული კაშხლის-პატარა დიდიშვილის წყლის სვეტის

გადკოეფიც.	ნორმატიული შალა	ფანქონიანი წერტილი			
		შხარი	მომენტი	შხარი	მომენტი

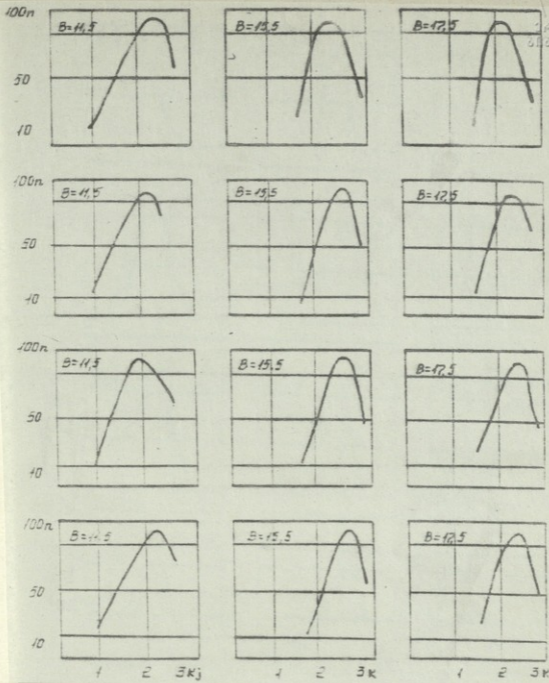
მომენტის კალკულაციები

$q_1 = 8,480 + 0,3 \cdot \frac{3+8}{2} \cdot 4 + 3 \times 3 \times 2,5 = 14,91$	0,35	14,16	14,5	-205,3	6,5	-92,04
$q_2 = 3 \times 18,2 \times 2,4 = 131,04$	0,95	124,43	14,5	-1805,1	6,5	-809,2
$q_3 = \frac{I}{S} \cdot 18,2 \times 11,56 \times 2,4 = 252,47$	0,95	239,85	3,15	-2194,6	1,15	-275,8
$q_4 = (1,75 \times 3,5 + \frac{3 \cdot 14 \times 1,75}{2}) \times 2,4 = -26,25$	0,95	-24,93	10,25	255,6	2,25	56,1
$q_5 = 16 \times 5 \times 2,4 = 192$	0,95	182,4	8,0	-1459,2	0	0
$P_{L3} = 0,5 \cdot 1,5 \times 16 = 40$	I	-40	8,0	320	0	0
$P_{P} = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1,16 = 168$	I	-168	10,67	1795,5	2,67	448,5
კოორდინატების კალკულაციები		$\Sigma N = 328$	10,03			672,44
$W_1 = 0,5 \quad \gamma_c H_1^2 = 0,5 \cdot 1,26^2 = 338$	I	338	8,67	2930,5	8,67	2930,5
$W_2 = 0,5 \quad \gamma_c H_2^2 = 0,5 \cdot 1,5^2 = 12,5$	I	-12,5	1,67	-20,88	1,67	-20,88
		$\Sigma W = 325,5$	8,93			2903,6

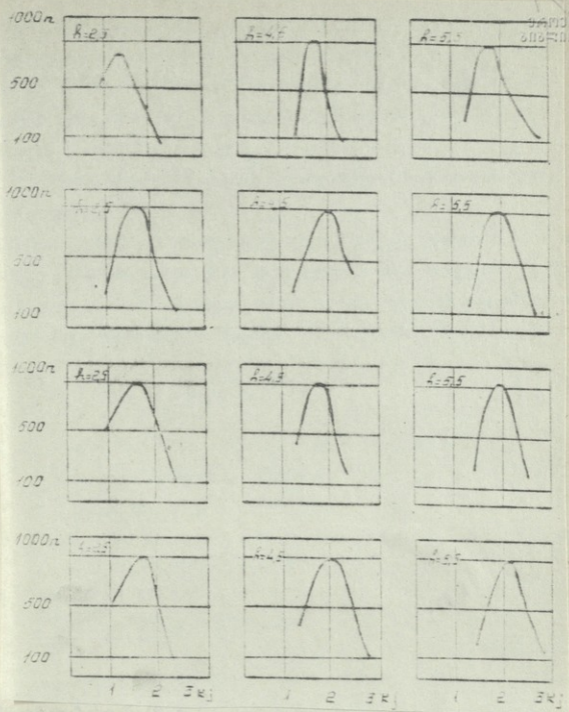
შენიშვნა: გაანგარიშება ჩატარებულია საბჭოთა სტანდარტების მიხედვით.



ნახ. 9.6. მკრის შემთხვევისათვის თანაბარი /ა./ ნორმალური /ბ./, ექსპონენციალური /გ/ და რელების განაწილების /დ/ მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის სიმკვრივის აღბათობა ფუნქციის სხვადასხვა საგანის დროს



ნახ. 9.7. თანაბარი /ა/, ნორმალური /ბ/, ექსპონენციალური/ვ/ და რელისის განაწილების /გ/ მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის სინკვრივის ალბათობა ზღვრული მიზრუნების დროს



ნახ. 9.8. კულის ბუნების გათვალისწინებით თანაბარი E , ნორმალური r , ექსტრენციული r და რელის განაწილების r მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის კულის საბუნის სხვადასხვა სიმაღლეების დროს



გავითვალისწინოთ მარაგის კონფიციენტის შემთხვევითი ბუნება, შესაბამისად სი შემთხვევითი ფაქტორების ემპირიულ განაწილებასთან დაკავშირებით, ამასთან შესაძლებლობა გვეძლევა მიახლოვებით დავასაბუთოთ ნაგებობის საბმელოობა, ანუ მინიმური დანახარჯების ეკონომიური კრიტერიუმების განხილვიდან გამომდინარე გადავწყვიტოთ ოპტიმიზაციური ამოცანა, მაგალითად, ნაგებობის მშენებლობაზე და შესაძლებელი დაზიანებიდან ზარადის ანაზღაურება.

წმინდა ეკონომიური პასუხისმგებლობის მქონე ნაგებობების სამუშაოებში /87/, რომლების დაზიანებას არ მივყავართ სხვა შედეგამდე, ვარდა რემონტის ზარადისა ექსპლუატაციის დროებით შეწყვეტასთან დაკავშირებით, ოპტიმალური საიმედოობა განისაზღვრება გამოსახულების მინიმოზაციის პირობიდან

$$\bar{C} = C_0 + \sum V_i \varphi_i \quad /9.3.1./$$

- სადაც C_0 - არის ნაგებობის აგების საწყისი ღირებულება,
- V_i - სხვა დაზიანებების აღბათობა,
- φ_i - ყველა დაზიანებით გამწვეული ზარადი,
- \bar{C} - ნაგებობის აგების, დანგრევისა და დაზიანების ასანაზღაურებელი მოსალოდნელი ჯამური ხარჯები,

ანალიტიკური სახე /9.3.1./

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial V_i} = \frac{\partial C_0}{\partial V_i} + \sum \left(\frac{\partial V_i}{\partial V_i} \varphi_i + \frac{\partial \varphi_i}{\partial V_i} \right) = 0 \quad /9.3.2./$$

თუკი დაზიანების აღბათობა არ არის დამოკიდებული სხვა დაზიანებების აღბათობასთან /9.3.2./ ჩაიწერება ფორმით

$$\frac{\partial C_0}{\partial V_i} + \sum \left(\varphi_i + V_i \frac{\partial \varphi_i}{\partial V_i} \right) = 0 \quad /9.3.3/$$

განვიხილოთ ბეტონის გრავიტაციულ კაშხალში გამჭიმვი ძაბვების კონტაქტის მიმართ, კაშხალის დაწინების წახანაგის მხრივ დაუშვებელი



ნორმალურების წარმოქმნა. ზარალის ღირებულება გამოვსახოთ ფორმულით:

$$\psi = B + \beta \xi \quad /9.3.4./$$

სადაც B - არის ობიექტის ფუნქციონერების დროებით შეწყვეტასთან დაკავშირებული ზარალი,

β - მულტიპლიკაციური კოეფიციენტი,

ξ - კაშხალის საფუძვლის სექციის განი.

ნაგებობის ღირებულება განვსაზღვროთ დამოკიდებულებით

$$C_0 = \alpha \xi \quad /9.3.5./$$

სადაც α - არის მულტიპლიკაციური კოეფიციენტი,

თუკი დაზიანების ერთი მიზეზის განხილვის შემთხვევაში /9.3.3./-ში

ჩავსვამთ /9.3.4/ და /9.3.5./ მივიღებთ

$$(\alpha + \beta \nu) \frac{d\xi}{dV} + B + \beta \xi = 0 \quad /9.3.6./$$

დაზიანების ალბათობის განსაზღვრავად განვიხილოთ "ნაგებობა-სა-ფუძელი" სისტემის მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობები, ზღვრული მოზრუნების დროს

$$A_{\alpha, \beta} = \frac{m_n}{K_n} \sum M_{\alpha, \beta} \quad /9.3.7./$$

სადაც $M_{\alpha, \beta}, M_{\alpha, \beta}$ - არიან ძალების ჯამური მომენტები, რომლებიც ილწვიებიან მოაზრუნონ და შეაკავონ ნაგებობა მოზრუნების დროის შეფარდებით;

n_c, K_n - დატვირთვის და საიმედოობის შეტანების კოეფიციენტი, რომლებიც გამოიყენებიან ნორმების თანახმად, (მდინარის პილტოტქნიკური ნაგებობების პროექტირების ძირითად საფუძვლები)

/9.3.7./ პირობის გამოყენებით, ნაშრომის წინა ნაწილებში სტატისტიკური მოდელირების მეთოდით /56/, /მონტე-კარლოს მეთოდით/, განსაზღვრულია დროკიდებულება ნაგებობის საიმედოობისა /არაბრუნვის ალბათობა/ და კაშხალის საფუძვლის სექციის სიგანეს შორის.

ამ კავშირის აპროქსიმირება შეიძლება მარტივი ერთპარამეტრიანი ექსპონენციალური დამოკიდებულებით

$$V = e^{-\lambda \xi} \quad /9.3.8/$$

განვსაზღვრავთ

$$\frac{dV}{d\xi} = -\lambda \xi e^{-\lambda \xi} \quad /9.3.9/$$

და /9.3.6./-ში ვსვამთ /9.3.9/, ვიღებთ

$$\alpha = \beta V = (\beta + \lambda \xi) \lambda \xi e^{-\lambda \xi}$$

და

$$V = \frac{(\beta + \lambda \xi) \lambda \xi e^{-\lambda \xi}}{\beta} - \frac{d}{\beta} \quad /9.3.10/$$

ალბათობითი პოზიციიდან საიმედოობის კრიტერიუმის განსაზღვრავად შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი მიდგომა. აგრეთვე ვისარგებლოთ /9.3.1/ ფორმულით. მხედველობაში მივიღოთ, რომ ნაგებობის არასრული დანგრევის დროსაც კი, ქვედა ბიეფში დატბორვით მიყენებული შესაძლებელი ზარალის ღირებულება ბევრად აღემატება კაშხალის აშენების C_0 ხარჯებს. აქედან გამომდინარე, ქვედა ბიეფში დატბორვით მიყენებული შესაძლებელი ზარალის ღირებულება არ არის დამოკიდებული მშენებლობის ღირებულებაზე C_0 და იგი შეიძლება მუდმივ სიდიდედ ჩაითვალოს.

ნათელია, რომ შეიძლება ავავიკოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულება

$$V = f(c_0) \text{ ან } P = f(c_0) \quad \text{სადაც } P \text{ - არის საიმედოობის მაჩვენებელი.}$$

მაშინ საერთო ხარჯების /9.3.1/ ფორმულა შეიძლება ასეთი სახით ჩაწეროთ

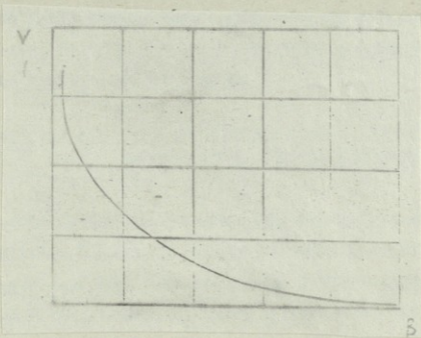
$$\bar{c} = c_0 + \mu P(c_0) \quad /9.3.11/$$

მინიმიზაციის შემდეგ

$$C_{min} = \frac{\partial \bar{c}}{\partial c_0} = 0 \quad /9.3.12/$$

შუაზარალის დირექტულებას გამოქ ატავთ ტოლობით

$$\mu = \alpha c_0 \quad /9.3.13/$$



ნახ. 9.3.1. მიზრუნების აბათობასა და ვუბის სექციის სიგანეს შორის დამოკიდებულება.

სადაც d - არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, შეიძლება ავსაგოთ დამოკიდებულება მშენებლობის ღირებულობისა C_0 და შესაძლებელი ზიანის ღირებულების ფარდობის K და ნაგებობის ღირებულებას $\frac{C_0}{C_0}$ შორის /9.3.2./

როგორც 9.3.2. ნახატის გრაფიკიდან ჩანს, მშენებლობის ღირებულება იზრდება $\frac{C_0}{C_0} = d$ გაზრდით. ეს გრაფიკი /მიდგომა/ საშუალებას იძლევა უფრო დიდი მნიშვნელობების შემთხვევაში ავირჩიოთ ნაგებობის ღირებულება და მისი შესაბამისი ოპტიმალური საიმედოობა.

ზღვრული მიდგომაში დგინდება ნაგებობების საიმედოობასა და მის პარამეტრებს /გეომეტრიული/ შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულება. ცხადია, რომ ასევე შეიძლება ნაგებობის ამორჩეული ღირებულებისათვის დაგნიშნოთ მისი გეომეტრიული პარამეტრები.

9.2. სტატისტიკური ანალიზის მიზნის გამოყენება
 ბეტონის გრაფიტაციული კაშხლების ზოგიერთი გეომეტრიული პარამეტრების დეტალურად

კაშხლების დანგრევის ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული მიზეზია თხემზე წყლის გაღასხმა. ამიტომ, პრაქტიკულად მნიშვნელოვანია, დასაბუთებულად დავნიშნოთ კაშხლის სიმაღლე. წყალსაცავში წყლის ზედაპირიდან ბეტონის გრაფიტაციული კაშხლის თხემის ამოღებას განსაზღვრავენ მორბულით

$$d = h + 4h + \delta$$

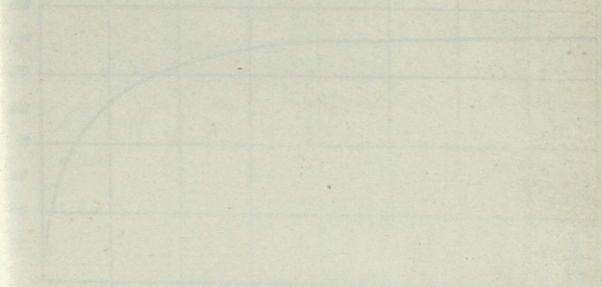
სადაც Δh - არის ქარის აგორების სიმაღლე
 h - არის ქარის ტალღის სიმაღლე, δ - სიდიდე ნაგებობის კლასისაგან არის დამოკიდებული.

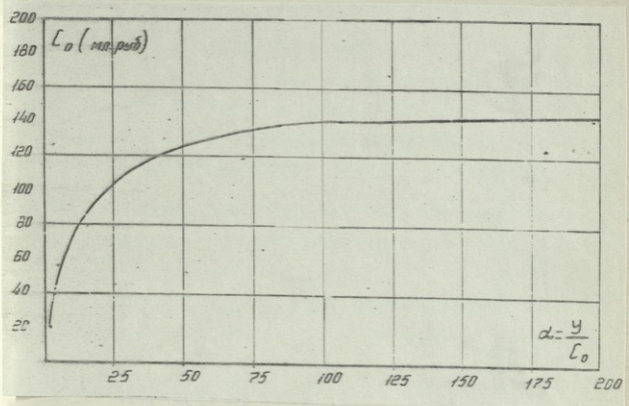
წყალსაცავში, წყლის სტატისტიკური ზედაპირიდან წყალსაცავის სიღრმის ამოღების დასანიშნავად გამოვიყენოთ მიღგომი, რომელიც შემოთავაზებულია /61/ შრომაში. აბ შემოგვყავს მარჯის შემთხვევითი კოეფიციენტის ცნება

$$K = \frac{H - \lambda'}{\Delta \lambda - \lambda_4}$$

სადაც λ' - არის წყალსაცავში წყლის სტატისტიკური ღონე

H - არის კაშხალის სიმაღლე





ნახ. 9.3.2. მშენებლობის ღირებულებასა და შესაძლო დაზიანების ღირებულებას შორის ფარდობის დამოკიდებულება მშენებლობის ღირებულებასთან.



ცნობილია, რომ $\Delta h, h_H, h$

არის ან ქარის სიჩქარის

ფუნქციები და განისაზღვრებიან შემდეგი დამოკიდებულებით /6/:

$$\Delta h = 2 \cdot 10^3 \frac{\omega_{10}^2}{gk} \cos \theta$$

სადაც ω_{10} - არის ქარის სიჩქარე, რომელიც გაზომილია წყლის ღონიდან 10 მ-ის სიმაღლეზე,

D - არის ტალღის გაქანების სიგრძე, კმ,

θ - არის კუთხე წყალსაცავის გრძივ ღერძსა და ქარის გაბატონებულ მიმართულებას შორის.

ქარის ტალღის სიმაღლეს განსაზღვრავენ ფორმულით /6/

$$h = \beta \cdot 0,073 k \omega_{10} \sqrt{DE}$$

სადაც k - არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ტალღის ზრდის ინტენსიობას გაქანების წირის გასწვრივ,

E - არის ტალღის დახრლობა,

შემდეგ /65/ შრომაში გამოიყენება ალბათობის თეორიაში ცნობილი გადასვლა, არგუმენტის განაწილების კანონიდან ფუნქციის განაწილების კანონამდე

$$g[K] = f[\psi(\kappa)] [\psi'(\kappa)]$$

სადაც $f[\psi(\kappa)]$ - არის ქარის განაწილების სიჩქარის სიმკვრივე,

$\psi(\kappa)$ - არის ფუნქცია, შექმნილი $\psi(\omega)$

აქ მიღებულია დაშვებები მარტივი ექსპონენციალური განაწილების გამოყენებაზე

$$f(\omega) = \frac{1}{Q} e^{-\frac{\omega}{Q}}$$

და მიღებულია ანალიზური გამოსახულებები მარაგის შემთხვევითი

კოეფიციენტის განაწილების სიმკვრივი სათვის

$$g[K] = \frac{1}{Q} e^{-\frac{\omega}{Q}} [C^2 + 4A(\frac{H-k'}{K})]^{-\frac{1}{2}} K^{-2} (H-k')$$

სადაც

$$A = 2 \cdot 10^{-3} \frac{D \cos \theta}{g k'}$$

$$c = 0,073 k \sqrt{D \epsilon}$$

მოცემული მიდგომის ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ ექსპონენცია-
 ლურისაგან განსხვავებული განაწილების კანონებისათვის მიიღებიან ვეი-
 ბერთელა გამოსახულებები მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტების განაწი-
 ლების სიმკვრივისათვის. იმავე დროს, მოცემული ამოცანის ამოხსნის ბო-
 ლ შედეგზე უნდა იმოქმედოს განაწილების კანონის სახემ, რადგანაც წყლის
 გადასხმის ალბათობის მისაღები შედეგები მეტად მცირეა.

/6/-ში დამუშავებული გრავიტაციული კაშხალის თემის ღონის ღანიშ-
 ვნის მეთოდის განვითარებაში, ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია სტატისტიკო-
 რი მეთოდის გამოყენება. ხდება რა ქარის სიჩქარის განაწილების სხვადას-
 ხვა კანონების მოდელირება, მათთვის გაანგარიშებულია მარაგის შემთხვე-
 ვითი კოეფიციენტები.

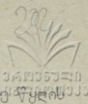
მიღებული შემთხვევითი სიდიდეებისათვის გამოვიანგარიშებთ საწყისს,
 ცენტრალურს და ბირითად მომენტებს მე-4 რიგის ჩათვლით. შემდეგ, განსაზ-
 ზრული მომენტების საშუალებით, ვაღგენთ მაგლუვებელი მრუდების ტიპს.
 მათი აღწერისათვის ვიყენებთ 1-VII პირსონის მრუდებს და ნორმალურ მურდს.

შემდეგ ვაწარმოებთ რიცხვით ინტეგრირებას ფორმულით

$$P = \int_0^{\infty} g(k) dk$$

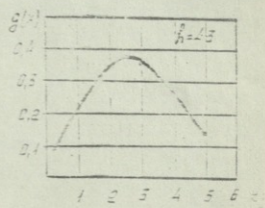
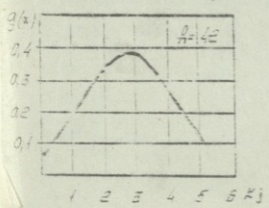
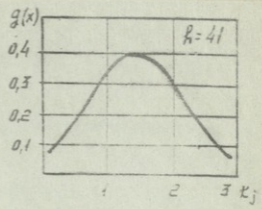
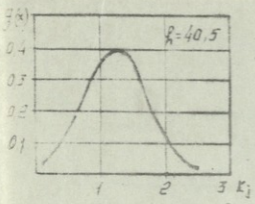
სადაც $g(k)$ - არის მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის სიმკვრივე.

9.3.3. ნახატზე მოცემულია მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის ალ-
 ბათობის სიმკვრივე, ხოლო 9.3.4. ნახატზე - კაშხალის თემზე წყლის სააღ-
 ბათო გადასხმის დამოკიდებულება წყალსაცავის რეგიონში ქარის სიჩქარის
 განაწილების ნორმალური კანონის შემთხვევაში. 9.2.5. ნახატზე ნაჩვენებია
 მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის განაწილების სიმკვრივეები, ხოლო

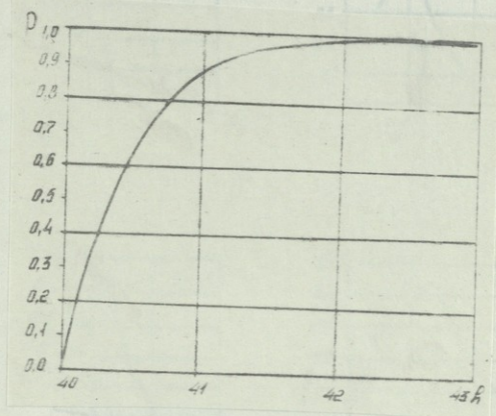


9.3.6. ნახატზე "დამოკიდებულება კაშხალის სიმაღლესა და თხემზე წყლის გადასხმის აღბათობას შორის, ქარის განაწილების ექსპონენციალური განაწილების კანონის დროს.

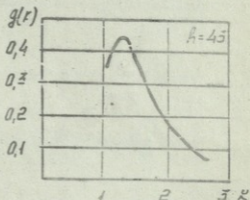
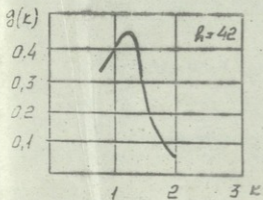
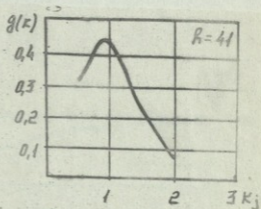
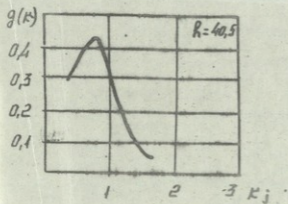
კაშხალის სიმაღლისა და ტალღური ზემოქმედების მარეგნებლებს შორის დამოკიდებულება საშუალებას იძლევა ნაგებობის ნებისმიერი სიმაღლისათვის გვექონდეს კაშხალის თხემის ტალღებით განსაზღვრული მიწწევის აღბათობა.



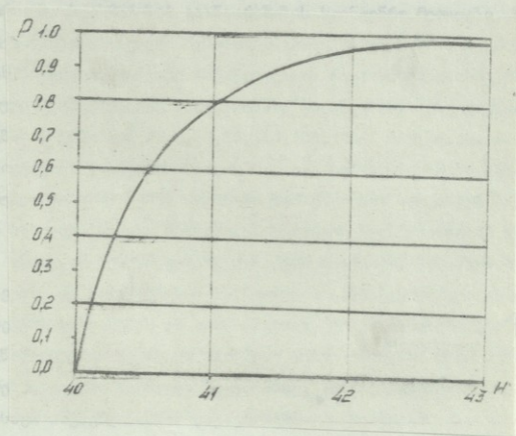
ნახ. 9.3.3. მარჯის შემთხვევითი კოეფიციენტის ალბათობის სიმკვრივე წყალსაცავის რეჟიმონში ქარის სიჩქარის განაწილების ნორმალური კანონის დროს



9.3.4. კაშხლის სიმაღლესა და ძველზე წყლის გადაუსხმელობის აღზაობას შორის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარის განაწილების ნორმალური კანონის დროს.

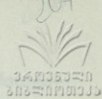


9.3.5. მარაგის შემთხვევითი კოეფიციენტის აღზატობის სიმკვრივე წყალსაცავის რეგონში ქარის სიჩქარის განაწილების ექსპონენციალური კანონის დროს



ნახ. 9.3.6. კაშხლის სიმაღლესა და მხეშვზე წყლის გადაუსხმე-
 ლობის ალბათობას შორის დამოკიდებულება ქარის
 სიჩქარის განაწილების ექსპონენციალური კანონის
 დროს

10. სეისმური ზემოქმედების დროს სხვადასხვა რიგობის
ფუნდამენტების საიმედოობის შეფასება



მიწისძვრის დროს სხვადასხვა ნაგებობის მდგომარეობის წინასწარ-
მეტყველება ნიშნავს - სტიქიის დროს ავარიებისა და კატასტროფების თა-
ვიდან აცდენს. ამჟამად სეისმური ზემოქმედების დროს ობიექტების და
ნაგებობების მდგომარეობის პროგნოზისათვის დამუშავებულია სტატისტი-
კური თეორია და სეისმურობის გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდები, შემო-
თავაზებულია მსხვილპანელური შენობების გაანგარიშების ას საიმედოობის
შეფასების მეთოდები, აგრეთვე გადაწყვეტილია რიგი ამოცანებისა, რაც
დროკიდებულია კონსტრუქციის საიმედოობასა და ანგებობის სხვადასხვა
ელემენტების პროგნოზთან /2,8,80,96,101,105,106/. მიუხედავად ამისა,
მიანც ობიექტების საიმედოობისათვის შემოთავაზებული მეთოდები არა-
სრულყოფილად ითვალისწინებენ სეისმური ზემოქმედების სტოქასტურ განუ-
საზღვრელ ხასიათს, როგორც ზემოქმედების მარცვნილობის უზარმაზარ გა-
ფანტვას, ასევე ამ ზემოქმედებაზე ობიექტის რეაქციას, სამსახურის
ხანგრძლივობას და პარამეტრების საიმედოობის განსაზღვრულ ცვალებადო-
ბას, ობიექტის დაზიანებას და ა.შ. ამასთან, როგორც ანალიზი გვიჩვენ-
ებს, იგნორირება არ გვაძლევს ობიექტის ფუნქციონირების სრულ სურათს
და რიგ შემთხვევებში შეიძლება შევდომამდეც კი მიგვიყვანოს.

სეისმურ მშენებლობასთან დაკავშირებული ამოცანების გადაწყვე-
ტასთან დეტერმინებული მიდგომა არ ითვალისწინებს მოვლენის დამახასია-
ებელ მრავალ ფაქტორს და თუ ითვალისწინებს, მიტად გამართბივებულად.

ობიექტის გაანგარიშებების, რომლებიც განიცდიან საიმედოობაზე
სეისმურ ზემოქმედებას, ძირითადი ამოცანები მდგომარეობს იმ აღბათობის
დადგენაში, რომ სტატისტიკური დროის განმავლობაში საექსპლუატაციო ობიექტი
არ აღმოჩნდება უკიდურეს მდგომარეობაში.

ობიექტების საიმედოობაში, რომლებიც განიცდიან სეისმურ ზემოქმე-
დებას, იჯულისხმება მისი ხარისხის შენარჩუნება ექსპლუატაციის დადგენილი



ვადის განმავლობაში განსაზღვრული გარემო პირობებში და ზოგიერთ შემთხვევაში ზიანების დაშვების გაანგარიშებით, რომლებიც ხელს არ უშლიან ობიექტის ნორმალურ უსაფრთხო ფუნქციონირებას.

**10.1. საინფორმაციო შეფასება ანალიზით
"აღიარებული-ფინანსურადაა"**

სეისმური ზემოქმედების დროს ობიექტების ანალიზის საინფორმაციო იმპულს მიტყვევებს, რომ პროცესი ხასიათდება მრავალი ფაქტორის დიდი რიცხვით, რომლებიც ძირითადად განპირობებული არიან ცვალებადობით, როგორც ობიექტზე სეისმური ძალური ზემოქმედების პროცესში, ასევე ამ ობიექტების ელემენტების ამ ზემოქმედებთან რეაქციით.

ობიექტის სეისმური ზემოქმედების დროს მდგრადობის სტოქასტური სურათი იმას მოწმობს, რომ არ არის იმის გარანტია, რომ სეისმური ძალური ზემოქმედება არ აღემატება ობიექტის წინააღმდეგობას /სეისმობრუნება/. ობიექტის მდგრადობა შეიძლება დახასიათდეს წინააღმდეგობის დონის ძალური ზემოქმედების გადაუმეტებლობის აღზაფხობით ან დეფორმაციის დაშვებლობით.

სეისმური ზემოქმედების დროს, კონსტრუქციის ელემენტების წინააღმდეგობაში იკულისხმება მათი გადამტანი თვისება, ბზარმდებლობა. ელემენტების წინააღმდეგობა დამოკიდებულია არა მხოლოდ მათი გეომეტრიული ზომებზე, ასევე მასალების მიქანიკური თვისებებიდანაც. ეს მახასიათებლები წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს, ვიქტორულ ფუნქციებს. მათთვის ნიშანდობლივია მნიშვნელობების მნიშვნელოვანი გაფანტვა. ასევე ხასიათდება ძალური ზემოქმედებაც. საერთო შემთხვევაში ისინი აღიწერებიან შემთხვევით ფუნქციებით. რადგანაც დროში ეს მახასიათებელი შეიძლება შესამჩნევად შეიცვალოს, ამიტომ ობიექტების საინფორმაციო ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენენ მათი ფუნქციონირების აღზაფხობები. ცხადია, რომ ამ აღზაფხობის

მნიშვნელობა უახლოვდება ერთს, მაშინ ამ პირობებში განხილული
დება აუცილებლად მოხდება. ხდომილების წარმოქმნა იქნება უტყუარი და
პირუკუ, როდესაც აღბათობა უახლოვდება ნულს, ხდომილება არ მოხდება.

ვითვლინო ინტეზ რა გაანგარიშებისათვის აუცილებელ საწყისი ინფორ-
მაციების მიღების სირთულეს, მისაღები სიზუსტის პრაქტიკისათვის მნიშ-
ვნელოვანია საიმედოობის მარცხენა მხრის პრეზენტაციის მიმართული პიება, რაც
ხასიათდება არა მხოლოდ საწყისი ინფორმაციის შეგროვების სიმართლით,
თვითონ გაანგარიშების რატარებითაც. მთავარია, რომ მიმდევრად საშუა-
ლება მოგვეცეს შევაფასოთ სხვადასხვა კონსტრუქციების და დანიშნულებების
ობიექტების საიმედოობა. ამასთან, არ არის აუცილებელი, რომ ამ მიმართების
სიზუსტემ გადააჭარბოს საწყისი ინფორმაციის მიღების სიზუსტეს, რომელთა
სიზუსტემ, როგორც ცნობილია, დიდი არ არის, რადგანაც დამოკიდებულია მო-
ცემული დაკვირვებების მიღების ათეულ პირობითობაზე.

საიმედოობის პრეზენტაციის ასეთი მიმართული შეიძლება მივიღოთ, თუკი
გამოვიყენებთ სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების საიმედოობის ფუნქცი-
ონირების პრეზენტაციის მოდელს, რაც დამყარებულია ე.წ. მიმდევრად ზემოქმე-
დება-წინააღობა" /39,50,51,52,74,81,149,163/. ამგვარად, სებისმური
ზემოქმედების დროს შევეცადოთ გამოვიყენოთ ტექნიკური სისტემების საი-
მედოობის თეორიის ეს ხერხი სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების საიმე-
დოობის მიახლოებით შეფასებისათვის. თუკი /50,51,52/- ის ანალოგიურად
ვიმსჯელებთ, წყობიდან გამოსვლა, ობიექტის /დემინტის/ მტყუნება, იდეა-
ლურ შემთხვევაში ხასიათდება "განზოგადებულ წინააღობალობით" ან ობიექტის
რეაქციით და დატვირთვის განზოგადებული გარე ზემოქმედებით.

განზოგადებული წინააღობალობის პარამეტრებს განეკუთვნებიან პარა-
მეტრები, რომლებიც ახასიათებენ ობიექტის თვისებას, ხოლო გარე ზემოქმე-
დების განზოგადებულ პარამეტრებს მიეკუთვნებიან ყველა მახასიათებელი,
რომლებიც აღწერენ გარე ზემოქმედებას. მოცემული ამოცანის ამოხსნისას
განზოგადებულ წინააღობალობად შეიძლება ჩავთვალოთ ობიექტის სებისმოდ-

გობა, დახასიათებული დაზიანების მარკვენტლის საწყისი მნიშვნელობით,
 ხოლო გარე ზემოქმედებად - დაზიანების ფაქტიური მნიშვნელობა.

სხვა მნიშვნელობების გამოსყენების დროს გარე ზემოქმედების განზომილება და წინააღობა უნდა აღინიშნოს ერთი და იგივე ერთეულით.

თუკი გავითვალისწინებთ წინააღობის განმსაზღვრავ, როგორც შეუფერხებლობის, ასევე ფაქტორების შემთხვევით ბუნებას, სხვადასხვა ელემენტების საიმედოობის გაანგარიშების შესრულებისას, უპირატესობა უნდა მიეცეს ვადაწივი მნიშვნელობებს ალბათობით დაყენებით, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გავითვალისწინოთ ინფორმაცია ობიექტის ფუნქციონირების შესახებ.

ამოცანის გასამართლებლად გარე ზემოქმედებად მივიღოთ მიწისძვრის დროს დაზიანების ნამდვილი / ფაქტიური ან მოსალოდნელი / მნიშვნელობა, ხოლო წინააღობად მივიღოთ დაზიანების ზღვრული მისაღები მნიშვნელობა.

ობიექტების ექსპლუატაციის ვარჯისობის შეფასებისას ასეთი მიდგომის გამოყენების სასარგებლოდ მიტყვევებს ის, რომ არა ყველა ზღვრული მდგომარეობა შეიძლება შემოწმდეს მხოლოდ გაანგარიშების გზით. ამგვარი მიდგომით შეიძლება შეფასდეს სხვადასხვა სიტუაცია, რაშიც შეიძლება აღმოჩნდნენ გასაანალიზებული ობიექტები გარემოს ყველა პირობებში. ყველა სიტუაციისათვის უნდა განხორციელდეს შემოწმება საიმედოობაზე, რა თქმა უნდა, დაზიანების შესაბამისი მონაცემების გამოყენებით. სპეციალური ამოცანების გადასაწყვეტად შეიძლება გამოვიყენოთ დაზიანების სხვა დამახასიათებელი მნიშვნელობები / ან სხვა მარკვენტლები /. თუკი გარემო ახდენს დაზიანების ინტენსიფიკაციას ეს განსაკუთრებულად უნდა იყოს გათვალისწინებული.

შეგახსენებთ, რომ მიწისძვრის შემდეგ, მომქმედი სკალის მიხედვით შენობის მდგომარეობა ხასიათდება მიუხედავად ხარისხის დაზიანებით. დაზიანების ხარისხი სიდიდის დასადგენად შეიძლება იყოს გამოყენებული:

- 1/ $d = 1$ / მსუბუქი დაზიანებები / - პანელის კონსტრუქციის სხვადასხვა ადგილებზე მსუბუქი ბზარები, მათი წარმოშობა მცირე ნაწილზე ღიობებისა და ზღუდარების აღვივას;
- 2/ $d = 2$ / ზომიერი / - ბზარები მრავალი პანე-



დის კონტურზე, მათ მიერ შეპირაპირებული შეერთების კონტურირება, ზღუდრები ზღუდარებში და სარკმლის ღიობების კუთხეებში, აგრეთვე მოლიანი კედლის ცალკე პანელებში: 3/ $d=3$ /მიმიმ/ პანელების პირაპირი შეერთებისას მასიური კონტურირება კარგად შესამჩნევი ბზარებით, პანელებში მრავლად განვითარებული ბზარებში /განსაკუთრებით, ზღუდარებში და სარკმლის ღიობების კუთხეებში /ზეტონის ამოქვლევით, კავშირების გაწყვეტა კედლის ნაწილსა და სხვადასხვა პანელების 2 სთ-მდე გადანაცვლებას შორის; 4/ $d=4$ /დანგრევა/ - სხვადასხვა გადახურვის ფილების ვარდნა, პანელების 22სმ-ზე მეტი ურთიერთ გადანაცვლება, პანელებში გამჭოლი ბზარები; 5/ $d=5$ /ჩამოქვევები/ - კედლების და გადახურვების ჩამოქვევები შენობის მნიშვნელოვან ნაწილზე /80,81/.

ტერმინ "დაზიანების" ქვეშ ნაშრომში იგულისხმება ან არასაკმარისი საიმედოობა, ან არასაკმარისი საექსპლუატაციო უსაფრთხოება. უსაფრთხოების მარკენებლები ჩვეულებრივ უფრო მაღალია, ვიდრე საექსპლუატაციო ვანტილირების აღბათობა.

ეს არ გამორიცხავს გარე ზემოქმედების და წინააღმდეგობის სახით მივიღოთ სხვა მახასიათებლები, შესაბამისად გამოსახული სეისმური ზემოქმედება და სეისმომდებლობა.

წინააღმდეგობასა და გარე ზემოქმედებას შორის სხვაობას ახასიათებს უსაფრთხოების ხარისხი

$$Z = R - P \quad /10.1/$$

როცა R და P აღწერილიან შემთხვევითი პროცესებით, მაშინ /10.1/ თანაფარდობა განსაზღვრავს ობიექტის შეუფერხებელი ფუნქციონირების აღბათობას დროის სხვადასხვა მომენტში, მათ შორის საწყის მომენტში.

R - ანუ წინააღმდეგობა უნდა იხეთი იყოს, რომ დაზიანების ხარისხის არ აღემატებოდეს $d=3$

P - ზემოქმედება ისეთია, რომ საიმედოობის ხარისხი d_i გარე ზემოქმედების და წინააღმდეგობის განაწილების მრუდები შეიძლება გადაიკვეთონ, ეს იმის ნიშანია, რომ მოღებულ გარე ზემოქმედება

ამიტომ სიბრტყის /ოვალის/ მიერ გაწეული წინააღმდეგობას, გაანვიხილო-
 ვის არც /ფართობი/ იმაზე მიუთითებს, რომ ირდევია ნორმალური ფუნქციო-
 ნირების პირობები /თბილისი გამოცემის მკვლევარიდან, სრულდება მტყუნება/.
 ამოვანა არსებითად მარტივდება განსაზღვრული პარამეტრების ნორმალურ
 კანონზე დაქვემდებარების დაშვების შემთხვევაში. თუკი მივიღებთ μ და
 R აღწერისათვის ნორმალურად განაწილებულს ასევე შეიძლება Z ისათ-
 ვის იყოს გამოყენებული ნორმალური განაწილება მათემატიკური ლოდინით
 /50,51,52,74/

$$M_z = M_R - M_\mu \quad /10.2/$$

დისპერსიით

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_R^2 - 2\rho\sigma_R\sigma_\mu} \quad /10.3/$$

Z სიდიდის განაწილების სიმკვრივე

$$f(z) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad /10.4/$$

იმის აღბათობა, რომ გარე ზემოქმედების სიდიდე არ აღემატება წინააღმდე-
 გობას, აღწერილია განტოლებით

$$P(z > 0) = \int_0^\infty f(z) dz = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \exp\left[-\frac{(z - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right] dz \quad /10.5./$$

თუკი გამოვიყენებთ ლაპლასის ნორმირებულ ფუნქციას, გვიქნება

$$P(z > 0) = \Phi\left(\frac{m_z}{\sigma_z}\right) \quad /10.6/$$

სადაც

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

როდესაც წინააღობასა და გარე ზემოქმედებას შორის არსებული სტატისტიკური კავშირი $\rho = 0$, შეუფერხებელი ფუნქციონირების ალბათობა /საიმედლობა/ გამოისახება განტოლებით

$$P(z > 0) = \Phi \left[\frac{M_R - M_z}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_p^2}} \right] \quad /10.7./$$

პრაქტიკაში შეიძლება იყოს შემთხვევები, როდესაც წინააღობა სეისმური ზემოქმედების მიმართ არ იცვლება, ანუ $\sigma_R = 0$, მაშინ $\sigma_z = \sigma_p$ მაშინ $R = const$

$$P(z > 0) = \Phi \left(\frac{M_R}{\sigma_p} \right) \quad /10.8./$$

$$P = \Phi \left[\frac{M_R - M_p}{\sigma_p M_p} \right] \quad /10.9./$$

სადაც σ_p - არის დატვირთვის ვარიაციის კოეფიციენტი

რადგანაც საშუალო მნიშვნელობა არის წერტილოვანი შეფასება, მას შეიძლება მიეწეროს ერთადერთი მნიშვნელობა, რომელიც არ ითვალისწინებს გადახრებს, ხოლო პრაქტიკაში რეალური სიდიდეების საშუალოდან გადახრის ზღვარის აუცილებელი მნიშვნელობა. წერტილოვანთან ერთად საჭიროა ინტერვალური შეფასებაც, რომლის დროსაც ნაჩვენებია, რომ გასაანალიზებელმა პარამეტრმა განსაზღვრული, ადრე მოცემული ალბათობით შეიძლება მიიღოს მნიშვნელობა, რომელიც დევს მოცემულ ინტერვალში, რასაც ეწოდება სარწმუნო. ამ ინტერვალის საზღვრებს სარწმუნო დონე ეწოდება. შეგახსენებთ, რომ სარწმუნო ალბათობა /უტყუარობით/ ეწოდება იმის ალბათობას, რომ შესაფასებელი პარამეტრის ნამდვილი მნიშვნელობა ან რიცხვითი მახასიათებლები დევს მოცემულ ინტერვალში, რომელსაც სარწმუნო ეწოდება /81, 149/.

მოცემული ზღვარის გადაუშეტიებლობის პირობის შესრულების შეფასებითი ალბათობები გამოისახებიან

$$P_H = P_0 \pm t_\alpha \sqrt{D(P_H)} \quad /10.10/$$

სადაც P_H - არის შეუფერხებელი ფუნქციონირების ალბათობის შეფასება
 t_a - არის ნორმალური განაწილების კვანტილი

$D(P_H)$ - არის შეფასების დისპერსია

საიმედოობის პროგნოზის აღწერილი მეთოდის ტანარის ილუსტრაციისათვის გამოვიანგარიშოთ მსხვილპანელიანი და ქვის შენობების ხილუმ-ლობა, რომლებზეც მოიპოვება პრაქტიკით აპრობირებული, სეისმომდებ მშენებლობებზე დაკვირვებების მონაცემები /101, 105/, რომლის ზღვრულ მდგომარეობად ვიღებთ დაზიანების ხარისხს. როგორც ცნობილია, სეისმურ რაიონებში პროექტირებული შენობების მომქმედი ნორმები, ზემოქმედების გაანგარიშების ინტენსიობის დროს, რეკომენდაციას აძლევენ 3-თან ახლო მდგარ დაზიანების ხარისხს /B1/, რომელსაც როგორც /101, 105/-ში მივიღებთ გაანგარიშების ზღვრულ მდგომარეობად. ამ მნიშვნელობის დროს მიიღება, რომ რისკი სიცოცხლისათვის უკუღმარებლად მცირეა, ხოლო ეკონომიური ან სოციალური შედეგები უმნიშვნელოა ან უკუღმარებლად მცირეა. 4-ზე ზემოთ მნიშვნელობის დროს არსებობს სიცოცხლის რისკი, ხოლო ეკონომიური და სოციალური შედეგები მნიშვნელოვანია. 5-ზე ზემოთ მნიშვნელობის დროს დიდია სიცოცხლის რისკი, ეკონომიური და სოციალური შედეგები უზარმაზარია.

მსხვილპანელიანი და ქვის მშენებლობის საიმედოობის დადგენისას, რომელთა დაზიანებები მოყვანილია /101, 150/-ში, მსხვილპანელიანი შენობებისათვის კოეფიციენტია $\gamma_p = 0,34$, ხოლო ქვის შენობებისათვის - 0,41. დავეუვათ, საჭიროა მსხვილპანელიანი შენობების საიმედოობის დადგენა შენობის სეისმურობის გაანგარიშების დროს 6 ბალის ტოლი, მიწისძვრის ინტენსიობის დროს 7 ბალის ტოლი. ამ მნიშვნელობას /101, 105/-დან ნასესხები ცხრილის თანახმად შეესაბამება 1.7-ის ტოლი დაზიანება. თუკი მივიღებთ 3-ის ტოლი დაზიანების ზღვრული გაანგარიშების მნიშვნელობას და ვარიაციის კოეფიციენტს, როგორც /101, 105/-ში $\gamma_p = 0,34/10,9/$

ფორმულით შეგვიძლია გავიანგარიშოთ საიმედოობა

$$p = \Phi \left[\frac{M_R - M_p}{\sigma_p} \right] = \Phi \left[\frac{\alpha - M_p}{\sigma_p M_p} \right]$$

თუ მივიღებთ $\alpha = 3$, გვეძენება $M_p = 1.7$

$$p = \Phi \left[\frac{M_R - M_p}{\sigma_p} \right] = \Phi \left[\frac{3 - 1.7}{0.34 \cdot 1.7} \right] = \Phi(2.37) = 0.9941$$

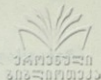
დაზიანების ყველა მნიშვნელობისათვის თუკი გავიანგარიშებთ მიწის-
მგრების ინტენსიობასთან შესაბამის /1 ცხრილში მოტანილს/ და მიღებულ
შედეგებს დავიტანთ 2 ცხრილზე, შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ამგვარად მი-
ღებული საიმედოობის მნიშვნელობები პრაქტიკულად არ განსხვავდებიან
/101, 105/ - ში მოყვანილი მონაცემებისაგან. 3 ცხრილში მოტანილია საი-
მედოობის მნიშვნელობები, რომლებიც ანალოგიურადაა გათვლილი ქვის შენო-
ბისათვის / $\sigma_{\text{კვ}} = 0,41$, რაც ეთანხმება /101, 105/- ში
მოცემულ მონაცემებს.

10.1 ცხრილი

ქვის /მრიცხველი/ და მსხვილპანელიანი შენობების /მნიშვნელი/
საშუალო ხარისხის დაზიანების მნიშვნელობა

საანგარიშო სიესმო- მდებობა ბალებში	მიწისძვრის ინტენსიობა ბალებში		
	7	8	9
6	2,4/1,7	3,3/2,6	4,1/3,5
7	2,0/1,35	2,7/2,1	3,5/2,9
8	1,5/1,0	2,2/1,65	2,9/2,3
9	1,1/0,7	1,7/1,2	2,3/1,7

10,2 ცხრილი



მსხვილპანელიანი შენობების /მრიცხველი/ მონაცემები /105/-ის მიხედვით /მნიშვნელი/ 10.12/ ფორმულის მიხედვით

საანგარიშო სეის- მოძღვრება ბა- ლებში	მიწისძვრის ინტენსიობა ბალებში		
	7	8	9
6	0,9911 0,9865	0,6259 0,6736	0,3450 0,3372
7	0,9998 0,9998	0,8878 0,8962	0,5360 0,5398
8	0,9999 0,9999	0,9918 0,9918	0,8217 0,8159
9	0,9999 0,9999	0,9999 0,9999	0,9903 0,9865

10,3 ცხრილი

ქვის შენობების საიმედოობა /მრიცხველი/ /105/-ის მიხედვით, ავტორის მიხედვით /მნიშვნელი/

საანგარიშო სეისმო- ძღვრება ბალებში	მიწისძვრის ინტენსიობა ბალებში		
	7	8	9
6	0,7281 0,7291	0,4076 0,4129	0,2500 0,2578
7	0,9026 0,8888	0,5901 0,6064	0,3586 0,3632
8	0,9907 0,9997	0,8123 0,8133	0,5304 0,4681
9	0,9999 0,9999	0,9693 0,9693	0,7707 0,7703



/10.12/ ფორმულით გაანგარიშებულ ანალოგიურ ობიექტებში დასავლეთ-აღმოსავლეთი საიმიდლოზის ფაქტიური დონეების შედარება საშუალებას იძლევა ადვილად დასაბუთებული წინადადებები ობიექტის საიმიდლოზის ასამაღლებლად ჩასატარებელი სამუშაოების აუცილებლობასა და მიზანშეწონილობის შესახებ. თუკი ნაწინასწარმეტყველები დასაკვირვებელი მონაცემების შეპირისპირება გვიჩვენებს გამოყენებული მოდელის რაღაც უზუსტობას, მაშინ მოდელთან შეიძლება გამოვიყენოთ მასწორებელი კოეფიციენტი საბოლოო შედეგით ან განმსაზღვრელი აპარამეტრებით და მათი დისკრესიებით. ამგვარადვე უნდა იყოს გათვალისწინებული დაზიანების მაჩვენებლის ნიშნადობა.

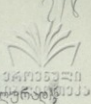
10.2. ნაწინასწარმეტყველების ხარისხის საშუალოდ საიმიდლოზის შეფასება

"გარე ზემოქმედება - წინააღმდეგობა" - ანალიზზე დამყარებული საიმიდლოზის შეფასების მეთოდი თუმცა ხასიათდება მარტივი ფარდობით, მაგრამ ხერხი ნათლად არ ითვალისწინებს გარე ზემოქმედების ხანგრძლივობას, ობიექტების სამსახურის ვადას. ამ მაჩვენებლების აღრიცხვა შესაძლებელია შემთხვევითი პროცესების ამოგდების თეორიის გამოყენების გზით, იმის ანალოგიურად, როგორც ეს ხდება /2,9,50,51,52,75,173/-ში.

თუკი ანალოგიურად ისევე ვიმსჯელებთ, როგორც /50-52/, როცა გადაუჭარბებლობის P ალბათობა P ობიექტზე ჯამური ზემოქმედება R წინააღმდეგობაზე ობიექტის მუშაობის მოცემული T ვადის განმავლობაში, აქვე მნიშვნელობა არა უმცირესი, ვიდრე მოცემული ალბათობა, მაშინ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ სეისმური ზემოქმედების წინააღმდეგ ობიექტი საიმიდლოდ მდგრადია, ანუ

$$P \gg P (T \leq R)$$

მეტყვნის საიმიდლოზის თეორიის ტერმინოლოგიით საშუალო რიცხვის განსაზღვრება შესაძლებელია დაზიანების წინააღმდეგობაზე ამ დატვირთვების /ამოვარდნების/ გადამეტების საშუალო რიცხვის დადგენის გზით. თუკი და-



ვთქვით მიწყვეტის ძაბვის სიდიდის ცვალებას პროცესს სტატისტიკურად, რაც განსაზღვრულია ნორმალური კანონით, რომელსაც გააჩნია ერგოდიკული თვისება, შეგვიძლია ადვილად განვსაზღვროთ ეს სიდიდე. როგორც გამოკვლევებიდან დადგინდა, ძალური ზემოქმედების სიესმური ცვალება შეიძლება უფრო დიდი შეცდომის დაშვების გარეშე, ვიდრე ძალურ ზემოქმედებასთან და წინააღმდეგობასთან დაკავშირებული შეცდომები მიწისძვრის დროს პირველ მიახლოებაში განვიხილოთ, როგორც გაუსის სტატისტიკური პროცესი /39, 81, 163/, თბილისის წინააღმდეგობის რეაქციის ცვლილება, მოცემული გამოკვლევების შესაბამისად, შეიძლება მივიღოთ როგორც განაწილების ნორმალური კანონს დაქვემდებარებული.

ამასთან შემთხვევითი ფუნქციის ამოვარდნას მოცემული ფიქსირებულ დონეზე α , ეწოდება დერძიდან μ მანძილზე დაშორებული პერიზონტალური წრფის ამ ფუნქციის გრაფიკით ქვემოდან ზემოთ გადაკვეთა /94, 98, 163/.

შემთხვევითი ფუნქციების თეორიიდან /94, 98/ ცნობილია, რომ ამოვარდნების საშუალო რიცხვი \bar{n}_a დროის მანძილზე T და ამოვარდნების საშუალო τ_g ხანგრძლივობა შესაბამისად ტოლია:

$$\bar{n}_a = T \int_{-\infty}^{\infty} f(a, u) du \quad /10.11/$$

$$\tau_g = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} v f(a, v) dv} \quad /10.12/$$

სადაც v - არის შემთხვევითი x ფუნქციის ცვლილების სიჩქარე სტატისტიკური პროცესისათვის დროის ერთეულში ამოვარდნების საშუალო რიცხვი განისაზღვრება ფარდობიდან

$$\bar{v}_a = \frac{\bar{n}_a}{T} \quad /10.13/$$

სტატისტიკური პროცესისათვის

$$\bar{v}_a = \int_{-\infty}^{\infty} v f(a, v) dv \quad /10.14/$$



ამ გამოსახულებაში შემავალ ერთადერთ პარამეტრს წარმოადგენს ამოვარდნების რიცხვის მათემატიკური ლოდინი, რადგანაც ნგრევა და დაზიანება გამოირჩევა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუკი $n = 0$, ამასთან სეისმური ზემოქმედების დროს ობიექტის შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა შეიძლება აღვწეროთ გამოსახულებით

$$P = e^{-\chi T} \quad /10.18/$$

R ღონეზე ამოვარდნების საშუალო რიცხვი სტაციონალური პროცესისა და ერგოდიკულობის დროს შეიძლება დავადგინოთ რაისის ფორმულით

$$\nu_T = \bar{\nu} \exp \left[-\frac{(\bar{R} - \bar{T})^2}{2(\sigma_R^2 + \sigma_T^2)} \right] \quad /10.19/$$

სადაც $\bar{\nu}$ - არის დროის ერთეულში ამოვარდნების საშუალო რიცხვი მათემატიკური ლოდინის ღონეზე, რეალიზაციის არსებობის დროს ν განისაზღვრება სტატისტიკური გზით

როცა $\sigma_R = 0$

$$\nu_T = \bar{\nu} \exp \left[-\frac{(R - T)^2}{2\sigma_T^2} \right] \quad /10.20/$$

თუკი /10.18/-ში შევიტანთ /10.20/ მნიშვნელობებს, გვექნება

$$P = \exp \left\{ -\bar{\nu} \exp \left[-\frac{(R - T)^2}{2\sigma_T^2} \right] \right\}$$

/10.16/ და /10.18/ ერთობლივად გადაწყვეტის შემთხვევაში

P შეფარდებით მივიღებთ

$$P = \frac{R}{1 + \frac{\sigma_T^2 + \sigma_R^2}{\sigma}} \sqrt{-2 \ln \left(\frac{-\ln T}{\gamma T \sigma} \right)} \quad /10.21/$$

$$\chi = \frac{\sigma_T}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_R^2}} \quad /10.22/$$

ამოვარდნების განაწილების კანონის სხვა სახის შემთხვევაში

/ზვალითად გნდენკო-ვეიბული/ გამოანგარიშებები ანალოგიური იქნება.

ასევე როგორც /10.1/-ში ამოვარდნების თეორიის საშუალებით საიმედო-
 დობის პროგნოზირებას, საანგარიშო ზღვრული მდგომარეობის კრიტერიუმად
 მივიღოთ $\mu_n = 3,0$ შეიძლება გამოვიანგარიშოთ საიმედოობა შენობის მუშა-
 ზის სხვადასხვა ვადისათვის.

გაანგარიშება მოგვყავს /10.16/ ფორმულთ.

მსხვილპანელიანი შენობის საანგარიშო სეისმომდევლობისათვის 6 ბალი,
 ინტენსიური მიწისძვრისათვის 7 ბალი შეიძლება გამოვიანგარიშოთ საიმე-
 დობა შემდეგი ფორმულით

$$P = \exp \left\{ - \bar{\nu} \exp \left[- \frac{(\bar{R} - \bar{U})^2}{2\sigma_{\bar{R}}^2} \right] \right\} T$$

დავუშვათ საჭიროა დავადგინოთ საიმედოობა მუშაობის ვადით 100
 წელს და განმეორებადობის პერიოდით $V = 300$ წელს. ვიყენებთ /10.16/ ფორ-
 მულას

$$P_{100} = \exp \left\{ - 300 \exp \left[\frac{-(3,0 - 1,7)^2}{2(0,41 - 1,7)^2} \right] \right\} 100$$

$$P(100) = 0,9738$$

იგივე ამოცანის ამოხსნა $\bar{\nu} = 25$ წელს და 50 წელს, გვაძლევს

$$P(50) = 0,8526$$

10.4 და 10.5 ცხრილებ დატანილია მსხვილპანელიანი /მრიცხველი/ და
 ქვის /მნიშვნელი/ შენობების გამოანგარიშების შედეგები მუშაობის ვადით
 $T = 100$ წელს და 300 წელს განმეორებადობით და $T = 50$ წელს და $T = 25$ წელს,
 10.1 ცხრილში მოყვანილი შემთხვევისათვის.

ცხრილი 10.4.

მსხვილპანელიანი და ქვის შენობების საიმედოობის მნიშვნელო-
 ბები, რომლებიც გაანგარიშებულია /10.16/ ფორმულით მუშაობის
 ვადით 100 წელს და განმეორებადობით 300 წელს

შენობის საანგარიშო სეისმომდევლობა ბალიში	მიწისძვრის ინტენსიობა ბალიში	6	7	8	9
ში		0,9738	0,9431	0,7402	0,7370
		0,9431		0,7329	0,7307

7	0,9948 0,9960	0,8602 0,8244	0,7178 0,7117
8	0,9999 0,9999	0,9817 0,9555	0,2998 0,7871

ცხრილი 10.5.

მსხვილზანდიანი, ქვის შენობის საინჟინერო მნიშვნელობები, რომლებიც გათვლილია /10.6/ ფორმულით მუშაობის ვალით 50 წელს და განმეორებადობის პერიოდით $\gamma = 25$ წელს

შენობის საანგარიშო სეისმომდებლობა ბალებში	სეისმომწივის ძვრის ინტენსიობა ბალებში		
	7	8	9
6	0,8526 0,7038	0,1644 0,1550	0,1602 0,1522
7	0,9969 0,9768	0,4050 0,3140	0,1367 0,1363
8	0,9999 0,9999	0,8953 0,7610	0,2619 0,2191
9	0,9999 0,9999	0,9998 0,9975	0,8626 0,7037

მაშასადამე, სეისმური ზემოქმედებისაკენ მიღრეკილი ობიექტის საინჟინერო მნიშვნელობის მახასიათებლად გამოგვადგება გამოსახულება, რომელიც აკავშირებს სეისმური ზემოქმედების P რეაქციას ზემოქმედებასთან და მათ სტრუქტურულ-ბასთან, ფუნქციონერების დრო T და აუცილებელი საინჟინერო

$$\gamma_H = 1 + \frac{\sqrt{6\gamma^2 + 6\gamma^2}}{P} \sqrt{-2 \ln \left(-\frac{\ln P}{\gamma^2 T^4} \right)} \quad /10.23/$$

საინჟინერო მნიშვნელობის მახასიათებლის გამოყენებით ობიექტის ზღვრული მდგომარეობის საინჟინერო მნიშვნელობა შეიძლება ასე ჩაიწეროს

$$\gamma_H P = R \quad /10.24/$$



ხშირად ობიექტის წინააღმდეგობა სეისმური ზემოქმედების მიმართ
სიმარტივისათვის შეიძლება ჩავთვალოთ უცვლელად დროში. ამასთან საიმე-
ლოების მახასიათებლები გამოისახონ

$$\gamma_{RH} = 1 + \frac{\sigma_p}{\sigma} \sqrt{-2 \ln \left(\frac{-\ln P}{\nu \sigma T} \right)} \quad / 10.25/$$
$$\gamma = \frac{\sigma_p}{\sigma_R}$$

მიღებული ფორმულებით გაანგარიშება მოითხოვს σ_p და σ_R დადგენას
სეისმურად საშიშ ზონაში, ობიექტების მონაცემების არსებობის შემთხვე-
ვაში, რთული არაა დავადგინოთ σ_R რაც ეხება σ_p რაც წარმოად-
გენს P საშუალო კვადრატულ გადახრას დამოკიდებულია ძალური ზემოქ-
მედების სკალის მიხედვით T და 4.4 -მდე, σ_R ასევე გამოისახული.

მიღებული ფორმულების საშუალებით, ... γ_{RH} ...
მახასიათებლის გამოყენებით, რომელიც საიმელოების ფუნქციას წარმოადგენს,
შესაძლებელია ობიექტების პროექტირებისას ჩავლოთ ისეთი ხარისხის საი-
მელოება, რომელიც უზრუნველყოფს ნაგებობის შეუფერხებელ მუშაობას და-
ზიანების მოცემული ხარისხის P ალბათობით ფუნქციონირების გარანტიით
დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევიან გავიანგარიშოთ ობიექტის მუშა-
ობის ვადა T აგრეთვე ინტენსიობა, მიწისძვრების პერიოდულობა, ობიექ-
ტების წინააღმდეგობა. მნიშვნელობა $\gamma_{RH} > 1$ განაპირობებს მოცემული ალბა-
თობით განსახილველი ობიექტის დაზიანებლობს საანგარიშო ბალურობის დროს,
ობიექტის ფუნქციონირების გარკვეული ვადის დროს.

ობიექტების პროექტირებისას, თუკი დავუშვებთ შეუფერხებელი ფუნქ-
ციონირების ალბათობის საკმაოდ მაღალ მნიშვნელობას /მაგალითად $P=0,9$
 $P=0,99$, $P=0,999$ /, შეიძლება ობიექტების შექმნა, რომლებისათვის
დანგრევა პრაქტიკულად შეუძლებელი იქნება ობიექტის მუშაობის მოცემუ-
ლი ვადისათვის T /სამუშაოს საგარანტიო ვადა/.

შემთავაზებული მეთოდითა საკმაოდ მიახლოებით ასახავს ობიექტების
დაზიანების პროცესებს სეისმური ზემოქმედების დროს, იგი საშუალებას



იძლევა ვიპოვოთ ობიექტის პარამეტრები მიწისძვრის სტოქასტური ტიკური ბუნების გათვალისწინებით.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება განხორციელდეს შეიძლება რეცეპტურულად შედარებით მარტივად. მათ მიხედვით შეიძლება შედგეს სტანდარტული პროგრამები, რაც შესაძლებელს ხდის ავირჩიოთ რამდენიმე ვარიანტიდან ის, რომელსაც ექნება უფრო დიდი საიმედოობა.

საიმედოობის დადგენისათვის აუცილებელ პარამეტრებს R და P იღებენ სეისმურად საშიშ რეგიონში მოცემული დაკვირვებების საფუძველზე ანალოგიურად გაანალიზებული ობიექტებთან. პირობებში სტოქასტური დამუშავების დაკვირვებების ვარიაციული რიგი შეიძლება განსაზღვროთ R და P დადგენისას ასევე არ არის პრინციპული დაბრკოლებები. ნ.გ. ნ.გ. განსაზღვრა

მოცემული დაკვირვებების არ არსებობის შემთხვევაში საშუალო კვადრატული გადახრების მიახლოებითი მნიშვნელობები შეიძლება ვიპოვოთ სამი სიგმის წესის საშუალებით, ცნობილია რა დაშვების არე ან თუ შევარჩევთ შეიძლება იყოს გამოყენებული მონტა-კარლოს მეთოდი. /მ.50,51,52/.

სეისმურ ზონებში ობიექტების საიმედოობის შესავასებისათვის ოპტიმალური საიმედოობის ამოსარჩევად მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ არა მხოლოდ რაციონალური სეისმური საიმედოობის პროგნოზირება, არამედ სეისმური ზემოქმედებების მაჩვენებლები, რბევები მოცემულის ზღვარს იქეთ. ამასთან მხედველობაში უნდა გვექონდეს, რომ ამ ზღვარის განსაზღვრავი სეისმომედგობა უშვებს სეისმური ზემოქმედების გადამიტებას, მხოლოდ არა უმიტებს დაშვებული ზვარს იქით და მისაღები ხანგრძლივობით.

თუმცა ობიექტების საიმედოობის ამალეება აბსოლუტურ საიმედოობამდე შეუძლებელია და ეკონომიური თვალსაზრისით რალაც დონემდე მიზანშეწონილია, რომლის დროსაც ჯამური ხარჯები საიმედოობისა და ექსპლუატაციის ასამალეებლად მინიმალური იქნება. ამ დონეს შეიძლება ეწოდოს სეისმური საიმედოობის ნორმა.



სეისმომდებლობის შემცირების შემთხვევაში მაღალდება დაზიანება
 ალბათობა, ანუ ობიექტის უსაფრთხოება შეიძლება შენდეს. მისი შენდება
 ამცირებს ობიექტის ღირებულებას, ამაღლებს რისკს მიწისძვრისაგან.

ამგვარად, სეისმურად საშიშ ზონებში ობიექტების საიმედოობის ამაღ-
 ლება არა მხოლოდ ტექნიკური პრობლემაა, არამედ ეკონომიკურიც. თუკი ეკო-
 ნომია ხარჯებზე მეტი აღმოჩნდება, რაც დაკავშირებულია საიმედოობის მაჩ-
 ვერებლის გაზრდასთან, მაშინ ეს იქნება ობიექტის საიმედოობის ამაღლების
 არჩეული ვარიანტის ეკონომიური მიზანშეწონილება. თუმცა, ამასთან ერთად,
 არ შეიძლება დავიწყებული იქნეს სოციალური რისკი. ცხადია, რომ თუკი
 საქმე ეხება ადამიანის სიცოცხლეს, ეკონომიური ფაქტორი უკანა პლანზე
 გადადის და რისკის შემცირებისათვის მაქსიმალურ ღონისძიებებს მოითხოვს.

სეისმურად საშიშ რეგიონებში, ობიექტების საიმედოობის შეფასებისას,
 განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სეისმური ზემოქმედების ცვალებადობის
 ხასიათს. დადგენილია, რომ ობიექტები რეაგირებენ ნებისმიერ ცვალებადო-
 ბაზე. ობიექტების საიმედოობის მაჩვენებლები თითქმის არ უარესდებიან
 დადგენილი ნორმების სეისმური ზემოქმედების მოკლე ხნით გადამეტების
 შემთხვევაში. ამიტომ მნიშვნელოვანია, ობიექტის საიმედოობის შეფასებო-
 ხას, წარმოადგენა გვექონდეს ზემოთ მოცემული მნიშვნელობის სეისმური გა-
 დამეტების სიხშირეზე, აგრეთვე აწვივის საშუალო ხანგრძლივობაზე. ყველა
 მიმდებარეული სიდიდეები შემთხვევითი არიან. ანალოგიური ამოცანის მიხედო-
 ბით ამოხსნა, შემთხვევითი პროცესების ამოვარდნების თეორიის გამოყენე-
 ბით მოყვანილია $1/50,51$ -ში ამიტომ აქ განვიხილავთ მის შემდგომ მოდი-
 ფიკაციას აღრიცხვით $1/2,75,80,96$ /. ამოსახსენებლად აუცილებელია გვექონდეს
 მონაცემები სეისმური ზემოქმედების შესახებ ანალოგიურ ობიექტზე ანალო-
 გიურ რეგიონში.

მოცემულ პერიოდში, სეისმური ზემოქმედების ცვალებების დამახასიათე-
 ბელი მონაცემების გასაანგარიშებლად, როგორც შემთხვევითი პროცესების

თეორიიდან აა ცნობილი, ფუნქცია უნდა იყოს უწყვეტი და დიფერენცირებადი
 /94, 96/.

სეისმური ზემოქმედების მნიშვნელობის შეფასების პროცესის ანალიზი
 იმას მოწოდებს, რომ პროცესი ნამდვილად უწყვეტია და რთული,
 დიფერენცირებადი რომ იყოს, აუცილებელია კორელაციური ფუნქციიდან მე-
 რვე კვრძობა წარმოებულის არსებობა, მისი ანგუმიენტის ნულოვანი მნიშვნე-
 ლობის დროს. ბოლო პირობის შესამოწმებლად სეისმური დატვირთვების ცვლი-
 ლებების არსებული რეალიზაციების მიხედვით აგებენ კორელაციური ფუნქ-
 ციის გრაფიკს. კორელაციური ფუნქციის შეფასებას შეიძლება ასეთი ჰქონ-
 დეს /50, 94/

$$\bar{K}_f(t_k, t_j) = \left[\frac{\sum_{i=1}^n P(t_k) P_i(t_j)}{n} - \bar{P}(t_k) \bar{P}(t_j) \right] \frac{n}{n-1} \quad /10.26/$$

სადაც $P(t_k), P(t_j)$ - არის მათემატიკური დოღინის შეფასება
 ინტერვალისათვის t_k, t_j
 n - არის დაკვირვებების რეალიზაციის რიცხვი.

კორელაციური ფუნქციის ამოსარჩევად, პროცესზე მოცემული დაკ-
 ვირვებებით, ანალიტიკურ ობიექტებზე უნდა შედგეს კორელაციური მატრიცა,
 რაც წარმოადგენს კორელაციურ ფუნქციას.

კორელაციური ფუნქციის გრაფიკი შეიძლება ანალიზურად გამოისახოს
 შემდეგი დამოკიდებულებით /50, 94/

$$K_f(\tau) = \sigma_f^2 e^{-\alpha_1 \tau} \left(\cos \beta \tau + \frac{\alpha_1}{\beta} \sin \beta \tau \right) \quad /10.27/$$

სადაც α_1 - არის მუდმივი სიდიდე $\beta = \frac{\alpha_2 n}{\tau}$
 ორჯერადი დიფერენცირების შედეგად გვაქვს

$$K_f''(\tau) = -\sigma_f^2 e^{-\alpha_1 \tau} \left(\beta \cos \beta \tau + \frac{\alpha_1}{\beta} \sin \beta \tau \right) \quad /10.28/$$

რთვა $\tau = 0$ ვიღებთ

$$K_f''(\tau) = -\sigma_f^2 (\alpha_1^2 + \beta^2) \quad /10.29/$$



ამ ამოცანის ამოხსნა პირველ რიგში მოითხოვს უზრუნველყოფილებას ცოდნას. იმის დაშვების შემთხვევაში, რომ სესამური ზემოქმედების ცვლილების პროცესი ექვემდებარება განაწილების ნორმალურ კანონს /რაც პრაქტიკულად ძლიერ არ ცილდება მოცემულ დაკვირვებას/ საანგარიშო მნიშვნელობა შეიძლება გამოისახოს მათემატიკური ლოდინის μ მემეცობით და საშუალო კვადრატული გადახრით.

$$\mu_{საანგ} = \mu + \chi^2 \sigma^2 / 10.30/$$

სადაც μ - არის ნორმალური განაწილების პარამეტრი, რომელიც დაკავშირებულია უზრუნველყოფილობის ღონისძიან.

ამ ფორმულების ანალიზის დროს შეიძლება შევამჩნიოთ, რომ ამოვარდნების საშუალო რიცხვი და საშუალო ხანგრძლივობა მნიშვნელოვან წილად დამოკიდებულია უზრუნველყოფილობის მნიშვნელობაზე, რომელიც განსაზღვრავს პარამეტრს.

ჩვეულებრივად საანგარიშო პარამეტრის უზრუნველყოფილობა უნდა შეფასდეს რიცხვით, ხანგრძლივობით და ამოვარდნების ფართობით

$$P_{\chi^2} = 0.5 + 0.5 \Phi^*(\chi) / 10.31/$$

სადაც $\Phi^*(\chi)$ - არის აღბათობის ინტეგრალი

$$\Phi^*(\chi) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\chi} e^{-t^2/2} dt = 2\Phi(x) - 1 / 10.32/$$

სადაც $\Phi(x)$ - მოცემულია /163/ -ში

დროის ერთეულზე ამოვარდნების გადაკვეთის რიცხვის დასადგენად შეიძლება იყოს გამოყენებული რაისის განტოლება /50,94/ ეს განტოლება საერთო სახით შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი დიფერენცირებული შემთხვევითი პროცესის მიმართ. ჩვენი პროცესისათვის მას აქვს სახე

$$n_p = \int_0^{\infty} P'(t) f(\mu_{საანგ}, P') dP' / 10.33/$$



/10.33/ მიიღებს სახეს

/10.34/

პირველი წარმოებულის ცვლილების პროცესის საშუალო კვადრატული გა-
დახრა შეიძლება დავადგინოთ ფორმულით

/10.35/

- სადაც - არის ნორმალური კორელაციური ფუნქციის პროცესის მნიშვნე-
ლობა მნიშვნელობის დროს
- არის ინტეგრალის ხანგრძლივობა

/10.36/

სადაც - არის კორელაციური ფუნქციის საშუალო მნიშვნელობა
1 დროს

პირველი წარმოებულის ცვლილების პროცესის საშუალო კვადრატული
გადახრის განსაზღვრავად, ნორმალური განაწილების დროს, შეიძლება ვი-
სარგებლოდ დამოკიდებულებით საშუალო კვადრატულ გადახრასა და პირ-
ველ აბსოლუტურ ცენტრალურ მთმენტს შორისა /ანუ წლიურშორისი ცვლილებების
მონაცემები/

ანუ

წლიურშორისი ცვლილება, რომელიც წარმოადგენს წარმოებულ პროცესის
შეფასებას, განისაზღვრება, როგორც წლიურშორისი დონის მატება წლის
განმავლობაში.

სიმეტრიის გამომწვევად წარმოებულის განაწილება ნულგვანი მათემატიკური
მილდინის ფარდობით სრულდება თანაფარდობა



სადაც v_t, v - არის დადებითი და უარყოფითი წარმოებულები

ბითი მათემატიკური მოლოდინები

ამის გათვალისწინებით /10.34/ დამოკიდებულება მიიღებს სახეს

$$n_p = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \frac{v_p'}{v_p} \exp\left[-\frac{(\rho_{\text{საგ}} - \bar{v})^2}{2v_p^2}\right] \quad /10.37/$$

სეისმურად საშიშ რეგიონზე დამუშავებული მოცემული დაკვირვებების არ არსებობის შემთხვევაში გადასული ხერხის გამოყენება რთულდება. მოცემული ექსტრემალური მნიშვნელობების გამოყენებით ამ შემთხვევაში შეიძლება დავაღვინოთ განაწილების დაგენა და სხვა არასაკმარისი ინფორმაცია.

სეისმური ზემოქმედების შეფასებისას, სეისმური ზემოქმედების გადამიტების რიცხვასთან ერთად, ჩვენ ვვინტერესვართ სეისმური ზემოქმედების სიდიდის თქაფანის /ამოვარდნის/ საშუალო დროს და ზემოთ მოცემული დონის ამოვარდნის საშუალო ხანგრძლივობა.

ეს შემთხვევით პროცესი ექვემდებარება განაწილების ნორმალურ კანონს, ამოვარდნის საშუალო ხანგრძლივობას აღგენენ ფორმულით /8,51,94,98/

$$\tau_{\text{საგ}} = \pi \frac{v_p'}{v_p} \left[1 - \Phi\left(\frac{\rho_{\text{საგ}} - \bar{v}}{v_p}\right)\right] \exp\left[-\frac{(\rho_{\text{საგ}} - \bar{v})^2}{2v_p^2}\right] \quad /10.88/$$

ხოლო ინტერვალის საშუალო ხანგრძლივობა ამოვარდნებს შორის

$\tau_{\text{სგბ}}$ - ფორმულით

$$\tau_{\text{სგბ}} = 2\sqrt{\pi} \frac{v_p'}{v_p} \Phi\left(\frac{\rho_{\text{საგ}} - \bar{v}}{v_p}\right) \exp\left[\frac{(\rho_{\text{საგ}} - \bar{v})^2}{2v_p^2}\right] \quad /10.39/$$

მნელი არ არის შევნიშნოთ, რომ

$$\frac{1}{n_p} \approx \tau_{\text{საგ}} - \tau_{\text{სგბ}}$$

ამ ფორმულების მიხედვით შედგენილი გრაფიკიდან შეიძლება მივიღოთ ამოვარდნების რიცხვი, რომელიც შეინიშნებიან ობიექტის მუშაობის პერიოდში და ფაქტიური ზემოქმედების გადამიტების ხანგრძლივობა საანგარიშოზე, რაც შესაბამისაა მოცემული უზრუნველყოფილობას. ამ მიდგომი საშუალებით



შეიძლება დავადგინოთ ამოგარდნების საშუალო სიმაღლე, მათემატიკური ლოდინი, რაც მოცემული დროის მანძილზე და მოცემულ დონეზე განსაზღვრულია შემთხვევითი ფუნქციის რეალიზაციით.

თუ გავითვალისწინებთ ამოგარდნების საშუალო ხანგრძლივობის ფორმულას, შეიძლება მივიღოთ ზემოქმედების საშუალო დონის საანგარიშოზე, გადამიტეხვის მნიშვნელობა, მიღებული უზრუნველყოფილობის დროს პროცენტებში, რაც ასე შეიძლება გამოისახოს

$$\Delta T = \frac{\left[\frac{6\sigma^2}{6\sigma'} \frac{\sqrt{2\pi}}{T_{საგ}} + \bar{T} - T_{საგ} \right]}{T_{საგ}} \cdot 100 \quad /10.40/$$

მოცემული ფორმულების მიხედვით რიცხვითი შედეგების მისაღებად აუცილებელია ვიცოდეთ პროცესის ისეთი კორელაციული ფუნქცია, რომელსაც გააჩნია მეორე მწარმოებელი. ეს ფუნქცია წარმოადგენს იძლევა შემთხვევითი ფუნქციის სტრუქტურის შესახებ, მისი ამოგარდნის შესახებ მათემატიკური ლოდინის შეფარდებით, რაც გამოვლინებულია მრავალი დაკვირვების და ყველა დაკვირვებაში ცვალებადობის ხარისხის შედეგად /94/.

ფუნქციით $K_T(t, t')$ გაიგება ორი არგუმენტის t, t' არაშემთხვევითი ფუნქცია. როცა $\tau = 0$ კორელაციური ფუნქცია დასპერსიის ტოლია. თუ ეს სტაციონარული შემთხვევითი ფუნქცია τ გაზრდომ მოიხსრავის ნულისაკენ, მაშინ მას გააჩნია ერთ დეკლუი თვისება, ერთდროული შემთხვევითი ფუნქციის მახასიათებლები შეიძლება განისაზღვროს საკმაოდ დიდი ხანგრძლივობის ერთ რეალიზაციით.

არსებითად, სეისმური ანალიზის დროს განსახილველი ფუნქცია არასტაციონარულია, რადგანაც სხვადასხვა ინტერვალებისათვის მათემატიკური ლოდინი და დისპერსია არ არიან მუდმივები დროში. სტაციონარული ფუნქციის გათვალისწინებით მიღებული დასკვნების გამოყენებით სინჟინრო გაანგარიშებებში აუცილებელია დროში ისეთი ინტერვალის არჩევა, რომელშიც შესაძლებელი იქნება ფუნქცია მიახლოებით სტაციონარულად ჩავთვალოთ. შევნიშნავთ, რომ სტაციონარობა არ მოითხოვს რომ პროცესი მუდმივი სიჩქარით მიმდინარე-



რეობდეს, იგი შეიძლება აჩქარდეს, შენეიდეს, მაგრამ სტაციონარულ დონის სურათი მილიანად არ უნდა იცვლებოდეს დროსთან ერთად.

სტაციონალური პრცესის სტრუქტურა მიღებულია დახასიათდეს ნორმირებული კორელაციური ფუნქციით /51, 94/

$$f_{\rho}(\tau) = \frac{K_{\rho}(\tau)}{\sigma_{\rho}^2} \quad /10, 41/$$

სადაც $\sigma_{\rho}^2 = K_{\rho}(0)$ - არის სტაციონალური შემთხვევითი პრცესის მუდმივი დისპერსია.

დიფერენცირებისა და ანარაული გარდაქმნების შემდეგ, მივიღებთ

$$f'(\tau) = -\frac{a_1^2 + \beta^2}{\beta} e^{-a_1 \tau} \sin \beta \tau \quad /10, 42/$$

რცა $\tau = 0$ ფუნქცია $f(0) = 0$

$$\text{მეორე წარმოებული } f''(\tau) = (a_1^2 + \beta^2) e^{-a_1 \tau} \left[\frac{a_1}{\beta} \sin \beta \tau - \cos \beta \tau \right]$$

რცა $\tau = 0$

$$f_0 = -(a_1^2 + \beta^2)$$

დადებითი ამოვარდების საშუალო რიცხვი დროის ერთეულში \bar{N} ღონებზე შეიძლება დადგინდეს, თუკი გამოვიყენებთ კორელაციურ ფუნქციას.

$$n_{\tau} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{-f''(0)} \exp \left[-\frac{(\bar{N} \cos \beta \tau - \bar{N})^2}{2\sigma_{\rho}^2} \right] \quad /10, 43/$$

სადაც $f''(0)$ - არის მეორე წარმოებულის მნიშვნელობა ნორმირებული კორელაციური ფუნქციიდან ნულის ტოლი τ არგუმენტის დროს.

კორელაციური ფუნქციის აპროქსიმირებული გამოსახულება შეიძლება ვიპოვოთ ფუნქციის მიახლოების ჩვეულებრივი მეთოდებით ნებისმიერი სიზუსტით ასეა რეკომენდირებული ლიტერატურაში /75/ აპროქსიმირებული შამოსახულების შერჩევის სვლა.

მიღებული ტიპის გამოსახულების გამოყენებისათვის შეიძლება ავიღოთ დისპერსიის σ^2 შეფასება /ანუ $K(0)$ /, ხოლო მუდმივები განისაზღვროს $\bar{K}(\tau)$ მრუდების ზოგიერთ ყველაზე უფრო დამახასიათებელი წერტილებზე. რადგანაც $K(\tau)$ ორდინატას სიზუსტე, როგორც



წესი ფერმა τ ზრდასთან, ამ დამახასიათებელი წერტილებზე
 არ შეიძლება ავიღოთ ისინი, რომლებიც კოორდინატების დასაწყისიდან შორს
 არიან განლაგებული.

მაგალითად, ფუკი მრუდის საერთო სახის ანალიზიდან და დასმული
 ამოცანის პირობიდან მიზანშეწონილია $\bar{K}(\tau)$ აპროქსიმირებული გამოსა-
 ხლების გამოყენება შემდეგი სახით

$$\bar{K}(\tau) = \bar{K} e^{-a_1 |\tau|} \left(\cos \beta \tau + \frac{a_1}{\beta} \sin \beta \tau \right) \quad /10.44/$$

მაშინ a_1, β განსაზღვრისათვის შეიძლება მოვიხილოთ, რომ
 აპროქსიმირებული ფუნქცია $\bar{K}(\tau)$ დაემთხვეს კოორდინატის
 დასაწყისში, აქონდეს პირველი ნული იმავე წერტილში, რაც $\bar{K}(\tau_1) \tau_1$
 წერტილში/, ხოლო τ_2 წერტილში, სადაც განლაგებულია ფუნქციის პირველი
 მინიმუმი, ექნებოდა იგივე ორდინატა, რაც $\bar{K}(\tau_2)$ ამ პირობების შეს-
 რულება გვაძლევს

$$\cos \beta \tau_1 + \frac{a_1}{\beta} \sin \beta \tau_1 = 0 \quad /10.45/$$

$$e^{-a_1 |\tau_2|} \left(\cos \beta \tau_2 + \frac{a_1}{\beta} \sin \beta |\tau_2| \right) = \frac{\bar{K}(\tau_2)}{\bar{K}(0)} \quad /10.46/$$

რომელთა რიცხვითი გადაწყვეტა რთული არ არის, რადგანაც /10.45/-დან

$$a_1 = -\beta \operatorname{ctg} \beta \tau_1 \quad /10.47/$$

ამოცანა დაიყვანება ერთი, ერთუცნიობიანი გმნტოლების ამოხსნამდე,
 რაც შეიძლება იყოს შესრულებული, მაგალითად გრაფიკულად, შესაძლებელია
 a_1, β მნიშვნელობების შერჩევის სხვა ხერხები ნაპოვნი გრაფიკით
 თუ $\bar{K}(\tau)$ ფუნქცია განსაზღვრულია საკმარისი სიზუსტით τ ღერძის

გადაკვეთის მეორე წერტილამდეც კი /როცა $\tau = \tau_3$ / მაშინ

$$\tau = a_2 \operatorname{ctg} \frac{a_1}{\beta} \quad /10.48/$$

სამებნი აპროქსიმირებული გამოსახულება შეიძლება წარმოვიდგინოთ

სახით



$$\bar{k}(\tau) = \bar{c}^2 e^{-a_1 |\tau|} \cos(\beta \tau - \tau_1)$$

რადგანაც $\cos(\beta \tau_3 - \tau)$ გარდაიქმნება ნულად, $\frac{\pi}{2}$ და $\frac{3\pi}{2}$ ტონი არგუმენტის ღროს მიზინ β და τ განსაზღვრისათვის გვაქვს მნიშვნელობა

$$\beta_1 \tau_1 - \tau = \frac{\pi}{2} \quad \beta \tau_3 - \tau = \frac{3\pi}{2} \quad /10.50/$$

საიდანაც უშუალოდ გამოვიძინებთ, რომ

$$\beta = \frac{\pi}{\tau_3 - \tau_1} \quad \tau = \frac{(\beta \tau_1 - \tau_1)\pi}{2(\tau_3 - \tau_1)} \quad a_1 = \beta + \gamma \tau \quad /10.51/$$

ამჟამად ფართო გამოყენება პპოვეს სპეციალურმა გამოთვლებმა ხელსაწყოებმა /კორელატორებმა/, რომლებიც შეწყობილი არიან, ადრე მიღებული შემთხვევითი ფუნქციის რეალიზაციის გრაფიკის მიხედვით, კორელაციური ფუნქციის შეფასების ავტომატური ან ნახევარავტომატური გამოთვლისათვის. ეს ამოცანა შეიძლება ამოცხსნათ ე.გ.მ.-ზე.

ყველაზე მეტად ზუსტი მოდელი, რომელიც გამოსახავს სეისმური ზემოქმედების ცვალებადობას Ψ არის უწყვეტი შემთხვევითი პროცესი. ლუგვა ასეთი პროცესი აღასწერად მონაცემების მიღება და დამუშავება ბალიან მნიშვნელობა. ამიტომ პრაქტიკაში გვიხდება საშუალო წლიური მნიშვნელობის a ცვლილების პროცესის განხილვა, ხოლო შემდეგ წლიური ცვალებადობის გათვალისწინება.

ხშირი და იშვიათი ამოვარდნების ღროს დადგენილი ამოვარდნების მახასიათებლები შეიძლება გავამარტივოთ. ასე, სტატისტიკურ უბნებზე, წელიწადში განმეორებადობის პერიოდი

$$\tau_{გაგა} = \frac{\tau_n}{n(a_1)} \quad /10.52/$$

მათემატიკური ლდინის ლდინის იქით ამოვარდნებისათვის

$$\tau_{გაგა} = 2\pi \frac{\sigma a_1}{\sigma a_1'} \quad /10.53/$$

იშვიათი ამოვარდნებისათვის ($n(a_1) < 4$) მოხერხებულია განმეორებადობის პერიოდი გამოვსახოთ წლებში



$$\tau_{გაგა} = \frac{1}{\bar{n}(a_1)} = \tau_{გაგა} + \tau_{სა}c$$

რადგანაც განსაზღვრული ამოვარდნები თავისი ბუნებით დამოუკიდებელი არიან, ამოვარდნების გამოსრულების ალბათობა a მნიშვნელობით მოცემულ დროის განმავლობაში /მაგალითად მუშაობის დროის ვადაში და ა.შ./, პუასონის განაწილების გამოყენებით შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$P(a_1 < a_2) \approx \exp[-\bar{n}(a_1)T_a] = \exp\left(-\frac{T_a}{\tau_{გაგა}}\right) \quad /10.55/$$

სადაც Π_a - არის სეისმომდევნობა მოცემული დროის მანძილზე ამოვარდნების საშუალო დასაშვები რიცხვი /ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევა მოცემული დროის განმავლობაში/

$$\bar{n}(a_1) = \frac{\ln(1/P)}{T_a} \quad /10.56/$$

თუკი ვიცით $\bar{n}(a_1)$ T_a შეიძლება დავადგინოთ შეუფერხებელი მუშაობის ალბათობა: ამასთან განმეორებადობის პერიოდი იქნება

$$\tau_{გაგა} = \frac{\ln(1/P)}{T_a} \quad /10.57/$$

/10.54/-დან შეიძლება მიხვდეთ დავადგინოთ სეისმომდევნობის საანგარიშო მნიშვნელობა ნორმალური ფუნქციონირების რეჟიმის დარღვევის ალბათობის გათვალისწინებით

$$a = a_1 = \bar{a}_1 \pm \sigma_{a_1} \sqrt{2 \ln \frac{\bar{n}(\bar{a}_1)}{\bar{n}(a_1)}} \quad /10.58/$$

ან

$$a = \bar{a}_1 \pm \sigma_{a_1} \sqrt{2 \ln [\bar{n}(\bar{a}_1) \tau_{გაგა}]} \quad /10.59/$$

შემთავაზებული მეთოდების გამოყენების საილუსტრაციოდ განვიხილოთ მაგალითი პირობითი მონაცემებით.

მაგალითი. ვიღებთ რა უზრუნველყოფილებას $P_{უზრ} = 0,90$, დავადგინოთ ობიექტის /ამოვარდნების/ ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევის საშუალო რიცხვი, დარღვევის საშუალო ხანგრძლივობა, საშუალო ხანგრძლივობა

ამოვარდნებს შორის, დარღვევის საშუალო დრო.

დავუშვათ, დავკვირვების მონაცემებით, ანალიზურ საპროექტებზე უბანზე /რეალიზაციის რიცხვი $n \leq 100$ /. დადგენილია: სეისმომდეგობის სამიწისქვეშა დონის მათემატიკური ლოდინის მნიშვნელობა $\bar{P} = 7$ ბაუს, დისპერსია $\sigma_P^2 = 0,35$ ბაუს, დღე-ღამეშორისო ცვლადობის საშუალო მნიშვნელობა $\bar{V}_P = 0,80$.

ამოხსნა წავიყვანოთ ასეთი თანმიმდევრობით:

1. სეისმომდეგობის გაანგარიშებული მნიშვნელობას, როცა მოცემული $P_{0,9} = 0,80$ ბაუს, ვადგენთ სეისმომდეგობის ფორმულით

$$R_{0,9} = \bar{R} + \alpha \sigma_n$$

სადაც α - არის პარამეტრი, დავაკვირებული P -ზე დამოკიდებულებასთან

$$P_{0,9} = 0,5 + 0,5 \Phi(\alpha) \quad R_{0,9} = 7 + 1,282 \sqrt{0,35} = 7,75$$

2. პირველი წარმოებულის ცვლილების პროცენტის საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრისათვის, როგორც იყო აღნიშნული, შეიძლება ვისარგებლოთ დამოკიდებულებით საშუალო კვადრატულ გადახრასა σ_n და პირველი აბსოლუტური ცენტრალური მომენტს V_n შორის. ნორმალური დამოკიდებულებისათვის სამართლიანია $\sigma_n = \sqrt{\frac{3}{2}} V_n$ დამოკიდებულება.

მაშინ $\sigma_n' = \sqrt{\frac{3}{2}} V_n'$ ანუ $\sigma_n' = \sqrt{\frac{3}{2}} 0,30 = 0,5317$

3. ამოვარდნების საშუალო რიცხვი დროის ერთეულში უზრუნველყოფის დონის დროს

$$n_{HD} = \frac{1}{2\pi} \frac{0,9}{\sqrt{0,05}} \exp \left[-\frac{(7,75-7)^2}{2 \cdot 0,05} \right] = 0,00231$$

4. ამოვარდნის საშუალო ხანგრძლივობა

$$\bar{T}_{0,9} = \frac{1}{0,25} \sqrt{0,05} \left[1 - \Phi \left(\frac{7,75-7}{\sqrt{0,05}} \right) \right] \exp \left(\frac{(7,75-7)^2}{2 \cdot 0,05} \right) = 0,3895$$

5. ამოვარდნებს შორის საშუალო ხანგრძლივობა

$$T_{0,9} = 2\pi \frac{\sqrt{0,05}}{0,25} \Phi \left(\frac{7,75-7}{\sqrt{0,05}} \right) \exp \left[\frac{(7,75-7)^2}{2 \cdot 0,05} \right] = 1557,43$$



6. როცა უზრუნველყოფილობა $P_{\text{რე}} = 0,90$, შეიძლება დავადგინოთ
დონის ვადამეტება პროცენტებში საანგარიშოდან.

$$\Delta_{\text{II}} = \frac{\left[\frac{\sigma_{\text{II}}^2}{\sigma_{\text{I}}^2} \frac{\sqrt{2n}}{t_{\text{საანგ}}} + \bar{\Pi} - \Pi_{\text{საანგ}} \right]}{\Pi} \cdot 100 = 7,878$$

მოტანილი ფორმულების საშუალებით, თუკი შევანჩევთ უზრუნველყოფი-
ლობას, შეიძლება შევადგინოთ ობიექტის ნორმალური მდგომარეობის დარღვე-
ვიდან ამოვარდნების საშუალო რიცხვიდან დამოკიდებულების გრაფიკი.

10.3. ნაგებობების საიმედოობის შეფასება ავტორმატის
კონსტრუქციის ინჟინერების ცვლილების გამოვლინების მიზნით

როგორც ცნობილია, სეისმომდებლობის დაზიანების მნიშვნელობაზე,
სეისმურ რეგიონში, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ ძირითადი ბიძგის
შემდეგ გახანგრძლივებული სეისმური დარტყმები, ე.წ. ავტორმატიკი. ზო-
გიერთ ადგილებში ბიძგების რაოდენობა ათასს აღემატება. ეს დარტყმები
ასუსტებენ ძირითადი მიწისძვრის შედეგად დეფორმირებული ობიექტის ცალ-
კეული ნაწილის მდგრადობის, აქვეითებენ სიმტკიცეს. მდგრადობისა და სიმ-
ტკიცის თვისებების ამოკლება გვიჩვენა, რომ ამ მნიშვნელობების და-
წევა გარემოს პირობებთან შეფარდებით, აღწევს 40... 50%. ამასთან
დაკავშირებით, ამ დაზიანებების შემდეგ, მიწისძვრის დროს ნარჩენი დე-
ფორმაციების დაგროვების შედეგად, სხვადასხვა ობიექტები შეიძლება დაინ-
გრას ძალური ზემოქმედების არსებითად უმცირესი მნიშვნელობის დროს. ობი-
ექტის დაქვეითებულმა შეუფერხებელმა შეიძლება მიგვიყვანოს ავარიებამ-
დე. რაც გამწვეულია გახანგრძლივებული სეისმური ბიძგების შედეგად. თუმ-
ცა, დღემდე ცალკეული ნაგებობების შენობების საიმედოობის დადგენისას,
არასაკმარისადაა გამოვლინებული მიწისძვრის შემდეგ შრომისუნარიანო-
ბის პირობების ცვლილება.



მიწიისპირის ღროს და მის შემდეგ ნაგებობებზე დაკვირვებებში გამოვლევებმა გვიჩვენეს, რომ დაზიანების განვითარების ინტენსიობა, ძირითადად დამოკიდებულია დატვირთვის პირობებსა და კონსტრუქციის ელემენტების კონსტრუქციულ სიმტკიცეზე.

თუ სეისმური ზემოქმედების წინააღობას შევაფასებთ Π დაზიანების მნიშვნელობით, შეიძლება დავუშვათ, რომ სეისმური ზემოქმედების დასაწყისში $\Pi = 0$, დანგრევის მომენტში $\Pi = 1$. სეისმური ზემოქმედების ხანგრძლივობის გაზრდასთან ერთად განმეორებითი დატვირთვების რიცხვი და მათი შეხამება იზრდება და ობიექტების საიმედოობა მცირდება.

დაზიანების ინტენსიობა სეისმური ზემოქმედების ღროს დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე და საერთო სახით შეიძლება გამოისახოს

$$\frac{d\Pi}{dt} = \Psi(t, P(t), l(t), m(t), \Pi(t), K(t)) \quad /10.60/$$

- აღადვ
- t - არის სეისმური ზემოქმედების ხანგრძლივობა
 - P - არის დამაბული მდგომარეობის დამახასიათებელი პარამეტრი
 - l - არის დეფორმაციის დამახასიათებელი პარამეტრი
 - m - არის პირობითი დამაბული მდგომარეობის დამახასიათებელი პარამეტრი
 - K - არის პროცესზე კლიმატური ზემოქმედების დამახასიათებელი პარამეტრი

/10.60/ გამოსახულების მიხედვით რიცხვითი შედეგების მიღება გარულებულია.

სეისმური ზემოქმედების ღროს დეფორმაციის პროცესების ნამდვილი პარამეტრები განისაზღვრებიან არა მარტო პროცესებს შეპირობებული ფაქტორების საშუალო პარამეტრებით, არამედ მათი გაფანტვით, შემთხვევითი აღბათობით მახასიათებლებით, რომლებიც მდლიანად ითვალისწინებენ ამ მარცვლებებს. ამასთან დაკავშირებით ნათელი ხდება, რომ პროცესის სრულიად ალწერისათვის საჭიროა შემთხვევითი პროცესების თეორიის გამოყენება, რომელიც საშუალებ-



ბას იმდენა გადავიყვანეთ ანალოგიური ამოცანები ტექნიკასა და პირველადი ტექნიკაში /51,52,74,75,94,98/.

მიწისძვრის დროს მიწისძვრის ინტენსივობა არა იშვიათად აღემატება ნაგებობის /ობიექტების/ სეისმომდევობას, შეიმჩნევა დაზიანებები, ობიექტების დეფორმაციები. ამ პროცესის კრიტიკული მდგომარეობა დამოკიდებულია იმ სიტუაციის დადგომაზე, რომლის დროსაც ობიექტების დაზიანება ისეთ ზღურბლს უახლოვდება, როცა მათ არ შეუძლიათ შეასრულონ ყველა დაკისრებული ვალდებულება ან მათი ნაწილი.

ობიექტის ფუნქციონირება ძირითადად განისაზღვრება ფაქტორების ჯგუფებით, რომლებიც განაპირობებენ დაზიანებას. დაზიანება ძირითადად ახასიათებს ობიექტის მდგომარეობას, ამიტომ დოკუმირება, რომ განმსაზღვრულ პარამეტრად მივიღოთ დაზიანების მნიშვნელობა. ეს ამოჩნევა სამართლიანია იმიტომაც, რომ დაზიანების ზრდასთან დაკავშირებული ავარიული სიტუაციების მრავალი მტყუნება.

ისეთი არასტაციონალური პროცესების შესწავლა, როგორცაა სეისმური ზემოქმედებები, წარმოადგენენ რთულ მათემატიკურ პრობლემას. პრაქტიკაში გამოყენებისათვის ამ ამოცანის გადასაწი ყვეტად მიღებული საკმაოდ საიმედო და მოხერხებული შედეგები ძირითადად მიღებულია მარკოვის პროცესების თეორიის გამოყენებით.

ჩატარებული გამოკვლევების ანალიზი, აგრეთვე ლიტერატურული მონაცემები /2,8,75,94,98/ თვალნათლივ გვიჩვენებს მარკოვის პროცესების თეორიის დიდ შესაძლებლობებს იმ პროცესების აღწერისათვის, რომლებიც ანალოგიურებია სეისმური ზემოქმედებისა და სეისმომდევობისა.

შეიძლება დავუშვათ, რომ გამოსაკვლევი პროცესი, ისევე როგორც მარკოვის პროცესი, არის შემთხვევითი, რომელთანაც ყველა მომდევნო მდგომარეობის აღბათობა მხოლოდ წინასთანაა დაკავშირებული. ამგვარად მნიშვნელოვანია ის, რომ მარკოვის პროცესის გამოყენების შემთხვევაში შეიძლება ობიექტის მდგომარეობის პროგნოზირება პროცესის მხოლოდ ერთი ნაცნობი



მნიშვნელობის მიხედვით, რადგანაც წინა მდგომარეობებიდან შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ მოცემულ შემთხვევაში პროგნოზი არ არის დამოკიდებული მარკოვის პროცესების ბევრი ანალიზური მეთოდი კარგადაა დამუშავებული და საშუალებას იძლევა მოხერხებულად გამოვიანგარიშოთ გამოსვლის პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები /94, 96, 97, 98/.

დასმულ ამოცანასთან დაკავშირებით დიდ ინტერესს იწვევს /97/-ში აღწერილი მიდგომა მტყუნების მოდელების კონსტრუირებისას და ელექტრონული ტექნიკის ნაგებობის დეგრადაციული პროცესების ანალიზისას. ამ სქემის საფუძველზე დევს ფიზიკურად ნათელი იდეა იმისა, რომ ნაკეთობის დეგრადაცია წარმოადგენს დიფუზიური ტიპის მარკოვის პროცესს არამონოტონური რეალიზაციებით.

/81, 94, 98/ შრომებში გადმოცემული სქემის მიხედვით, ხდება რა მისი მოდიფიცირება ობიექტების დეფორმაციასთან შეფარდებით სეისმური ზემოქმედების დროს, მოვიყვანოთ ამოცანის ამოხსნას ობიექტის საიმედოობაზე მიწისძვრის დროს, ავტერშოკის წაფალიწინებით.

აღვნიშნოთ, რომ $X(t)$ შემთხვევით პროცესს ეწოდება მარკოვის პროცესი, თუკი ნებისმიერი n მომენტებისათვის $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ დრო $[0, T]$ განაწილებების პირობითი ფუნქციის "ბოლო" მნიშვნელობის $y(t_n)$ მონაკვეთიდან ფიქსირებული მნიშვნელობების $y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_{n-1})$ დროს დამოკიდებულია მხოლოდ $y(t_{n-1})$ /75, 97/

მარკოვის აპროქსიმაციის გამოყენების შემთხვევაში საძებნი მაჩვენებლები გამოიანგარიშებიან მდგომარეობის ალბათობის მდგომარეობით. მარკოვის პროცესი აღწერს ამ მდგომარეობის ევოლუციას დროში. მდგომარეობის რეალიზაციის ალბათობისათვის შეიძლება დავწეროთ n დიფერენციალური განტოლებები. მდგომარეობის ნიშნად ჩავთვალოთ ობიექტის დაზიანება, რომლის დროსაც დაზიანება, ფაქტურად, რომელიმე ფიქსირებულ მნიშვნელობას უტოლდება.

თავდაპირველად განვიხილოთ შესასწავლი დეფორმაციის პროცესში გორჯ ერთგვაროვანი, ანუ დაზიანების მულტივი ინტენსიობით მულტივი სა-
 შუალო კვადრატული ინტენსიობის გადახრით. ამგვარ პროცესებს შემთხვე-
 ვითი პროცესების თეორია აღწერს პირველი რიგის სტოქასტიკური დიფე-
 რენციალური განტოლებით - იაპონელი მათემატიკოსის კ. იტოს განტოლება
 ასე გამოიყურება /75, 97, 98/

$$d_n = M_y dt + \sigma_y d\psi(t) \quad /10.61/$$

- სადაც M_y - არის დაზიანების ინტენსიობის მათემატიკური ლოდინი
 σ_y - არის დაზიანების ინტენსიობის საშუალო კვადრატული
 გადახრა

$\psi(t)$ - არის გაუსის ტიპის შემთხვევითი შემდგენი

- ნორმალური თეორი ხმაური^X. შეგახსენებთ, რომ შემთხვევითი
 პროცესების თეორიაში თეორი ხმაური ეწოდება მულტივი სპექტრული სიმკ-
 ვრივის შემთხვევით ფუნქციას.

დაზიანების ინტენსიობა და დაზიანების ინტენსიობის საშუალო
 კვადრატული გადახრა შეიძლება შეფასდნენ მოცემული გამოკვლევების,
 დაკვირვებების საფუძველზე. დაზიანების ინტენსიობა დამოკიდებულია
 სეისმური ზემოქმედების ინტენსიობაზე და სეისმური ზემოქმედების წი-
 ნალობალობაზე /დაზიანების ხარისხის გამოსახული/.

პროცესის შესწავლისას ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოად-
 გენს მოცემული ზღვრული /კრიტიკული/ მნიშვნელობის პირველი გადაკვე-
 თის დროის მნიშვნელობა. ეს მოითხოვს პროცესის ერთი მდგომარეობიდან
 მეორეში გადასვლის ალბათობის სიმკვრივის დადგენას ($P(t_0, h_0, t, h)$)
 /75, 94, 97, 98/-დან ცნობილია, რომ მარკოვის დიფუზიური ტიპის პროცესის
 პირობითი გარდამავალი სიმკვრივე წარმოადგენს ფოკერ-პლანკ-კოლმოგორო-
 ვის განტოლების ამოხსნას, რომელიც შეესაბამება შესასწავლი პროცესის



კინემატიკურ განტოლებას, ალბათობის სიმკვრივის მიმართ $P(\lambda, t)$ ასეთი სახე აქვს

$$\frac{\partial}{\partial t} P(\lambda, t) + \frac{\partial}{\partial \lambda} [a(\lambda, t) P(\lambda, t) P(\lambda, t)] - \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} [b(\lambda, t) P(\lambda, t)] = 0 \quad /10.62/^{XX}$$

აღწერით რა ამ განტოლებით გამოსაკვლევი პროცესის დინამიკას, შეიძლება მივიღოთ დაზიანების პროცესის ალბათობითი მახასიათებლის ანალიზური დამოკიდებულება დროზე

$$\frac{\partial P}{\partial t} + M_y \frac{\partial P}{\partial h} - \frac{D_y}{2} \frac{\partial^2 P}{\partial h^2} = 0 \quad /10.63/$$

$M_y, D_y, a(\lambda, t), b(\lambda, t)$ განისაზღვრებიან საწყისი სტოქასტიკური დიფერენციალური განტოლებით /10.63/, რომელიც აღწერს განსახილველი პროცესის ქცევას.

/10.63/ განტოლების ამოხსნა დამოკიდებულია სასაზღვრო პირობებზე, რომლებიც ფიზიკურ პირობებზე არიან დამოკიდებული. როცა /10.62/ პროცესს აქვს მონოტონური ხასიათი, გვექნება

$$P(h, t)_{h=0} = P(h, t)_{h=\infty} = 0 \quad /10.64/$$

$$P(h, t)_{h=0} = \delta(h) \quad /10.65/$$

სადაც $\delta(h)$ - არის დელტა ფუნქცია /98/.

ანალიზურად და რიცხობრივად /10.62/ ან /10.63/ განტოლების ინტეგრირება, რომელიც წარმოადგენს განტოლებას პარაბოლური ტიპის კერძო წარმოებულებში, მეტად რთულია. ამის გამოსახსნელად შეიძლება გამოვიყენოთ ამ ტიპის /98/ განტოლების ამოხსნის ცნობილი მეთოდები. უნდა აღვნიშნოთ, რომ მხოლოდ ერთგანზომილებში და ცალკეულ შემთხვევებში,

^{XX} ბრუნის მოძრაობის პროცესის ასაწირად ფოკერისა /1914წ/ და პლანკის /1917წ/ შრომებში ვხვდებით /10.62/ განტოლებას. მკაცრი მათემატიკური დასაბუთება /10.62/ მისცა ა.ნ. კოლმოგოროვმა /98/. ეს განტოლება გამოიყენება "დალუპვის პროცესისა" და გამრავლების აღწერისათვის.



ორგანოზომილებიანში ხდება შესაძლებელი ამოხსნა, ამიტომ მნიშვნელოვანია მიახლოებითი ამოხსნის გზების ძიება /10.62/ ან /10.63/ განტოლების მიახლოებითი ინტეგრირებისათვის, მოცემული საწყისი პირობით, შეიძლება განისაზღვროს განსახილველი მარკოვის პროცესის ალბათობის განაწილების სიმკვრივე P დროის შემდგომ მომენტში.

/10.64/ და /10.65/ სასაზღვრო პირობების დროს /10.63/ განტოლების ამოხსნა ცნობილია, როგორც ფუნდამენტალური, აქვს ასეთი სახე /97,98/

$$P = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi t}} \exp \left[-\frac{(k - M_y t)^2}{2\sigma_y^2 t} \right] \quad /10.66/$$

მოცემული ამოცანის ამოხსნისას ჩვენ გვაინტერესებს პირველი მიღწევის /მიწვდომის/ დროს განაწილება პარამეტრის აღწერილობის ზღვრული /კრიტიკული/ მნიშვნელობით, რომელსაც ასეთი სახე აქვს /97,98/

$$f(t) = \int_{-\infty}^H \frac{\partial P}{\partial t} dk \quad /10.67/$$

/10.67/ გამოსახულების დიფერენცირების შედეგად გვაქვს

$$\frac{\partial P}{\partial t} = k^2 - \frac{M_y^2 t^2 - \sigma_y^2 t}{3\sigma_y^2 t^2 \sqrt{2\pi t}} \exp \left[-\frac{(k - M_y t)^2}{2\sigma_y^2 t} \right] \quad /10.68/$$

თუკი /10.68/ მნიშვნელობას შევიტანთ /10.67/ დროის განაწილების სიმკვრივის პირველ მიღწევაში /მიწვდომაში/, კრიტიკული H მნიშვნელობის პროცესით გვექნება

$$f(t) = \frac{E+t}{2EB\sqrt{2\pi t}} \exp \left[-\frac{(t-E)^2}{2E^2 B^2 t} \right] \quad /10.69/$$

სადაც $E = \frac{H}{M_y}$ $B = \frac{\sigma}{\sqrt{EM_y}}$

მოცემული კრიტიკული მნიშვნელობის პროცესით /10.61/ დროის განაწილების პირველი მიღწევის /მიწვდომის/ ფუნქცია H

$$F(t) = \Phi \left(\frac{t-E}{BE\sqrt{t_2}} \right) \quad /10.70/$$

სადაც $\Phi(-z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-x^2/2} dx$



ტ დროში კრიტიკული მნიშვნელობის პროცესით გადაუმეტებლობის

აღბათობა ტოლი იქნება

$$P(t) = \Phi\left(\frac{E-t}{EB\sqrt{t}}\right) \quad /10.71/$$

შეფერხებელი მუშაობის მათემატიკური ლოდინი და დროის დისპერსია იქნება

$$E_t = E\left(1 + \frac{EB^2}{2}\right) \quad /10.72/$$

$$\sigma_t^2 = E^3 B^2 \left(1 + \frac{5EB^2}{4}\right) \quad /10.73/$$

როცა განსახილველი პროცესი წარმოადგენს არამონოტონურ მრუდებს, რომლებიც გადაკვეთენ მოცემულ კრიტიკულ მნიშვნელობას, მაშინ /10.63/-ის ამოხსნის დროს /10.65/ პირობასთან ერთად გამოიყენება

$$P(h,t) = 0 \quad p(h,t) = 0 \quad /10.74/$$

ამ პირობების დროს განტოლების ამოხსნას ასეთი სახე აქვს

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} \left\{ \exp\left[-\frac{(h-M_{jt})^2}{2\sigma_j^2 t}\right] - \exp\left[-\frac{(h-M_{jt}-2)^2}{2\sigma_j^2 t}\right] \right\} \quad /10.75/$$

$$f(t) = \frac{1}{Bt\sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(t-E)^2}{2E^2 D^2 t}\right] \quad /10.76/$$

ზღვრული მნიშვნელობის პროცესით /10.61/ დროის განაწილების პირველი მიწვევის /მიწველომის/ ფუნქცია იქნება

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-E}{BE\sqrt{t}}\right) + \exp\left(\frac{2}{EB^2}\right) \Phi\left(-\frac{t+E}{BE\sqrt{t}}\right) \quad /10.77/$$

შესაბამისად მათემატიკური ლოდინი და დისპერსია იქნება

$$M(t) = E \quad /10.78/$$

$$D(t) = E^3 B^2 \quad /10.79/$$

გამოსახულებას აღბათობისათვის $P(t)$ ისეთი სახე აქვს



$$P(t) = \Phi\left(\frac{E-t}{BE\sqrt{t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{B^2E}\right) \Phi\left(-\frac{t+E}{BE\sqrt{t}}\right)$$

ამოხსნის მსვლელობა განვიხილოთ მაგალითზე. უნდა ვიპოვოთ გადა-
უმეტებლობის ალბათობა დაზიანების კრიტიკული მნიშვნელობის პროცესით

$H=3$ 95 წლის განმავლობაში. თუ მოცემულია $M_1 = 0,03$, $\sigma = 0,0005$

\sqrt{t} ლი. $E = \frac{1}{0,03} = 100$ $B = \frac{0,20005}{0,011} = 0,005$

$$EB\sqrt{t} = 100 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{95} = 4,85$$

$$\Phi = \left(\frac{100-95}{4,85}\right) = \Phi(1,03) = 0,84$$

ამოცანის ასეთმა დასმამ არ უნდა გამოიწვიოს ეჭვები მოცემულ შემ-
თხვევაში გამოყენებული ნორმალური განაწილების მართლობიერების გარდა.
ხოლო ამ სახის განაწილების გამოყენება, მისი მოხმარების სიმარტივესთან
ერთად, იხსნება იმიტომ, რომ მის საფუძველზე დევს ე.წ. ალბათობის თეორიის
ცენტრალური ზღვრული თეორემა, რომელიც დამოუკიდებელი სიდიდეების ფართო
კლასისათვის ამტკიცებს მათი ჯამის ასიმპტოტიკურ ნორმალურს.

დასმული ამოცანა შეიძლება ამოიხსნას რეკურენტურად შედარებით ჯობლად.
მის მიხედვით შეიძლება შედგეს სტანდარტული პროგრამები, რომლებიც სა-
შუალებას იძლევიან რამდენიმე კონსტრუქციიდან აირჩიოს ის, რომელსაც ექ-
ნება დიდი საიმედოობა.

მრავალი პირიდადი და თანხლები შემთხვევითი ფაქტორების გამო, მი-
წიისძვრის დროს სხვადასხვა ობიექტების პროგნოზირებისას, უპირატესობა
მიეცემა არასტაციონალურ პროცესებს. შესაძლოა ამ პროცესების მიმდინა-
რების განსაზღვრული ფაქტორების სრული გათვალისწინება თხოვლობს პარა-
მეტრის განმსაზღვრავ არასტაციონალურ პროცესების ზღვრული /კრიტიკული/
მნიშვნელობების გადაკვეთის ალბათობითი მახასიათებლების პოვნას.

მიწიისძვრის დროს დაზიანება შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც
პროცესი, რომელსაც ზედდება შემთხვევითი შემდგენი, რომელსაც შეუძლია
იყოს წარმოდგენილი სტაციონალური პროცესის $X(t)$ სახით ნულოვანი



მათემატიკური ლოდინით $\sigma^2 \tau(\tau)$

კორელაციური ფუნქციის

დებერმინანტული ფუნქციის ჯამით აღწერილი პროცესი შემთხვევითი კოეფიციენტებითა და ნორმალური სტატისტიკური პროცესით

$$h_1(t) = \chi_1(t) + y_1(t) \quad /10.81/$$

დავუშვათ ცვლილების სიჩქარე $y_1(t)$ მუდმივია დროში, მაგრამ ყოველი კონკრეტული ობიექტისათვის იცვლება შემთხვევით. ასეთი პროცესი შეიძლება გამოისახოს შემთხვევითი კოეფიციენტებიანი წრფივი ფუნქციით.

$$y_1(t) = h_0 + h_1(t) \quad /10.82/$$

$$h(t) = h_0 + h_1(t) + y_1(t) \quad /10.83/$$

საერთო შემთხვევაში გამოსაკვლევი პროცესის ზედ ედება შემთხვევითი მდგენელი $\chi_1(t)$

სადაც $\chi_1(t)$ - არის ნორმალური სტატისტიკური პროცესი ნულოვანი მათემატიკური ლოდინით $\sigma^2 \tau(\tau)$ და ნორმალურად განაწილებული შემთხვევითი სიდიდეები h_0, h_1

პროცესის განაწილების სიმკვრივე $y_1(t)$ მომენტში t შეიძლება ასე გამოისახოს

$$f(y) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - M_h}{\sigma} \right)^2 \right] \quad /10.84/$$

სადაც M_h და σ^2 პარამეტრები დგინდებიან დამოკიდებულებით

$$M_h = M h_0 + t M h_1 \quad /10.85/$$

$$\sigma^2 = \sigma_{h_0}^2 + 2\tau t \sigma_{h_0} \sigma_{h_1} + \sigma_{h_1}^2 t^2 \quad /10.86/$$

სადაც $M h_0, M h_1, \sigma_{h_0}^2, \sigma_{h_1}^2$ - არიან მათემატიკური ლოდინები და h_0, h_1 კოეფიციენტების დისპერსიები

τ - არის კორელაციის კოეფიციენტი

h_0, h_1 სიდიდეებს შორის



საქართველოს
ეროვნული უნივერსიტეტი

საფუნჯო
საფუნჯო

H აღენიშნეთ განსაზღვრული პარამეტრის ზღვრული სიდიდე - წინააღმდეგობის
ჩაღრმავება /98/-ში (მოყვანილი შუალედური გამოანგარიშების /~~XXXXXX~~/
~~XXXXXX~~ ობიექტის შეუფერხებელი ფუნქციონერების აღზადების გასაანგარიშ-
შებლად გვაქვს გამოსახულება

$$P(t) \approx \Phi \left(\frac{H - Mh}{\sqrt{6t^2 + 6t}} \right) - \frac{6_1 h_0 t}{\sqrt{6t^2 + 6t}} \exp \left[- \frac{(H - Mh)^2}{2(6t^2 + 6t)} \right] \quad /10.87/$$

ამოვარდნების საშუალო რიცხვის დასადგენად ჩვეულებრივად იყენებ-
ენ ორგონის დიფერენცირებულ სტაციონალურ ერგოდიულ კორელაციურ ფუნქ-
ციებს, რომლის დროსაც

$$n_0 = \frac{(-K_0'')^{1/2}}{2\pi 6_1} \quad /10.88/$$

საწყისი ინფორმაციის მონაცემების დევიაციის დროს კორელაციური
ფუნქციის მახასიათებლების ასაგებად, რომლებიც აუცილებელია ობიექტების
განაგარიშებისათვის, შეიძლება გამოვიყენოთ თანაფარდობა მოსახოვრ
/საფირო/ პარამეტრებსა და ამოვარდნების საშუალო ხანგრძლივობას შორის
ან აბსოლუტური მინიშვნელობების მინიმუმსა ან მიწისძვრის დროს ხშირად
ფიქსირებულ მინიმუმს შორის.

ამოვარდნების საშუალო რიცხვის მიახლოებითი მინიშვნელობა შეიძლება
დავადგინოთ, თუკი ვიცით ამოვარდნების პროცესის საშუალო ხანგრძლივობის
მინიშვნელობა მათემატიკური ლოდინის დონის იქით

$$n_0 = \frac{1}{2 \tau_{6_0 6_0}} \quad /10.89/$$

პროცესის სიჩქარის საშუალო კვადრატული გადახრა იქნება

$$\sigma' = \sqrt{-P''(0)} = \frac{\pi}{\tau_{6_0 6_0}} \quad /10.90/$$

სიდიდე $\tau_{6_0 6_0}$ შეიძლება ვიპოვოთ შემთხვევითი პროცესის რეალიზატ

ციებით

$$\tau_{6_0 6_0} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{0i}}{K} \quad /10.91/$$



/10.39/-ის გათვალისწინებით, მაგალითად შემთხვევისათვის n_{σ} და განმსაზღვრელ პარამეტრს წარმოადგენს დაზიანება n_{σ} გვექნება

$$n_{\sigma} = \frac{1}{2\tau_{\sigma\sigma}} \exp\left[-\frac{(R_{\sigma\sigma} - \sigma)^2}{2\sigma_{\sigma}^2}\right] \quad /10.92/$$

დაზიანების აბსოლუტური მაქსიმუმის მათემატიკური ლოდინი შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებით

$$P_{max} = \int_{\sigma}^{\sigma} \sigma f(\sigma) d\sigma \quad /10.93/$$

/10.93/ გამოსახულებიდან მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯის გამოსაანგარიშებლად გვაქვს

$$P_{max} = M_{\sigma} + n_{\sigma} t \sigma \sqrt{2\pi} \quad /10.94/$$

$$P_{min} = M_{\sigma} - n_{\sigma} t \sigma \sqrt{2\pi} \quad /10.95/$$

/10.94/ გამოსახულებიდან

$$n_{\sigma} = \frac{P_{max} - M_{\sigma}}{t \sigma \sqrt{2\pi}} \quad /10.96/$$

თანმიმდევრული მიახლოების მეთოდით $P(t)$ საიმედოობის მნიშვნელობის შერჩევით, აგრეთვე ზღვრული დაზიანების, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ობიექტის შეუფერხებელი ფუნქციონირების ვადა. აგრეთვე $P(t)$ საიმედოობის მნიშვნელობის და t ფუნქციონირების ვადის შერჩევით შეიძლება დავადგინოთ დაზიანება მოცემული საიმედოობით.

გამოყვანილი დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევიან საწყისი ინფორმაციის დეფიციტის პირობებში გამოვიყენოთ სიზუსტით მისაღები ობიექტების დაზიანების შეფასებები მათი საიმედოობის შეფასებისას.

ობიექტების საიმედოობის ოპტიმიზაცია და უფრო ზუსტი შეფასება თხოვლობს ზარალის აღრიცხვას, სადაც ჩართულია დაზიანებული ან განადგურებული ნაგებობების, ნივთების თვითღირებულება, ასევე ადამიანთა სიცოცხლისა და მიღებული დასახიჩრების ღირებულება. საზღვარგარეთის ავტორების რეკომენდაციით ადამიანის სიცოცხლის ღირებულება /რ.ლ. აკოფი/ იმ მოსალოდნელი

წვლილის ტოლია, რომელიც მას შეეძლო შეეტანა ქვეყნის ერთობლივ
დოკტრინაში პარლამენტში რომელიც მას შეეძლო შეეტანა სიტრუხლის მანბილ-
ზე /75/.

განსახილველი პრობლემებისადმი საერთო მიდგომა ამოცანის ამოხსნის
ძირითადი იდეოლოგია შეიძლება გამოყენებული იქნეს ობიექტების მდგომარ-
ეობის პროგნოზირებისას ბუნებრივი კატასტროფების ზემოქმედების დროს.

10.2. ჰიდრომეტეოროლოგიური ნაპოვნების საინფორმაციო
მიზნობრივი შიშისაგან

ეკოლოგიური და სოციალური პოტენციური საშიშროების, აგრეთვე
სხვადასხვა დანიშნულების ჰიდრომეტეოროლოგიური ობიექტების უდიდესი პასუ-
ხისმგებლობის გამო, განსაკუთრებით ყველაზე პასუხისმგებ კაშალებზე,
აუცილებელია მუდმივად გვექონდეს წარმოდგენა, დამანგრეველი მიწისძვრის
შემდეგ, ამ ნაგებობების მდგომარეობის საიმედოობაზე.

ამგამად დამუშავებულია სეისმომდეგობის საერთო თეორიაზე დამყა-
რებული კაშალებისა და სხვა სახის ჰიდრონაგებობის საიმედოობის გაანგა-
რიშების მეთოდოლოგია /75, 80/ საიმედოობის, რისკის შეფასებისას /კომბინი-
რებული ეფექტი, რომელიც განპირობებულია სხვადასხვა სეისმური მოვლენებით,
რომლებსაც ადგილი აქვთ დამანგრეველი მიწისძვრის დროს და მოცემულ მოვ-
ლენაზე კონკრეტული ობიექტის სხვადასხვა ხასიათის რეაქციით/ სხვადასხვა
აგებობები ისწრაფვიან გაიფაღისწინონ სხვადასხვა ელემენტების დაძაბული
მდგომარეობის ნამდვილი სურათი და ობიექტების დატვირთვის წინააღმდეგობა
მედიანად.

მოცემული ნაშრომის შეზღუდული მოცულობა საშუალებას არ იძლევა უფ-
რო დაწვრილებით გადმოვცეთ რიგი ნაშრომებისა, რომლებიც ამ ამოცანებისად-
მი მიძღვნილი, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ სამწუშაო აროდ საიმედოობის გაან-
გარიშების მეთოდების დამუშავების დონე სიზუსტეზე, შარამეტრების შემწი-
ვლობაზე, რომლებიც განისაზღვრავენ მდგომარეობას, აშკარად ჩამორჩებიან



საარჩევნო
სისტემა

ნაგებობების გაანგარიშების მეშვეობით, რომლებიც საშუალებას იძლევიან დადანიშნულ ობიექტების გერმეტრიული ზონები დრეკადობის თეორიის მეშვეობით ფართო ჩათვლით.

კაშხალების საექსპლუატაციო ვარჯისობის შეფასებისათვის საინჟინერო-ლობის თეორიის მოდიფიცირებული მიდგომის გამოყენების ცალკეული მცდელობები არასაკმარისად ითვალისწინებენ უსასრულოდ მრავალი ფაქტორებიდან, რომლებიც განსაზღვრავენ ობიექტის ფუნქციონირების შეუფერხებლობას. ამას დაჰყავს ნულამდე საანგარიშო მოდელის კონსტრუირების და მალაღი სიზუსტის მქონე რიგი მარცვრებლის აღრიცხვის მცდელობა.

სპიტაკსა /1988წ/ და საქართველოში /199წ/ დამანგრეველი მიწისძვრების შემდეგ ჩატარებულმა პირობებში და მდინარეების წყალ-სამეურნეო ობიექტების შემოწმებამ გვიჩვენა, რომ ეს ობიექტები ძირითადად ჭადარჩენ, თუმცა ზოგიერთი კაშხლის თხემზე გაჩნდნენ გრძივი ზეარები, შესის შენობებზე გაჩნდნენ ლოკალური ზეარები, დათვლიერებისას აღმოჩნდა ბეწვა ზეარები, ცალკეულ ადგილებში შემჩნეულია ჩამონგრეული ბათქაში. უნდა აღინიშნოს, რომ არც ერთ ობიექტზე დაფორმაცია არ აღემეტებოდა მეორე ხარისხის დაზიანებას.

თუ მიწისძვრის დროს ძალური შემოქმედების სურათი რთულად, მაგრამ რაღაც საშუალებით მაინც შეიძლება განისაზღვროს, სხვადასხვა ობიექტის წინააღმდეგობის პარამეტრის განსაზღვრა რთულია. ამიტომაც მიზიდველი მიწისძვრების შედეგების საინჟინერო გამოკვლევების მონაცემების დაკავშირების იდეა /დაზიანების მონაცემები/ წინააღმდეგობის პარამეტრებთან.

კაშხლების ლიტერატურული მონაცემები, დათვლიერება და გამოკვლევები ნათლად გვიჩვენებენ დაზიანების პრეობრაციულობას მიწისძვრის ინტენსიობასთან. აღსანიშნავია, რომ ბალებში დახასიათებული მიწისძვრის ინტენსიობასა და ობიექტის დაზიანების ხარისხს შორის /შენობის, ნაგებობის/ არსებობს ურთიერთკავშირი. როგორც ცნობილია დაზიანებით დგინდება თვით



სეისმურობის ბაღი. თუმცა არის შესაძლებლობა დაზიანების ხარისხის დაზუსტება ვახასიათოდ, როგორც ძალური ზემოქმედება დამანგრეველი მიწისძვრისაგან, ასევე ობიექტის მიერ ამ ზემოქმედების მიმართ გაწეული წინააღმდეგობა /რეაქცია/. ამასთან ერთად, ბოლო ათწლეულების მანძილზე დაგროვილია მონაცემები როგორც სეისმურ ზემოქმედებებზე /ნიადავის, ნაგებობების რხევები და ა.შ./, ასევე ამ ზემოქმედებით გამწვევულ დაძაბულ მდგომარეობაზე და ელემენტების დეფორმაციაზე.

თუ მასობრივი სამოქალაქო მშენებლობისათვის მიწისძვრის შედეგების ამჟამად მომქმედო რეკომენდაციებით შემოთავაზებული ხარისხობრივი შეფასება მისაღებია, მაშინ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, ობიექტების საინჟინერო-ლობის /რისკის/ გაანგარიშებები, რომლებიც დამყარებული არიან ხარისხობრივ მარკვერებზე დაზიანების ხარისხის მხოლოდ ვიზუალური ტათვადიერებით არ შეიძლება ჩაივალს თანამედროვე მეცნიერების განვითარების დონის შესაბამისად.

ნაგებობების ელემენტების წინააღმდეგობის მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის დასაბუთებულად მიგვაჩნია შეფასდეს წინააღმდეგობის წამდვილი მნიშვნელობით /სტატისტიკის ან სხვა მარკვერების/.

მიწისძვრის დროს მცირდება წინააღმდეგობის მარკვერული /დატვირთვებისა რეაქციული უნარი/ და ამასთან ელემენტის, მდლიანად თვითონ ობიექტის დაზიანება შეიძლება დადგინდეს, როგორც წინააღმდეგობის შემცირების სიდიდის შეფარდება საწყისი მდგომარეობის მნიშვნელობასთან

$$f = \frac{R_0 - R}{R_0} = 1 - \frac{R}{R_0} \quad /10.97/$$

- სადაც f - არის დაზიანება,
 R_0 - წინააღმდეგობის საწყისი მდგომარეობა ძალურ ზემოქმედებასთან,
 R - არის წინააღმდეგობა დაზიანების შემდეგ, დაზიანებული ელემენტების წინააღმდეგობა.



ელემენტების დაზიანების დროს, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე და დადლილობაზე, ასეთი მარცენებელია სიმტკიცის ან დადლილობის მარცენებლები. გრუნტის ნაგებობისათვის წინააღობის მარცენებელი შეიძლება იყოს ძვრის შეჭვიდებისათვის გაწეული წინააღობა, გამცობტრავი ნაგებობისათვის - ფილტრაციის მარცენებლები და ა.შ. წინააღობის მარცენებლად შეიძლება ავირჩიოთ ისეთი მარცენებელი, რომელიც ინტეგრალურად განსაზღვრავს ელემენტის და მთლიანად ობიექტის წყობიდან გამოსვლას /ავარულ მდგომარეობას/.

წინააღობის მარცენებლები შეიძლება დავადგინოთ დიაგნოსტიკების თანამედროვე საშუალებებით, რაც არ ირღვევა კონტროლი ან სხვა მეთოდებით. გაანგარიშებისათვის მოხერხებულია ფაქტიური წინააღობა გამოვსახოთ საწყისი წინააღობით კოეფიციენტის საშუალებით

$$R = \alpha R_0 : 1 \quad /10.98/$$

$\alpha = 1$ ნიშნავს, მიწისძვრის დროს არ იცვლება წინააღობის მნიშვნელობა. ამასთან დაზიანება

$$f = \frac{R_0 - R_0}{R_0} \quad f = 0$$

როდესაც წინააღობის მარცენებელი დაზიანების დროს 0-ის ტოლია, ანუ $\alpha = 0$, დაზიანება ტოლია $f = \frac{R_0 - 0}{R_0} = 1$ ანუ 100%.

ახლანდელი კლასიფიკაციის მესამე ხარისხის დაზიანების ზომიერ დაზიანებას შეესაბამება მდგომარეობა, როცა $\alpha = 1/K$ სადაც K - არის მარაგის კოეფიციენტი. ამასთან წინააღობის მნიშვნელობის მდგომარეობა ზღვრული მნიშვნელობის ტოლია.

შემდგომ გამოკვლევებში უნდა ვისწრაფოდეთ, რომ f მნიშვნელობა დავაკავშიროთ განმეორებადობას და მიწისძვრის ინტენსიობას გარემო პირობების გათვალისწინებით და ა.შ.

ამგვარად, ავარიის რისკის, საიმედოობის კრიტერიუმის იქნით კაშხლების წყობიდან გამოსვლის მიახლოებითი შეფასებისათვის შეიძლება პირობიდად

ჩავთვალოთ ყველა ობიექტში ჩადებული დაზიანების წინააღმდეგობის დამანგრეველი მიწისძვრების ზემოქმედების დროს. ამასთან, დაუშვებელია დიდი შევდომა, თუ წინააღმდეგობის ზღვრულ მნიშვნელობად მივიღებთ დაზიანების ნორმალურ მნიშვნელობას. ასეთ მნიშვნელობად გირჩევთ დაზიანების მესამე ხარისხს /რომელიც უშვებს გადამთან და ავით გადამტან ელიმენტების დაზიანებებს ჩამოუნგრევლად/. ამგვარად, საანგარიშო ზღვრული მნიშვნელობის კრიტერიუმად მივიღოთ

$$R_n = 3.0$$

ამგვარი მიდგომის დროს დაზიანების ხარისხის ფაქტორი, ნამდვილი, მიმდინარე მნიშვნელობა თამაშობს დატვირთვის /ძაბვის/ როლს P მაშინ ობიექტის საიმედოობის ამოცანის ჩვეულებრივი ალბათობითი დაყენების დროს, შემთხვევითი სიდიდე $R_n - P$ შეძლება დავაკავშიროთ ობიექტის ფუნქციონირების შეუფერხებელის ალბათობასთან.

$$P_H = P_z (R_n - P) \quad /10.99/$$

P შემთხვევითი სიდიდის მრავალფაქტორიანობის გათვალისწინებით, აგრეთვე რეგულირება ჩავთვალოთ, რომ ისინი აღწერილი არიან განაწილების ნორმალური კანონით, მაშინ $(R_n - P)$ ასევე აღიწერება ნორმალური განაწილებით და ობიექტის შეუფერხებელი ფუნქციონირების ალბათობა შეიძლება ასე გამოვსახოთ

$$P_H = \Phi \left[\frac{R_n - P}{\sqrt{\sigma_{R_n}^2 + \sigma_P^2}} \right] \quad /10.100/$$

სადაც σ_{R_n} , σ_P საშუალო კვადრატული გადახრა შესაბამისად R_n და P .

იმის დაშვებით შემთხვევაში, რომ R_n არის მუდმივი

$$P_H = \Phi \left[\frac{R_n - P}{\sqrt{\sigma_P^2}} \right] \quad /10.101/$$

ან

$$P_H = \Phi \left[\frac{R_n - P}{\gamma_P P} \right] \quad /10.102/$$

სადაც $\nu_p = 0,25$ - არის ν ვარიაციის კოეფიციენტი

სინამდვილეში მოცემული ზემოქმედებები და წინააღმდეგობები შეიძლება ექვემდებარებოდეს განაწილების უფრო რთულ წესს, ვიდრე ნორმალურს. მოცემული შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების ნებისმიერი კანონების დროს, არაწრფივი თანაფარდობა მათი გარდაქმნის დროს, ამოცანის ამოსახსნელად შეიძლება გამოყენებულ იქნას სტატისტიკური გამოცდის მეტოდი /მონტი-არლო/.

გადმოცემული გაანგარიშების ჩასატარებლად აუცილებელია ობიექტის მიწისძვრის ზონაში მოხვედრის ალბათობა მიწისძვრის წარმოშობის ალბათობის პუასონის კანონზე მიღებული დაქვემდებარების დროს, Ψ წელწადში ერთხელ მიწისძვრის განმეორებადობის დროს და Ψ ბალის ინტენსიური მიწისძვრის დროს t ობიექტის მუშაობის ვალში დადგენილი იყოს $1/15/$.

$$P(t) = \frac{T}{t} \exp(-\alpha/t) / 10 \cdot 103/$$

ანალოგიურად დასმული ამოცანა შეიძლება ამოხსნას შემთხვევითი ფუნქციების ამოვარდნების თეორიის გამოყენებით. ამოხსნის მსგევლობა ზემოთ მოყვანილის ანალოგიურია. ასეთი ამოხსნა საშუალებას იძლევა გავითვალისწინოთ როგორც ძალური ზემოქმედება, ასევე წინააღმდეგობა, განმეორებადობა ობიექტის მუშაობის ვალში.

შემოთავაზებული მეტოდის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ აბსტრაგირებული მაგალითის ამოხსნა, დავუშვათ, რომ კაშხალების დაზიანების ხარისხის მიწისძვრის შემდეგ $R_{\text{კლ}} = 2,0$. ვარიაციის კოეფიციენტი $\nu_p = 0,25$. მაშინ $10 \cdot 102/$ ფორმულით, კაშხალების საიმედოობა სეისმური ზემოქმედების შემდეგ, რომელმაც გამოიწვია მეორე ხარისხის დაზიანება, იქნება

$$P_0 = \Phi \left[\frac{3,0 - 2,0}{0,25 \cdot 2,0} \right] \quad P_0 = 0,9772$$

რისკი $r_{\text{ისკ}} = 0,0228$

მიხედვითი შეფასებისათვის ასეთი მიდგომის დაშვებაზე მოწმობს ქვისა და მსხვილპანელიანი შენობების საექსპლუატაციო ვარჯისიანობის



მიღგომარეობის ანალოგიური მიღგომით შესრულებული საკმაოდ დამაკმაყოფილებელი შეფასებების თანხმობა /105, 106/ ნაშრომში შესრულებული გაანგარიშებისა და დაკვირვებების მონაცემებით.

გდმოცემული მიღგომა საშუალებას იძლევა სამკაოდ მარტივად გვექნდოწარმოგენა კაშხალების წყობიდან გამოსვლის რისკზე დაზიანების გამოკვლევების მონაცემებით და შევაფასოთ სეუსმური ზემოქმედების შედეგები დაზიანების არსებულ კლასიფიკაციაზე /81/. ეს მონაცემები საშუალებას გვაძლევენ საკმაოდ საფუძვლიანად დავგეგმოთ კაშხალებზე სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოები.

შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება, რომელიც დაფუძნებულია დაზიანების უსაფრთხოების ანალიზზე, არ გამორიცხავს სხვა მეთოდებზე ჩატარებული შეფასებების აუცილებლობას.

ბუნებრივია, შემდგომ გამოკვლევებში ყურადღება უნდა დავუთმოთ დაზიანების შეფასების სრულყოფას მიწისფერის ზღვდან, განმეორებადობასთან და შენობის ხარისხიან დამოკიდებულებაში.

10.5. დამირეაქციის შედეგების კორექტირება ზაიისის მიღგომის გათვალისწინებით

მრავალი პარამეტრი /მაგალითად, დაზიანება/, რომელიც ახასიათებს მიწისძვრას, ზუსტდებიან მომხდარი მიწისძვრის მონაცემების დაგროვების მიხედვით. ჩვენ გვესახება, რომ ამისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ზაიისის მიღგომა. ეს განვიხილოთ აბსტრაქტულ მაგალითზე.

დავუშვათ, განსახილველი ობიექტის საიმედოობა ხასიათდება წარსული დაკვირვებების მონაცემებით $P_1 = 0,98$. მიწისძვრის ინტენსიობის შეფასების დროს შევლომის დაშვებისას საიმედოობა შეიძლება აღმოჩნდეს

$P_2 = 0,85$. მიწისძვრის ინტენსიობის პროგნოზის არსებული მეთოდები აღმრავენ ნდობას P_1 - თან 60%, ხოლო P_2 - თან 40%.

დავუშვათ, დაკვირვებისას აღმოჩნდა, რომ დასაკვირვებელი ობიექტი ბიდან ერთ-ერთს მტყუნება არა აქვს. პრაქტიკისათვის მნიშვნელოვანია იმის ცოდნა, როგორი იქნება განსახილველი ობიექტის შეუფერხებელი ფუნქციონირების ალბათობის მიღწევის მნიშვნელობა.

დაკვირვებისას დადგენილია, რომ u_1 ობიექტი შეუფერხებლად ფუნქციონირებს. თუკი გამოვიყენებთ ბაიეს-ლამბლასის ფორმულას, გვექნება

$$P(P_1/u_1) = \frac{P(P_1) \cdot P(u_1/P_1)}{P(P_1)P(u_1/P_1) + P(P_2)P(u_1/P_2)}$$

თუ შევიტანთ რიცხვით მნიშვნელობებს, გვექნება

$$P(P_1/u_1) = \frac{0,60 \cdot 0,98}{0,60 \cdot 0,98 + 0,40 \cdot 0,85} = 0,6336$$

მეორეული დაკვირვების დროს თუ არ გამოვლინდა ობიექტის მტყუნება, გვექნება

$$P(P_1/u_1 \cap u_2) = \frac{P(P_1) P((u_1 \cap u_2)/P_1)}{P(P_1) P((u_1 \cap u_2)/P_1) + P(P_2) P((u_1 \cap u_2)/P_2)}$$

ამგვარად, ეს აღი ინფორმაცია, რომელიც დამოკიდებულია მომზადარი მისძვრის მომდევნო დაკვირვებაზე, საშუალებას გვაძლევს დავაზუსტოთ წინა შედეგები.

$$P(P_1/u_1 \cap u_2) = 0,66599$$

სადისერტავით ნაშრომში წარმოდგენილია მრავალწლიანი გამოკვლევების შედეგები პირობები ნაგებობების საინფორმაციო უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, აგრეთვე მოცემულია კონკრეტული ობიექტების ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლის მიზნით ავტორის მიერ დამუშავებული მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებული ნატურული გამოკვლევების მონაცემებზე.

ძირითადი სამცნეირო, პრაქტიკული შედეგები და დასკვნები, რომლებიც მიღებულია მოცემულ სამუშაოში შემდეგია:

1. კაშხლებზე მომხდარი ავარიებისა და დაზიანების მონაცემების დაყრდნობით მიღებულია გამოსახულება, რომელიც საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ნაგებობებზე აუცილებელი ნატურული გამოკვლევების ვადები. აღნიშნული მეთოდი საშუალებას იძლევა გასაზრებულად დავადგინოთ ინტენსიური ნატურული გამოკვლევების ვადები და ამით გარკვეულად იყოს გარანტირებული ნაგებობის შემდგომი უსაფრთხო ექსპლუატაცია.

2. პირობები ნაგებობების ნატურული გამოკვლევებისათვის დამუშავებულია მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას იძლევა დავადგინოთ "გაზომების" ფიქსაციის ობიექტური რეჟიმები. დაკვირვებების არჩეული ობიექტური გეგმა უზრუნველყოფს ნატურულ დაკვირვებების მანძილზე სარწმუნო იფორმაციას მიღების და დასაკვირვებელი პროცესის ყველა შესაძლო ცვლილების მაღალი აღბათობით. ფიქსაციის შემოთავაზებული მეთოდით გამოიყენებოდა ენგურის თაღვან კაშხალზე სხვადასხვა ტიპის გამოკვლევების ჩატარების დროს.

3. დამუშავებულია გამოზომი სისტემების და გამოზომი საშუალებების პირობები ნაგებობებზე რაციონალურად განაწილების მეთოდიკა. აღნიშნული მეთოდიკა აპრობირებულია შედეგების და ტენზომეტრულ ობიექტების რაციონალური განაწილებისათვის. ენგური პეტის თაღვანი კაშხლის ნატურული დაკვირვებების ბაზაზე, რაციონალური განაწილების შემოთავაზებული მეთო-



დღის გამოყენებით და მუშავებული იყო რეკომენდაციები გამომცემლობის განაწილებისათვის აგრეთვე მოკულობისა და ნომინკლატურის დასაზუსტებლად, რომელიც ხულონპისის თალოვანი კაშხლის უავარიო მუშაობის მაქსიმალური გარანტიის უზრუნველყოფისათვის იყო საჭირო.

4. ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეოლოების კერძოდ კი პოტენციალური ფუნქციების მეოლოის გამოყენებით სახეთა გარჩევის თეორიიდან დამუშავებულია პიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და პროგნოზირების მეოლოცა. მეოლო აპრობირებულია ენგურის თალოვანი კაშხლის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისათვის. მეოლოცა საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნას კომპლექსური ნატურული გამოვლეების მონაცემები და მათი საშუალებების გაცეოდეს დასკვნა ნაგებობის ტექნიკური მდგომარეობის შესახებ.

5. ნატურული დაკვირვებების მონაცემების დამუშავების და ანალიზის მეოლოების სრულყოფით შესაძლებელი გახდა დადგენილ იყო ნაგებობის ტექნიკური მდგომარეობის გამსაზღვრელი საკონტროლო სხვადასხვა პარამეტრებზე გადაადგილებები, ძაბვები და ა.შ.

ნაგებობაზე მოქმედი ძირითადი მოქმედი ფაქტორების (პიდროსტატიკა, ტემპერატურა) გავლენის ხარისხის (წონის) შეფასება.

6. დამუშავებულია პიდროტექნიკური ნაგებობების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების პროგრამული კომპლექსი. პროგრამული კომპლექსი საშუალებას იძლევა ნატურული დაკვირვებების მონაცემები შეფასდეს ნაგებობის შექმნილ მათემატიკური (დეტესიმინისტული) მოდელს. აღსანიშნავია რომ შესაძარბელი როგორც დეტესიმინისტული ასევე ნატურული დაკვირვების სტატისტიკური მოდელები განიცდიან მუდმივ ცვლილებას დახვეწას. ნაგებობა ფუბე წყალსაცავი კომპლექსში მიმდინარე ცვლილებების შესაბამისად.

7. დამუშავებულია ნაგებობის თერმული მდგომარეობის რიცხვითი ანალიზის მეოლო, რომელიც ითვალისწინებს როგორც ნატურული გამოვლეების



საქართველოს ეროვნული ბიბლიოთეკა

დროს მიღებულ ტემპერატურულ მონაცემებს ასევე ტემპერატურული გამომწვევის, საშუალებების განლაგების როგორც ნაგებობის ზედაპირზე ასევე მის ტანში. აღნიშნულ ანალიზის საშუალებით მიღებულ ტემპერატურული "გაველინის" ფუნქციები, გამოყენებულია ნაგებობის დეტერმინისტული (მათემატიკური) მოდელში ტემპერატურული ფაქტორით გამოწვეული სტრუქტურული ეფექტების განსასაზღვრავად

8. დამუშავებულია ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სასრულ ელემენტთა მეთოდების სხვადასხვა ანგარიშებისთვის სასრულ ელემენტთა ბადის შექმნის ავტომატიზირებული პროგრამები როგორც ორგანოზომილებიანი ასევე სამგანზომილებიანი ამონაკების კერძო შემთხვევებისათვის. აღნიშნული პროგრამები შესულია ქვეპროგრამებად ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მდგომარეობის შეფასების პროგრამული კომპლექსში.

9. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მდგომარეობის შეფასების პროგრამული კომპლექსი აპრობირებულ იქნა ენჯურჰესის თაღვანი კაშხლის ნატურული მონაცემების დამუშავებისათვის. აგრეთვე რამდენიმე საზღვარგარეთული კაშხლის ნატურული დაკვირვებების მონაცემების ანალიზისათვის

10. შემთავაზებულია კუმულიტიური მოდელის გამოყენებაზე დაფუძნებული წყალსაცავის დაღამვის დროის ანუ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ხანგამძლეობის შეფასება ნატანის გაველინით მოცემული მოდელის გამოყენება საშუალებას იძლევა გავითვალისწინოთ დაღამვის პროცესის შემთხვევითი ხასიათი.

11. დამუშავებულია სტატისტიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საიმედოობის შესაფასებლად. აღგორიში და პროგრამები საშუალებას იძლევა ავტომატიურ რეჟიმში ჩატარდეს სხვადასხვა ჰიდროტექნიკური ნაგებობის საიმედოობის შეფასება. შემთავაზებული სტემატიზაცია უნივერსალურია და მისი გამოყენება შეიძლება მრავალი საინჟინრო ნაგებობის საიმედოობის შესაფასებლად.



12. დამუშავებული პიდროტექნიკური ნაგებობის ოპტიმალური

ლობის გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა სრულიად გათვალისწინებული იყოს, ნაგებობის მასალის და ლატვირდების ალბათური ბუნება. აღნიშნული მეთოდოლოგია ადგენს ფუნქციონალური დამოკიდებულებას ნაგებობის საიმედოობისა და მის (გეომეტრიული) პარამეტრების შორის.

13. წარმოდგენილია მცდელობა, რომელიც საშუალებას იძლევა სეისმური ზემოქმედების დროს სხვადასხვა ობიექტის ფუნქციონირების საიმედოობის შეფასებისას.

1. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ Э.И., ВОУЧЕНКО Г.С., УРАЧЕН В.И. Расчеты надежности при сейсмических действиях Сетевых-Энергетических ГЭС при различных условиях в 1978-1979г.г. //Известия ВНИИ, 1980, т.122, с.26-32.

2. Восточная диктанта (на скаланих основаниах) /М.М.ГРИШИН, В.И. РОМАНОВ, А.В.КОЗЛОВ и др.М.: Стройиздат, 1975, 382 с.

3. ВЕРНЕР В.А. Тихоокеанская диктанта. М.:М.,дальностроения, 1978, 348.

4. ВОУЧЕНКО Г.И. Методы теории вероятностей в теории надежности в расчетах сооружений М.: Стройиздат 1962г., 336с.

5. ВЕРНИКОВ В.В., ТАБЕР В.И. Полноточный анализ измерений излучательных свойств и напряжений вольфрамовой диктанта //Технологическое строительство, 1966, №4, с.19-23.


6. БРОУНТЭЙН Э.И., ЛОНГ В.В., МИХАИЛ А.В., ГРИШЕНКО Г.И. Проверка диктанта Зауральской ГЭС //Технологическое строительство, 1979, №2, с.3-18

7. ВЕТНИН В.С. Теория вероятностей. М. Наука, 1964, 376 с.

8. ВЕРНИКОВ Г.И. Прочность и надежность бетона в водной среде М.:Стройиздат, 1974, 128с.

9. ВЕРНИКОВ Г.И. Методика натурных исследований трещинообразования и напряженности трещин в бетонной оболочке вольфрамового

1. АЙЗЕРМАН М.А., БРАВЕРМАН Э.М., РОЗОНОЭР Л.И. Метод потенциал-ных функций в теории обучения машин. М.:Наука, 1970, 384 с.
2. АЙЗЕНЮЕРТ Я.М., НЕЙМАН А.И. и др. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. - М.: Наука, 1978, - 246 с.
3. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ Э.Е., УРАХЧИН В.П. Прогнозирование перемещений бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях //Гидротехническое строительство, 1974, №5, с. 19-24.
4. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ Э.К. Методы измерений и анализа перемещений высоких бетонных плотин. М.: Информэнерго, 1978, 80 с.
5. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ Э.Е., ПОГРЕБНАЯ Т.С., УРАХЧИН В.Н. Результаты наблюдений за перемещениями плотин Саяно-Шушенской ГЭС при наполнении водохранилища в 1978-1979г.г. //Известия ВНИИГ, 1980, т.142, с.26-32.
6. Бетонные плотины (на скальных основаниях) /М.М.ГРИШИН, Н.П. РОЗАНОВ, Л.Д.БЕЛЫЙ и др.М.: Стройиздат, 1975, 352 с.
7. БИРГЕР И.А. Техническая диагностика. М.:Машиностроение, 1978, 240с.
8. БОЛОТИН В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений М.: Стройиздат 1982г., 336с.
9. БОРИСОВ В.В., ЧАЛЫЙ Н.И. Количественный анализ измеренных горизонтальных смещений и напряжений арочной плотины //Гидротехническое строительство, 1986, №4, с.19-23.
10. БРОНШТЕЙН В.И., ЛОМОВ И.Е., МЕНАБДЕ АЛЯ, РУБИНШТЕЙН Г.В. Арочная плотина Ингурской ГЭС //Гидротехническое строительство, 1979, №12, с.3-10
11. ВЕНТЦЕЛЬ Е.С. Теория вероятностей. М.:Наука, 1969, 376 с.
12. ВЕРБЕЦКИЙ Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде. М.:Стройиздат, 1976, 128с.
13. ВЕРБЕЦКИЙ Г.П. Методика натурных исследований трещинообразования и водопроницаемости трещин в бетонной отделке напорного

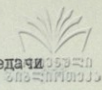
18

ИСТИНСКИЙ

туннеля Ингури ГЭС //Труды координационных совещаний по гидро-
технике, 1965, вып. XIX, с. 182-190.

14. ВИДУЕВ Н.Г., КОНДРА Г.С. Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений. М.:Недра, 1969, 320 с.
15. Временное положение о надзора за безопасностью гидротехнических сооружений. ВСН 01-74 /Минэнерго СССР. Л.:Энергия, 1974, 18 с.
16. ГАЙДАЕВ П.А., БОЛЫШАКОВ В.Д. Теория и тематической обработки геодезических измерений. М.:Недра, 1969, 400 с.
17. ГАСКАРОВ Д.В., КОЛИНКЕВИЧ Т.А., МОЗГАЛЕВСКИЙ А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры /Под ред. Т.А.Голинкевича. М.:Советское радио, 1974, 224с.
18. Гидротехнические сооружения /Под ред.М.М.Гришина, ч.1, ч.2.М.: Высшая школа, 1979, 615 с.335 с.
19. ГИНЗБУРГ М.Б. Натурные исследования бетонных плотин в Италии, Л.:Энергия, 1969, 264 с.
20. ГОТОВЕРИДЗЕ М.И. Научные основы постановки натурных наблюдений на плотинах Тбилиси: Мецниереба, 1980, 270 с.
21. ГОЛИНКЕВИЧ Т.А. Прикладная теория надежности. М.: Высшая школа, 1977, 160 с.
22. ГОЛЬЦМАН В.Х. О выборе критериев надежности сооружений и конструкций //Гидротехническое строительство, 1983, №5., с.41-44.
23. ГОРДОН Л.А., АЛЕКСАНДРОВСКАЯ Э.К. Автоматизированный контроль плановых смещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС /Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Оценка технического состояния гидротехнических сооружений в период строительства и эксплуатации по результатам комплексных исследований: натуральных, теоретических и лабораторных", М.:1987, с.16-17.
24. ГУЛАЕВ Ю.П. Прогнозирование деформаций инженерных сооружений по геодезическим данным на основе теории динамических систем //Изд.вузов.Геодезия и аэрофотосъемка, 1981, №5, с.64-69.



25. ГУЛАЕВ Ю.П. О прогнозировании деформаций сооружений по геодезическим данным //Геодезия и картография, 1983, №12, с.17-21.
26. ГИУРМАН В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике, М.: Высшая школа, 1979, 400с.
27. ДАНЕЛИЯ А.И. Результаты натурных наблюдений за раскрытием и водонепроницаемостью радиальных трещин и швов в Ингурской арочной плотине /Всесоюзная конференция молодых ученых и специалистов "Строительство ГЭС в горных условиях", Тбилиси, 1982, с.107-108.
28. ДАНЕЛИЯ А.И. Особенности раскрытия и водонепроницаемости радиальных трещин и швов в арочных плотинах /Сообщения АН СССР, 1982, 107, №1, с.117-119.
29. ДАНЕЛИЯ А.И. Закономерности изменения ширины раскрытия и водонепроницаемости радиальных температурных трещин и швов в арочных плотинах. Автореф.канд.техн.наук, Тбилиси, ГрузНИИЭС, 1983.
30. ДУЛЬНОВ Г.Н. "Теплопроводность смесей и композиционных материалов" М. 1974
31. ДУРЧЕВА В.Н., ПУЧКОВА С.М. Напряженное состояние напорной грани Усть-Илимской плотины в период наполнения водохранилища по натурным наблюдениям и расчетным данным //Известия ВНИИГ, 1978, т.125, с.52-57.
32. ДУРЧЕВА В.Н., ПУЧКОВА С.М. Напряженное состояние бетонной Усть-Илимской плотины в период ее эксплуатации по данным натурных наблюдений //Известия ВНИИГ, 1980, т.142, с.8-14.
33. ЖОВИНСКИЙ А.Н., ЖОВИНСКИЙ В.Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов. М.:Энергия, 1979, 112 с.
34. ЗЕМЛЕНСКИЙ Э.Л., ЧАЛЫЙ Н.И. Первые итоги эксплуатации арочной плотины Чиркейской ГЭС //Гидротехническое строительство, 1981, №12, с.5-10.
35. Зенкевич О. Морган К., "Конечные элементы и аппроксимация М., "Мир" 1986г. 318ст.



36. ИСАЧЕНКО В.И., ОСИПОВА В.А., СУКОТЕЛ А.С. "Теплопередачи". М. Энергия 1975г.
37. КАРЛСОН А.А. К методике геодезических измерений оснований высоких плотин //Гидротехническое строительство, 1985, №6, с.7-II.
38. КЛИМАТ и климатические Ресурсы Грузии (под ред. Ломинадзе В.П. Гидрометеоздат Л.1971г.
39. КРАМЕР Г., ДИБЦЕТТЕР М. Стационарные случайные процессы. - М.: Мир, 1969, - 398 с.
40. КУЗНЕЦОВ В.С., ЦАРЕВ А.И., Практическое применение результатов натурных исследований и контроля безопасности гидротехнических сооружений //Гидротехническое строительство, 1980, №7, с. 16-19.
41. КУЗНЕЦОВ Г.И. Исследование некоторых методов измерения плановых смещений плотин типа Братской ГЭС. Автореф. канд. техн. наук. М., МИИГАиК, 1969.
42. КУЗНЕЦОВ Г.И. Опыт производства геодезических измерений плановых перемещений плотины Братской ГЭС /Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1974, вып.91, с.20-23.
43. КУЗНЕЦОВ Г.И. Результаты геодезических измерений на строящейся Ингурской арочной плотине //Гидротехническое строительство, 1983, №3. с.34-38.
44. МАЛАХАНОВ В.В., СЕРКОВ В.С. Техническая диагностика гидротехнических сооружений //Гидротехническое строительство, 1980, №7, с.19-22.
45. МАЛАХАНОВ В.В., МАРЧУК М.А., СЕРКОВ А.В. Критерии безопасных эксплуатационных деформаций грунтовых плотин //Гидротехническое строительство, 1985, №6, с.12-17.



საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია


46. МАРЧУК А.Н. Статистическая работа бетонных плотин М.: Энергоатомиздат, 1983, с.208.
47. МЕСХИ Г.В. Натурные исследования арочной плотины Ингурской ГЭС /Тезисы докладов на семинаре "Совершенствование методов оценки состояния, эксплуатации, ремонта и контроля гидротехнических сооружений электростанций", М.: СПО Совтехэнерго, 1977, с.42-45.
48. МЕСХИ Г.В. Совершенствование организации натурального контроля на строящихся гидроузлах /Тезисы докладов на семинаре "Совершенствование средств контроля за надежностью гидротехнических сооружений" М.: СПО Совтехэнерго, 1979, с.47-49.
49. МЕСХИ Г.В. Некоторые итоги натурных наблюдений на арочной плотине Ингурской ГЭС /Гидротехническое строительство в горных условиях, Сборник научных трудов ГрузНИИЭС, вып., 3, М.: Энергия, 1976, с.198-203.
50. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений, М.: Колос, 1974, 280 с.
51. МИРЦУЛАВА Ц.Е. Надежность больших каналов. М.: Колос, 1981, 318 с.
52. МИРЦУЛАВА Ц.Е. Надежность систем осушения. М.: Агропромиздат 1985. 239 ст.
53. МИРЦУЛАВА Д.Ц., НОНИЕВ И.К., ШАИНЯН Г.А. Исследование чувствительности радиальных перемещений Ингурской плотины с учетом влияния параметров /Всесоюзная школа-семинар молодых ученых и специалистов "Качество и надежность строительных материалов и конструкций в сейсмическом строительстве", Батуми, 1984, с.40.



54. МИРЦУЛАВА Д.Ц., НОНИЕВ И.К., ШАИНЯН Г.А. Применение статистических методов анализа в натуральных исследованиях гидротехнических сооружений—Сообщения АН Грузинской ССР, 1986, 121, №1, с. 165–168.
55. МИРЦУЛАВА Д.Ц., НОНИЕВ И.К., ШАИНЯН Г.А. Некоторые методы анализа данных натуральных наблюдений (на примере Ингурской плотины) /Гидротехническое строительство в горных условиях. Сборник научных трудов ГрузНИИЭС. М.: Энергоатомиздат, 1987, с. 112–117.
56. МИРЦУЛАВА Д.Ц., ШАИНЯН Г.А. Техническая диагностика бетонных плотин /Материалы всесоюзной конференции молодых специалистов "Строительство ГЭС в высокогорных условиях" (Тезисы докладов), Цхалтубо, 1986, с. 5.
57. МИРЦУЛАВА Д.Ц., ШАИНЯН Г.А. Статистические методы технической диагностики бетонных плотин /Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Оценка технического состояния гидротехнических сооружений в период строительства и эксплуатации по результатам комплексных исследований: натуральных, теоретических и лабораторных". М.: 1987, с. 4
58. Мирццулава Д.Ц., Чхиквадзе М.Г., Джанджанидзе Д.Д. Применение метода статистического моделирования при оценке устойчивости бетонных гравитационных плотин.—Сообщения АН ГССР, 1984, №1
59. МИРЦУЛАВА Д.Ц., ЧХИКВАДЗЕ М.Г., ЛОБЖАНИДЗЕ Л.Д. Подбор оптимальной периодичности натуральных наблюдений на гидротехнических сооружениях //Сообщения АН Груз.ССР, 1986, 120, №3
60. МИРЦУЛАВА Д.Ц. Чхиквадзе "О задаче установления продолжительности натуральных исследований на платинах Всесоюзное совещание



- Научное повышение эффективности использования мелиорируемых земель Москва 1987г.
61. МЕРЦХУЛОВА Д.Ц. ВАРДАНИШВИЛИ Установление отметки гребни плотины с учетом случайного характера волнового воздействия Закавказья конференция по строительству и архитектуре Тезисы докладов Ереван 1984г.
 62. МИРЦХУЛАВА Д.Ц. ЧХИКВАДЗЕ М.Г., ДЖОРДЖИКИЯ А.А. Решения некоторых задач оценки технического состояния гидротехнических сооружений. Всесоюзное совещание "Оценка технического состояния гидротехнических сооружений в период строительства и эксплуатации по результатам комплексных исследований природных, теоретических и лабораторных" Москва 1987г.
 63. Мирцхулава Д.Ц. О некоторых вопросах автоматических наблюдений за техническим состоянием крупных гидротехнических сооружений "Вопросы строительства и эксплуатации гидромелиоративных систем" 1991г..
 64. МИРЦХУЛАВА Д.Ц. "Оценка технического состояния гидротехнических сооружений методом теории распознавания образов" экспериментальные исследования инженерных сооружений Новосибирск 1986
 65. Д.Ц.МИРЦХУЛАВА, М.Г.ЗУРИАШВИЛИ, Д.Д.ДЖАЛЖАНИДЗЕ О задаче установления отметки гребня плотины. /Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов по водному хозяйству. Ташкент: САНИИРИ, 1981, с.250-252.
 66. МИРЦХУЛАВА Д.Ц. ЗУРИАШВИЛИ М.Г. Оценка долговечности гравитационной плотины по признаку прочности при учете воздействия наносов //Сообщения АН ГССР, 1987, т.125, №2, с.366-368.

- 
67. МИРЦХУЛАВА Д.Ц., ЗУРИАШВИЛИ М.Г. Оценка надежности гравитационной плотины на предельный поворот /Материалы всесоюзной конференции молодых специалистов "Строительство ГЭС в высокогорных условиях". Цхалтубо, 1986, 25 с.
68. МИРЦХУЛАВА Д.Ц. ЧКИКВАДЗЕ М.Г., ВАРДАНАШВИЛИ Т.З. Оптимизационный расчет оптимальной надежности бетонной гравитационной плотины.-В кн.: Тезисы докладов Всеобщной школы-семинара молодых ученых и специалистов: Качество и надежность строительных материалов и конструкции в сейсмическом строительстве. Батуми, 1984.
69. МИРЦХУЛАВА Д.Ц. ДЖАДЖАПИДЗЕ Д.Д. Использование метода статистических испытаний для оценки устойчивости откосов плотин из грунтовых материалов и воднохозяйственное строительные строительства. Тезисы докладов Тбилиси 1983г. 38-39с.
70. МИРЦХУЛАВА Д.Ц. Исследование надежности плотин и некоторые методы ранней диагностики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тбилиси, ГрузНИИЭС, 1982, 22 с.
71. МИТРОПОЛЬСКИЙ А.К. Техника статистических вычислений М.: Наука, 1971, 576 с.
72. Натурные наблюдения и исследования на бетонных и железобетонных плотинах /Сост. С.Я.Эйдельман, А.А.Ивойлов. ПИ6-84 ВНИИГ, Л.:1985, 107 с.
73. НЕУЙМИН Я.Г. Модели в науке и технике. Л.:Наука, 1984, 189 с.
74. Надежность технических систем (под ред.И.А.Ушакова: Радио и связь, 1985, 606 с.
75. НЮМАРК Н., РОЗЕНОВЛАТ Э. Основы сейсмостойкого строительства.-



- 7 - М.: Стройиздат, 1980, 344 с.
76. **НОНИЕВ И.К.** Натурные исследования формирования напряженно-деформированного состояния высокой арочной плотины в период её возведения и временной эксплуатации (на примере Ингурской плотины). Автореф. канд. техн. наук, Тбилиси, ГрузНИИЭГС, 1983.
77. **НОНИЕВ И.К., ШАИНЯН Г.А.** К оценке качества омоноличивания бетонных плотин /Тезисы докладов у I Всесоюзной конференции "Экспериментальные исследования инженерных сооружений" (методы, приборы, оборудование, метрологическое обеспечение), Новополюцк, 1986, с.157-158.
78. **НОНИЕВ И.К., ШАИНЯН Г.А.** Математическое моделирование в натуральных исследованиях осадок бетонных плотин /Тезисы докладов Всесоюзного совещания "Научное обеспечение повышения эффективности использования мелиорируемых земель", М.:1987, с.208-209.
79. **Оптимальные задачи надежности** /Под ред. И.А.Ушакова. М.:Издательство комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1968, 292 с.
80. **Переверзев Е.С.** Случайные процессы в параметрических моделях надежности. Научова Думка, 1987 - 238 с.
81. **ПОЛЯКОВ С.В.** Сейсмостойкие конструкции зданий. - М.: Высшая школа, 1983, 304 с.
82. **Пособие по методике обработки данных натурных исследований бетонных гидросооружений** /Под ред. С.Я.Эйдельмана Л.: Энергия, 1975, 149 с.
83. **Проектирование и строительство больших плотин** (По материалам VI Международного конгресса по большим плотинам) /Сборник статей под общей редакцией А.А. Борового М.-Д.: Госэнергоиздат, 1962, 559 с.



84. ПУСТИЛЬНИК Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968, 288с.
85. Рекомендации по наблюдениям за напряженно-деформированным состоянием бетонных плотин /Сост. С.Я.Эйдельман, Н.И.Чалый. П.100-81 ВНИИГ, Л., 1982, 143 с.
86. Рекомендации по оценке надежности гидротехнических сооружений П-842-86 Гидропроект М., 1986г.
87. РОЗАНОВ Н.С. Проектирование и исследование арочных плотин во Франции М.- Л.: Энергия, 1966, 273 с.
88. РОЗАНОВ Н.С. Состояние разработки основных принципов оценки надежности гидротехнических сооружений по данным комплексных исследований /Тезисы докладов на семинаре "Совершенствование методов оценки состояния, эксплуатации, ремонта и контроля гидротехнических сооружений электростанций" М.: СПО Союзтехэнерго, 1977, с.5-7.
90. РОЗАНОВ Н.С. Научные исследования для контроля состояния строящихся и эксплуатируемых гидросооружений /Материалы конференций и совещаний по гидротехнике "Натурные исследования как средство оперативного контроля безопасной работы гидротехнических сооружений" Л.: Энергия, 1980, с.4-8,
91. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами /Сост. А.А.Карлсон П-648 Гидропроект, М.: Энергия, 1980, 200 с.
92. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилище Л., 1983
93. РУМШИНСКИЙ Л.С. Математическая обработка результатов эксперимента. М. Наука. 1971. 192 с.



94. РУДЕНКО Ю.Н., УШАКОВ И.А. Надежность систем энергетики. М.: Энергоатомиздат, 1986, 362 с.

95. СВАНИДЗЕ Г.Г. Основы расчета регулирования речного стока методом Монте-Карло. Тбилиси: Мецниереба, 1964.

96. СВЕШНИКОВА А.А. Прикладные методы теории случайных функции. - М.: Судпромгиз, 1961.

97. СКЛАДНЕВ Н.Н., КУРЗАНОВ А.М. Состояние и пути развития расчетов на сейсмостойкость. Строительная механика и расчет сооружений. - 1990, №4.

98. СТРЕЛЬНИКОВ В.П. Модели отказов изделий электронной техники. - Киев, АН УССР, 1982.

99. Теплопроводность твердых тел под ред "А.С.Охотника" Москва Энергоатомиздат 1984г.

100. ТУ ДЖ. ГОНСАЛЕС Р. Принципы распознавания образов /Пер.с англ. М.: Мир, 1978, 412 с.

101. ТИХОНОВ В.И., МИРОНОВ В.Н. Марковские процессы. М.: Советское радио, 1977, - 488 с.

102. ФРИД С.А., ЛЕВЕНИХ Д.П. Температурные воздействия на гидротехнические сооружения в условиях Севера. Л.: Стройиздат, 1978, 200с.

103. ЦАРЕВ А.И., ГАЛЬПЕРИН И.Р. Экспериментальные и расчетно-теоретические исследования по определению погрешностей измерения деформации бетона закладными преобразователями /Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Оценка технического состояния гидротехнических сооружений в период строительства и эксплуатации по результатам комплексных исследований: натуральных, теоретических и лабораторных", М.: 1987, с.18-19



104. ЦАРЕВ А.И., БНИКЕЕВ Ф.Г. О предельно допустимых показателях безопасной работы гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство, 1981, №9, с.34-37
105. ЦИПЕНЮК И.Ф. Оценка надежности и учет повторяемости землетрясений при расчетах крупнопанельных зданий на сейсмические воздействия. Строительная механика и расчет сооружений. - 1987, №3, с.53-57.
106. Ципенюк И.Ф. Надежность зданий жесткой конструктивной схемы при сейсмических воздействиях. Строительная механика и расчет сооружений. - 1990, №4, с.84-87.
107. Чавчанидзе В.В. Метод случайных испытаний (методы Монте-Карло) - Труды Института физики АН ГССР, 1955
108. ЧИЛИНГАРИШВИЛИ Г.И., ЧИЧАГУА П.В. Начальные напряжения у граней плотин при поверхностном охлаждении в процессе твердения бетона // Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1975, вып. 103, с.256-259.
109. ЧИЛИНГАРИШВИЛИ Г.И. Исследования температур и напряжений в бетонных гидротехнических сооружениях // Гидроэнергетическое строительство в горных условиях, 1978, вып. 6, М.: Энергия, с.141-151.
110. ЧОГОВАДЗЕ Г.И. Гидроэлектростанции Грузии. М.: Энергия, 1971, 270 с.
111. ЧОГОВАДЗЕ Г.И., МИРЦУЛАВА Д.Ц. и др. Стратегия инспекции различных типов плотин в процессе эксплуатации и оценка их технического состояния (на английском языке) "Мецниереба" Тбилиси 1982г.
112. ЧОГОВАДЗЕ Г.И., МГЕБРИШВИЛИ И.М., ЛОМОВ И.Е. Ингульская гидроэлектростанция. М.: Энергоатомиздат, 1987, 200 с.

121. Ang A.N., Amin S. Safety factors and probability in structural engineering. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs., Struct. Div. No ST-7, 1969, p. 35-44.
122. A. F. da Silveira. Deterioration of dams and reservoirs. - XX Congress of the International Assoc., p. 404-438
123. Boccotti P., Rosso R. Risk analysis of spillway design floods. *Journal of Dams*, Coimbra, 1984, p. 85-92.
124. Boccotti P. Sulla probabilità di onde di altezza assegnata. - *Giornale Geotecnico*, 1983, N. 4, p. 165-174.
125. Braun A., Marcos. "Introduction to head transfer" Mc Craw-Hill New-York 1958.
126. Barlow R.E., Proschan F. Mathematical theory of reliability. John Wiley Sons, New York., 1969.
127. Bisbas, Asit K. and Chatterjee Samar "Dam Disasters - An Assessment" *Engineering Journal (Canada)* vol 54, N. 3, March 1971, p. 3-8.
128. Batne K., Wilson E. "Numerical methods in finite element analysis" Prentice-Hall, USA 1976.
129. Comportamento della grandi dighe dell'En. Roma, 1980., p. 209-247.
130. Deterioration of cases collected and their preliminary assessment, ICOLD-Paris, 1979., 745p.
131. Dunin-Barkovsky I.V. and Smirnov N.V. The theory of probability and mathematical statistics (general part) G. Ti Moskow. 1955.
132. Design of gravity dams with optimum profiles (India). - "Intern. Water Power and Dam Construction", 1980, 32 No 1, p. 28-30.
133. Eckert E., Druke R., "Analysis of head and mass transfer Mc Graaw-Hill, New York 1972.
134. Fanelli M., Marazio A., Russo F. Premieres resultat d'un procede d'evaluation continue des deplacements applique au control des barrages en exploitation // C.R., X Congress des Grands Barrages., Montreal, Canada, 1970, vol. 3, q. 38, r. 37, p. 675-710.
135. Fanelli M. Il controllo degli spostamenti delle dighe // *Energie elett.*, 1975, vol. 52, No 3, p. 125-140.
136. Fanelli M. Automatic observation and instantaneous safety control of dams. *Water Power and Dam Construction*, No 12, p. 12-19.
137. Fifteenth International des Grands Barages., Paris, France, 1985, vol. 1 q. 56, 1727p.
138. Faruk Y. Navrh profilu fiznych prehrad. - "Vodni hospodini", 1974, 24, No 6, p. 157-162.
139. Freudenthal A.M. Safety and probability of structural failure. - "Proc. Amer. Soc. Civil Eng.", No 408, New York, 1954, p. 40-52.
140. Fishman Yu.A., Gaziev E.G. In situ and model studies of rock foundation failure in concrete blocks shear tests. - III Congress of ISRM, Denver, 1974, p. 879-883.
141. Fanelli M., Giuseppetti. Safety monitoring of concrete dams. - "International Water Power and Dam construction", 1982, V. 11, 34, p. 31-33.
142. Fanelli M. - Automatic observation for dam safety. Part 1, 2. "Water Power and Dam Construction", 1979, No 11, 12, p. 41-48.
143. Forier J. "Analytical theory of heat" Dover Publications, Inc New York 1955.
144. Feller W. An introduction to probability theory and its applications. John Wiley and Sons, New York, 1970.
145. Bruner E. Classifying the risk. - "The Consulting Engineer", Oct. 1973, 37, No 10, p. 29-31.
146. Bruner E. Hazards in dam operation, "World Dams Today", Tokyo, 1976, p. 410-415.
147. Germond J.P. Insuring dam risks. - "Water Power and Dam Construction", June 1977, p. 36-39.
148. Gramer H. Mathematical methods of statistics. Princeton N.J. Princeton University Press, 1946.
149. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solovjev V.A. Mathematical methods in the theory of reliability. M. nauka, 1959.
150. Gumbel E.J. Statistics of Extremes, New York, Columbia University

Press, 1958.

151. G. Marinier. Safety of Dams in operation. - XIV Congress on Large Dams. Transactions, 1982, Rio de Janeiro, V. 1. General Report, Quest. 52, p. 1471-1510.
152. Handbook "Reliability of Technical Systems" (Ed. by J. A. Ushakov) M. "Radio and Communication", 1985.
153. Huggenberger A. U. safety and behaviour of concrete dams. Methods of observations and organisation // C. R. X Congress des Grands Barrages, Montreal, Canada, 1970, vol. 30. 38, R. 11, p. 169-178.
154. Handeclinder M. Necessity for and penalties for lack of supervision. Amer. Society of Civil Engineers, 1932. vol. 58. No1, p. 28-41.
155. P. Bonald, G. Carradori, M. Fanelli, G. Giuseppetti, G. Ruggeri. Modern techniques for dam Safety Surveillance and Evaluation Idrtotecnico, (Italy), 2, 1988, p. 117-131.
156. J. Lagina Serafim s. l. anclracla Cavilhas Failures of Dams Due to overtopping. Proceedings of the International conference on Safety of Dams. Coimbra 23-28 April, 1984, Rotterdam, Boston, 1984.
157. J. Eurenus. - Ancient dams of Saudi Arabia. - "International Water Power and Dam Construc.", 1980, No3, p. 21-22.
158. Johnson A. I. Strength, safety and economical dimensions of structures. "Bull. Div. Struct. eng.", Roy. Inst. Technology, Stockholm, 1953, No12, p. 13-37.
159. Jansen B. R. "Dams and Public Safety". U.S. Department of the interior. Water and Power Resources Service 1980. p 334.
160. Yen B. C. Reliability of hydraulic structures possessing random loading and resistance in engineering reliability and risk in water resources. Ed. by Duckstein and E. J. Plate p. 95-104, M. Nijhoff, Dordrecht, the Netherlands, 1987.
161. Kalustyan E. S. Statistical analysis of distribution of concrete dam rock foundation failures. - Safety of Dams, 1984, p. 311-319.
162. Kreuzer H., Bury K. A probability based evaluation of the safety and risk of existing dams. - Safety of Dams, 1984, p. 311-319.
163. Kapur K. C., Lamberson L. R. Reliability in Engineering design. John-Wiley and Sons, New York, 1977.
164. Le dige di retenuta degli impianti idroelettrici Italiani, Roma, 1977, p. 35-65.
165. Lind N. S. Structural reliability.
166. Le dige di retenuta delli impianti idroelettrici italiani, Roma, 1977. p. 35-65.
167. Lind N. S. Structural reliability and codified design. - University of Waterloo, 1970. p. 94-105.
168. Mirtskhoulava Ts. E. Reliability of hydro-reclamation installations R. A. Balkema / Rotterdam, 1987.
169. Mirtskhoulava D. Ts. "On certain Possibilities of Estimation of the Rate of Risk at Projecting of Hydrotechnical Structures". XXIII congress IAHR Ottawa Canada. 1989.
170. Meier M. Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzkriterien anstatt nach zulassigen Spannungen. - Berlin, Springer-Verlag, 1926, 52p.
171. Murzevski J. Zagadnienia niezawodnosci bezpieczenstwa mechanicznego materialow i konstrukcji. - "Mech. teor. i stosov", vol. 10, No4, 1972, p. 509-524.
172. Mazenot P. Methode generale d'interpretation des mesures de surveillance des barrages en exploitation d'Electricite de France Archiwum Hidrotechniki, 1974, t. XXI, zes. 3, p. 429-451.
173. New perspectives on the safety of dams. "International Water Power and Dam Construction", 1983, N 10, 11, p. 47-50.
174. Spangnoletti S. Sul comportamento di un tipo diga a gravita alleggerita a elementi cavi (Il comportamento rilevato nella diga di Ancipa) Energia elett., 1962, No3, p. 185-210.
175. Widmann R. Evaluation of deformation measurements performed at concrete dams IX Congress on Large Dams, Statburg, 1967, Q. 34, L. 38,

p.671-675.

176. Wilson E. "A digital computer program for the steady-state temperature analysis of plane or axisymmetric bodies". Aerajet General corporation, Report n. TD-44, Sacramento. 1965.
177. Wilson E., Nickell R., "Application of the finite element method to heat conduction analysis". Nuclear Engineering and Design, Vol. 4, 1966.
178. Zienkiewicz O., Cheug Y. "Finite elements in the solution field Problems". the engineer. september, 1964.
179. Chogovadze G. I., Ghogovadze M. I., Kakauridze R. G. Mikashvili U. N., Mirtzkhulava D. Tz. -Analysis of the main factons leading to incidents and wrecks in dams and their time intensity. International Commission on Larg Dams. XIII congress on Large Dams, India, New-Delhi, 1979, p. 20.
180. Vogel A. Failures of maonri dams in Europe. -Safety of Dams, 1984, p. 45-54.
181. Water Power and Dam Construction, May, 1982, p. 41.
182. Polivka R., Wilson E. "Finite element analysis of nonlinear haet trasfer problems" Struktural Engineering and Structural Mechenics, Report No UC SESM 762 Berkely 1976.
183. Priscu R., Stematiu D. Some design criteria for large dams on basis of proba of probabilistic concept of safety. -Safety of Dams, 1984. p. 245-251.
184. Pedro J. O., Cruz Azevedo M. Criteria and models for safety evaluation of concrete dams. XIY Congress on Large Dams, V. p. 28-41.
185. plate E. J. and Duckstein L. "Reliability in hydraulic design" in Engineering reliability and risk in water resources. Ed. L. Ducstein and E. J. Plate p. 27-60, M. Nijhogt, Dorgrecht, The Netherlands, 1980.
186. Tung Y. K. and Mays L. W. Risk analysis for hydraulic structures. Journal of hydraulics Division, ASCE 106(11Y5) p. 893-913, 1980.
187. Zienkiewicz O., Parekh E., "Transient field problems two-dimensional and three-dimensional analysis ly isoparametric finit elements. Int Jour, for Numerial Methods in Engineering vol 2. 1970.
188. Rebaudi A. Behaviour of Place-Moulin arch-gravity dam during the first reservoir test fillings //C. R. X. Congres des Grands Barrages, 1970, Montreal, Canada, vol. 3, Q. 38, R. 30, p. 507-536.
189. Silveira A. "As variacoes de temperatura nas barragens". Tese pura investigador, Memoria No177 LNEC, Lisboa 1961.

