

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ლია მასაია

ახალი ტიპის სარეგულაციო ნაგებობებზე
ღვარცოფების ზემოქმედების შეფასება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - მშენებლობა

შიფრი - 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0171, საქართველო

2022 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავცანით ლია მაისაიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ახალი ტიპის სარეგულაციო ნაგებობებზე ღვარცოფების ზემოქმედების შეფასება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

22 თებერვალი 2022 წელი

ხელმძღვანელი:

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი

ედუარდ კუხალაშვილი

რეცენზენტი:

ასოცირებული პროფესორი

შორენა კუპრეიშვილი

რეცენზენტი:

ასისტენტ პროფესორი

გიორგი ბრეგვაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: ლია მაისაია

დასახელება: „ახალი ტიპის სარეგულაციო ნაგებობებზე
ღვარცოფების ზემოქმედების შეფასება“

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 22 თებერვალი 2022 წელი 15.00 საათი

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

(ავტორის ხელმოწერა)

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

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

რეზიუმე

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების ფუნქცია კომპლექსური სახისაა, მოიცავს ისეთ სფეროებს, როგორცაა ეკოლოგიური წონასწორობა, ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურა, დასახლებული პუნქტების უსაფრთხოება და სხვა. ტერიტორიულად ისეთი მცირე, მთაგორიანი ქვეყნისათვის როგორც საქართველოა, ეკონომიკის თვალსაზრისით საციცოცხლო მნიშვნელობა გააჩნია ღვარცოფთა რისკებისაგან დამცავი ნაგებობების მდგრადობას და საიმედოობას. ექსპლუატაციის უახლესი ისტორიის რანჟირებით მათი უმრავლესობა მოძველებულია ან თითქმის არ არსებობს, რის გამოც დაბალია გარემოსდაცვითი ღონისძიებების ეფექტურობის დონე. სტატისტიკიდან გამომდინარე დაფიქსირებულია ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის უამრავი შემთხვევა, რასაც არახელსაყრელი ეკონომიკურ-სოციალური პრობლემები მოაქვს დასახლებულ პუნქტებზე. გამომდინარე აქედან, ღვარცოფთა რეგულირების და სადინარებში სარეგულაციო ღონისძიებების განთავსების და საპროექტო პარამეტრების დაზუსტების მიზნით მოცემულია ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერებების დაზუსტება; ღვარცოფთა ურთიერთგანსხვავებულობის და ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობების აღწერისა და ზემოქმედების კანონზომიერებების შეფასების პოლინომების მიღების მიზნით ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდოლოგია; სადაწნეო და უდაწნეო ნაგებობებით რეგულირების შემთხვევაში ბმულ ღვარცოფთა ჰიდრაულიკური ამოცანები და გაანგარიშების მეთოდის შერჩევა; ღვარცოფთა მოძრაობის რეჟიმების დაურღვევლად და ხერგილების წარმოქმნის გარეშე უსაფრთხო ტრანზიტის მიზნით ენერგეტიკული მახასიათებლების პროგნოზი; ნაგებობათა და ღვარცოფული ნაკადების პარამეტრების შერწყმის საფუძველზე შემხვედრ წინააღმდეგობებზე გადადინების კრიტერიუმები; ღვარცოფთა ანომალურობის გათვალისწინებით ბრძოლის მეთოდების ინოვაციური სტრატეგიის და კონსტრუქციების დამუშავება; ნაგებობებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სრულყოფა; ნაგებობათა ლაბორატორიაში მოდელირება და საავტორო უფლების მქონე ნაგებობების საპროექტო პარამეტრების გამოყვანა.

Resume

Mudflow prevention buildings and their functions are complex, they include and overlook ecological balance, Landschaft infrastructure, the safety of populated areas, etc. For a country that is mountainous and limited in landmass, in terms of economy, mudslide preventing infrastructure, their condition and reliability are critical. According to the latest history of usage, most of them are outdated or almost non-existent, which is why the level of effectiveness of environment protection measures is low. According to statistics, there are many cases of ecological imbalance, which leads to unfavorable economic and social problems in populated areas. Therefore, in order to regulate the floods and place regulatory measures in the pipelines and to specify the parameters of the project, clarification of regularities (laws) of change of hydraulic flow parameters are given; Methodology of conducting experiments to describe the diversity of mudflow and the possibilities of impact on buildings and to obtain polynomials for the assessment of impact regularities; In case of regulation with pressure and non-pressure structures, hydraulic functions of connected floods and selection of calculation methodology; Prediction of energy characteristics for safe transit without violation of flood movement regimes and without the generation of obstacles/bottlenecks; Criteria for overflowing obstacles encountered based on a combination of building and flood flow parameters; Taking into account anomalies of mudflows and developing innovative methods of combating them and refining existing constructions; Improving the methodology for calculating the impact of mudflows on buildings; Modeling buildings in a laboratory setting and deriving design parameters of copyrighted buildings.

შინაარსი

რეზიუმე	4
.....	
რეზიუმე (ინგლისურ ენაზე)	5
.....	
შინაარსი	6
.....	
ცხრილების ნუსხა	9
.....	
ნახაზების ნუსხა	9
.....	
მადლიერების გვერდი	13
.....	
შესავალი	14
.....	
თავი 1. საინჟინრო გადაწყვეტებზე ღვარცოფთა რისკებით გამოწვეული საფრთხეები და ბრძოლის ღონისძიებები	21
.....	
1.1. ღვარცოფის რისკებით გამოწვეული ზემოქმედების შესაძლებლობების ისტორიული მიმოხილვა	21
.....	
1.2. ღვარცოფული მოვლენების განსაკუთრებულობები	30
.....	
1.3. ღვარცოფთა რისკების შეფასების ოპერატიული საშუალებები და ნაგებობათა	35
.....	
საპროექტო პარამეტრები	
თავი 2. სარეგულაციო ნაგებობებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების ნატურული და ლაბორატორიული კვლევა	45
.....	
2.1. ღვარცოფსადინარის გამტარუნარიანობის შესაძლებლობების ნატურული კვლევა	45
.....	
2.2. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიური ბარაჟის ლაბორატორიული მოდელირება და ექსპერიმენტების ჩატარების მეთოდოლოგია	50
.....	
თავი 3. ღვარცოფსადინარები და ღვარცოფთა ჰიდრაულიკა	61
.....	
3.1. მხები ძაბვის ცვლილების შესაძლებლობა ბმულ ღვარცოფში	61
3.2. ბმულ ღვარცოფთა დაწნევითი მოძრაობა	65
.....	

3.3. ბმულ ღვარცოფთა უდაწნეო მოძრაობა	68
.....	
თავი 4. შემხვედრი წინააღმდეგობებით ღვარცოფთა უსაფრთხო ტრანზიტი	71
.....	
4.1. ღვარცოფსაშვები და გადადინებული ნაკადის საანგარიშო პარამეტრები	71
.....	
4.2. სადინარზე გადასასვლელ ღიობებში ღვარცოფების ტრანზიტი	76
.....	
4.3. ღვარცოფის უსაფრთხო გადადინება შემხვედრ წინააღმდეგობაზე	80
.....	
თავი 5. ღვარცოფის ზემოქმედება ნაგებობებზე	83
.....	
5.1. ღვარცოფის ნაგებობებზე დამრტყმელი ძალის განსაზღვრა	83
.....	
5.2. საავტორო უფლების მქონე ინოვაციური ნაგებობები	88
.....	
5.3. ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების გაანგარიშების მეთოდოლოგია	94
.....	
დასკვნები	121
.....	
გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა	123
.....	

ცხრილების ნუსხა

1. საძიებო სიდიდის კავშირი მოქმედ ფაქტორებთან 55
2. პარამეტრის ცვლილების დიაპაზონი 89

ნახაზების ნუსხა

1. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსზე ღვარცოფსადინარის გარს-
შემოდენის სქემა 47
2. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის გარსშემომვლელი ღვარცოფ-
სადინარის გეგმა 48
3. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის გარსშემომვლელი ღვარცოფ-
სადინარის გრძივი პროფილი 49
4. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის გარსშემომვლელი ღვარცოფ-
სადინარის განივი კვეთები 49
5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ჰიდრავლიკურ
ღარში მოწყობის ნიმუში 53
6. $y = f(q_1 / q_B)$ დამოკიდებულების გრაფიკი 57
7. $y = f(i / i_k)$ დამოკიდებულების გრაფიკი 57
8. $y = f(d / \Delta)$ დამოკიდებულების გრაფიკი 58
9. სადაწნეო მილსადენის საანგარიშო l კვეთში აქტიური განივი-
მხები ძაბვების და სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების საანგარი-
შო სქემა 63
10. გვირაბში ღვარცოფის დაწნევანი მოძრაობის საანგარიშო სქემა 66
11. ბმული ღვარცოფის უდაწნეო მოძრაობის სქემა 69
12. ღვარცოფსაშუაზე ღვარცოფის გადადინების
სქემა 73
13. ღვარცოფის ხიდის ქვეშ გატარების საანგარიშო სქემა 78
14. შემხვედრი წინააღმდეგობის მაქსიმალური სიმაღლის საანგარიშო

სქემა ღვარცოფის გადადინების დროს	81
.....	
15. ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების საანგარიშო სქემა	84
.....	
16. ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში	87
.....	
17. ღვარცოფსარეგულაციო ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობა	90
.....	
18. ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ნაგებობის ხედი	91
.....	
19. ღვარცოფსაწინააღმდეგო მოწყობილობა	92
.....	
20. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი	93
.....	
21. ნახევრად კონუსური ნაგებობის გრძივი ჭრილი	96
.....	
22. ნახევრად კონუსური ნაგებობის განივი ჭრილი	96
.....	
23. $K = f(L_i/L)$ დამოკიდებულების გრაფიკი	98
.....	
24. ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი დამრტყმელი ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი ფარდობით სიდიდეებში გამჭოლობის კოეფიციენტთან	99
.....	
25. ყრუ ნაწილის ნაგებობის სიგრძეზე ცვლილების დროს დამრტყმელი ძალის ფარდობით სიდიდეებში ცვლილების გრაფიკი $P_i / P_\lambda = f(L_i / L)$	99
.....	
26. ნაგებობის სიგრძეზე ნარჩენი ძალის ცვლილების კანონზომიერება $P_0 = f(L_i)$	100
.....	
27. ნაგებობის რაოდენობასა და გამჭოლობის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$	101
.....	
28. ნახევრად ცილინდრული ნაგებობის გრძივი ჭრილი	102
.....	
29. ნახევრად ცილინდრული ნაგებობის განივი ჭრილი	102
.....	
30. გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილება ნაგებობის სიმაღლისა და სიგრძის მიხედვით	105
.....	
31. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობებზე მოქმედი ძალების ფარდობითი სიდიდეების P_2/P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი (გამჭოლობასთან	

და კოჭის სიგანის ნაგებობის სიმაღლესთან ფარდობის კავშირი)	106
.....	
32. ნაგებობის ყრუ ნაწილის ცვლილების დროს დამრტყმელი ძალის ცვლილების გრაფიკი $P_i / P_1 = f(di / H)$ ფარდობით სიდიდეებში	107
.....	
33. დამჭერი ძალის ცვლილების დამოკიდებულება ნაგებობის სიმაღლესთან კავშირში	107
.....	
34. ნაგებობის რაოდენობის დამოკიდებულება სიყრუის კოეფიციენტთან	108
.....	
35. პირამიდული ნაგებობის გრძივი ჭრილი	109
.....	
36. პირამიდული ნაგებობის განივი ჭრილი	109
.....	
37. გრაფიკული დამოკიდებულება $(P_2 / P_1) = f(h_1 / H; l_i / L)$ და $(P_2 / P_1)^* = f(h_1 / H; l_i / L)$ ნაგებობის ელემენტების h_1 / H და l_i / L ცვლილების დროს	111
.....	
38. ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში	112
.....	
39. ნარჩენი ძალის დამოკიდებულება ნაგებობის სიგრძესთან კავშირში	113
.....	
40. ნაგებობის გამჭოლობასა და რაოდენობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$	113
.....	
41. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის გრძივი ჭრილი	115
.....	
42. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის განივი ჭრილი	115
.....	
43. გამჭოლობის K კოეფიციენტის ცვლილების სურათი ტროსისა და გამჭოლობის ღრეჩოს სიდიდის ფართობის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს	118
.....	
44. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი ძალის ფარდობითი სიდიდის P_2 / P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი გამჭოლობასთან და ბაგირის d დიამეტრის გამჭოლობის D სიგანის ფარდობასთან კავშირში	119
.....	
45. ნაგებობის გამჭოლობასა და რაოდენობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$	120

მადლიერების გვერდი

მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო ჩემი დისერტაციის სამეცნიერო ხელმძღვანელს, პროფესორ **ედუარდ კუხალაშვილს**, რომელიც თავის მრავალმხრივ ცოდნასა და გამოცდილებას მიზიარებდა, როგორც დოქტორანტურაში სწავლის პერიოდში, ისე სადისერტაციო ნაშრომის მომზადების ყველა ეტაპზე.

მინდა დიდი მადლიერება გამოვხატო **შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიმართ**, რომლის მეშვეობით განხორციელდა ჩემი სწავლა, სამეცნიერო კვლევები და ექსპერიმენტები.

განსაკუთრებული მადლობა მინდა გადავუხადო სტუ-ს ც. მირცხულავას სახ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის დირექტორს, ტექნ. მეცნ. დოქტორს, პროფ. **გივი გავარდაშვილს**, რომელმაც მომცა საშუალება ინსტიტუტის სამეცნიერო და ტექნიკური ბაზის გამოყენების, სადაც დაგროვილია უნიკალური მასალა ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობებისა და ღონისძიებების შესახებ. მადლობას ვუხდის ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს ქალბატონ **ინგა ირემაშვილს**, ქალბატონ **ირინა იორდანიშვილს** რომლებიც ყველანაირად მეხმარებოდნენ კვლევისათვის საჭირო მასალების მოპოვებაში.

მადლიერი ვარ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის დეკანის ბატონ **ზურაბ გვიშიანის** და ყველა თანამშრომლისა.

აგრეთვე, მადლიერი ვარ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალმომარაგების, წყალარინების, თბოაირმომარაგების და შენობათა საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტის ხელმძღვანელის ბატონ **ალექსანდრე ბაგრატიონ-დავითაშვილის**, დიდი მადლობა ბატონ **კონსტანტინე ბზიავას** გვერდში დგომისა და დახმარებისათვის და მადლობა დეპარტამენტის ყველა თანამშრომელს.

მცდელობის მიუხედავად, რთულია ყველა იმ ადამიანის ჩამოთვლა, რომლებმაც წვლილი შეიტანეს ჩემი ნაშრომის შემოთავაზებული სახით წარდგენაში. ამიტომ მინდა მადლობა გადავუხადო ყველა თანამშრომელსა და მეგობარს თანადგომისათვის.

შესავალი

თემის აქტუალობა

სადინარებით ღვარცოფთა უსაფრთხო ტრანზიტი და რეგულირება, ღვარცოფწარმოქმნელი კერების, წყალშემკრები აუზის პოტენციალის, ღვარცოფსადინარების მახასიათებლების, სადინართა კალაპოტების მორფომეტრიის, შემადგენელი ქანების დეფორმაციულობის, ფორმირებული ნაკადის რეოლოგიური მახასიათებლების, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების და სადინარის გამტარუნარიანობის შესაძლებლობებთან არის დაკავშირებული.

გარემოზე ღვარცოფების ზემოქმედების შედეგად ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევასთან ერთად ადგილი აქვს ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის დეცენტრალიზაციას და ხშირად მოვლენა ადამიანის მსხვერპლითაც მთავრდება. შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ასეთი ნაკადების ზემოქმედების შედეგი და გამოწვეული ავარიული სიტუაციებით სარეგულაციო ღონისძიებათა მწყობრიდან გამოსვლის ზუსტი პროგნოზირება მათი ფორმირების მრავალფეროვნებისა და დროის სხვადასხვა მომენტში რეჟიმების ცვლილების გამო ძალზე რთულია და თითქმის ზოგჯერ შეუძლებელიც კი.

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების ფუნქცია კომპლექსური სახისაა, მოიცავს ისეთ სფეროებს, როგორცაა ეკოლოგიური წონასწორობა, ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურა, დასახლებული პუნქტების უსაფრთხოება და სხვ. ტერიტორიულად ისეთი მცირე, მთაგორიანი ქვეყნისათვის როგორც საქართველოა, ეკონომიკის თვალსაზრისით სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს ღვარცოფთა რისკებისაგან დამცავი ნაგებობების მდგრადობას და სამედიოობას. ექსპლუატაციის უახლესი ისტორიის რანჟირებით მათი უმრავლესობა მოძველებულია ან თითქმის არ არსებობს და დაბალია გარემოსდაცვითი ღონისძიებების ეფექტურობის დონე. აქედან გამომდინარე,

დაფიქსირებულია ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის უამრავი შემთხვევა, რასაც არახელსაყრელი ეკონომიკურ-სოციალური პრობლემები მოაქვს დასახლებულ პუნქტებზე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ავარიული სიტუაციების და მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევების ზუსტი პროგნოზირება გამომწვევი მიზეზების მრავალფეროვნებისა და დროის სხვადასხვა მომენტში მოქმედების გამო არის ძალზე რთული. მოვლენის შეფასებას ართულებს ანომალურობა და რეოლოგიური მაჩვენებლების დიდ დიაპაზონში ცვლილება. არ არსებობს სარეგულაციო საინჟინრო გადაწყვეტების გაანგარიშების და მასზე ნაკადის ზემოქმედების ზუსტი მეთოდები და მეთოდოლოგია. რეგულირების პრობლემა დაკავშირებულია ნაკადის დიდ დამრტყმელ ძალასთან, ხასიათდება ანომალურობით და ნაკლებად ემორჩილება მექანიკის კანონებს. ნაკადი მოძრაობის დროს ძნელად იცვლის დინამიკურ ღერძს და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების დროს ახორციელებს სრული ენერგიით დარტყმას, მოძრაობის დროს თვითონ იქმნის კალაპოტს. რეგულირებისა და სადინარში ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის დროს მნიშვნელოვანია სადინარის კალაპოტის ტრასის გეგმაში ცვლილების და განივი კვეთის სიღრმეზე კონფიგურაციის სირთულის გავლენა მოძრავი ნაკადის ჰიდრავლიკაზე, მათი ბუნებაში მრავალი სახეობით ჩამოყალიბების შესაძლებლობაზე და სხვ. წარმოდგენილი სურათი გარკვეული დონით ასუსტებს ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის მდგრადობას და გარემოზე ეფექტური სარეგულაციო ღონისძიებების ადაპტირების შესაძლებლობებს. კონსტრუქციული გადაწყვეტების ინოვაციური სახეების შექმნა რესურს-მზოგი ტექნოლოგიების გამოყენებით, ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებათა სამშენებლო ნორმების და წესების დამუშავება გარემოს დაცვაში ერთ-ერთ აქტუალურ საკითხად რჩება.

სამუშაოს მიზანი

მიუხედავად ბუნებრივი ანომალიების რეგულირების ღონისძიებების და საინჟინრო ნაგებობის სიმრავლისა, მათი გაუმჯობესება ან ინოვაციური

სახის შექმნა თითქმის გადაუწყვეტელ ამოცანათა კატეგორიას განეკუთვნება.

ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებათა კომპლექსში უპირატესად გამოყენების შესაძლებლობებით შეიძლება მიჩნეულ იქნეს ის სახეები, რომელთა პარამეტრები და კონსტრუქციული გადაწყვეტები სრულად შეესაბამება ნაკადის სარეგულაციო შესაძლებლობებს.

სარეგულაციო ღონისძიებებით ბუნებრივი ანომალიების რეგულირება ისეთ ადგილებზე ხდება, სადაც სადინარების კვეთა სტრატეგიული დანიშნულების მაგისტრალებით ხდება, ან სადინართა რეგულირება დასახლებული პუნქტების სანაპირო ზონაშია გათვალისწინებული, ე.ი. ისეთ ადგილებზე, სადაც მოსალოდნელია ნაკადის შეჩერების, სანაპირო ზოლში გადმოდინების, მოძრავი ნაკადის რეჟიმების ცვლილების, ტალღური დინების ჩამოყალიბების, ნაკადის გვერდითი კუმშვის, ცვლადი მასით მოძრაობის და გაჩერების შესაძლებლობები. კვლევის მიზანს ბუნებრივი ანომალიებით გამოწვეული გართულებების საწინააღმდეგო გარემოს დაცვითი ახალი კონსტრუქციების დამუშავება, საპროექტო პარამეტრების დაზუსტება, მოსალოდნელი სტიქიის შემხვედრ ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობების შესწავლა და ინოვაციური გაანგარიშების მეთოდების და მეთოდოლოგიის მოვლენასთან ადაპტაცია წარმოადგენს. გამომდინარე აქედან, ღვარცოფთა რეგულირების და სადინარებში სარეგულაციო ღონისძიებების განთავსების მიზნით კვლევის ძირითად ამოცანებია:

- ღვარცოფთა რეგულირების და ბრძოლის ღონისძიებების განთავსების ადგილის შერჩევის მიზნით სადინარის კალაპოტის, ტრასის გეგმაში კონფიგურაციის, გრძივი პროფილის, განივი კვეთის, ნაკადის ჰიდრავლიკური პარამეტრების ცვლილება-კანონზომიერების დაზუსტება;
- ღვარცოფთა ურთიერთგანსხვავებულობის და ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობების აღწერისა და ამ ზემოქმედების კანონზომიერებების შეფასების პოლინომების მიღების მიზნით ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდოლოგიის შერჩევა;
- ბმულ ღვარცოფებში განივი ძალის სიღრმეზე ცვლილების კანონზომიერებების დაზუსტება გრუნტების მექანიკაში გამოყენებულ

ანალოგიებზე დაყრდნობით და მიღებული მხები ძაბვის საფუძველზე დინამიკის საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანა;

- ბმულ ღვარცოფთა სადაწნეო და უდაწნეო ნაგებობებით ტრანსპორტირების შემთხვევაში ჰიდრავლიკური ამოცანების გადაწყვეტა და საანგარიშო მეთოდის შერჩევა;
- ღვარცოფთა რეჟიმების დაურღვევლად და ხერგილების წარმოქმნის გარეშე უსაფრთხო ტრანზიტის, ენერგეტიკული მახასიათებლების პროგნოზი;
- ნაგებობათა და ღვარცოფული ნაკადების პარამეტრების შერწყმის საფუძველზე შემხვედრ წინააღმდეგობებზე გადადინების შესაძლებლობები;
- ღვარცოფთა ანომალურობის გათვალისწინებით ბრძოლის მეთოდების სტრატეგია და ნაკადზე ზემოქმედების შესაძლებლობები;
- ღვარცოფთა ნაგებობებზე ზემოქმედება და გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სრულყოფა;
- ნაგებობათა კონსტრუქციული გადაწყვეტების შერჩევა და საავტორო უფლების მქონე ნაგებობების საპროექტო პარამეტრები.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები

კვლევის ობიექტებია მთისა და მთისწინა ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურა, ღვარცოფთა წყალშემკრები აუზები, ღვარცოფწარმოქმნელი ლოკალური კერები, ფორმირებული ღვარცოფები, ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობები.

სადისერტაციო ნაშრომი ეხება ღვარცოფთა რეგულირების მრავალ საკითხს და ამოცანების გადაწყვეტა მიზანმიმართულია ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევების მეთოდოლოგიაზე დაყრდნობით.

ინოვაციურ ნაგებობათა ნატურაში ეფექტურად გამოყენების და ღვარცოფთა რისკების ნატურაში რეგულირების მიზნით ლაბორატორიაში კვლევის ჩატარების დროს გამოყენებულია ექსპერიმენტის დაგეგმვის მეთოდები შავი ყუთისა და ბერძნულ-ლათინური კვადრატის სახით.

- ფაქტორთა ცვლილების და ობიექტზე ზემოქმედების პოლინომების

მათემატიკური მოდელის აგების მიზნით გამოყენებულია ცდების მინიმალური რაოდენობის წარმოების და მიღებული შედეგების სხვადასხვა კრიტერიუმებით შეფასების მეთოდები. ექსპერიმენტების წარმოების დროს საკვლევ ობიექტად მიჩნეულ იქნა ღვარცოფსარეგულაციო ბარაჟით დაკავებული მყარი მასის გამაწონასწორებელი ქანობის ცვლილების კანონზომიერებების შესწავლა;

- ღვარცოფთა სადაწნეო და უდაწნეო ნაგებობით რეგულირების დროს წინააღმდეგობის ძალების შეფასების მიზნით გამოყენებულია გრუნტების მექანიკაში აპრობირებული განივი ძალების განსაზღვრის მეთოდები;
- სადაწნეო და უდაწნეო ნაგებობებით ღვარცოფთა ჰიდრავლიკური პარამეტრების შეფასების დროს გამოყენებულია ჰიდრომექანიკაში არსებული მეთოდები,
- ღვარცოფთა შემხვედრ წინააღმდეგობებზე უსაფრთხო გადადინების შეფასების მიზნით გამოყენებულია უწყვეტი ტალღის კვლევის მეთოდები. კერძოდ, წნევის სიჩქარეზე დაყრდნობით ღვარცოფის შემფოთებით მასისა და მოცულობის ცვლილების შეფასების მეთოდები;
- დამრტყმელი ძალით ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების დროს გამოყენებული მოძრაობის რაოდენობის კანონები, ხოლო დარტყმის კოეფიციენტის რეოლოგიასთან კავშირის შეფასების მიზნით გრაფიკული კავშირები;
- ღვარცოფთა რეგულირების მიზნით და ინოვაციური ნაგებობის კონსტრუირების თვალსაზრისით გამოყენებულია საპატენტო ძიება, ხოლო კონსტრუქციული გადაწყვეტის დროს გათვალისწინებულია ნაკადის ანომალურობის მახასიათებლები;
- სარეგულაციო ნაგებობების სამშენებლო ნორმებისა და წესების შემუშავების მიზნით გამოყენებულია ღვარცოფთა ნაგებობებზე ზემოქმედების ახალი მეთოდოლოგია.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

სადისერტაციო ნაშრომის შესრულების შედეგად გამოიკვეთა შემდეგი შედეგები და მეცნიერული სიახლეები:

- ღვარცოფსადინარების რეგულირების და სადინარებში ღვარცოფებთან ბრძოლის ღონისძიებების გატარების მიზნით ღვარცოფსადინარების სადინარის გეგმაში ნაგებობის განლაგებისათვის დამახასიათებელი კონფიგურაცია და გრძივი პროფილის სიგრძეზე ცვლილება ემორჩილება მათემატიკური აღწერის შესაძლებლობებს, ხოლო განივკვეთის სიღრმეზე ცვლილება და მორფომეტრია არ ემთხვევა გეომეტრიული ფიგურების არც ერთ კონფიგურაციას. იგი მიახლოებულია მრუდწირული განივკვეთის მქონე ტრაპეციის ფორმასთან;
- ნაგებობის ლაბორატორიული გამოცდის და ექსპერიმენტის დაგეგმვის საფუძველზე მიღებულია ნაგებობით დაკავებული მყარი მასის გამაწონასწორებელი ქანობის საანგარიშო დამოკიდებულება პოლინომების სახით;
- გრუნტების მექანიკის ანალოგიაზე დაყრდნობით მიღებულია მხები ძაბვის ახალი საანგარიშო დამოკიდებულება რეოლოგიასთან კავშირში;
- ბმულ ღვარცოფთა დაწნევიანი და უდაწნეო ნაგებობებით ტრანზიტის შემთხვევაში არანიუტონურ მოდელებზე დაყრდნობით გამოყვანილია საშუალო და მაქსიმალური სიჩქარეების დაწნევის დანაკარგების საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- ღვარცოფსაშვებზე გადადინების, ღვარცოფსატარი ღიობებით ნაკადის გატარების და ნაგებობებზე გადადინების შემთხვევისათვის მიღებულია ხარჯის კოეფიციენტის, უკუტალღის და ნაგებობებზე უსაფრთხო გადადინების საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- საავტორო უფლების მქონე გრძივი ნაგებობებისათვის გამოყვანილია დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულებები;

- დამუშავებულია ახალი საავტორო უფლების მქონე ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი და მიღებულია პატენტი;
- შემოთავაზებულია ახალი ტიპის ნაგებობის გაანგარიშების მეთოდოლოგია და მასზე ღვარცოფის ზემოქმედების საპროგნოზო საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- ღვარცოფის ჰიდრავლიკაზე დაყრდნობით გამოყვანილია ახალი ნაგებობის სიმაღლის, სიგრძის, გამჭოლობის, შემადგენელი ელემენტების, დამრტყმელი ძალის და ნაგებობათა რაოდენობის განსაზღვრის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

შედეგების გამოყენების სფერო

ღვარცოფთა რეგულირების შემოთავაზებული ახალი მეთოდები ხელს შეუწყობს გარემოს დაცვას და ეკოლოგიური წონასწორობის მდგრადობას.

ცალკეული კონკრეტული ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობებიდ დახმარებას გაუწევს ჰიდროტექნიკაში, ჰიდრავლიკაში, წყალმომარაგებასა და წყალარინებაში, საინჟინრო ეკოლოგიაში, გარემოს დაცვაში და სხვა მომიჯნავე დარგებში მოღვაწე მეცნიერებს სამომავლო კვლევების დასახვის დროს.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა

სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილია შესავალით, 5 თავით და ძირითადი დასკვნებით. იგი მოიცავს 141 ნაბეჭდ გვერდს, 45 ნახაზს, 2 ცხრილს და 135 დასახელების ლიტერატურას.

თავი 1. საინჟინრო გადაწყვეტებზე ღვარცოფთა რისკებით გამოწვეული საფრთხეები და ბრძოლის ღონისძიებები

1.1. ღვარცოფის რისკებით გამოწვეული ზემოქმედების შესაძლებლობების ისტორიული მიმოხილვა

მსოფლიოს მთაგორიანი ქვეყნების ტერიტორიათა განსაზღვრული ნაწილი ღვარცოფთა დამანგრეველი მოქმედების ზონაშია განთავსებული. ასეთი ნაკადების ჩამოყალიბების ადგილს ღვარცოფული კერები წარმოადგენს, რომელთა მყარი ნატანით კვება ეროზიული ღრანტებით მიმდინარეობს. ღვარცოფული კერები მთის შენაკადთა ზედა ნაწილში ჰიდროგრაფიული ქსელების კალაპოტთა სისტემით არის წარმოდგენილი. მთის ქანების რღვევითა და მოძრაობით ხდება ამ ღრანტების შევსება მყარი მასალით, რომელიც ხასიათდება ბმულობით. მომზადებული ნარევის დაძვრა თავსხმა წვიმებით, თოვლის დნობით ან სხვა გარე ფაქტორით მიმდინარეობს. დაძვრული მასის შედეგად ადგილი აქვს მოძრაობის მიმართულებით კლდის ნამსხვრევების, ქვების, ხის და სხვა სახის მასალის მიერთებას და ღვარცოფის ჩამოყალიბებას. ფორმირებული ნაკადი შეიცავს წონით (80-90%) მყარ მასას და (10-20%) წყალს. მისი მოცულობითი მასა 18000-23000 ნ/მ³-ის ზღვრებშია განთავსებული და წარმოადგენს პლასტიკურ კონგლომერატს. მოძრაობა გრავიტაციის ძალით ხდება და ასეთი სახის ნაკადები ჰიპერკონცენტრირებული-ბმული ღვარცოფების სახელწოდებით არის ცნობილი.

აღნიშნულ ნაკადში წყლის პროცენტული რაოდენობის კრიტიკულზე ზემოთ გაზრდით ადგილი აქვს ბმულობის დაკარგვას, ხდება მისი გარდასახვა ისეთი სახის ნაკადად, რომელიც ტურბულენტური ღვარცოფის სახელწოდებით არის ცნობილი. მიღებული ტურბულენტური ღვარცოფი ხასიათდება მოცულობითი წონის სიდიდით, რომლის მასა (11000-17000 ნ/მ³) ზღვრებში მერყეობს, ხოლო მყარი ჩანართი წონით (60-70%) -ს შეადგენს, ნაკადის მატრანსპორტირებელ გარემოს წყალ-კოლოიდური ნარევი

წარმოადგენს.

ღვარცოფები პერიოდულად ცვლადი მოვლენაა, ხასიათდება როგორც გააქტიურებით, ისე დროებითი სტაბილიზაციით. ასეთი სახის ნაკადების შესწავლა შესაძლოა სტაბილიზაციის ან გააქტიურების მიზეზ-შედეგობრივი ფაქტორების ფუნდამენტური შესწავლით. კერებში მიმდინარე პროცესების სატრანზიტო და გამოტანის კონუსებზე მოძრაობის პირობები, ნაგებობების შერჩევა და მასზე ზემოქმედების შესაძლებლობები, სამშენებლო ნორმების და წესების დაზუსტებასთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფებთან ბრძოლის მდგრად საიმედო ღონისძიებად, ბოლო მონაცემების მიხედვით, საინჟინრო გადაწყვეტების სხვადასხვა სახეებია მიჩნეული, რომელთა გამოყენების სფერო დაურეგულირებელ ნაკადთა მრავალ სახეობათა არსებობასთან, მისი შემადგენელი კომპონენტების ცვლილების ზღვრებთან და ნაკადის ჰიდრავლიკის შესწავლის დონესთან არის უშუალო კავშირში და იგი სრულიად განსხვავებულია ჩვეულებრივი ნიუტონური სითხეების ჰიდრავლიკისაგან.

ხშირია შემთხვევები, როცა ნაგებობათა ღიობების გამტარუნარიანობა ან მდგრადობა ვერ იძლევა ღვარცოფთა დარეგულირების შესაძლებლობას, რაც უეცრად ჩამოყალიბებულ ღვარცოფთა არასრულყოფილი მეთოდიკით მიღებულ ჰიდროლოგიურ პარამეტრებზე დაყრდნობით არის განპირობებული.

დაურეგულირებელი ბუნებრივი ანომალიების, კერძოდ, ღვარცოფთა რეგულირების საკითხი მსოფლიოს თითქმის ყველა მთაგორიანი ქვეყნის საზრუნავს წარმოადგენს. მაღალია ღვარცოფთა განმეორებადობის სიხშირე. შესწავლის თვალსაზრისით, ანომალურობის გამო, მოვლენა არის რთული, არ ექვემდებარება მექანიკის კანონებს, ხასიათდება დიდი დამანგრეველი ძალით, ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასება მოითხოვს დიფერენცირებულ მიდგომებს და ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევა სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ბუნებიდან გამომდინარე სარეგულაციო ღონისძიებათა ინოვაციური სახეების შექმნა მათ კონსტრუქციულ გადაწყვეტაში

ისეთი ელემენტების ჩართვას საჭიროებს, რომლებიც მნიშვნელოვნად გაზრდის ნაკადთან შეხების საკონტაქტო ზედაპირს და დიდი დამრტყმელი ძალიდან გამომდინარე, ენერჯის ჩაქრობის შესაძლებლობა განხორციელდება თანდათანობით.

ღვარცოფები რთულად პროგნოზირებადი მოვლენაა, ხასიათდება უეცარი წარმოქმნით და მისთვის დამახასიათებელია ღამის პერიოდში გავლა.

ღვარცოფული პროცესების კვლევის პირველი პერიოდი განეკუთვნება მე-19 საუკუნისა და მე-20 საუკუნის ოციანი წლების დასაწყისის პერიოდს. წარმოდგენილი პირველი სამეცნიერო შრომები მოვლენის მხოლოდ აღწერილობითი ხასიათისაა. შემდგომ ეტაპზე ხდება ღვარცოფთა სახეებად დაყოფა, ტერმინოლოგიის დაზუსტება, საზღვრების დადგენა, გავრცელების გეოგრაფიის დაზუსტება, ნაკადის ჰიდრაულიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობების შესწავლა.

ღვარცოფებთან ბრძოლის ყოველი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტა ურთიერთმართვად ფაქტორთა მთელ კომპლექსთან არის კავშირში, რაც თავის მხრივ, სარეგულაციო ღონისძიებათა შერჩევის განმსაზღვრელ ფაქტორსაც წარმოადგენს.

ცნობილია, რომ ნაკადების რეგულირების სამუშაოები პირველად იაპონიაში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 323 წლის წინ იყო ჩატარებული, ამ დროიდან მე-20 საუკუნემდე მეცნიერებას დასჭირდა გარკვეულიყო ღვარცოფთა წარმოშობის არსში და გაეკეთებინა სწორი დასკვნები ღონისძიებათა გამოყენების აუცილებლობისათვის.

დაგროვილი სამეცნიერო ინფორმაციის და ნატურაში მიღებული კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით ღვარცოფთა ნაგებობებზე ურთიერთქმედების საკითხებმა ასახვა ჰპოვა ცნობილ მეცნიერთა სამეცნიერო პუბლიკაციებში, რომელთა შორის აღსანიშნავია გ. ბერუჩაშვილის, თ. ვოინიჩ-

სიანოჟენცკის, მ. გაგოშიძის, ი. ვინოგრადოვის, ვ. თევზაძის, ზ. იორდანიშვილის, ნ. კერესელიძის, ჟ. მამასახლისის, ც. მირცხულავას, ო. ნათიშვილის, ს. ალტუნინის, ი. ხერხეულიძის, გ. ხმალაძის, ლ. სულაქველიძის, დ. ფრუიძის, ფ. შატბერაშვილის, კ. იანოს, ბ. ხუცურაულის, მ. არატანოს სამეცნიერო ნაშრომები. [1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56]

არსებული კვლევების ტრადიციულ გამგრძელებელია მეცნიერთა თაობა, რომელთა შორის აღსანიშნავია გ. გავარდაშვილი, ე. კუხალაშვილი, ი. ყრუაშვილი, ნ. კვაშილავა, ი. ინაშვილი, კ. ბზიავა, ნ. უნდილაშვილი, ზ. გვიშიანი, ლ. სილვიო, ს. ტ. ტაკაჰაში და სხვ. [57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112].

ღვარცოფული მოვლენებისაგან გამოწვეული უდიდესი ზარალი, ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევა საჭიროებს მათი სარეგულაციო კომპლექსური ღონისძიებების შემუშავებას და ნაგებობებზე ნაკადის ზემოქმედების ისეთი ამოცანების გადაწყვეტას, რომელშიც მაქსიმალურად იქნება გათვალისწინებული ნაგებობებზე ნაკადის ზემოქმედების ჰიდრავლიკა.

ღვარცოფთა სახეები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან როგორც შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობის რაოდენობრივი, ისე კონცენტრაციულ-სიჩქარითი მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში ცვლილებით, მოძრაობის რეჟიმის განსხვავებულობით და ნაგებობაზე ზემოქმედების სპეციფიკურობით, ამით შეიძლება აიხსნას სამეცნიერო ლიტერატურაში მოყვანილი კონსტრუქციულად განსხვავებულ ნაგებობათა მრავალი სახეობა. შემოთავაზებულ ნაგებობათა ნაკადზე ზემოქმედება მნიშვნელოვნად განსხვავებულია და ყოველი მათგანის მიზნობრიობა დასმული ამოცანებიდან გამომდინარე არის კონსტრუირებული [113].

შემოთავაზებულ ნაგებობათა კონსტრუქციული გადაწყვეტები და

ზემოქმედების შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ერთ-მანეთისაგან.

ღვარცოფები მრისხანე მოვლენაა და მათი მოქმედების მასშტაბები შეიძლება შეფასებული იქნას იმ ნაგებობათა მუშაობის შედეგების მიხედვით, რომლებიც განლაგებულია ღვარცოფწარმოქმნელ აუზებში. საქართველოს პირობებისათვის ღვარცოფსადინარის წყალშემკრებთა თავისებურებანი შეიძლება დახასიათებული იქნას მდინარე დურუჯის, თერგის, არაგვის და სხვა ღვარცოფსადინარების მაგალითზე.

მონიტორინგის მასალებიდან გამომდინარე, თითქმის ყველა მთის მდინარის შენაკადზე განლაგებული ნაგებობების საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მიხედვით დადასტურებულია ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობები. მონაცემების მიხედვით დასტურდება, რომ ღვარცოფსადინარებში გავლილი ნაკადის ენერგეტიკული მახასიათებლები ხასიათდება ცვლილების დიდი დიაპაზონით და ტალღის სიღრმის ცვლილების მასშტაბები (10-15) მეტრს, ხოლო ტრანსპორტუნარიანობის შესაძლებლობა 63,4 ტონას შეადგენს. ანალოგიური სიტუაციებია ფიქსირებული მდინარე არაგვის, მესტიაჭალის, ცხენისწყლის, ჭოროხის და სხვა აუზებში. ღვარცოფთა ზემოქმედებით მწყობრიდან არის გამოსული არსებულ ნაგებობათა თითქმის უმრავლესობა [58, 64, 73].

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ღვარცოფსარეგულაციო ჰიდრავლიკაზე დაყრდნობით ნაგებობათა გაბარიტები ისეთნაირად უნდა იყოს შერჩეული, რომ შენარჩუნებული იყოს როგორც სადინარის მდგრადობა, ასევე ნაგებობათა საექსპლუატაციო მაჩვენებლები.

ღვარცოფები რთულად პროგნოზირებადი მოვლენაა. ხასიათდება უეცარი წარმოქმნით. ხშირია შემთხვევები ღამის პერიოდში გავლისა, ნაკადს გააჩნია მნიშვნელოვანი დარტყმის ძალა, იწვევს სადინარის სიღრმით და განივ ეროზიას, რაც ხშირად კალაპოტური ნაგებობების მწყობრიდან გამოყვანის მიზეზი ხდება.

ღვარცოფსაშიშროების მიხედვით აღსანიშნავია ღვარცოფწარმოქმნილი აუზები, რომელთათვისაც დამახასიათებელია მაღალმთიანი რელიეფი, მნიშვნელოვანი მყინვარული საფარი, უხვი ატმოსფერული ნალექები, თოვლის გაძლიერებული დნობის ინტენსივობა, ტერიტორიათა ათვისებით ლანდშაფტების ცვლილება და სხვ. ზემოჩამოთვლილ ფაქტორთა შორის ღვარცოფთა ფორმირებაში განსაკუთრებულ როლს თავსხმა წვიმები ასრულებს და საერთო ღვარცოფთა ფორმირებაში მას 74% უკავია [114].

მთისა და მთისწინა ზონებში ხშირია შემთხვევები, როცა ღვარცოფსადინარებს კვეთს ისეთი საპასუხისმგებლო ნაგებობები, როგორც არის საავტომობილო, სარკინიგზო და საირიგაციო არხების ტრასები. გადაკვეთის ადგილებში გადასასვლელი ხიდების ბურჯები ცვლის ღვარცოფის ჰიდრავლიკას, მოძრაობის რეჟიმს. ხშირია ასეთი ნაგებობებიდან გადინებისას ნაკადის მდგრადობის დაკარგვის შემთხვევებში ნაკადის ტანში შემფოთებული ზონის წარმოქმნა და მისი გადაღვრა სანაპირო ზოლიდან.

როცა გადამკვეთი ნაგებობებით შექმნილი ღობებით ნაკადის უსაფრთხო ტრანზიტი ხდება, ასეთ შემთხვევაში გამტარი ნაგებობა შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც ფართოზღურბლიანი ღვარცოფსაშვი გვერდითი კუმშვის გარეშე [90].

როცა შექმნილი ღობებით ვერ ხერხდება ნაკადის კუმშვის გარეშე გატარება და ნაგებობა იწვევს ნაკადის ნაწილობრივ ან მთლიანად შეკავებას, პროექტირების დროს გათვალისწინებული უნდა იქნას შემფოთებული ზონის წარმოქმნის შესაძლებლობები [103]. ზემოთ განხილულ მოვლენას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ყრუ ან გამჭოლ ნაგებობებზე ნაკადის დარტყმის დროს. ასეთი პირობებით წარმოქმნილი უკუტალღის გამო ხდება ნაკადის სიღრმის აწევა და იქმნება გადასასვლელი ხიდის მალაზე გადადინების საშიშროების შესაძლებლობები [104].

ღვარცოფების რეგულირება და სტაბილიზაცია საინჟინრო ღონისძიებების გამოყენებას საჭიროებს. ასეთ შემთხვევაში ნაგებობების ფუნქციას მოძრავი ნაკადის შეჩერება ან დინამიკური მახასიათებლების შესუსტება

წარმოადგენს. ნაგებობების გაანგარიშების მეთოდოლოგია და კალაპოტის ფერდობების მდგრადობის შენარჩუნება, ნაგებობების რეგულირების დროს, ზედა ბიეფის ფორმირებასთან არის დაკავშირებული.

ნაგებობებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შედეგად შეშფოთებული ზონის წარმოქმნა რთული დინამიკური პროცესია. ნაკადში დარტყმით გამოწვეული შეშფოთებული ზონის შეფასებას და მისი მახასიათებლების განსაზღვრას მიეძღვნა მრავალი სამეცნიერო შრომა [19, 20, 21, 44,45,103]. შესწავლის შედეგად დადგენილია მასის მოცულობის ნაზრდის, ფარდობითი დეფორმაციის და სიმკვრივის ცვლილების სურათი. მიღებული შედეგებით შესაძლებელია შეირჩეს ნაგებობის გეომეტრიული ზომები [47,48, 51].

როცა ნაკადის უსაფრთხო ტრანზიტი ნაგებობათა შეუღლებით, კერძოდ, გადასასვლელი უბნების მოწყობით ხდება, ენერგეტიკული მახასიათებლების საპროექტო პარამეტრების შერჩევა სიჩქარის ცვლილების საანგარიშო დამოკიდებულების და შემაერთებელი გადასასვლელი ნაგებობების განივი გადასასვლელი უბნების გეომეტრიის ცვლილებასთან კავშირში ხორციელდება.

ღვარცოფის ნაგებობაზე ზემოქმედების დროს, როცა ღვარცოფი ხასიათდება დრეკადობით, დარტყმის დროს ხდება მისი ტანის გაფართოება, ადგილი აქვს სიმკვრივის შეცვლას და შეშფოთებული ზონის წარმოქმნას. შეშფოთებული ზონით ნაკადი იყოფა ორ ნაწილად: პირველი, სადაც უცვლელია ნაკადის სიჩქარე და მეორე, სადაც წნევის ცვლილების გამო დამყარებულია ახალი სიჩქარე. წარმოდგენილი სურათი მოძრაობის საწინააღმდეგოდ ღვარცოფის გადაადგილების შესაძლებლობებს ახასიათებს.

ნაკადის ბუნებიდან გამომდინარე სარეგულაციო ღონისძიებათა ინოვაციური სახეები გამჭოლი ნაგებობების სახით შექმნას საჭიროებს, მათ კონსტრუქციულ გადაწყვეტებში ისეთი ელემენტების ჩართვას, რომელიც მნიშვნელოვნად გაზრდის მათ ნაკადთან შეხების საკონტაქტო ზედაპირს,

ამავე დროს ნაგებობა იქნება ელასტიკური და შექმნილი ფორმიდან გამო-
მდინარე, შესაძლებელი იქნება მისი მარტივად ჩადგმა კალაპოტში.

ღვარცოფთა შემხვედრ წინააღმდეგობაზე ზემოქმედების შესაძლებ-
ლობამ შეიძლება გამოიწვიოს სადინართა კალაპოტების გადაკეტვა და
ხელოვნური კაშხლების წარმოქმნა. შექმნილი წინააღმდეგობების მდგრადო-
ბის დაკარგვას და გარღვევას მოძრაობის მიმართულებით შეიძლება მოყვეს
კატასტროფა უმძიმესი შედეგებით [117].

ღვარცოფსადინარში ნაგებობათა განლაგების სქემების შერჩევას არა
მხოლოდ პრაქტიკული მნიშვნელობა, არამედ ეკოლოგიური და გარემოს
დაცვითი ფუნქციაც გააჩნია. ღვარცოფები გამოირჩევა დიდი კინეტიკური
ენერგიით და დარტყმითი შესაძლებლობებით. ამოცანა იმდენად რთულია,
რომ დღემდე უცნობია მათი შემხვედრ წინააღმდეგობებზე დარტყმითი
შესაძლებლობის მექანიზმის ახსნა პროცესებში დიდი რაოდენობის ნაკლე-
ბად შესწავლილი ფაქტორების მონაწილეობის გამო [11].

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების პროექტირების დროს აუცილე-
ბელია იმის ცოდნა, თუ მოძრაობის რა რეჟიმით შეიძლება განხორციელდეს
ნაკადის მოძრაობა. უწყვეტი ტალღის ფორმით მოძრაობის დროს მხედვე-
ლობაში უნდა იქნეს მიღებული ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლი-
ლების შესაძლებლობა. ტურბულენტური ღვარცოფების შემთხვევაში
სიჩქარე 1,5-ჯერ მეტია ღვარცოფის საშუალო სიჩქარეზე, ხოლო ბმული
ღვარცოფების დროს ეს მაჩვენებელი სამჯერ იზრდება [8].

როცა პრაქტიკაში ვხვდებით ანომალური ნაკადების რეგულირებას
განივი ნაგებობებით და ისინი ყრუ ან გამჭოლი სახით არის წარმოდგენილი,
მათი მდგრადობა ნაკადის დამრტყმელ ძალასთან არის ასოცირებული [26,
116].

ღვარცოფწარმომქმნელ აუზებში ჰიდროგრაფიული ქსელის დიდი
სიხშირისა და განტოტვადობის გამო გამორიცხული არ არის განსხვავებული

სიმკვრივის ნაკადთა შეერთების შესაძლებლობები და ბუნებით განსხვავებული ნაკადის ჩამოყალიბება. ბრძოლის მეთოდები და ნაგებობათა კონსტრუქციული გადაწყვეტა ასეთ შემთხვევებში განსაკუთრებულ მიდგომებთან არის დაკავშირებული [10].

იმ შემთხვევაში, როცა სწორხაზოვან უბნებზე ნაგებობის სიმაღლის ნაკადის სიმაღლესთან ფარდობა უმნიშვნელოა და ნაგებობის ფუნქციას ღვარცოფის შეკავება წარმოადგენს, არსებული წინააღმდეგობის გადალახვა ფორმირებული ნაკადით ყოველგვარი სირთულის გარეშე, მიმართულების შეუცვლელად არის შესაძლებელი. ნაგებობებზე ღვარცოფის ზემოქმედების ცალკეული შემთხვევები მოცემულია მ. გაგოშიძის მონოგრაფიაში [3]. რაც შეეხება დამრტყმელ ძალას, მისი განსაზღვრის მეთოდოლოგია აკადემიკოს ო. ნათიშვილის სამეცნიერო შრომებშია მოცემული [32, 34, 36].

სარეგულაციო ნაგებობის გამოყენებით ღვარცოფთა ამოცანების გადაწყვეტის დროს ნაკადის სტრუქტურის ცვლილება იმის მაჩვენებელია, რომ ნაგებობაზე ნაკადის ზემოქმედება რაციონალურად ორგანიზებული არ არის.

ნაგებობის მდგრადობაზე დიდი გავლენას ახდენს სხვადასხვა ფაქტორი, რომელთა შორის მნიშვნელოვანია ჩამონადენის სეზონური და მრავალწლიური რყევა, სიგანის სიღრმესთან ფარდობის მნიშვნელოვანი ცვლილების შესაძლებლობა და სხვ. ასეთ პროცესებს ადგილი აქვს როგორც ნაკადის რეგულირების შემთხვევაში, ისე მის გარეშე. განივი ნაგებობებით ნაკადის რეჟიმების ცვლილება მრავალკომპონენტურობის გამო უამრავ ფაქტორთან არის დაკავშირებული და მისი შეფასება თეორიული მოდელების შერჩევასთან ერთად ექსპერიმენტების ჩატარების აუცილებლობას საჭიროებს.

ფორმირებულ და ჩამოყალიბებულ ღვარცოფებთან ბრძოლის დროს გამოყენებულ სხვადასხვა სახის მეთოდებს ვხვდებით. დაურეგულირებელი ნაკადების რეგულირების ერთ-ერთ ეფექტურ ღონისძიებად ჰიდროტექნი-

კური ნაგებობებია მიჩნეული, რომელთა ფუნქცია მკაცრად არის განსაზღვრული.

როგორც კვლევის მასალები ადასტურებს, ღვარცოფთა ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობები სხვადასხვანაირად ვლინდება. როცა ნაკადის გამოდინებას ხევიდან აქვს ადგილი მისი დინამიკური ღერძიდან გადახრა იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა ხევის გაშლის კუთხე 11-15°-ის ფარგლებში მერყეობს.

ჩატარებული ანალიზით ღვარცოფსარეგულაციო საინჟინრო გადაწყვეტები მრავალი სახით არის წარმოდგენილი. მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტებისას ხშირად მხედველობაში არ არის მიღებული ნაგებობების ნაკადთან დამყოლობის შესაძლებლობები. ნაგებობები არის ხისტი და ვერ იძლევა ნაკადთან ელასტიკურად შეხების შესაძლებლობას. კონსტრუქციული გადაწყვეტების და გაბარიტების შერჩევის დროს ხშირად გამოყენებულია წყლის ნაკადის საანგარიშო დამოკიდებულებები. ზემოთ წარმოდგენილ ნაგებობათა საანგარიშო პარამეტრთა შესაძლებლობები ნაკადთან ზემოქმედების დროს ვერ პასუხობს ზემოქმედების შესაძლო შედეგებს მოვლენის არასრულყოფილი შეფასებისა და კვლევის მეთოდოლოგიის არასრულყოფილების გამო.

1.2. ღვარცოფული მოვლენების განსაკუთრებულობები

ღვარცოფები წყლის, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები მყარი მასის და ქვის ჩანართით შექმნილ მრავალკომპონენტთან ნარევის წარმოადგენს და გარემოს ეკოლოგიური სტაბილურობისთვის ერთერთ საშიშ ბუნებრივ სტიქიად ითვლება.

ღვარცოფების გარემოზე ზემოქმედების გამოკვეთილი შესაძლებლობები ნათელი სახითაა წარმოდგენილი სატრანზიტო დერეფანში, რაც დიდი სიჩქარით და დამანგრეველი ძალით არის გამოწვეული [46].

ღვარცოფწარმოქმნის პროცესი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს,

როგორც ფაქტორების, კერძოდ, სტატიკურის და დინამიკურის ურთიერთ-შერწყმის განსაკუთრებული შედეგი. ღვარცოფთა ფორმირებაში ფაქტორთა შორის აღსანიშნავია თავსხმა წვიმები, ხოლო რიგით შემდეგ ადგილს პროცენტული განაწილების მიხედვით თანმიმდევრულად წვიმები, თოვლის დნობა, მიწის ან თოვლის ჩამოზვავება, მყინვარების დნობა, ბუნებრივი ან ხელოვნური წყალსაცავების გარღვევა იკავებს [2, 116]

როდესაც უწყვეტ გარემოში ღვარცოფის ტანის დამაბულობა გადააჭარბებს სტრუქტურული კავშირების სიმტკიცეს და ბმულობის წინააღმდეგობების ინტეგრალურ მნიშვნელობას, იწყება მდგრადობის რღვევა და ძვრის შესაძლებლობა [100]. ღვარცოფის მასის დამაბულობი მდგომარეობა იცვლება აგრეთვე როგორც ფენის ზრდის, ასევე მასაში წყლის წონითი ან მოცულობითი სიდიდის ცვლილებით [110].

ღვარცოფთა ჩამოყალიბება სხვა მრავალ ფაქტორთან ერთად მის ერთგვარობასთან არის დაკავშირებული და ეს მაჩვენებელი, რომელიც მყარი შემადგენლის ქვის ჩანართის დიამეტრის პროცენტული ფარდობით არის განსაზღვრული 6,5-დან 100-მდე ზღვრებში იცვლება [118].

ჰიპერკონცენტრირებულ ბმულ ღვარცოფთა წონასწორობა მის შემადგენელ ნაწილაკთა შინაგანი ხახუნის ცვლილების მახასიათებლებთან არის უშუალოდ დაკავშირებული და ტენიანობასთან კავშირში მისი სიდიდე (3-5)%-ის ზღვრებშია განთავსებული, შინაგანი ხახუნის კუთხის $\varphi = 35^\circ$ -ს მნიშვნელობისას ტენიანობაა 12%. ტენიანობის გაზრდის შემთხვევაში φ კუთხის მნიშვნელობა მნიშვნელოვნად მცირდება და 4° -მდე ეცემა, ხოლო ტენიანობის შემდგომი მცირე სიდიდით ცვლილების შემთხვევაში კი ბმულობის მაჩვენებელი სავსებით ქრება [101].

სატრანზიტო დერეფანში ნაკადს გააჩნია რიგი თავისებურებანი, რაზეც ნათელ წარმოდგენას მეცნიერთა სხვადასხვა შეხედულებები ადასტურებს, რომლის მაგალითად შეიძლება მოყვანილ იქნეს წინააღმდეგობის ძაბვისა და სიჩქარის გრადიენტს შორის კავშირის ამსახველი სხვადასხვა

სახის მოდელები [71,89, 97,119].

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების სახე სხვადასხვა ფორმით არის წარმოდგენილი და სამეცნიერო პუბლიკაციებში სამშრიან მოდელებსაც ვხვდებით [9, 120].

ღვარცოფულობის კრიტერიალური ზღვრები შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთ თანაფარდობით არის განსაზღვრული. კომპონენტთა უმნიშვნელო ცვლილების შემთხვევაშიც კი შესაძლებელია მათი ერთი სახეობიდან მეორეში გარდასახვა და ბუნებით დიამეტრალურად განსხვავებულ ღვარცოფთა სახეების წარმოქმნა ღვარცოფის ბმული ტანით არსებობის შემთხვევაში წყლისა და მილიმეტრიანი ნაწილაკების წონითი თანაფარდობის შესაძლო ცვლილება მყარ მასასთან წარმოდგენილია ზღვრებში $0 \div 0,49$, ხოლო წყლის წონის მთლიან მასასთან ფარდობითი სიდიდის ცვლილება $0,112 \div 0,2$ -ის შუალედურ ფარგლებში მერყეობს, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკების წონის ფარდობა მთლიან მყარ მასასთან კი $0,23 \div 0,45$ ზღვრებშია განთავსებული. [121,122].

ბრძოლის ღონისძიებების სახეობა ღვარცოფის ტანის შემხვედრი წინააღმდეგობების მდგრადობის რღვევის შესაძლებლობებზეა დაკავშირებული. ღვარცოფებში წყალთან შედარებით ეს მაჩვენებელი გაცილებით დიდი დიაპაზონით არის წარმოდგენილი და გარკვეულ გავლენას ახდენს ნაგებობათა დაპროექტებაზე. ბმულობით დახასიათებული ღვარცოფის ტანში ტალღის გავრცელების სიჩქარე დაახლოებით 7-ჯერ მცირდება [29,87].

ნაკადის მდგრადობა განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის დროს. მდგრადობის ნორმატივებიდან ნაკადის გასვლის შემთხვევაში მოსალოდნელია ხერგილების წარმოქმნა და ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევა.

მოყვანილი თავისებურებების სწორი ანალიზის საფუძველზე და ღვარცოფთა ფიზიკაზე სრულად წარმოდგენის შემთხვევაში შესაძლებელია ახსნილ იქნეს მისი მექანიკის მექანიზმი და განხორციელდეს ნაგებობებზე

ზემოქმედების მოდელის სწორად შერჩევა. ამაზე მიუთითებენ შრომებში ნაკადის ნაგებობებთან ურთიერთქმედების დროს მოცემული ბლანტ-პლასტიკური კოჭების მოძრაობის ანალოგების მოვლენაზე ადაპტირება.[7,31,120].

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა არსებული სახეობების და საექსპლუატაციო მონაცემების აღწერით დასტურდება, რომ უკანასკნელ პერიოდში ორიგინალური ნაგებობების და კონსტრუქციული გადაწყვეტების შექმნას გამოკვეთილი სურათი გააჩნია და ნაკადის ანომალური ბუნებიდან გამომდინარე, ბრძოლის სტრატეგიამ სრულიად განსხვავებული სახე მიიღო. შეცვლილმა სტრატეგიამ განსაკუთრებული ასახვა ჰპოვა ღონისძიებების კონსტრუქციულ გადაწყვეტაში და განივი ნაგებობები გრძივმა ნაგებობებმა ჩაანაცვლა.

ნაგებობათა კონსტრუქციული ფორმის შემუშავების დროს გადამწყვეტი როლი ენიჭება ნაკადის ნაგებობასთან ტრანსფორმირებულობას, საიმედოობას და კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევას, ექსპლუატაციის პერიოდში მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობებს, ნაკადის ნაგებობაზე დარტყმის ეფექტების შემსუბუქებას, ნაგებობის კონსტრუქციული ფორმის საფუძველზე დაწოლის თანდათანობით ზრდას, ღვარცოფსარეგულაციო მშენებლობის გაიაფებას, ნაგებობათა ელასტიკურობას და კალაპოტთან შერწყმას, მყარი ნატანის დახარისხებას. ნაკადის მოძრაობის რეჟიმთან და ზემოქმედების შესაძლებლობებთან კავშირში ნაგებობების კონსტრუქციული გადაწყვეტების დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული ნაკადით ტრანსპორტირებული ნატანის მიღების შესაძლებლობები [127, 128,129].

ბოლო 10 წლის მონაცემებით ეროზიული ღვარცოფული პროცესების გააქტიურება განსაკუთრებით აღინიშნა რაჭა-ლეჩხუმში, სამეგრელოს მთიანეთში, აჭარაში, ზემო იმერეთში, კახეთში და მცხეთა-მთიანეთში. ნაწილობრივ ბორჯომის, ახალციხე-ასპინძის, მესტიის რაიონებში და თბილისის ტერიტორიაზე.

დღეისათვის საქართველოში გამოვლენილია ღვარცოფსაშიში კერები და შედარებით მდგრადი უბნები, შედგენილია სპეციალური გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური და საინჟინრო გეოლოგიური რუკები, წლების მანძილზე ტარდება თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები მოდელირების მექანიზმის სრულად წარმოდგენისა და სარეგულაციო ღონისძიებების შემუშავება შერჩევის მიზნით.

ბარაჟების სიხისტე და კონსტრუქციული გადაწყვეტები რთული ბუნების გამო ხშირად სადაწნეო ზედაპირზე ვერ იძლევა ღვარცოფის ტრანსპორტირების და დამრტყმელი ძალის გადანაწილების შესაძლებლობას. რეგულირების მიზნებიდან გამომდინარე, ცალკეული ნაგებობების შერჩეული სახეები სხვადასხვანაირად ზემოქმედებს ფორმირებულ ნაკადზე.

ინოვაციური ნაგებობების კონსტრუქცია ბუნებრივ ანომალურ ეკოლოგიური გართულებების საწინააღმდეგო, გარემოს დამცავი, რესურს-დამზოგი ნაგებობების კონსტრუქციული ზომების ჰიდრაულიკის, ჰიდროლოგიის, საპროექტო პროცესების დამუშავების დონესთან არის დაკავშირებული. ღვარცოფთა რეგულირებაში ბრძოლის ახალი ღონისძიებების შექმნა ხელს შეუწყობს ლანდშაფტის ინფრასტრუქტურულ უსაფრთხოების სტრატეგიისა და რისკის მართვის სამოქმედო გეგმას.

წარმოდგენილ ნაგებობათა ღვარცოფზე ზემოქმედება კონსტრუქციული გადაწყვეტის თავისებურებით არის წარმოდგენილი. შემოთავაზებულ საინჟინრო გადაწყვეტას გააჩნია არსებულთან შედარებით სრულიად განსხვავებული თავისებურებანი, რომელიც დადასტურებული საავტორო მოწმობით [125,126].

ნაგებობებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების დროს ადგილი აქვს მისი მდგრადობის დაკარგვას ტალღის ფორმით და ჰიდრაულიკური და ჰიდროლოგიური პარამეტრების შეცვლას.

ღვარცოფთა სატრანზიტო ზონებში მოძრაობის დროს ვხვდებით მდგრადობადაკარგულ ნაკადებს უწყვეტი, გრძივი, დინამიკური და

მონოკლინური ფორმის ტალღების სახეებს. ზემოთ აღნიშნული ტალღების მახასიათებლები მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ერთმანეთისგან და მათი მოდელის აღწერა სპეციალური დაშვებით არის მიღწეული [44,30,31].

ღვარცოფული დინამიკური ზემოქმედების სიდიდე ნაკადის მიმართ ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის დაყენების ორიენტაციაზე დამოკიდებული. ერთ-ერთი განსაკუთრებულობა მის ფრონტალურ ნაწილში ის არის, რომ ასეთი ნაკადები სიმკვრივის და სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების თავისებურებებითაა გამორჩეული [32,90].

სადინარში ღვარცოფის მოძრაობა არის თანაბრად აჩქარებული. შესაბამისად, მოსალოდნელი რისკები და სხვადასხვა სახის ობიექტებზე ზემოქმედების შესაძლებლობები გაჩერების განმსაზღვრელ მახასიათებლებთან არის დაკავშირებული. რადგან ყოველი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტა ღვარცოფის სახესთან არის დაკავშირებული, მიღებულია, რომ გამოტანის კონუსზე ნაკადის გაჩერების ქანობის მნიშვნელობა იცვლება და $0,005=0,04$ -ის ფარგლებში მერყეობს [106, 107].

რეალობაში ღვარცოფთა მრავალფეროვანი სპექტრის არსებობისა და სპეციფიკური ბუნების გამო ჩვენ შემოვიფარგლეთ იმ მახასიათებლების აღწერით და ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებების ანალიზით, რომლებსაც გადამწყვეტი როლი გააჩნიათ ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებების შესაფასებლად.

ზემოთ მოყვანილი ბრძოლის მეთოდების, საანგარიშო დამოკიდებულებების და სამშენებლო ნორმებისა და წესების ანალიზით გაირკვა, რომ მათი შედეგები სრულად ვერ იძლევა მათი გამოყენების შესაძლებლობებს და პრობლემის გადაწყვეტა ღვარცოფების დარეგულირებისა და ნაკადთა საინჟინრო გადაწყვეტების უფრო დახვეწას საჭიროებს.

1.3. ღვარცოფთა რისკების შეფასების ოპერატიული საშუალებები და ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრები

სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების რისკები, მოქმედების კანონზომიერებები და ნაგებობათა გაბარიტული ზომები ნაკადის ჰიდრაულიკასთან არის დაკავშირებული. ღვარცოფების შემთხვევაში ნაკადის პარამეტრების შეფასება ძალზე რთულია, ხოლო ნაგებობათა მდგრადობა და სიმტკიცე უშუალოდ ძალური და დინამიკური ზემოქმედების ეფექტებით არის განპირობებული.

ღვარცოფთა ნაგებობებზე ზემოქმედება და მათემატიკური მოდელებით მათი აღწერა ძალზე რთულია პროცესში მონაწილე ისეთი ფაქტორების გამო, რომლებიც ხშირად არ ექვემდებარება შეფასებას.

ბმული ღვარცოფის ნაგებობებზე ძალური ზემოქმედების საანგარიშო სქემები და საანგარიშო დამოკიდებულებები მოცემულია სამეცნიერო შრომებში სადაც აღნიშნულთან ერთად სხვადასხვა ანალოგიების გამოყენებით, ნაგებობაზე გარსშემოდენის და ზემოქმედების სხვადასხვა შემთხვევების გათვალისწინებით მიღებულია ნაგებობათა საპროექტო ელემენტების განმსაზღვრელი კრიტერიუმები [45, 102, 111].

ღვარცოფებთან ბრძოლის ყოველი კონკრეტული ამოცანა ფაქტორთა მთელ კომპლექსზეა დამოკიდებული, რაც თავისთავად ამა თუ იმ ტიპის ნაგებობის გამოყენებას მოითხოვს. საპროექტო პარამეტრების ასეთი ამოცანების გადაწყვეტის დროს ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტების განსაზღვრის შესაძლებლობა იქმნება.

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების გაანგარიშება დიდი ხნის პერიოდში ძირითადად წარმოებდა თანაბრად მოძრავი კალაპოტური ნაკადების საანგარიშო დამოკიდებულებების ანალოგიაზე დაყრდნობით, რაც პრაქტიკისათვის არასრულყოფილი შედეგით მთავრდება. სადღეისო მონაცემებით გვაქვს ოპერატიულ საშუალებათა ნუსხა, რომლებითაც შესაძლებელია ნაკადის ნაგებობასთან ურთიერთქმედების მიხედვით კონსტრუქციული გადაწყვეტების გეომეტრიული ზომები შერჩეულ იქნეს მათემატიკური მოდელებით.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა გაანგარიშების მეთოდოლოგია და ნაგებობებზე ზემოქმედების ჰიდრავლიკის ამოცანების გადაწყვეტა მხოლოდ კონკრეტული შემთხვევისათვის შემუშავებულ დამოკიდებულებებზე დაყრდნობით ხორციელდება. გაანგარიშების ოპერატიული საშუალებები ძირითადად უწყვეტობის და დინამიკის განტოლებებს ეყრდნობა, რომელთა ბაზას ფხვიერი, ბლანტი, პლასტიკური და სხვა რეოლოგიური ბუნების მქონე სხეულებისათვის ვექტორული ან ტენზორული ფორმით ჩაწერილი განტოლებათა სისტემები წარმოადგენს. ამ მიზნით ბმულ ღვარცოფთა ამოცანების გადაწყვეტის დროს არსებული გამოკვლევებით ყველაზე ხელსაყრელად მიჩნეულია ს. გრიგორიანის „გრუნტების დინამიკის ზოგადი განტოლებები“ [130,131].

გენკი-ილიუშინის და კულონ-ტრესკი-სენ-ვენანის განტოლებათა სისტემების ერთობლივი განხილვით ვოინიჩ-სიანოჟენცკის მიერ მიღებულია წყლისა და გრუნტის ნარევის მოძრაობის ერთგანზომილებიანი განტოლებები, რომლებიც ბმული ღვარცოფების დინამიკის აღწერისათვის არის მიზანშეწონილი [2, 132].

ღვარცოფების მოძრაობის შეფასების მიზნით კატასტროფების მათემატიკური თეორია პირველად გამოყენებული იქნა ც. მირცხულავას მიერ, რომელიც შემდგომ ნაკადის ფრონტის სიჩქარის პროგნოზირების საფუძველი გახდა [23].

ჰიდრავლიკაში მიღებული დაშვებების და გარდაქმნების საფუძველზე, ს. გრიგორიანის განტოლებებზე დაყრდნობით გამოყვანილია ღვარცოფის მოძრაობის და უწყვეტობის ერთგანზომილებიანი განტოლებები [8]

$$\left. \begin{aligned} \left[\frac{1}{g_*} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V \partial V}{g_* \partial X} - i + \frac{\partial H}{\partial X} + \frac{V}{g_*} \frac{q}{\omega} + i_* = 0 \right] \\ \left[\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q \right] \end{aligned} \right\}, \quad (1.3.1)$$

სადაც V არის განივკვეთში ნაკადის საშუალო სიჩქარე;

i – სადინარის ქანობი;

- i^* – მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალა;
- q – სიგრძის ერთეულზე ნაკადის გადინების ან მოდინების ხარჯი;
- Q – ნაკადის ხარჯი;
- α – კალაპოტის ფსკერის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე;
- $g_* = g \cos \alpha$.

შემხვედრი წინააღმდეგობების ღვარცოფებზე ზემოქმედება, როცა მნიშვნელოვანი ხდება ნაკადის მდგრადობის რღვევა და მოძრაობა ტალღის ფორმით ჩამოყალიბდება, უმნიშვნელო წინააღმდეგობების დროს, ადგილი აქვს ნაკადის ერთი სტაციონალური მდგომარეობიდან მეორეში მდორედ გადასვლას ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ერთ შემთხვევაში ხდება ნაკადის ენერგეტიკული მახასიათებლების სიდიდეთა ნახტომისებურად შეცვლა, ხოლო მეორე შემთხვევაში ეს პროცესი მდორედ მიმდინარეობს. აქედან გამომდინარე, ადგილი აქვს მოძრაობის დროს თავისუფალი ზედაპირის სხვადასხვა ფორმით ჩამოყალიბებას. მოვლენის სრულად აღწერის მიზნით ასეთი შემთხვევის დროს პროცესის აღწერა განსხვავებული მათემატიკური მოდელების გამოყენებით არის შესაძლებელი.

ენერგეტიკული მახასიათებლების, კერძოდ, სიჩქარის, სიღრმის, ხარჯის უწყვეტ ან ნახტომისებურ ცვლილებას თან ახლავს ტალღის ფორმით მოძრავი ნაკადის ამპლიტუდის მნიშვნელოვანი შეცვლა და დამრტყმელი ძალის ეფექტურობის გაძლიერება ან შესუსტება. წარმოდგენილი პროცესის მათემატიკურად აღწერის სირთულეს კიდევ უფრო ართულებს ბუნებაში ღვარცოფთა ერთმანეთისგან ბუნებით განსხვავებული მრავალი სახეობის არსებობა, არსებული სტატისტიკური მასალებიდან გამომდინარე და სამეცნიერო შრომებზე დაყრდნობით. ღვარცოფული პროცესების ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასების მეთოდოლოგია და მოვლენებთან მათემატიკური მოდელების ადაპტაცია, პირველ რიგში, ადვილად შესაძლებელი პროცესების ანალიზით, მათ შორის კავშირის დადგენით და შემდგომ თეორიის შექმნით უნდა განხორციელდეს [15,16,17,18, 45,97]

რეჟიმის ცვალებადობა, ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის განსხვავებული ფორმით მოძრაობა ძირითადად სადინარის კალაპოტის შევიწროებითა და გაფართოებით, განივკვეთის ფორმის და ქანობის ცვლილებით არის გამოწვეული. ხშირად ვხვდებით მოძრავ ნაკადს ისეთი თავისუფალი ზედაპირით, როცა კვეთში სიჩქარეს მისი ცოცხალი კვეთის მართობული მიმართულება აქვს, მიღებულია დიფერენციალურ განტოლებათა სხვადასხვა ვარიანტები [24, 42, 43]:

1- ვარიანტი

როცა ღვარცოფის ცოცხალი კვეთის ფართობი, ნიუტონური სითხეებისგან განსხვავებით, K კოეფიციენტით არის კორექტირებული და ღვარცოფის ქანობი i_c -ს, ნაკადის სიღრმე და ხარჯი შესაბამისად h -ის და Q -ს, წინააღმდეგობის ქანობი i_f -ის, სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი c -ს

ტოლია:

$$\frac{dh}{d\lambda} = \frac{i_c - \frac{Q^2}{K^4 \omega^2 c^2 R} \left(1 - \frac{aKhc^2}{g\omega} \frac{d\omega}{d\lambda} \right)}{1 - \frac{aQ^2 B}{gK^3 \omega^3}}; \quad (1.3.2)$$

2 ვარიანტი

როცა ღვარცოფი არაპრიზმულ კალაპოტში მოძრაობს ცვალებადი ხარჯით:

$$\frac{dh}{d\lambda} = \frac{i_c - \frac{Q^2}{K^4 \omega^2 c^2 h} \left(1 - \frac{aqKhc^2}{g\omega} \frac{da}{dx} \right)}{1 - \frac{aQ^2 B}{gK^3 \omega^3}}; \quad (1.3.3)$$

3. ვარიანტი

როცა წინალობის ქანობი შვედოვ-ბინგამის მოდელით არის წარმოდგენილი და არაპრიზმულ კალაპოტში ღვარცოფი მოძრაობს ცვლადი ხარჯით:

$$\frac{dh}{d\lambda} = \frac{i_f c - \frac{QL}{gbh^3} f(\beta) - \frac{Qq}{g\omega^2 K^2}}{1 - \frac{aQ^2 B}{gK^3 \omega^3}}; \quad (1.3.4)$$

4. ვარიანტი

როცა ნაკადი მოძრაობს მუდმივი ხარჯით:

$$\frac{dh}{d\lambda} = \frac{i_f c - \frac{QL}{gbh^3} f(\beta)}{1 - \frac{aQ^2 B}{gK^3 \omega^3}}. \quad (1.3.5)$$

ღვარცოფთა გავლის სიხშირე და გარემოს ინფრასტრუქტურაზე ზემოქმედების შესწავლის დონე კიდევ ერთხელ მიუთითებს, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ჰიდრავლიკური გაანგარიშების მეთოდების დაზუსტება აქტიურ პრობლემად რჩება. გამოყენებულ ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების მრავალსახეობათა შორის მეტად გავრცელებულ სახეობას ხიდი-გადასასვლელები წარმოადგენს. ხშირია შემთხვევები როცა უეცრად ჩამოყალიბებული ღვარცოფის ხარჯი მნიშვნელოვნად ჭარბობს ხიდისქვეშა სივრცის გამტარობას და მისი გადადინება გადასასვლელ ნაწილზე ხდება, ადგილი აქვს უკუტალღის წარმოქმნას. ასეთივე შემთხვევა შეიძლება განხორციელდეს მაშინ, როცა ჰიდროლოგიური გაანგარიშების მეთოდიკა არასრულყოფილია. ზემოაღნიშნულის კორექტირება მოცემული იქნა შრომაში, სადაც გათვალისწინებული იქნა ღვარცოფების ისეთი საჭირო მახასიათებლები, როგორცაა წარმოქმნის სიხშირე, გავლის ხანგრძლივობა, წარმოქმნის ინტერვალი, კატასტროფული ხარჯების სიდიდე [23].

როდესაც ხიდისქვეშა სივრცის გამტარობა ვერ უზრუნველყოფს ღვარცოფის წინააღმდეგობის გარეშე გატარებას, ასეთი ამოცანის გადაწყვეტისას, მოხერხებულობის თვალსაზრისით, ტალღური პროცესის აღწერის დროს ამოცანა განხილულია ერთგანზომილებიან ჩარჩოში, რომლის საფუძველზეც მიღებული უკუტალღის გავრცელების სიმაღლის საანგარიშო დამოკიდებულება, როცა ნაკადის სიმაღლე h_0 -ის, სიჩქარე V_0 -ის,

გადინების სიღრმე h_r -ის და სიჩქარე V_r -ის ტოლია [37,38,107, 108].

$$Z = \frac{gh_0 + \sqrt{g^2 h_0^2 - 2Kg}}{g}, \quad (1.3.6)$$

$$K = 4(V_r^2 h_r^2 - V_0 V_r h_0), \quad (1.3.7)$$

ხოლო ტალღის გავრცელების სიჩქარე

$$C = \frac{V_0 h_0 - V_r h_r}{Z}. \quad (1.3.8)$$

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა შორის განსაკუთრებული ადგილი კალაპოტის გადამღობ ყრუ და გამჭოლ ნაგებობებს უკავია, რომელთა შორის აღსანიშნავია მცირე გაბარიტის მქონე კაშხლები, ხიდი-გადასასვლელები, ნაკადმიმმართველი კედლები და სხვ. ასეთ ნაგებობათა მახასიათებლების განსაზღვრის დროს გამოიყენება არატრადიციული გაანგარიშების მეთოდები. შრომაში განხილულია დარტყმის ძალის განსაზღვრის ამოცანა, რომლის შემდეგ ნაკადის შეფასება და პარამეტრების კვლევები ძალზე ზუსტად გრძელდება. პრაქტიკული თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ინტერესს ნაგებობაზე მოქმედების დროს ნაკადის უკუტალღის პარამეტრების შეფასება იწვევს. ზემოაღნიშნულს ადასტურებს ღვარცოფსაწინააღმდეგო მშენებლობის გამოცდილება, როცა ნაგებობებს ღვარცოფთა შეჩერებისა და დარტყმის ეფექტის შემასუსტებლის ფუნქცია გააჩნია [11,28]

ღვარცოფის ზემოქმედება ნაგებობებზე ხშირად დამრტყმელი ძალის ეფექტით ვლინდება, რაც მათი ავარიისა და მწყობრიდან გამოსვლის ერთ-ერთ რეალურ ფაქტორს წარმოადგენს. დამრტყმელი ძალის შედეგად ხშირია ნაგებობათა მსხვრევისა და მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევები, რასაც სადინარში მოწყობილი ნაგებობების საექსპლუატაციო შედეგები ადასტურებს. როცა ღვარცოფის მოსალოდნელი ხარჯი Q -ს. მოცულობითი წონა γ -ს, ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობი ω -ს, სადინარში ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის ფუძესთან დახრის კუთხე α_1 -ს, ნაკადის შინაგანი ხახუნის კუთხე φ -ის, ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის და ნაკადის სიგრძე a -ს ტოლია, შემასწორებელი K კოეფიციენტის გათვალისწინებით დარტყმის

ძალის სიდიდე

$$P = K \frac{\mathcal{Q}^2}{g\omega} \cdot \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \left[\sin \alpha \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} + \frac{h_0}{2H} (\sqrt{1 - \tan \varphi} - \tan \varphi) \right]. \quad (1.3.9)$$

კალაპოტის ვარდნის უბნებზე ახლო მდებარე ობიექტის დაცვის მიზნით გამოყენებულია სხვადასხვა კონსტრუქციული გადაწყვეტების ნაგებობები, რომელთა შორის მოიაზრება ტრამპლინის ტიპის ნაგებობები. მათ ფუნქციას ობიექტიდან ღვარცოფის ჭავლის გასროლა წარმოადგენს. როცა ნაგებობის უარყოფითი ქანობი $i < 0$ და ნაგებობის სიმაღლე H_0 -ის, ნაკადის ნაგებობის ბოლო, გატყორცნის 0 წერტილიდან ნაკადის სიჩქარე V -ს და სიღრმე H -ის ტოლია, ქვედა ბიეფის ჰორიზონტალური ზედაპირის შემთხვევაში, ნულოვანი ქანობის დროს ჭავლის ვარდნის სიშორე

$$L_3 = L_1 + L_2, \quad (1.3.10)$$

სადაც

$$L_1 = \frac{V^2 \sqrt{1 - i^2}}{g} \left(1 + \sqrt{\frac{i^2 + 2g(H_{6\text{,}d} + 0,5H_1)}{V^2}} \right), \quad (1.3.11)$$

$$L_2 = \frac{V^2 \sqrt{1 - i^2}}{g} \left(i + \sqrt{\frac{i^2 + 2g(H_{6\text{,}d} + 0,5H_1)}{V^2}} \right), \quad (1.3.12)$$

ღვარცოფთა ბუნებიდან გამომდინარე, ბრძოლის ღონისძიებების სირთულეებმა, ანომალურობამ და რისკებმა განაპირობა ისეთი ორიგინალური კონსტრუქციების შექმნის აუცილებლობა, რომლებიც გრძივი ნაგებობების სახითაა წარმოდგენილი. ასეთი ნაგებობები ხასიათდება დამრტყ-

მელ ძალასთან დამყოლობით, იძლევა ნაკადის შრეობრივად დაყოფის შესაძლებლობას. ხასიათდება მაღალი საიმედოობით. მშენებლობის გაიაფების მიზნით გამოიყენება მეორადი რესურსები, დამრტყმელი ზემოქმედების თანდათანობით განეიტრალეების მიზნით გააჩნია პლასტიკურობა [125].

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა საექსპლუატაციო მონაცემებით დადასტურებულია, რომ ნაკადზე მათი ზემოქმედების შედეგად ადგილი აქვს ნაკადში შეშფოთებული ზონის წარმოქმნას და მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ტალღის გავრცელებას. ასეთ შემთხვევაში ნაკადის ზედაპირი იღებს დამახასიათებელ ფორმას გამაწონასწორებელი ქანობის სახით. გამაწონასწორებელი ქანობის საანგარიშო დამოკიდებულება მოცემულია შრომაში [51]:

$$i \leq 0,002 \left[\frac{a + 2\sqrt{a} + \varphi}{(a + 2\alpha + 2)^2} \right]^2 \left(\frac{d}{h} \right)^3, \quad (1.3.13)$$

შემოთავაზებულ ფორმულაში a – კოეფიციენტია და რეოლოგიასთან არის დაკავშირებული; α – სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების კოეფიციენტია; d - სიმქისის შესაბამისი ნაწილაკის დიამეტრია; h - ნაკადის სიღრმე.

ღვარცოფებთან ბრძოლის ღონისძიებების კონსტრუქციული გადაწყვეტების მრავალმხრივმა ასპექტებმა გამოხატულება პოვა ბუნებრივ პირობებში გამოყენებულ ნაგებობათა სახეობებს შორის.

ბმული ღვარცოფები ძალზე დიდი სიბლანტის გამო ამჟღავნებენ პლასტიკურ თვისებებს, რომელებიც მისი ტანის ზღვრული დაძაბულობითაა გამოწვეული. დაძაბულობის პლასტიკურობის ზღვრამდე მიღწევის შემთხვევაში იწყება დინება რომლის აღწერა შვედოვ-ბინგამის მოდელის გამოყენებით ხდება.

ღვარცოფთა ენერჯის აჩქარების შენელების მიზნით ხშირად მიმართავენ დრეკადი სიღრმული მეტალის ბადის გამოყენებას, რომელიც ღვარცოფის მყარი და თხევადი ნაწილის ნარევის დაყოფას ახორციელებს. ასეთი

ნაგებობის კასკადის სახით გამოყენების შემთხვევაში ყოველ საფეხურზე შესაძლებელია მყარი ნატანის დაყრისა და ქვის დიამეტრის ხარისხობრივად მასიდან გამოყოფის შესაძლებლობა. რელიეფის მიხედვით ბადეს შეიძლება გააჩნდეს ნულოვანი, დადებითი და უარყოფითი ქანობი. ბადის დიამეტრის ზომის შერჩევა გასატარებელი ქვის მინიმალური დიამეტრის მიხედვით ხდება. ასეთი ნაგებობის ბადეზე ნაკადის ცვლადი ხარჯით მოძრაობის გამო 1-1 კვეთიდან 2-2 კვეთამდე X მანძილით დაშორების შემთხვევაში ხარჯის სიდიდე იანგარიშება ფორმულით [1, 11]:

$$g_x = \mu y^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g} , \quad (1.3.14)$$

შესაბამისად

$$y = H - \frac{2\mu_p \varepsilon x}{3\mu H n} , \quad (1.3.15)$$

მთლიანი ხარჯის გატარების შემთხვევაში, როცა $y = 0$, ბადის სიგრძეა

$$\lambda = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_H n H}{\mu \varepsilon} . \quad (1.3.16)$$

ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარიერები მძლავრ ნაგებობათა კატეგორიას განეკუთვნება. მათ გააჩნიათ ისეთი წინაღობის უნარი, რომელიც სრულიად საკმარისია ღვარცოფების მთლიანად ან ნაწილობრივ შესაჩერებლად.

ასეთი ნაგებობების გამოყენების შემთხვევაში და მათი სატრანზიტო ზონაში სწორად განლაგების დროს, რელიეფისა და ნაკადის მახასიათებლების გათვალისწინებით სისტემას მრავალფუნქციური დანიშნულება გააჩნია. უკანასკნელ პერიოდში დამუშავებულია პროგრამა DEBFLOW, რომლითაც ბარიერების შერჩევა სადინარის შესაბამისი კონკრეტული კვეთისათვის არის შესაძლებელი [61].

გარდა ზემოაღნიშნულისა, ნაგებობათა გეგმაში განლაგების ადგილების შერჩევის შესაძლებლობა მარტივდება იმ შემთხვევაში, როცა ნაგებობათა განლაგების ზონაში მოძრავი ნაკადის მდგრადობის კარგვის შესაძლებლობა ცნობილია. ნაკადის მდგრადობის რღვევის შესაძლებლობის პირდაპირი კავშირი ნაგებობათა განლაგების ადგილზე მოცემულია შრომაში [133,134].

$$h > d \left(\frac{2\sqrt{a} + a + \varphi}{0,4a(2,2\sqrt{a} + 1,1a + 0,2)} \right)^6 \left(\frac{g}{i} \right)^3. \quad (1.3.17)$$

ღვარცოფსადინარის ნაგებობის ფუნქციის შესრულების შემთხვევაში კალაპოტის განივი კვეთი იცვლება სიგრძეზე როცა ცვლილება შეუსაბამოა ნაკადის ჰიდრავლიკურ პარამეტრებთან, ადგილი აქვს კალაპოტის საიმედო უსაფრთხო მუშაობის შესუსტებას. იქმნება ნაკადის მდგრადობის რღვევისა და სანაპირო ზოლის ინფრასტრუქტურის მწყობრიდან გამოსვლის შესაძლებლობები. ასეთ ადგილებში ნაკადის სიღრმის ნაზარდია Δh . ტალღის წარმოშობის კვეთში, როცა საწყისი სიღრმე h -ის ტოლია, ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის და შინაგანი ხახუნის კუთხე φ -ს, ნაგებობის სიმაღლე $\frac{\Delta h}{h}$ ფარდობითი სიდიდის ფუნქციას წარმოადგენს და მის შესაფასებლად შეიძლება გამოყენებული იქნას დამოკიდებულება [123].

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{2\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi} + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi}{4}. \quad (1.3.18)$$

ღვარცოფთა რეგულირების მიზნით კალაპოტურ ნაგებობათა შორის აღსანიშნავია განივი დეზები. წარმოდგენილი ნაგებობები ნაკადით ცირკულაციის წარმოქმნის დროს განმსაზღვრელ როლს ასრულებს და წინსვლითი მოძრაობის განმსაზღვრელი ფაქტორია.

ნაკადის $B_{\text{ნაკ}}$ -ის ტოლი სიგანის შემთხვევაში, როცა მისი დაცემის კუთხეა β , ნაგებობის სანაპირო ზოლთან დაყენების კუთხე α -ს, ბმულობის

ეკვივალენტური სიღრმე – h_0 -ის, ნაკადის სიღრმე – h -ის და შინაგანი ხახუნის კუთხე – φ -ის ტოლია, სანაპირო ზოლის ცალმხრივი დაცვის შემთხვევაში ღვარცოფსარეგულაციო დეზებს შორის მანძილი L იქნება

$$L = \frac{B_{6\alpha\beta} (\cot \beta + \cot \alpha)}{4} \left[\frac{2\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)} \mu H \left(1 + \frac{h_0}{h}\right) \varphi + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}{1 + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi} \right], \quad (1.3.19)$$

სანაპირო ზოლის ორმხრივი დაცვის დროს ნაგებობებს შორის მანძილი

$$L = \frac{B_{6\alpha\beta}}{4} (\cot \beta + \cot \alpha) \left[\left(2\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)} \varphi + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \right) \right] \frac{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}{1 + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}. \quad (1.3.20)$$

ზემოთ მოყვანილი საანგარიშო დამოკიდებულებებით მიღებული შედეგები სრულიად ვერ იძლევა მათი სამშენებლო ნორმებისა და წესების პრაქტიკისათვის გამოყენების შესაძლებლობებს და აუცილებელია მათი კორექტირება და ინოვაციური ფორმით წარმოდგენა.

თავი 2. სარეგულაციო ნაგებობებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების ნატურული და ლაბორატორიული კვლევა

2.1. ღვარცოფსადინარის გამტარუნარიანობის შესაძლებლობების ნატურული კვლევა

ბუნებრივი ანომალიების მიერ შექმნილი რისკები არსებითად ზემოქმედებენ ლანდშაფტურ ინფრასტრუქტურაზე. გარემოსდაცვითი თანამედროვე მდგომარეობა, რეალობიდან გამომდინარე, ვერ პასუხობს ეკოლოგიური წონასწორობის მდგრადობას და ბუნებრივი ანომალიების შესწავლის სირთულესთან არის დაკავშირებული. აღნიშნულს კიდევ უფრო ამძაფრებს ანომალიების სარეგულაციო ღონისძიებათა ინოვაციური სახეების შექმნის შესაძლებლობის სირთულე.

გარემოს სტაბილურობის შენარჩუნების ერთ-ერთ გარანტად, ანომალიების რეგულირების პრაქტიკიდან გამომდინარე, მიჩნეულია სარეგულაციო-საინჟინრო გადაწყვეტები. სტიქიათა შორის გარემოზე ზემოქმედებით განსაკუთრებით გამოირჩევა ბუნებრივი ანომალიების ის სახე, რომელიც ღვარცოფთა სახელწოდებითაა ცნობილი. იგი განსაკუთრებული ზემოქმედების სიმწვავით გამოირჩევა მთის რეგიონების ისეთ უბნებში, სადაც გეოლოგიურად ფიქსირებულია ადვილად შლადი ქანები და ინტენსიური ეროზიული პროცესები. ბუნებრივი ანომალიებით გამოწვეული ზარალი ხშირად ისეთ მასშტაბებს აღწევს, რომ თუ არ იქნა შესაბამისი პრევენციული ღონისძიებები განხორციელებული, საგრძნობ მატერიალურ ზარალთან ერთად ადამიანთა მსხვერპლიც არის მოსალოდნელი.

სადღეისო მონაცემებით ასეთი ანომალიების დარეგულირებასთან ბრძოლის მრავალი ღონისძიებაა აპრობირებული და გამოყენებული. მათი ეფექტურობის შეფასებას მრავალი ექსპერიმენტი, ინოვაციური ნაგებობების კონსტრუირება და თეორიული კვლევა მიემდგვნა. სპეციფიკური ბუნების გამო, მიუხედავად მათი დარეგულირების გამოყენებული ღონისძიებების

სიმრავლისა, ანომალურობის გავრცელების ზონებში ჩასატარებელია დიდი მოცულობის კვლევითი სამუშაოები. შესაბამისად, ამ მხრივ საკვლევ ობიექტთა შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსი, რომლის ბუნებრივი ანომალიებისაგან დაცვას გააჩნია როგორც ისტორიული, სასულიერო, საგანმანათლებლო დატვირთვა, ასევე მნიშვნელოვანია მისი როლი ტურიზმის განვითარების სფეროში.

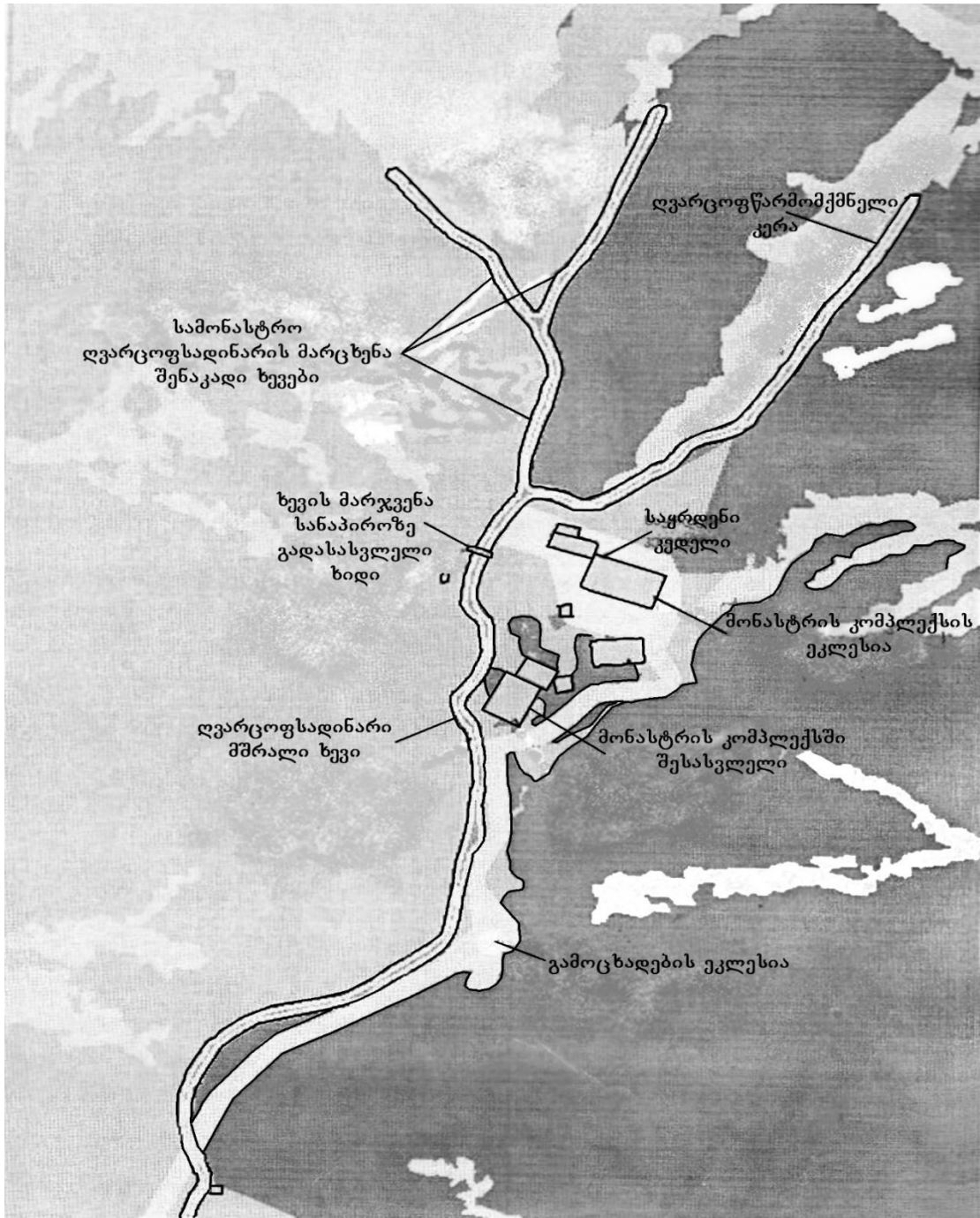
ღვარცოფების ობიექტზე ზემოქმედების შექმნილი საფრთხის გამო აუცილებელია მათი როგორც ლაბორატორიული ისე ბუნებრივი ექსპერიმენტული კვლევების წარმოება. ამ მიზნით შოთა რუსთაველის ეროვნული ფონდის დახმარებით სავსე კვლევების მიზნით შერჩეულ იქნა შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესაძლებლობები.

დღევანდელი მონაცემებით სამონასტრო კომპლექსის გარსშემოვლელი ღვარცოფსადინარის გამტარუნარიანობა ვერ იძლევა მოსალოდნელი სტიქიის გატარების შესაძლებლობებს და საფრთხე ექმნება სამონასტრო კომპლექსს. ღვარცოფთა არსებული ხევით გატარების შესაძლებლობა კვლევების ჩატარების აუცილებლობასთან არის დაკავშირებული და ღვარცოფსადინარის კერების, წყალშემკრები აუზის პოტენციალის საილუსტრაციო მასალების, სქემების, ღვარცოფსატრანზიტო ხევის მახასიათებლების, კალაპოტის მორფომეტრიის და მისი შემადგენელი ქანების დეფორმაციულობის, რეოლოგიური მახასიათებლების დაზუსტებასთან, მოსალოდნელი ღვარცოფის ნაგებობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობებთან და სადინარით ტრანსპორტირების შესაძლებლობებთან არის დაკავშირებული.

რეალობაში ღვარცოფსადინარების ძნელად აღსაწერი კონფიგურაცია, მისი სადინარის სიგრძეზე ცვლილების კანონზომიერება განსაზღვრავს ნაკადის სადინარში ქცევის და ნაგებობათა განლაგების ადგილის შერჩევის მიზანშეწონილობას და კონსტრუქციული გადაწყვეტების ეფექტური ადგილის შესაძლებლობას.

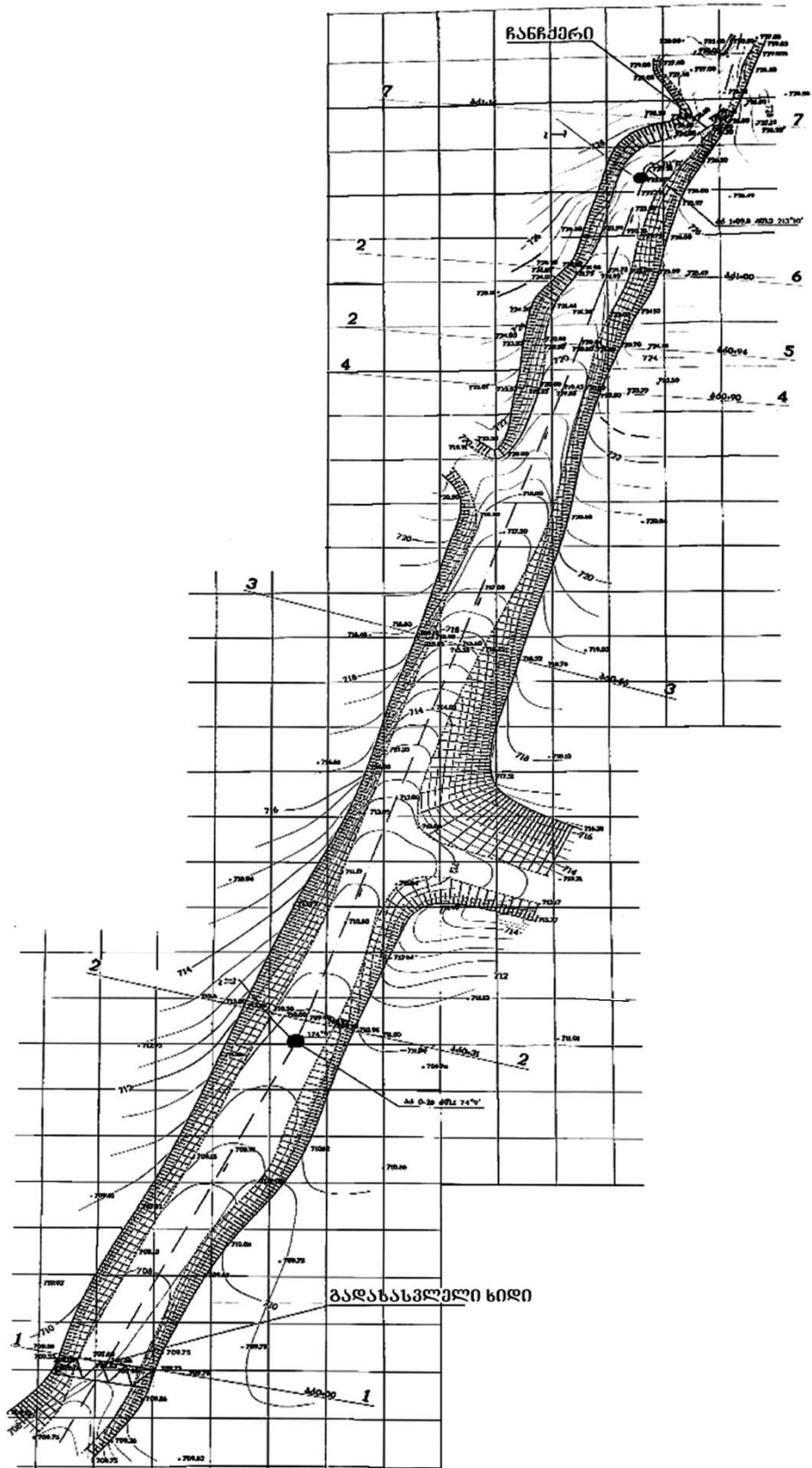
ინოვაციური ნაგებობის სადინარში განთავსების მიზნით შესწავლილ იქნა სამონასტრო ხევის სადინარის კალაპოტი, რომლის გეგმა, განივი და

გრძივი პროფილები, სადინარის ცვლილების კანონზომიერება, სადინარის განივი კვეთის ფორმები, ნაგებობის განლაგების ადგილები ნახაზებზეა მოცემული (იხ. ნახ. 1, 2, 3, 4).



ნახ. 1. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსზე ღვარცოფსადინარის გარსემოდენის სქემა

სამონასტრო ხევის გენგეგმა



ნახ. 2. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის გარსშემომავალი ღვარცოფსადინარის გეგმა

კვლევის საფუძველზე დადგენილ იქნა ღვარცოფსადინარის ჰიდრავ-ლიკური და მორფომეტრიული მახასიათებლები. როგორც კვლევის მასალებით დასტურდება სადინარი ხასიათდება ჰიდრავლიკური მახასიათებლების ცვლილების განსაკუთრებულობებით.

სადინარის განიკვეთს გააჩნია ტრაპეციასთან მიახლოებული განივი კვეთის ფორმა. ხევის სიღრმის ცვლილების ზღვრები 1,1÷4,0 მ-ის ფარგლებშია, გრძივი ქანობი $i = 0,087 \div 0,195$, კალაპოტის სიგანე იცვლება 1,5÷7,0 მ-ის ფარგლებში. ცოცხალი კვეთის ფართობი 18 მ²- მდე იცვლება, ჰიდრავლიკური რადიუსის ცვლილების ზღვრები 0,30 მ-დან 2,0 მ-მდე აღწევს.

ღვარცოფსადინარის ძირის ნიშნული ხევის დასაწყისში შეადგენს 725,0 მ-ს, ჩანჩქერის თავზე – 727,0 მ-ს, საჰაერო ქანობი $i = 0,152$ -ს. ხევის სანაპირო ზოლის ნიშნულების ცვლილებას შემდეგი სახე აქვს: ხევის მარჯვენა სანაპირო ზოლი დასაწყისში 728,0 მეტრია, ხიდთან – 721,0 მ, მარცხენა სანაპირო ზოლი დასაწყისში – 726,8 მ, ხიდთან – 722,0 მ.

2.2. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ლაბორატორიული მოდელირება და ექსპერიმენტების ჩატარების მეთოდოლოგია

ფიქსირებულ ღვარცოფთა ერთმანეთისაგან ბუნებით განსხვავებულობის საინჟინრო გადაწყვეტებზე ზემოქმედების თავისებურება და მოვლენის ლაბორატორიაში მოდელირება, კვლევის ისეთი მეთოდოლოგიის შერჩევას საჭიროებს, რომლის დროს სრულყოფილად იქნება გათვალისწინებული მოვლენაზე მოქმედი ყველა ფაქტორი და ცვლილების შესაძლებლობა. ამასთან ერთად, ღვარცოფის რეგულირების მიზნით შერჩეული საინჟინრო გადაწყვეტები ისეთი კონსტრუქციული ელემენტებით უნდა იყოს წარმოდგენილი, რომლის ზემოქმედება მოვლენაზე სრულყოფილად მოიცავს ღვარცოფთა რეგულირების შესაძლებლობას და ნაკლებად შესწავლილი ფაქტორების სრულად გათვალისწინებას, რაც უზრუნველყოფს გარემოს დაცვის მაქსიმალურ საიმედოობას. ლაბორატორიულ

ექსპერიმენტული კვლევების წარმოების დროს საგრანტო პროექტის შესასრულებელი სამუშაოების გეგმის შესაბამისად გათვალისწინებულია ისეთი მეთოდოლოგიის გამოყენება, რომელიც სრულად აღწერს ბუნებაში განვითარებულ რეალურ პროცესს.

ღვარცოფთა ურთიერთგანსხვავებულობა და ნაგებობებზე ურთიერთქმედების ამოცანების გადაწყვეტა მოვლენაში მონაწილე მოქმედ ფაქტორთა სიმრავლის გამო რთულია, რის გამოც კონკრეტული ექსპერიმენტების წარმოება ერთმანეთისაგან განსხვავებული მეთოდიკის გამოყენებასთან არის დაკავშირებული. საანგარიშო პერიოდის შესაბამისად დაგეგმილი ლაბორატორიული კვლევის ამოცანები ითვალისწინებს ინოვაციური ნაგებობის ღვარცოფზე ზემოქმედების ეფექტურობის შესწავლას და შესაბამისად, მიღებული შედეგებით სარეგულაციო ღონისძიებების საპროექტო ელემენტების დადგენას.

ჩასატარებელი ლაბორატორიული კვლევები ეფუძნება შესასწავლი Y ობიექტის კიბერნეტიკულ წარმოდგენას შავი ყუთის სახით, რომელზედაც მოქმედი ფაქტორების X_1, X_2, \dots, X_n -ის სახით წარმოდგენის შემთხვევაში, მათი მნიშვნელობების განსხვავებული სიდიდეების შესაძლებლობის გამო, აუცილებელია მხედველობაში იქნას მიღებული მსგავსობა და უშუალო ზემოქმედება ობიექტზე.

აღნიშნული თავისთავად, ცდების წარმოების მთელ პროცესში, მიუთითებს მოქმედი ფაქტორის მუდმივი დონის შენარჩუნებას, რადგან მისი მართვა შეუძლებელია ისეთ შემთხვევაში, როცა იგი სხვა ფაქტორის ფუნქციას წარმოადგენს.

ცდების წარმოების დროს ფაქტორთა ცალკეულ მნიშვნელობას შეესაბამება Y^0 რეაქცია-გამომახილი, რომლის შეფასების აღწერის მიზნით გამოიყენება მათემატიკური მოდელები ალგებრული პოლინომების სახით

$$Y^0 = \psi(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n). \quad (2.2.1)$$

რადგან ცდების შედეგებით მიღებული საძიებელი ფაქტორის მნიშვნელობები მიღებული საანგარიშო პოლინომით გაანგარიშებულ შედეგებთან განსხვავებულია ε ცდომილებით, შეფასების მიზნით ალტერნატიული დამოკიდებულება Y^1 ობიექტის განსაზღვრისას შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მოდელით

$$\hat{Y} = \psi(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n). \quad (2.2.2)$$

მოვლენის შესწავლის მათემატიკური მოდელის აგების დროს ერთ-ერთი განმსაზღვრელია ცდების მინიმალური რაოდენობის წარმოება და მიღებული შედეგების ადეკვატურობა რეალურ სიდიდეებთან.

ზემოთ აღნიშნულს კარგად პასუხობს მოდელები ალგებრული პოლინომების სახით, რომელთა პარამეტრების სიდიდეები ჩატარებულ ექსპერიმენტულ მონაცემებთან არის დაკავშირებული და შემდეგი სახე აქვს

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \beta_i X_i^2 + \dots + \beta_n X_n^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{n-1} X_{n-1}. \quad (2.2.3)$$

(2.2.3) პოლინომის პარამეტრების სიდიდეები ჩატარებულ ექსპერიმენტებთან არის უშუალოდ დაკავშირებული. ჩვენ შემთხვევაში საანგარიშო მოდელით ობიექტის აღწერის დროს კვლევის მიზანს მინიმალური ცდებისა და ცდომილების დროს ისეთი მოდელის აგება წარმოადგენს, რომლის პარამეტრების აპროქსიმირებული ფუნქციები ხაზოვნების დაურღვევლად შეესაბამება მოდელს რომელიც (2.2.3)-ის სახით არის წარმოდგენილი. წარმოდგენილი მოდელის პარამეტრების შეფასების დროს გამოიყენება შეფასების უმცირეს კვადრატთა მეთოდი.

ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებსა და გამოძახილს შორის კავშირების დიდი სიმრუდის შემთხვევაში გათვალისწინებულია ფაქტორების ცვლილება-ვარიაციების დონეების გაზრდა.

როცა საანგარიშო მოდელის შემადგენელი ფაქტორების აღწერის ოპერატიულ საშუალებად ცდებით მიღებულ გრაფიკულ დამოკიდებულებებს ვიყენებთ, საძიებო გამოძახილის შეფასების მიზნით ვიყენებთ მოდელს

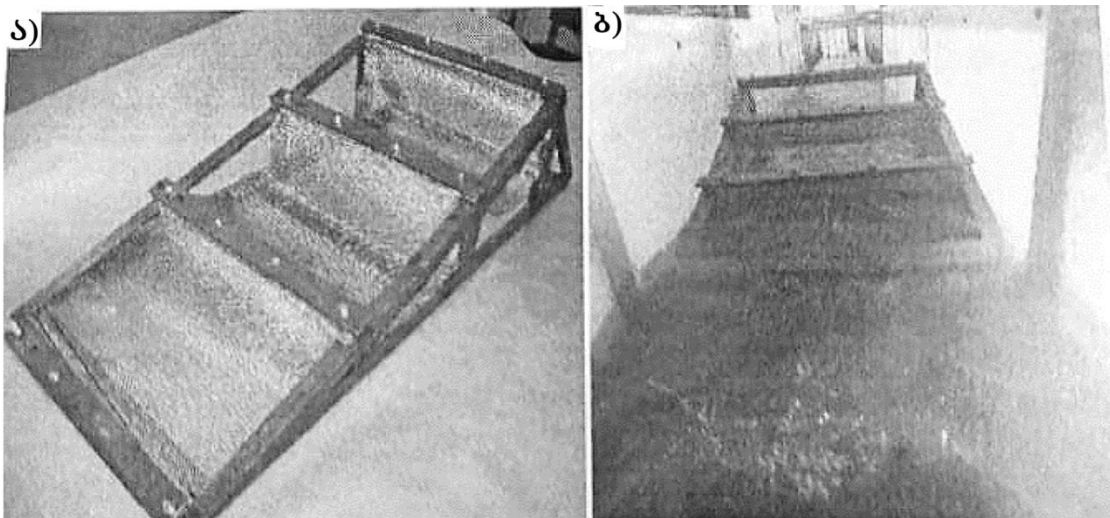
$$N = Af(K, m, n). \quad (2.2.4)$$

ექსპერიმენტებით საკვლევ ობიექტს ცდების პირველი ვარიანტის მიხედვით წარმოადგენდა ღვარცოფსარეგულაციო ბარაჟით დაკავებული მყარი მასის გამაწონასწორებელი ქანობის ცვლილების სურათის შესწავლა ღვარცოფის სხვადასხვა სახეობებთან დამოკიდებულებაში:

$$i_{გაგ} = A_1 f(K_0, m, n_1), \quad (2.2.5)$$

სადაც $i_{გაგ}$ – ღვარცოფსარეგულაციო ბარაჟით დაკავებული მყარი მასის გამაწონასწორებელი ქანობის სიდიდეა.

გამოსაცდელი ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ჰიდრაულიკურ ღარში მოწყობის ნიმუში მოცემულია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ჰიდრაულიკურ ღარში მოწყობის ნიმუში

ლაბორატორიული ჰიდრაულიკური ღარის ტექნიკური მახასიათებლები შემდეგი სახით არის წარმოდგენილი:

ჰიდრაულიკური ღარის მონაცემები:

1. ღარის სიგრძე $L = 12$ მ;
2. ღარის სიგანე $B = 0,36$ მ;
3. ღარის სიმაღლე $H = 0,29$ მ;
4. ღარის ქანობის ცვლილების შესაძლებლობა $i = 0,01 \div 0,06$.

ღვარცოფსარეგულაციო ბარაჟის მოდელის მონაცემები:

1. ნაგებობის სიგრძე $L_1 = 0,6$ მ;
2. ნაგებობის სიგანე $B_1 = 0,36$ მ;
3. ნაგებობის სექციების რაოდენობა $N^* = 3$ ცალი;
4. სექციების სიგრძეები $\Delta N_1^* = \Delta N_2^* = \Delta N_3^* = 0,2$ მ;
5. ნაგებობის სიმაღლე $H_1 = 0,15$ მ;
6. ნაგებობის სექციების სიმაღლეები $\Delta H_1 = 5$ სმ, $\Delta H_2 = 10$ სმ, $\Delta H_3 = 15$ სმ;
7. ნაგებობის ზედაპირის ქანობი $i_c = \frac{0,15}{0,6} = 0,25$;
8. სექციებში ჩამონტაჟებული ბადის ზომები. 1. (5÷7) მმ; 2. (4÷5) მმ;
3. (2÷3) მმ;
9. ბარაჟის მაქსიმალური სიმაღლე $H_c^* = 0,15$ მ.

ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ლაბორატორიაში მოდელირებისას გამოყენებულ იქნა გეომეტრიული მოდელირების შემთხვევა, როდესაც $i = \text{const}$, ფრუდის რიცხვი $F_r = \text{idem}$ $Fr = \text{idem}$, ნაკადის სიჩქარე მოდელსა და ნატურაში $V_{\text{მოდ}}/V_{\text{ნატ}} = \text{idem}$, კალაპოტის სიჩქარის წინაღობის კოეფიციენტი $C = \text{idem}$.

მოდელზე მიღებული შედეგების ნატურაში ადვილად გადატანის და საპროექტო ელემენტების ადვილად განსაზღვრის მიზნით ნაგებობებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების შესაფასებლად შესასვლელი ფაქტორების სიდიდეები აღებულ იქნა ფარდობით სიდიდეებში. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე შესაძლებელია საპროექტო ელემენტების უსაფრთხო გადატანა რეალურ პირობებში. ცდების მინიმალური რაოდენობის ჩატარების თვალსაზრისით გამოყენებულ იქნა ბერძნულ-ლათინური კვადრატი.

ექსპერიმენტში $X_1 = m$ ფაქტორით წარმოდგენილია – ექსპერიმენტული ღარის i ქანობის ნაგებობის i_k ქანობთან ფარდობითი სიდიდე, $X_2 = h$ ფაქტორით – გამჭოლი ზედაპირის მაქსიმალური სიგრძის Δ -ს ტრანსპორტირებული ქვის d დიამეტრთან ფარდობა, $X_3 = K$ ფაქტორით –

მყარი მასის ხარჯის q_r , წყლის q_b ხარჯთან ფარდობის სიდიდე.

რადგან ექსპერიმენტებში ფაქტორთა ცვლილების ცალკეულ მნიშვნელობებს რეაქციის (გამოძახილის) გარკვეული მნიშვნელობა შეესაბამება, მათი გამოძახილის კავშირთან დამყარების აღწერის მიზნით გამოყენებულ იქნა მოდელები ალგებრული პოლინომების სახით. ცდებით ფიქსირებული შედეგების პოლინომით გაანგარიშებულ სიდიდეებთან შედარება, ცდომილებისა და სტატისტიკური პარამეტრის შეფასების დროს გამოყენებულ იქნა შეფასების სტანდარტული მეთოდური და საანგარიშო დამოკიდებულებები.

როგორც აღვნიშნეთ, ცდების მინიმალური რაოდენობის ჩატარების თვალსაზრისით საძიებო გამოძახილის შეფასების დროს გამოყენებულ იქნა ექსპერიმენტის რაოდენობრივი პლანირების აპრობირებული მეთოდი ბერძნულ-ლათინური კვადრატის სახით.

ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებსა და გამოძახილს შორის კავშირის დიდი სიმრუდის აცილების მიზნით გამოყენებულ იქნა ფაქტორთა დონეების ცვლილებათა ვარირება.

ობიექტზე მოქმედი k, m, n - ის ფაქტორების გამოძახილთან კავშირის ოპერატიულ საშუალებად გამოყენებული იქნა მოდელი:

$$Y = Af(k, m, n). \quad (2.2.6)$$

ექსპერიმენტში ფაქტორის ცვლილების დიაპაზონებს შემდეგი სახე აქვს:

$$m = 0,02; m = 0,04; m = 0,06; m = 0,08;$$

$$n = 0,33; n = 0,66; n = 1,0; n = 1,33;$$

$$K = 6,4; K = 12,0; K = 24,0; K = 28,0.$$

ექსპერიმენტებით მიღებული საძიებო Y ფაქტორის მნიშვნელობებს და ფაქტორთა ცვლილების დიაპაზონებს ბერძნულ-ლათინური კვადრატის სახით წარმოადგენენ. ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული ფაქტორების ცვლილების და გამოძახილის შედეგები მოცემულია ცხრილში (ცხრ. 1).

საძიებო სიდიდის კავშირი მოქმედ ფაქტორებთან

m K	$m_1 = 0,02$	$m_2 = 0,04$	$m_3 = 0,06$	$m_4 = 0,08$
$K_1 = 6,4$	$n_1 = 0,33$ $y_1 = 0,022$	$n_2 = 0,66$ $y_2 = 0,023$	$n_3 = 1,0$ $y_3 = 0,02$	$n_4 = 1,33$ $y_4 = 0,02$
$K_2 = 12,0$	$n_2 = 0,66$ $y_2 = 0,046$	$n_1 = 0,33$ $y_1 = 0,041$	$n_4 = 1,33$ $y_4 = 0,053$	$n_3 = 1,0$ $y_3 = 0,047$
$K_3 = 24,0$	$n_3 = 1,0$ $y_3 = 0,102$	$n_2 = 0,66$ $y_2 = 0,059$	$n_1 = 0,33$ $y_1 = 0,053$	$n_4 = 1,33$ $y_4 = 0,103$
$K_4 = 28,0$	$n_4 = 1,33$ $y_4 = 0,122$	$n_3 = 1,0$ $y_3 = 0,171$	$n_2 = 0,66$ $y_2 = 0,102$	$n_1 = 0,33$ $y_1 = 0,091$

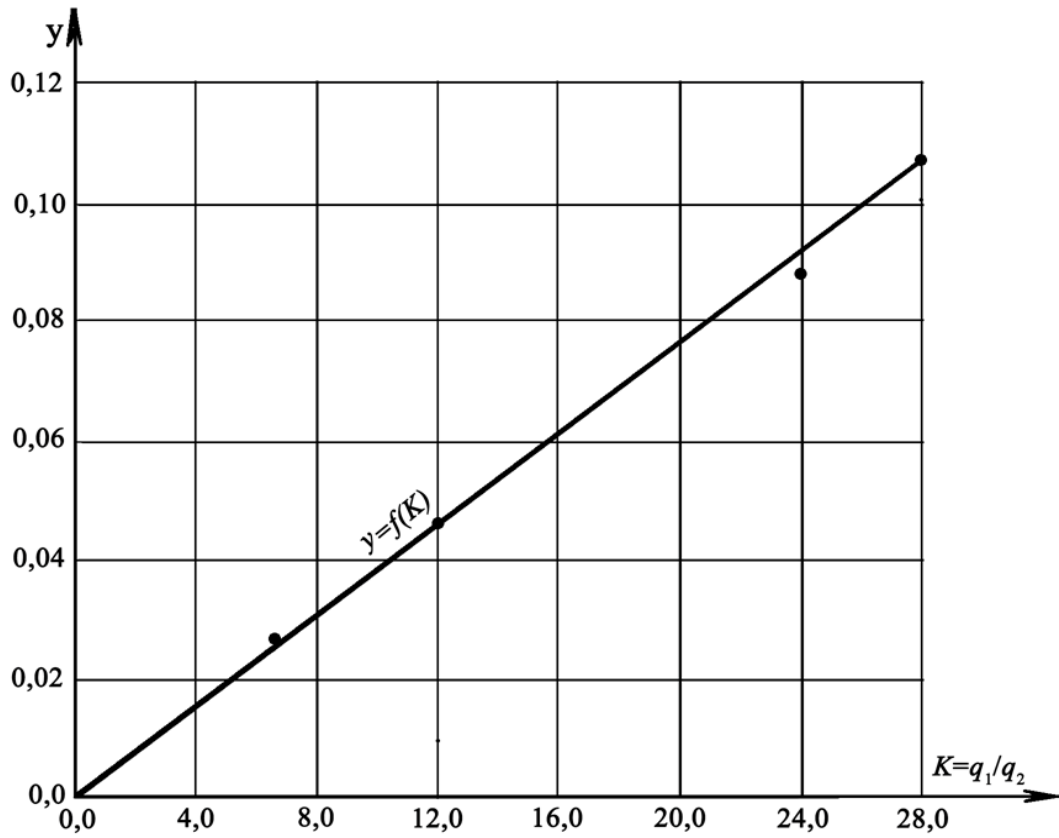
საძიებო სიდიდის ფაქტორებთან საანგარიშო მოდელების აპროქსიმაციის საფუძველზე მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულებები:

$$Y = 0,00367 q_t / q_B \quad (2.2.7)$$

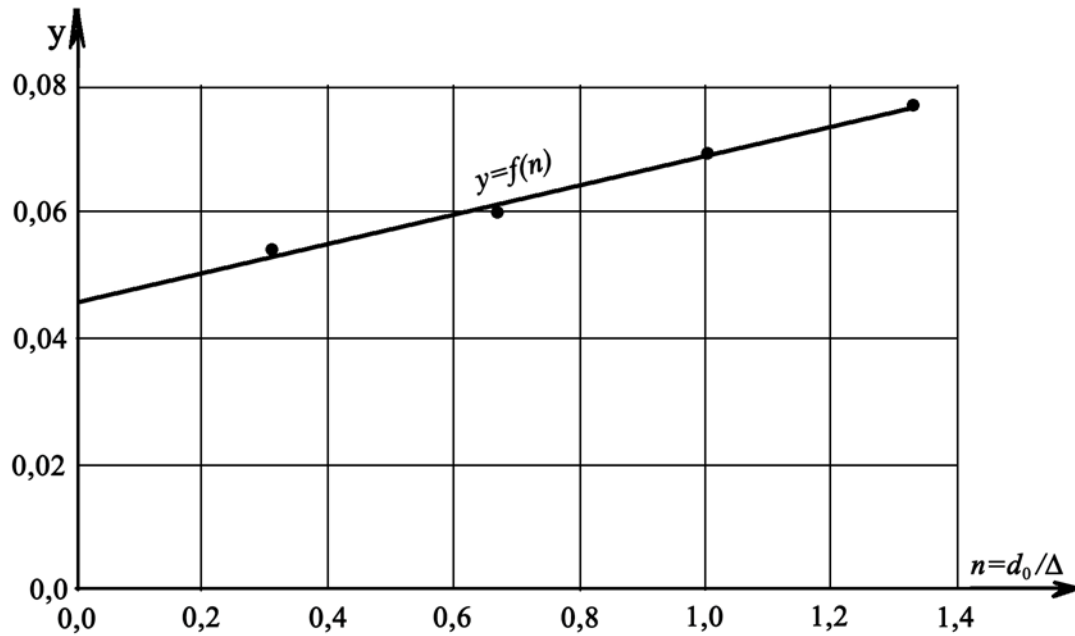
$$Y = \frac{0,03}{(i/i_k)^{0,234}} \quad (2.2.8)$$

$$Y = 0,042 + 0,026 \frac{d}{\Delta} \quad (2.2.9)$$

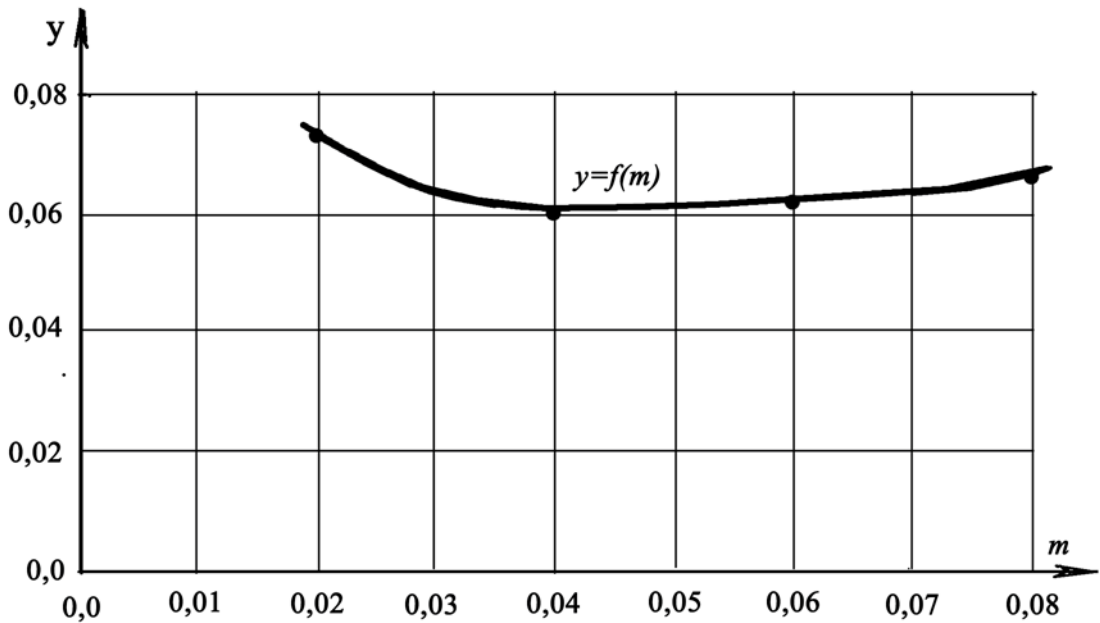
აგებული იქნა გრაფიკული დამოკიდებულებები საძიებო Y სიდიდის ფაქტორების ცვლილებასთან კავშირში (ნახ. 6, ნახ. 7, ნახ. 8).



ნახ. 6. $y = f(q_1/q_2)$ დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ. 7. $y = f(d/\Delta)$ დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ. 8. $y = f(i/i_k)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

საინჟინრო გადაწყვეტებით სადინარში ღვარცოფთა რეგულირება ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების შესაძლებლობით განისაზღვრება. აღნიშნული განსაკუთრებით ისეთ შემთხვევაშია საყურადღებო, როცა სადინარის მორფომეტრიასა და ნაკადის ჰიდრავლიკურ პარამეტრებს შორის კავშირი არ ექვემდებარება შეფასებას. ასეთ სიტუაციებში ნაგებობათა განლაგების ადგილების შერჩევა სიფრთხილეს საჭიროებს.

სადინარის კალაპოტის ძნელად აღსაწერი კონფიგურაცია, დინების მიმართულებით მისი ცვლილების კანონზომიერება ხშირად საშუალებას არ იძლევა ნაგებობაზე ნაკადის ზემოქმედების და სადინარში მათი განლაგების შესაძლებლობის პროგნოზირებაზე, ამასთან ერთად რთულდება ნაგებობათა განლაგების ადგილის შერჩევის შესაძლებლობა, ამასთან ერთად სხვადასხვა სახის ნაკადების რეგულირების და ნაგებობათა განლაგების ადგილის შერჩევა იწვევს რისკებს და რთულდება გაანგარიშების არსებული მეთოდოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობა.

კვლევის ფარგლებში მთავარი ყურადღება ეთმობა ინოვაციური ნაგებობით სადინარში ღვარცოფების მართვას, რეგულირების ამოცანების გადაწყვეტას და ბარაჟირების შემთხვევაში მთავარი ყურადღება ნაგებობათა

სიმალლის შერჩევას და მათ შორის განლაგების მანძილის ადგილის დადგენას ეთმობა.

(2.2.7), (2.2.8) და (2.2.9) ფუნქციური დამოკიდებულებების გათვალისწინებით, (2.2.6) დამოკიდებულებაში f კოეფიციენტის გათვალისწინებით, სათანადო გარდაქმნებითა და გამარტივების საფუძველზე გამაწონასწორებელი ქანობის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$I = Y = 0,0275 \frac{\left(0,042 + 0,026 \frac{d}{\Delta}\right) q_t}{(i/i_k)^{0,234}} q_B. \quad (2.2.10)$$

(2.2.10) დამოკიდებულებაში ფარდობითი სიდიდის d/Δ მნიშვნელობა, როცა ბაგირის დიამეტრი $d_{\text{ბაგ}}$ -ის, ხოლო რაოდენობა n -ის ტოლია მოცემულია ქვემოთ:

$$\frac{d}{\Delta} = \frac{1}{n} \frac{d}{d_{\text{ბაგ}}} \frac{(1 - \sqrt{K})}{\sqrt{K}}. \quad (2.2.11)$$

(2.2.11) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (2.2.10) დამოკიდებულებაში გამაწონასწორებელი ქანობის სიდიდე ტოლია

$$I = 0,0275 \frac{\left[0,042 + 0,026 \frac{d(1-R)}{n\sqrt{R}}\right] q_t}{(i/i_k)^{0,234}} q_B. \quad (2.2.12)$$

ღვარცოფთა ზემოქმედება ბუნებრივად ან ხელოვნურად შექმნილ წინააღმდეგობაზე მნიშვნელოვნადაა განსხვავებული ანალოგიური ჰიდრაულიკური პარამეტრების მქონე წყლითა და ნატანით დატვირთული ნაკადებისაგან.

დიდი დამანგრეველი ძალიდან გამომდინარე, ასეთი ნაკადების წყნარ რეჟიმში გადაყვანის დროს, სადაც მნიშვნელოვანია დაცვითი ღონისძიებების გატარება და მისი ეკოლოგიური ეფექტურობა, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შემოთავაზებული ნაგებობა.

რადგან ღვარცოფებისათვის დამახასიათებელია მნიშვნელოვანი

ტრანსპორტუნარიანობა, ამიტომ შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების დროს განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ზედა და ქვედა ბიეფში დარეგულირებული ღვარცოფის მიღებული თავისუფალი ზედაპირის ფორმა – გამაწონასწორებელი ქანობი. სხვადასხვა შემთხვევის დროს მოსალოდნელია ღვარცოფის როგორც ნაგებობაზე გადადინება, ისე მისი გაჩერება ზედა ბიეფში, რაც მნიშვნელოვანია მათი განლაგების შემთხვევაში, რომლის განმსაზღვრელ მახასიათებელს ნაგებობებს შორის დაცილება წარმოადგენს.

დალექილი მასის ზედაპირიდან გამომდინარე გამაწონასწორებელი ქანობის განმსაზღვრელი სიღრმე ნაგებობის ზედა ბიეფში აღვნიშნოთ H , ხოლო მყარი ნატანის გავრცელების სიღრმე L ასოთი.

$$I = \frac{H}{L} \quad (2.2.13)$$

მყარი ნატანის გავრცელების ზონის სიღრმეა L , ე.ი. ნაგებობებს შორის მანძილი, როცა ნაგებობასთან მყარი ნატანის სიღრმე ნაგებობის სიღრმის ტოლია

$$L = H_6 \left[(i/i_k)^{0,234} / 0,0275 \left(0,042 + 0,026 \frac{1}{n} \frac{d}{d_{\text{ბაგ}}} \frac{1 - \sqrt{K}}{\sqrt{K}} \right) \right] \cdot \frac{q_t}{q_B} \quad (2.2.14)$$

დასარეგულირებელი L^* უბნის ცნობილი სიღრმის შემთხვევაში ნაგებობათა რაოდენობა უდრის

$$N = \frac{L^*}{L_6} \quad (2.2.15)$$

ერთი და იგივე რეოლოგიური მახასიათებლების მქონე ღვარცოფის შემთხვევაში ქვის ჩანართის დიამეტრის ნაკადის სიღრმესთან ფარდობა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გამაწონასწორებელი ქანობის ფორმირებაში. ფარდობითი სიდიდის შემცირებისას ადგილი აქვს გამაწონასწორებელი ქანობის სიდიდის შემცირებას და იზრდება ნაგებობებს შორის დაცილება, პარალელურად მცირდება ნაგებობათა რაოდენობა.

თავი 3. ღვარცოფსადინარები და ღვარცოფთა ჰიდრაულიკა

3.1. მხები ძაბვის ცვლილების შესაძლებლობა ბმულ ღვარცოფებში.

თანაბარი მოძრაობის დროს პიეზომეტრული დაწნევა საფარდი სიბრტყის მიმართ, სადინარის შერჩეული კვეთისათვის, წარმოადგენს სიგრძეზე ენერჯის ვარდნის სიდიდეს – წნევის დანაკარგს. ვარდნის სიდიდე შერჩეული კვეთებისათვის მოქმედი ძალების მნიშვნელობასთან არის დაკავშირებული. მათ შორის მნიშვნელოვანი ადგილი შერჩეული კვეთის წონას, კვეთებზე მოქმედი P_1 და P_2 და კედლის ზედაპირზე დინების საწინააღმდეგოდ მოქმედ წინააღმდეგობის ძალებს ენიჭებათ. კვაზიმყარი სხეულებისათვის, რომლის ანალოგს ბმული ღვარცოფები წარმოადგენს, მდგრადობის დამაბულობის რღვევის და მოძრაობის დაწყების მახასიათებელ განმსაზღვრელ ფაქტორს განივი წნევის-ძაბვის სიღრმეზე ცვლილების კანონზომიერება წარმოადგენს. სადინარში მოძრავი ნაკადისათვის მისი მაქსიმალური სიდიდე შეიძლება წინააღმდეგობის ძალების განმსაზღვრელ მახასიათებლად იქნას მიჩნეული. მრავალკომპონენტური ღვარცოფისათვის სიღრმეზე განივი ძალის ცვლილების კანონზომიერების გაანგარიშების მეთოდის სრულყოფის მიზნით განიხილება ღვარცოფის ზედაპირიდან Z მანძილით ჩაღრმავებული წერტილი და მასზე მოქმედი σ_2 განივი და σ_1 ვერტიკალური მთავარი ძაბვები.

გრუნტების მექანიკის ანალოგიიდან გამომდინარე ძაბვების ფარდობითი სიდიდე გვერდითი გაფართოების შესაძლებლობებით შეიძლება იქნეს შეფასებული. ასეთ შემთხვევაში მთავარი ძაბვების ფარდობითი სიდიდე

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \xi. \quad (3.1.1)$$

როცა გრუნტი ხასიათდება ბმულობით, ფარდობითი სიდიდის კოეფიციენტი ξ განსხვავებულია 1-ისაგან. ასეთ შემთხვევაში მისი შეფასების დროს განიხილება შემთხვევა, როცა ღვარცოფულ მასას გააჩნია ბმულობა. ფიზიკური არსიდან გამომდინარე, ნიუტონური სითხეების შემთხვევაში მათ

მასაში აღებული ნებისმიერი წერტილიდან წნევა ყველა მიმართულებით თანაბრად მოქმედებს. ღვარცოფწარმომქმნელი მასა, რომელიც ხასიათდება C ბმულობით და შინაგანი წინააღმდეგობები σ_e ბმულობის წნევით არის წარმოდგენილი, შინაგანი φ ხახუნის კუთხის შემთხვევაში

$$\sigma_e = c \cdot \cot \varphi. \quad (3.1.2)$$

ბმულობის წნევის H' ეკვივალენტური სიღრმით წარმოდგენის შემთხვევაში, როცა ღვარცოფულ მასას გააჩნია ჰორიზონტალური ზედაპირი

$$H' = \frac{\sigma_e}{\gamma} = \frac{c \cdot \cot \varphi}{\gamma}. \quad (3.1.3)$$

როცა განიხილება h სიღრმის მქონე ღვარცოფული მასის განივი ძალის ვერტიკალური პროფილის მქონე სადაწნეო ზედაპირზე ზემოქმედება და მისი ზედაპირი არის ჰორიზონტალური, აქტიური განივი σ_2 ძაბვის სიდიდეა

$$\sigma_2 = \gamma \left(h + H' \right) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{h}{2} \right) - \sigma_e = \gamma H \tan^2 \left(45^\circ - \frac{h}{2} \right) - 2c \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{h}{2} \right). \quad (3.1.4)$$

(3.1.4) განტოლება მიანიშნებს, რომ აქტიური წნევის მნიშვნელობა სადაწნეო ზედაპირის მიმართ $2c \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{h}{2} \right)$ სიდიდით არის შემცირებული და მასის ზედაპირზე მისი მნიშვნელობა უარყოფითი სიდიდით ხასიათდება. (3.1.4) განტოლებიდან გამომდინარე, განივი ძაბვის სადაწნეო ზედაპირზე მოქმედების ეფექტი მინიმალურია იმ შემთხვევაში, როცა $\sigma_2 = 0$. აღნიშნულს თუ გავითვალისწინებთ (3.1.4) განტოლებაში, ნულოვანი სიდიდის ძაბვის შესაბამისი სიღრმე იქნება

$$h_0 = \frac{2c}{\gamma \tan^2 \left(45^\circ - \frac{h}{2} \right)}. \quad (3.1.5)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $\psi = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$, (39)-ე დამოკიდებულებ-

ბიდან განვსაზღვრავთ ბმულობას:

$$\sigma_2 = \gamma h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi . \quad (3.1.6)$$

(3.1.6)-ს თუ გავყოფთ h -ზე, ფარდობით სიდიდეს ექნება სახე:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi . \quad (3.1.7)$$

საფარდი სიბრტყის მიმართ α კუთხით დახრის შემთხვევაში

$$\sigma_2 = \gamma h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi \sin \alpha . \quad (3.1.8)$$

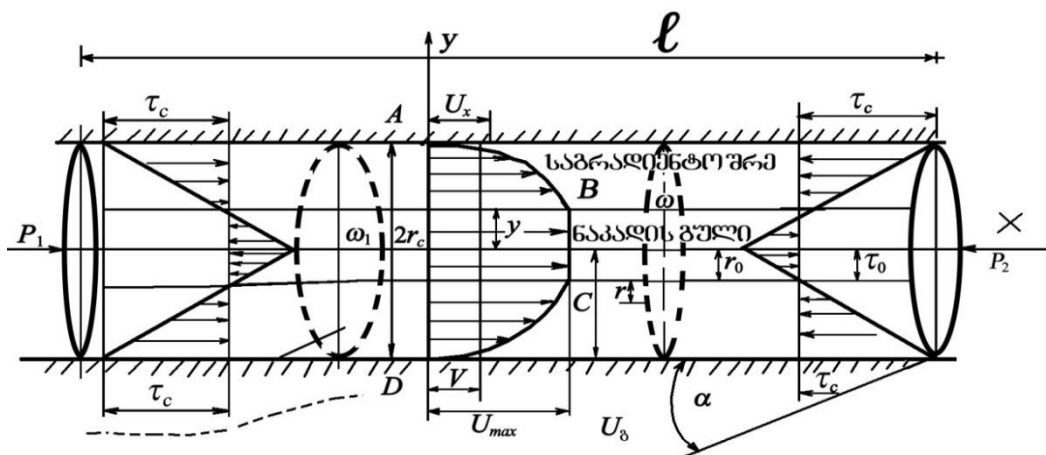
რადგან განივი ძაბვის ეფექტი τ_c მხები ძაბვის ეფექტის ანალოგიურია და $\sin \alpha = i$, გვექნება:

$$\tau_c = \gamma h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi i . \quad (3.1.9)$$

წრიულ მილსადენში ღვარცოფის დაწნევიანი მოძრაობის შემთხვევაში, როცა ჰიდრავლიკური რადიუსი R -ის ტოლია

$$\tau_c = \gamma R \left(1 - \frac{r_0}{R}\right) \psi i . \quad (3.1.10)$$

როცა განიხილება წრიულ მილსადენში ბმული ღვარცოფის მოძრაობის შემთხვევა და შერჩეული კვეთებისათვის გარე ძალებით შესრულებული მუშაობა წინააღმდეგობის ძალების შესრულებული მუშაობის ტოლია და მოძრაობა არის დაწნევიანი – თანაბარი. საანგარიშო მოდელის სქემა ნახ. 9-ის სახით არის წარმოდგენილი.



ნახ. 9. სადაწნეო მილსადენის საანგარიშო l კვეთებში მხები ძაბვების და სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების სურათი

მოქმედი ძალების წონასწორობის პირობა როცა მილსადენის რადიუსი r_c -ს ტოლია

$$(P_1 - P_2) \pi r_c^2 - 2 \tau_c^2 \pi \lambda = 0. \quad (3.1.11)$$

წრიული კვეთის მქონე ღვარცოფული მასისათვის, როცა ნაკადი მოძრაობს საგრადიენტო შრითა და გულით, მისი რადიუსი $r = \psi r_c \left(1 - \frac{r_0}{r_c}\right)$ და შესაბამისად

$$(P_1 - P_2) \psi^2 r_c^2 \left(1 - \frac{r_0}{r_c}\right)^2 = 2 \tau_c \lambda r_c \psi \left(1 - \frac{r_0}{r_c}\right). \quad (3.1.12)$$

რადგან (3.1.10) განტოლებაში $\frac{P_1 - P_2}{l} = \gamma i$,

$$\tau_c = \frac{\gamma i r_c}{2} \psi \left(1 - \frac{r_0}{r_c}\right) i. \quad (3.1.13)$$

წრიული კვეთის შემთხვევაში ჰიდრავლიკური რადიუსი $R = \frac{r_c}{2}$ ე.ი.

$$\tau_c = \gamma i R \psi \left(1 - \frac{r_{0c}}{R}\right). \quad (3.1.14)$$

როცა $r_{0c} = 0$ და $\psi = 1$ -ს, (3.1.14) განტოლება ემთხვევა ნიუტონური სითხეების მხევი ძაბვის განტოლებას

$$\tau = \tau_c = \gamma i R. \quad (3.1.15)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\gamma = \rho g$

$$\tau_c = \rho g R I \left(1 - \frac{r_{0c}}{R}\right) \psi. \quad (3.1.16)$$

ჰიდრავლიკიდან ცნობილია, რომ ფარდობა τ_c / ρ წარმოადგენს დინამიკურ სიჩქარეს და შესაბამისად მისი მნიშვნელობა

$$U_* = \sqrt{g R I \left(1 - \frac{r_{0c}}{R}\right)}. \quad (3.1.17)$$

მხევი ძაბვის ცვლილების კანონზომიერება მილსადენის კედლიდან

გულის მიმართულებით

$$\frac{\tau_y}{\tau_{\max}} \left(1 - \frac{Y}{R} + \frac{r_c}{R} \right). \quad (3.1.18)$$

(3.1.18) დამოკიდებულების შესაბამისად, მხები ძაბვა კედლიდან გულის მიმართულებით იცვლება სწორხაზოვანი კანონით და მისი მნიშვნელობა 0-ის ტოლია მილსადენის ღერძიდან r_0 რადიუსის შემთხვევაში და მაქსიმალური მნიშვნელობაა მილსადენის კედელთან. (3.1.16) განტოლება წარმოადგენს დამყარებული მოძრაობის ძირითად განტოლებას, როცა $\frac{\tau_y}{y} = Rl$ და $i = \frac{h_{\text{ღან}}}{l}$, დაწნევის დანაკარგის სიდიდე

$$h_{\text{ღან}} = \frac{\tau_c l}{yR} \cdot \frac{1}{\psi \left(1 - \frac{r_{0c}}{R_0} \right)} \quad (3.1.19)$$

(3.1.19) განტოლების ანალიზით იკვეთება, რომ იგი სამართლიანია არა მხოლოდ დაწნევიანი მოძრაობის შემთხვევისათვის, არამედ მისი გამოყენება სამართლიანია ნებისმიერ სხვა შემთხვევაში თანაბარი დამყარებული მოძრაობის დროს, კერძოდ ნებისმიერი ცილინდრული ფორმის სადინარში უდაწნეო დამყარებული მოძრაობის შემთხვევაში.

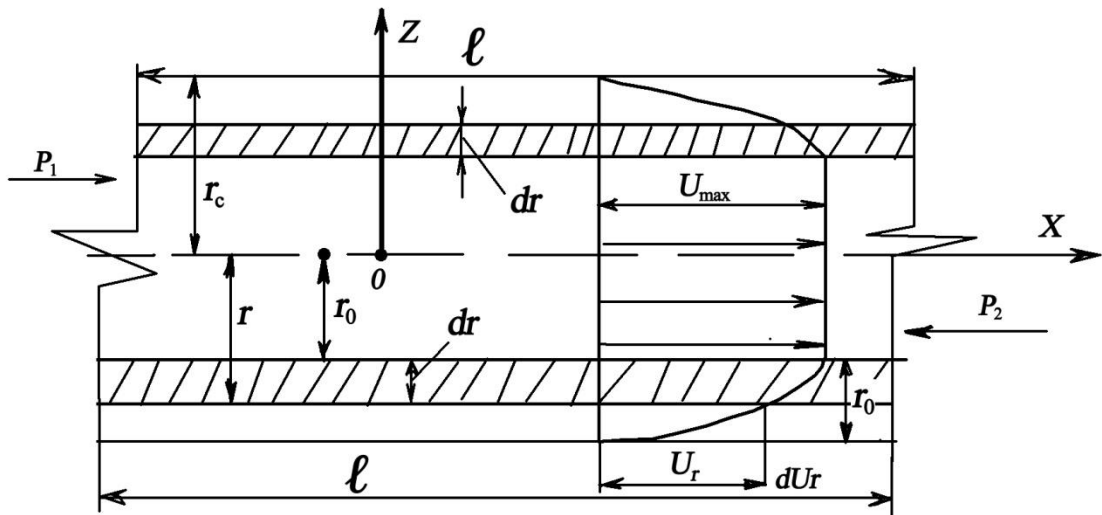
3.2. ბმულ ღვარცოფთა დაწნევითი მოძრაობა

გახშირებული ბუნებრივი კატაკლიზმების, კერძოდ ღვარცოფების გავლის შედეგები ადასტურებს მათი გამტარი ნაგებობების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სრულყოფის აუცილებლობას, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გვირაბებით ასეთი ნაკადების მათი უსაფრთხოდ, შეუფერხებლად გატარება და ტრანზიტი.

ბმულ ღვარცოფებში მაღალი სიბლანტისა და პლასტიკურობის მახასიათებლების ეფექტებთან ერთად კარგად ვლინდება მისი ტანის დაძაბული მდგომარეობის რღვევის დროს და საწყისი წინააღმდეგობის

გავლენა მდგრადობაზე. დამძვრელის წინააღმდეგობის ძაბვის ზღვრულ მნიშვნელობაზე გადაჭარბების შემთხვევაში ადგილი აქვს ღვარცოფული ნარევის დენადობას, რომლის მოძრაობის აღწერის დროს გამოიყენება სხვადასხვა მოდიფიკაციის მოდელები.

ღვარცოფსადინარეზში ასეთი ნაკადების საანგარიშო მოდელების შერჩევის დროს განიხილება როგორც დაწნევიანი, ისე უდაწნეო მოძრაობის შემთხვევები. წრიული კვეთის მქონე გვირაბებში ასეთი ნაკადების მოძრაობის შეფასებებისათვის გამოიყენება საანგარიშო სქემა, რომელიც ნახ. 10-ზეა მოცემული.



ნახ. 10. გვირაბში ღვარცოფის დაწნევიანი მოძრაობის საანგარიშო სქემა.

დაწნევიანი მოძრაობის განტოლების დადგენის დროს გამოიყენება მხეხი ძაბვის საანგარიშო მოდელი და სიბლანტის წინააღმდეგობის საანგარიშო ფორმულა, რომელიც მისაღებია წრიულ მილში ღვარცოფის მოძრაობისათვის.

$$-\mu \frac{dU_x}{dr} = \frac{P_1 - P_2}{2\lambda} \psi(r - r_0). \quad (3.2.1)$$

სადაც μ – ღვარცოფის სიბლანტის კოეფიციენტი (ნწმ²/სმ⁴);

U_x – საგრადიენტო შრეში ადგილობრივი სიჩქარის სიდიდეა (მ/წმ);

r – გვირაბში მოძრავი ნაკადის რადიუსია და მისი მაქსიმალური სიდიდეა $r = r_c \psi$ (მ);

P_1 და P_2 – გვირაბის საწყის და საბოლოო კვეთებში მოქმედი წნევებია (ნ/მ^2);

l – სადაწნეო გვირაბის სიგრძე (მ);

r_0 – მოძრავი ნაკადის გულის სიდიდე (მ);

ψ – კოეფიციენტია და შინაგანი φ ხახუნის კუთხეზეა დამოკიდებული

$$\psi = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right);$$

(3.2.1) განტოლების ინტეგრირების საფუძველზე გვექნება:

$$U = \frac{\Delta P}{4\mu} \psi^2 \frac{r^2}{2} + \frac{\Delta P}{4\mu} \psi^2 r_0 r + C, \quad (3.2.2)$$

ინტეგრირების C მუდმივას განსაზღვრავს ვაწარმოებთ დაშვებით $r = r_c$, $U_r = 0$ და შესაბამისად:

$$C = \frac{\Delta P}{4\mu l} \psi^2 r_c^2 - \frac{\Delta P}{2\mu l} \psi^2 r_0 r_c, \quad (3.2.3)$$

(3.2.3) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (3.2.2) -ში გვექნება

$$U_r = \frac{\Delta P}{4\mu l} \psi^2 (r_c^2 - r^2) + \frac{\Delta P}{2\mu l} \psi^2 r_0 (r - r_c). \quad (3.2.4)$$

(3.2.4) დამოკიდებულების საფუძველზე შეიძლება აგებულ იქნეს ვერტიკალზე განაწილების სურათი. როცა $r_0=0$ -ს, სიჩქარის განაწილებას ღერძული კვეთების საგრადიენტო შრეში პარაბოლას სახე აქვს. როცა ნაკადის გულის სიმაღლე 0 -ის ტოლია, იგი ემთხვევა წრიული მილის კვეთში სიჩქარის განაწილების კანონს. გულის სიჩქარის განსაზღვრავს ვაწარმოებთ იმ შემთხვევისათვის, როცა $r = r_0$

$$U_0 = \frac{\Delta P}{4\mu l} \psi^2 (r_c - r_0)^2, \quad (3.2.5)$$

ნაკადის გულის ხარჯი

$$Q_0 = U_0 \pi r_0^2 = \frac{\Delta P}{4\mu l} \psi^3 (r_c - r_0)^2 \pi r_0^2 \quad (3.2.6)$$

$$\frac{\Delta P}{l} = \frac{g_i}{2}$$

საგრადიენტო შრეში საშუალო სიჩქარის განსაზღვრას ვაწარმოებთ შემდეგი გამარტივებების საფუძველზე:

$$V_1 = \frac{1}{\psi(r_c - r_0)} \int_0^{r_c - r_0} U dr. \quad (3.2.7)$$

(3.2.4)-ს თუ ჩავსვამთ (3.2.7)-ში, გვექნება:

$$V_1 = \frac{\Delta P}{6\mu l} (r_c - r_0)^2 \psi^2. \quad (3.2.8)$$

საგრადიენტო შრეში ხარჯი

$$Q_0 = \pi (r_c - r_0)^2 V_1. \quad (3.2.9)$$

(3.2.8)-ის გათვალისწინებით (3.2.9)-ში გვექნება

$$Q_0 = \frac{\pi \Delta P}{6\mu l} \psi^4 (R - r_0)^4. \quad (3.2.10)$$

ჯამური ხარჯი

$$Q = \frac{\pi \Delta P (r_c - r_0)^2}{2\mu l} \psi^4 \left[\frac{r_0^2}{2} + \frac{(r_c - r_0)^2}{3} \right]. \quad (3.2.11)$$

გვირაბში მოძრავი ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე

$$V = \frac{\Delta P}{2\mu l} \left(\frac{r_c - r_0}{r_c} \right)^2 \psi^2 \left[\frac{r_0^2}{2} + \frac{(r_c - r_0)^2}{3} \right]. \quad (3.2.12)$$

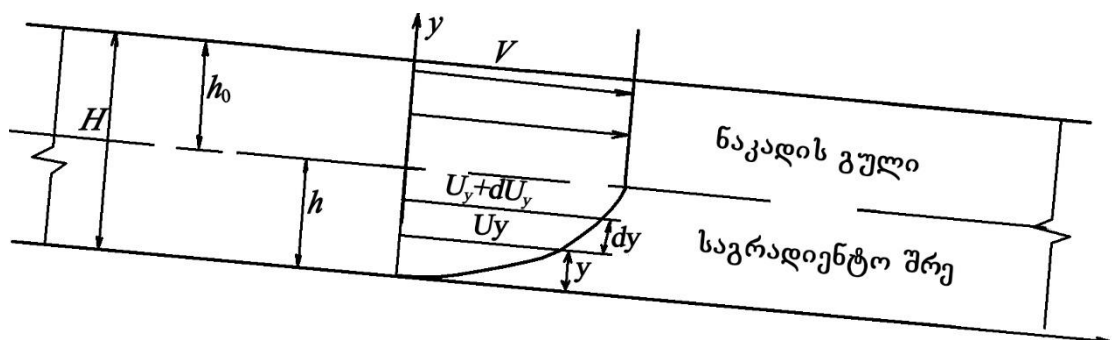
მიღებული (3.2.4), (3.2.11) და (3.2.12) საანგარიშო დამოკიდებულებების საფუძველზე მოცემულია გვირაბში მოძრავი ღვარცოფისათვის ძირითადი ჰიდრავლიკური მახასიათებლების, კერძოდ სიჩქარის განაწილების, ხარჯის და საშუალო სიჩქარის გაანგარიშების მეთოდოლოგია. მიღებული შედეგები შეიძლება შედარებულ იქნეს ნატურის მონაცემებს, რაც შესაძლებლობას იძლევა შეფასებული იქნას პრაქტიკისათვის ექსპერიმენტებით ძნელად განსაზღვრული პარამეტრების საიმედოობა, ნატანით ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფთა დაწნევიანი და უდაწნეო თანაბარი მოძრაობის დროს.

3.3. ბმულ ღვარცოფთა უდაწნეო მოძრაობა

დენადი ტანების მოძრაობა შესაძლებელია აღწერილი იქნას როგორც აქსიომეტრული, ისე ფენომენოლოგიური მეთოდოლოგიის გამოყენებით. სადისერტაციო ნაშრომში უპირატესობა ფენომენოლოგიურ მიდგომებს ენიჭება, სადაც ზოგიერთი გადასაწყვეტი საკითხი ინტუიციურ ხასიათს ატარებს და არ ეყრდნობა მკაცრ მათემატიკურ და ფიზიკურ პოსტულატებს.

ასეთ შემთხვევაში უდაწნეო ნაკადის მახასიათებლების გაანგარიშების დროს მოძრაობა განიხილება არანიუტონური სითხეების ანალოგად, ხოლო დინამიკის აღწერის დროს გამოყენებულია არანიუტონური მოდელების მოვლენასთან ადაპტაცია.

სტრუქტურული კავშირებისა და სიმტკიცობრივი მახასიათებლების გათვალისწინებით სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების ველი, რომელიც სქემის სახით ნახ. 11-ზეა მოცემული, გაყოფილია ორ ნაწილად.



ნახ. 11. ბმული ღვარცოფის უდაწნეო მოძრაობის სქემა.

საგრადიენტო შრე, სადაც სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების ეპიურა ნიუტონური სითხეების განაწილების ანალოგიურია, ხოლო მეორე შრე, რომელიც პირველთან არის შეუღლებული, ნაკადის გულით არის წარმოდგენილი.

საანგარიშო სქემის მიხედვით საკოორდინატო სისტემის OX ღერძი ემთხვევა სადინარის ფსკერს და მიმართულია ნაკადის დინების მიმართულებით, ხოლო OY ღერძი მის მართობულად.

ძვრის წინააღმდეგობის საანგარიშო ფორმულის გამოყენებით, როცა სადინარი ფუძისადმი α კუთხით არის დახრილი და სადინარში ადგილი აქვს მისი თავისუფალი ზედაპირის მოძრაობას.

როცა სადინარში მოძრავი ღვარცოფის სიღრმე h -ის ტოლია, მხები ძაბვის სიდიდის საანგარიშოდ შეიძლება გამოყენებული იქნას საგრადიენტო შრის მიმართ მხები ძაბვის დამოკიდებულება, გვექნება:

$$dU_y = \frac{\gamma i}{2\mu} \psi (H - h_0 - y) dy. \quad (3.3.1)$$

(3.3.1) დამოკიდებულების ინტეგრირებით გვექნება

$$U_y = \frac{\alpha_i}{2\mu} \psi \left(HY - h_0 Y - \frac{Y^2}{2} \right). \quad (3.3.2)$$

(3.3.2) განტოლებით შესაძლებელია აგებულ იქნეს სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების ეპიურა საგრადიენტო შრეში, როცა y -ის ცვლილების ზღვრებია $0 \leq y \leq h - h_0$.

განვსაზღვროთ საგრადიენტო შრის საშუალო სიჩქარე V_1 , (3.3.2)-ის ინტეგრირებით, როცა $Y=0$ - დან $\psi (H - h_0)$ -მდე იცვლება, მისი გაყოფით $(H - h_0)$ -ზე გვექნება

$$V_1 = \frac{\gamma i \psi^2 (H - h_0)^2}{3\mu} \quad (3.3.3)$$

ღვარცოფის მოძრაობის სიჩქარე როცა $Y = 0$ და $U_y = 0$, ხოლო როცა $Y = (H - h_0)$ -ს და $U_y = 1$ -ს

$$V_0 = \frac{\gamma i}{2\mu} \psi^2 (H - h_0)^2 \quad (3.3.4)$$

როცა $\psi = 1$ და $h_0 = 0$ -ს, გულის გარეშე მოძრაობის შემთხვევაში მაქსიმალური სიჩქარე $V_0 = \frac{\gamma i}{2\mu} \psi^2 H^2$.

$$V_0 = \frac{\gamma i}{2\mu} \psi^2 H^2. \quad (3.3.5)$$

შერჩეული კვეთისათვის საშუალო სიჩქარის მიხედვით ხარჯებს როგორც საგრადიენტო შრისათვის, ისე ნაკადის გულისათვის ექნება სახე:

საგრადიენტო შრისათვის

$$q_1 = V_1(H - h_0)\psi = \frac{V\gamma i}{3\mu}\psi^3(H - h_0)^3; \quad (3.3.6)$$

ნაკადის გულისათვის

$$q_0 = V_0 h_0 \psi = \frac{\gamma i}{2\mu}\psi^3(H - h_0)^2; \quad (3.3.7)$$

ერთეულ სიგანეზე ღვარცოფის ხარჯი

$$q = q_1 + q_2 = \frac{\gamma i}{3\mu}\psi^3(H - h_0)^2 \left(\frac{2H + h_0}{2} \right); \quad (3.3.8)$$

ნაკადის საშუალო სიჩქარე

$$V = \frac{q}{\psi H} = \frac{\gamma i}{3\mu}(\psi^2)^{H^2} \left(1 - \frac{h_0}{H} \right) \left(1 + \frac{1}{2} \right) \frac{h_0}{H}; \quad (3.3.9)$$

საშუალო სიჩქარის მაქსიმალურთან ფარდობა, როცა $h_0 = 0$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{h_0}{H} = 0,67 + 0,33 \frac{h_0}{H}. \quad (3.3.10)$$

საგრადიენტო შრეში მაღალი სიჩქარეების შემთხვევაში საგრადიენტო შრეში შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ტურბულენტურ მოძრაობას. როცა განსახილველი სადინარის სიგანე l -ის ტოლია, $h_{ღაფ} = il$.

თუ გამოვიყენებთ (3.3.3) საანგარიშო დამოკიდებულებით საგრადიენტო შრეში სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას, ჰიდრავლიკური ქანობის მნიშვნელობას ექნება სახე:

$$i = \frac{3V_1\mu}{\gamma\psi^2(H - h_0)^2}; \quad (3.3.11)$$

დანაკარგის მნიშვნელობა

$$h_{ღაფ} = \lambda \frac{l}{g(H - h_0)(H - h_0)} V_1 \frac{V_1^2}{2g}; \quad (3.3.12)$$

რეინოლდსის რიცხვის გამოსახვის შემთხვევაში

$$\text{Re} = \frac{V_1(H - h_0)}{2}; \quad (3.3.13)$$

დანაკარგის

$$h_{ღაფ} = \frac{\gamma}{\text{Re}} \frac{l}{(H - h_0)\psi} \frac{V_1^2}{2g}; \quad (3.3.14)$$

(3.3.13) დამოკიდებულება შესაძლებლობას იძლევა განსაზღვრულ იქნეს დაწნევის დანაკარგის სიდიდე საგრადიენტო შრეში.

მიღებული საანგარიშო დამოკიდებულებების სიზუსტის შემოწმების მიზნით, კერძოდ, სიჩქარის ნატურასთან განსხვავების შემოწმების მიზნით ნატურაში ჩატარებულმა კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ საშუალო კვადრატული გადახრა არ აღემატება 15%-ს.

თავი 4. შემხვედრი წინააღმდეგობებით ღვარცოფთა უსაფრთხო ტრანზიტი

4.1. ღვარცოფსაშვები და გადადინებული ნაკადის საანგარიშო პარამეტრები

ღვარცოფების ზემოქმედებით ფორმირებული ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურა ერთხელ კიდევ ადასტურებს მათი გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სიზუსტის სრულყოფაზე და გამტარი ნაგებობებით უსაფრთხო ტრანზიტზე.

სხვადასხვა სახის შემხვედრი წინააღმდეგობების მოწყობის ადგილებში ღვარცოფთა მდგრადობის დაურღვევლად მათი გატარება ხერგილების წარმოქმნისა და სარეგულაციო ნაგებობების ფუნქციონირების შეუწყვეტლად გაანგარიშების არსებული მეთოდოლოგიის დაზუსტებასა და სრულყოფას საჭიროებს.

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა შორის, მათი მრავალსახეობის მიუხედავად, პრიორიტეტული ადგილი ღვარცოფგამტარ ნაგებობებს ეკუთვნის. ანომალია, რომელიც გამორჩეულია დინამიკის თავისებურებით მთისა და მთისწინა რეგიონებში გვირაბებით, გალერეებით, ხიდი-გადასასვლელებით, ღიობებით, უსაფრთხო გატარების აუცილებლობით, რკინიგზებისა და საავტომობილო მაგისტრალების ჩახერგვითი ზემოქმედებების თავიდან აცილებით და სადინარით უსაფრთხო ტრანზიტით გვახსენებს თავს.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ღვარცოფის გატარების ისეთი შემთხვევა, როცა მათი გადადინება ნაგებობათა თავისუფალ სადაწნეო ზედაპირზე ან კედლის სახით წარმოდგენილ შემხვედრ წინააღმდეგობაში მოწყობილი ღიობით ხორციელდება. ნაგებობათა ის ნაწილი, რომლის ზღურბლით ხდებ ანაკადის გადადინება, ღვარცოფსაშვის სახელწოდებითაა ცნობილი.

სადისერტაციო ნაშრომში განიხილება ღვარცოფის ღვარცოფსაშვზე

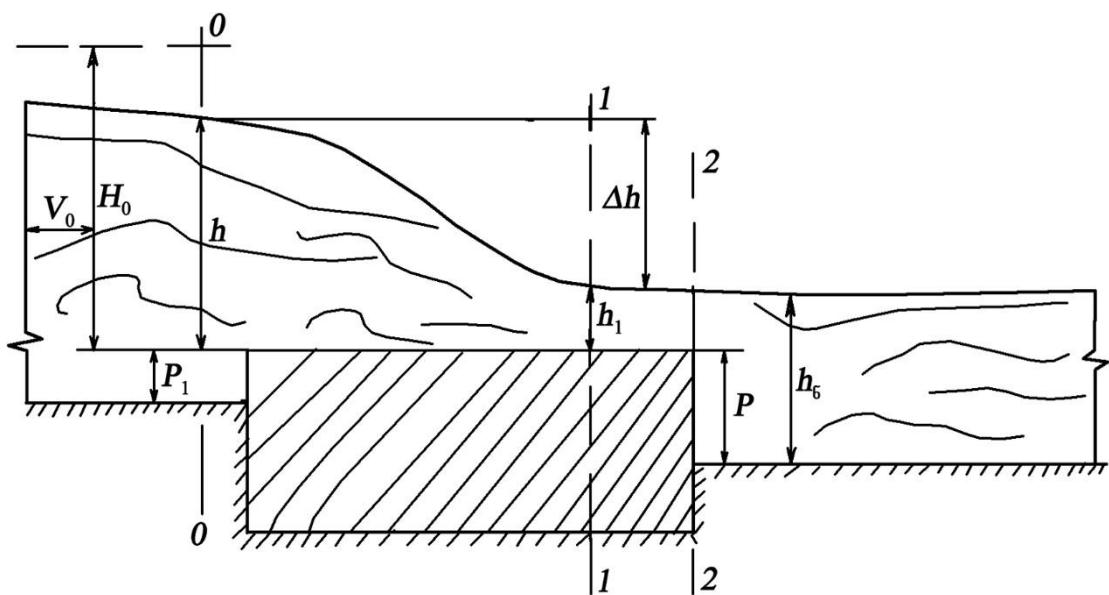
გადადინების ისეთი შემთხვევა, როცა ზღურბლის ზედაპირი არის ჰორიზონტალური და ნაკადის მოძრაობა გვერდითი კუმშვის გარეშე ხდება. გადადინების ასეთი შემთხვევის დროს გამოიყენება ნიუტონური სითხეების გაანგარიშების ანალოგები, ხოლო საანგარიშო ხარჯის სიდიდის მოდელად გამოყენებულია ბელანჟეს მიერ შემოთავაზებული საყოველთაოდ ცნობილი გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომელშიც ერთ-ერთ ძირითად განმსაზღვრელ პარამეტრად ხარჯის კოეფიციენტია მიღებული. ბელანჟეს მოდელის მიხედვით ხარჯის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებას შემდეგი სახე აქვს:

$$m_0 = \psi e_1 \sqrt{1 - e_1}, \quad (4.1.1)$$

სადაც ψ – სიჩქარის კოეფიციენტი და დამოკიდებულია ღვარცოფსაშუის შესასვლელი ზღურბლის ფორმაზე;

e_1 – კოეფიციენტი და გვიჩვენებს ღვარცოფსაშუზე გადადინებული ნაკადის სიღრმის მისი მოსვლის სიღრმესთან ფარდობას.

ღვარცოფსაშუზე გადადინებული ნაკადის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. (12)-ზე



ნახ. 12. ღვარცოფსაშუზე ღვარცოფის გადადინების სქემა

საანგარიშო სქემის შესაბამისად ღვარცოფს ზღურბლზე მოძრაობისას ტალღის ფორმა აქვს, ნაკადის გადადინების შემთხვევაში ენერჯის განტოლებას შერჩეული 0-0 და 1-1 კვეთებისთვის ექნება სახე:

$$h\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi + \frac{P}{a} + \frac{a_0 V_0^2}{2g} = h_1\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi + \frac{P}{a} + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_{ღაფ}. \quad (4.1.2)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, როცა დანაკარგი $h_{ღაფ} = \sum \xi \frac{V_1^2}{2g}$, $V_0 \approx 0$

და ღვარცოფის სრული დაწნევა წარმოდგენილია სიღრმის სახით, ღვარცოფსაშუაზე ნაკადის სიჩქარე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს დამოკიდებულებით

$$H_0 = h\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi + \frac{\alpha V_0^2}{2g} \quad (4.1.3)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $K^I = \frac{h_1}{H_0}$ და $\alpha^0 = 1,0$ და ღვარცოფსაშუის სიგანე b - ს ტოლია, ღვარცოფის ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$H_{ღ} = b H_0^{3/2} \psi K^I \sqrt{1 - K^I} \sqrt{2g} \sqrt{\frac{K^I}{2\psi^2} \left(1 - \frac{h_0}{K^I H_0}\right)} \psi \quad (4.1.4)$$

თუ შემოვიღებთ უგანზომილებო სიდიდის აღნიშვნას m -ით რომელიც ხარჯის კოეფიციენტის სახელწოდებითაა ცნობილი

$$m = \psi K^I \sqrt{1 - K^I} \quad (4.1.5)$$

ხარჯის კოეფიციენტის მხედველობაში მიღებით, ნიუტონური სითხეების შემთხვევაში

$$Q_{\bar{\delta}} = m b H_0^{3/2} \sqrt{2g} \quad (4.1.6)$$

დამოკიდებულება ხარჯისა და სიჩქარის კოეფიციენტებს შორის

ნიუტონური და არანიუტონური ხარჯების ტოლობის შემთხვევაში

$$Q_{\bar{\delta}} = Q_{\bar{\delta}} \sqrt{\left(K^I - \frac{h_0}{H_0}\right) \frac{\varphi}{2\psi^2(1-K^I)}} \quad (4.1.7)$$

ხარჯების ტოლობის შემთხვევაში

$$K^I = \frac{2\psi^2 - \frac{h_0}{H_0}\varphi}{2\psi^2 + \varphi} \quad (4.1.8)$$

როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე $h = 0$ და შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი $\varphi = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 1$, K^I -ის დამოკიდებულება ψ სიჩქარის კოეფიციენტთან

$$K^I = \frac{2\psi^2}{1+2\psi^2} \quad (4.1.9)$$

(4.1.6) დამოკიდებულებაში ხარჯის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე;

$$m^* = \psi K^I \sqrt{1 - K^I} \quad (4.1.10)$$

(4.1.11) -ში თუ გავითვალისწინებთ (4.1.9) დამოკიდებულებას გვექნება

$$m^* = \psi \frac{\left(2\psi^2 - \frac{h_0}{H_0} \varphi \right) \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{H_0} \right) \varphi}}{2\psi^2 + \varphi} \quad (4.1.11)$$

როცა რეოლოგიური მახასათიებლების გავლენა 0-ის ტოლია, ღვარცოფის ხარჯის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულებებს ექნება სახე

$$m^* = \frac{2\psi^2}{1+2\psi^2} \sqrt{\frac{1}{1+2\psi^2}} \quad (4.1.12)$$

როცა ცნობილია ხარჯის კოეფიციენტის სიდიდე, ღვარცოფსაშუაშე გადადინებული ნაკადის ხარჯის მნიშვნელობის განსაზღვრა სირთულეს არ წარმოადგენს და მისი მნიშვნელობა

$$Q = m^* b H_0^{3/2} \sqrt{2g} \quad (4.1.13)$$

როცა ცნობილია სიჩქარის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მაშინ ღვარსაშუაშე გადადინებული ნაკადის ხარჯი

$$Q = \psi \frac{2\psi^2 - \frac{h_0}{H_0} \varphi}{2\psi^2 + \varphi} \sqrt{\frac{1 - \frac{h_0}{H_0}}{2\psi^2 + \varphi}} b H_0^{3/2} \sqrt{2g} \quad (4.1.14)$$

სიჩქარის კოეფიციენტის ცვლილების დიაპაზონი ღვარცოფსაშუაშის შესასვლელი ზღურბლის ფორმაზეა დამოკიდებული. მისი სიდიდე

ღვარცოფების შემთხვევაში შეიძლება მერყეობდეს $0,8 \div 1,0$ - ის ფარგლებში, ხოლო შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა $0 - 1$ - ის ზღვრებში. მიღებული (4.1.15) დამოკიდებულებით შეიძლება განისაზღვროს ხარჯის და სიჩქარის კოეფიციენტების სიდიდეები ღვარცოფსაშვზე გადმოდინების შემთხვევაში, თუ ცნობილია ღვარცოფის რეოლოგიური მახასიათებლების მნიშვნელობები.

4.2. ღვარცოფთა ტრანზიტი სადინარზე ღიობებით

ღვარცოფული პროცესების რეგულირების და გაუვნებლობის ღონისძიებების შერჩევის დროს აუცილებელია მათი მეცნიერული კვლევის მიმართულების სწორად შერჩევა, ცალკეული ფაქტორების გამოვლენა და მათი როლის შეფასება მოვლენის წარმოშობასა და მექანიზმის ფორმირებაში. ღვარცოფების რეგულირების მიზნით ხშირად მიმართავენ ღვარცოფსადინართა აუზების ბუნებრივი მდგომარეობის გაუმჯობესების კომპლექსურ ღონისძიებებს და ფორმირების მიზნით ნაგებობათა სხვადასხვა სახეობების გამოყენებას.

ღვარცოფსადინართა აუზებში, სადაც ფიქსირებულია გეოლოგიურად ადვილად შლადი ქანები და ხელშემწყობი გეოგრაფიულ-კლიმატური პირობები, ადგილი აქვს სხვადასხვა სიმძლავრის ღვარცოფების წარმოქმნას, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავებულია განმეორებადობის სიხშირით და მოძრაობის რეჟიმებით.

ამა თუ იმ სახის ობიექტების ღვარცოფებისაგან დაცვის მიზნის ამოცანებიდან გამომდინარე, გეგმაში ნაგებობათა განლაგება შეიძლება სხვადასხვა სქემით იყოს წარმოდგენილი: 1) ნაგებობები, რომლებიც გარს ერტყმის დასაცავ ობიექტს ან სანაპირო გამრეცხ მონაკვეთს; 2) ნაგებობები, რომლებიც გარს უვლის დასაცავ ობიექტს დეზების ან ბარაჟების სახით და ნაკადის მიმართულებასთან სხვადასხვა დახრის კუთხით არის წარმოდგენილი.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა კომპლექსში უპირატესობა დაცვის მეორე სისტემას გააჩნია, რომელთა ეფექტურობა მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტით, ნაგებობათა სისტემის გეგმაში სწორად განლაგებით და ნაკადის პარამეტრებთან დამოკიდებულებით უნდა განხორციელდეს. ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების არასათანადო შერჩევა ხშირად ღვარცოფსადინარში მიმდინარე პროცესების ცვლილების და სხვა უფრო დიდი საშიშროების გამომწვევი მიზეზი შეიძლება გახდეს.

ღვარცოფსარეგულაციო არსებული პრაქტიკიდან გამომდინარე, ნაგებობების დანიშნულებას ქვემოთ ჩამოთვლილ ამოცანათაგან ერთ-ერთის გადაწყვეტის აუცილებლობა წარმოადგენს.

1. გარეცხვის პროცესიდან გამომდინარე აუცილებელია კალაპოტის სტაბილიზაცია და კერებიდან მათი წარმოქმნის დაუშვებლობა;
2. მოახდინოს ზემოქმედების ობიექტიდან მათი აცილება;
3. განახორციელოს ნაკადის უსაფრთხო შეჩერება ან ტრანზიტი ზემოქმედების ზონიდან.

შენობა-ნაგებობების და ტერიტორიების ღვარცოფებისაგან დაცვისმიზნით გამოიყენება ნაგებობათა სახეები, რომლებიც შემდეგნაირად არის კლასიფიცირებული: ღვარცოფშემკავებელი, ღვარცოფგამტარი, ღვარცოფმიმმართველი და მასტაბილიზირებელი.

მთისა და მთისწინა უბნებში ხშირია ღვარცოფული ხასიათის სადინართა რკინიგზებით, საავტომობილო მაგისტრალებით, ენერგეტიკული და საირიგაციო არხებით გადაკვეთის შემთხვევები. წარმოდგენილ ნაგებობათა ბურჯები და ხშირად ნაკადის გამტარი ღიობების არასაკმარისი კვეთები იწვევენ ღვარცოფთა კუმშვას ან მოძრაობის შენელებას, რაც მათი სადინარიდან ამოშხეფვის ან გადადინების მიზეზი ხდება.

აღნიშნულის შედეგად მოსალოდნელია როგორც სადინარების კალაპოტის დეფორმაცია, ასევე შესაძლებელია მისი ფუნქციონირების შეწყვეტა და ზოგჯერ ნაგებობებზე გადადინება და ავარიული შედეგებიც კი.

ჰიდრაულიკური თვალსაზრისით კალაპოტური ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ღიობი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც ფართო ზღურბლიანი ღვარცოფსაში. მასზე გადადინებული წყლის ნაკადის შემთხვევაში ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებაა

$$Q = \lambda_0 b_0 h \sqrt{2g(H_0 - h)} = \lambda_0 b_0 h \sqrt{2gZ} , \quad (4.2.1)$$

სადაც λ_0 – წყლის ნაკადის სიჩქარის შემასწორებელი კოეფიციენტი;

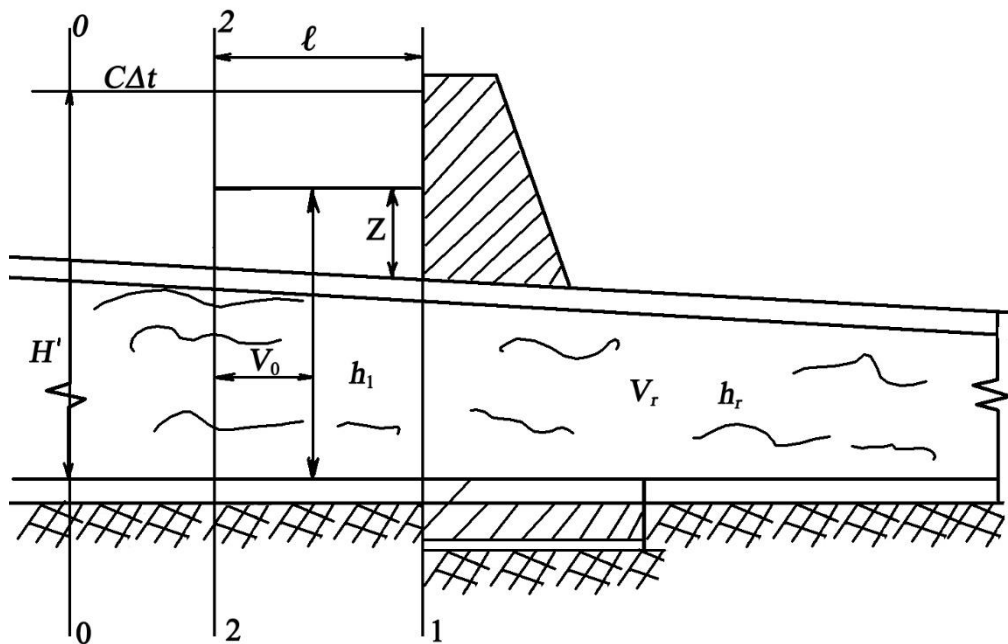
b_0 - ღიობის სიგანე (მ);

h - ნაკადის სიმაღლე (მ);

H_0 - ღიობზე სრული დაწნევა (მ).

როცა ხიდისქვეშა ღიობის სივრცე ვერ იძლევა ღვარცოფგამტარუნარიანობის შესაძლებლობას, აუცილებელია წარმოქმნილი უკუტალღის დინამიკური პარამეტრების შეფასება.

როცა ხიდისქვეშა ღიობს სწორკუთხა კვეთის ფორმა აქვს, ღვარცოფის გატარების შესაძლებლობა შეიძლება განხორციელდეს ნახაზზე მოცემული სქემის სახით (იხ. ნახ. 13).



ნახ. 13. ღვარცოფის ხიდის ქვეშ გატარების საანგარიშო სქემა

ღვარცოფსაშვის ლიობში ღვარცოფის გადინების დროს, უკუტალღის წარმოქმნის მოდელის გათვალისწინებით, რომელიც წარმოიქმნება t_1 დროის მომენტში ხიდის გადასასვლელის შესასვლელ ნაწილზე. ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ღვარცოფის გადაადგილებას დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით C სიჩქარით და Δt დროში გავლილი მანძილი

$$l = \Delta t C. \quad (4.2.2)$$

სადინარის ერთეული სიგანის 2-2 და 1-1 კვეთებს შორის შემოდინებული მასის სიდიდე

$$m_0 = \rho_0 h_1 \psi \left(1 - \frac{h_0}{h_1} \right) V_0 \Delta t. \quad (4.2.3)$$

კვეთებს შორის გაზრდილი მასის მნიშვნელობა

$$m = \rho Z \psi \left(1 - \frac{h_0}{Z} \right) C \Delta t. \quad (4.2.4)$$

ერთეული სიგანის ლიობში შედინებული მასის სიდიდე

$$m_r = \rho V_r \psi (h_r - h_0) \Delta t. \quad (4.2.5)$$

ხიდის ქვეშ დარჩენილი მასის სიდიდე

$$m = \rho \Delta t \psi (V_0 h_1 + CZ - V_r h_r + Ch_0 + V_r h_0). \quad (4.2.6)$$

ბმულობის ეკვივალენტური ძალის შესაბამისი ნარჩენი მასის გაღერეთ ტრანსპორტირებულთან ტოლობის შემთხვევაში მივიღებთ

$$m = \rho \Delta t \psi (V_0 h_1 + CZ - V_r h_r). \quad (4.2.7)$$

შერჩეულ კვეთებს შორის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების სიდიდე

$$m(V_r - V_0) = \rho \Delta t \psi (V_0 h_1 + CZ - V_r h_r). \quad (4.2.8)$$

როცა წნევა კვეთებში ემორჩილება ჰიდროსტატიკური განაწილების კანონს, ძალის იმპულსის სიდიდე

$$\Delta t F = -\rho g \Delta t \psi^2 \left[Z_1 (h_1 - h_0) + \frac{Z^2}{2} \right]. \quad (4.2.9)$$

(4.2.8) განტოლების გატოლებით (4.2.7)-თან

$$-g\psi \left[Z(h_1 - h_0) + \frac{Z^2}{2} \right] = (V_0 h_1 + CZ - V_r h_r)(V_r - V_0). \quad (4.2.10)$$

მეორე მხრივ, ერთეულ სიგანეზე ხარჯი

$$CZ = V_0 h_1 - V_r h_r. \quad (4.2.11)$$

(4.2.11)-ის გათვალისწინებით (4.2.10)-ში

$$\frac{Z^2}{2} g\psi - Z(h_1 - h_0)g\psi - 2(V_0 h_1 - V_r h_r)(V_r - V_0) = 0. \quad (4.2.12)$$

(4.2.12) განტოლება Z-ის მიმართ წარმოადგენს კვადრატულ განტოლებას. თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $K = (V_0 h_1 - V_r h_r)(V_r - V_0)$,

$$Z^2 - 2Z(h_1 - h_0) - \frac{2K}{g\psi}. \quad (4.2.13)$$

(4.2.13)-ის ამოხსნის საფუძველზე მივიღებთ

$$Z = \frac{g\psi(h_1 - h_0) \pm \sqrt{g^2\psi^2(h_1 - h_0)^2 - 2Kg\psi}}{g\psi} \quad (4.1.14)$$

გვირაბში ღვარცოფის დაწნევიანი მოძრაობის შემთხვევაში (4.2.14) დამოკიდებულებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნას ღვარცოფის მოძრაობის პარამეტრები მიღებული სიჩქარის საფუძველზე. საანგარიშო დამოკიდებულება ზოგიერთი მიახლოებით შეიძლება ადაპტირებული იქნას ნებისმიერი სადინარზე, რომელშიც ნაკადის h სიღრმე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ცოცხალი კვეთის მის სიგანესთან ფარდობით ტალღური მოძრაობის წარმოქმნამდე.

4.3. ღვარცოფის უსაფრთხო გადადინება შემხვედრ

წინააღმდეგობებზე

ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევაში ღვარცოფთა ანომალური ზემოქმედების გამო საჭიროა სიფრთხილე და წინასწარ გაანალიზებული მიდგომების გამოყენება.

ხშირია შემთხვევა, როცა ადგილი აქვს ღვარცოფთა შემხვედრ წინააღმდეგობებზე გადადინებას. ვხვდებით ისეთ შემთხვევებსაც, როცა ადგილი აქვს განსაზღვრული სიმაღლის ღვარცოფის მიმართულების შეუცვლელად მასზე გაცილებით მაღალი ნაგებობის ზღურბლზე თავისუფლად გადადინებას. მოვლენა მნიშვნელოვნად საინტერესოა სადინარის კალაპოტის ფუძის მკაცრად დახრის შემთხვევაში.

განივი წინააღმდეგობის ნაკადის რეგულირების დროს არცთუ იშვიათია სადაწნეო ვერტიკალური ზედაპირით მათი გამოყენების შემთხვევებს. როცა ნაგებობა არის არც თუ ისე მაღალი, მასზე გადადინება ნაგებობაზე თავისუფლად ხდება ქვედა ბიეფში. მის წინ ადგილი აქვს უეცრად ღვარცოფული მასის სიგრძეზე ტრამპლინის სახით გადანაწილებას.

ამოცანის მიზანს ნაგებობის ისეთი სიმაღლის განსაზღვრა წარმოადგენს, რომლის გადალახვის დროს ღვარცოფულ მასაში ადგილი არ აქვს უკუტალღის წარმოქმნას.

წარმოდგენილი სქემით ნაკადის პარამეტრებისა და ნაგებობის ზომების შერჩევის დროს მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

θ - სადინარის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე;

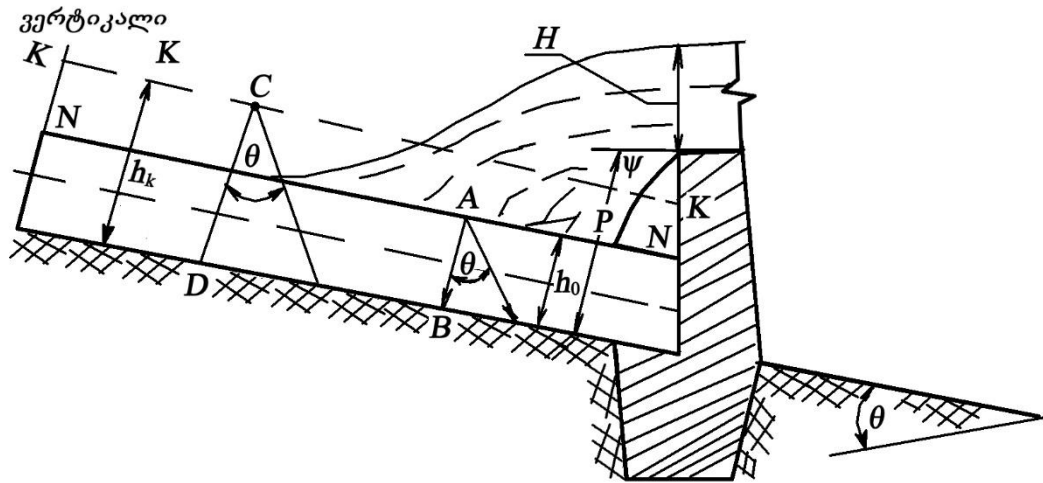
$K-K$ - კრიტიკული სიღრმის გამომხატველი წრფე;

$N-N$ - ნორმალური სიღრმის ხაზი;

$AB = h_0 = h_1$ - ღვარცოფის ნორმალური სიღრმე;

$CD = h_k$ - კრიტიკული სიღრმე;

P - ვერტიკალური შემხვედრი წინააღმდეგობის სიმაღლე



ნახ. 14. შემხვედრი წინააღმდეგობის მაქსიმალური სიმაღლის საანგარიშო სქემა ღვარცოფის გადაღინების დროს

სქემის საფუძველზე სიღრმეები შესაბამისად:

$$h_0^H = h_B^1 = \frac{h_0}{\cos \theta}; \quad h_K^1 = \frac{h_K}{\cos \theta}, \quad (4.3.1)$$

სადაც h_B^1 – პირველი შეუღლებული სიღრმეა ნახტომის წინ.

თუ დავუშვებთ, რომ ვერტიკალური სადაწნეო ზედაპირის მქონე წინააღმდეგობას აქვს დაუძირავი ღვარცოფსადინარის ფორმა, ხარჯის საანგარიშოდ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დამოკიდებულება

$$q = m\sqrt{2gH}^{3/2}, \quad (4.3.2)$$

სადაც H – მოქმედი დაწნევაა;

m – ხარჯის კოეფიციენტი;

$q = \frac{Q}{B}$ – ხარჯი ღვარცოფსადინარის ერთეული სიგანიდან.

(4.3.2) დამოკიდებულებიდან

$$H = \sqrt[3]{\frac{q^2}{2gm^2}} \quad (4.3.3)$$

ღვარცოფი, რომელიც ხასიათდება C ბმულობით, რომლის შესაბამისი ეკვივალენტური სიღრმე h_0 -ის და შინაგანი ხახუნის კუთხე φ შესაბამისი ψ

კოეფიციენტით არის წარმოდგენილი, ხოლო გადანაწილების კოეფიციენტი a სიდიდით არის წარმოდგენილი, კრიტიკული სიმაღლე

$$h_K = h_0 + \frac{1}{\psi} \sqrt[3]{\frac{2g^2}{V}} \quad (4.3.4)$$

ტალღის ფორმით ღვარცოფის მოძრაობის დროს, ღვარცოფის დეფორმაციულობიდან გამომდინარე, მისი სიღრმის წაგრძელების შესაძლებლობა საწყის სიღრმესთან შედარებით

$$h^I = h_1 + \frac{4a + a^2 + 4\sqrt{a}}{4} \quad (4.3.5)$$

ვერტიკალური წინაღობის მაქსიმალური სიღრმე

$$P = h_I^0 - H \quad (4.3.6)$$

ღვარცოფსადინარის მნიშვნელოვანი ქანობის შემთხვევაში აუცილებელია საანგარიშო დამოკიდებულებების კორექტირება

$$h_{1B} = \frac{h_1}{\cos\theta} \quad \text{და} \quad h_{HB}^C = \frac{h^H}{\cos\theta}. \quad (4.3.7)$$

საანგარიშო დამოკიდებულებებში $a = \left(1 - \frac{h_0}{h_1}\right) \psi$ და შესაბამისად

$$P = \frac{h_1}{\cos\theta} \frac{4a + a^2 + 4\sqrt{a}}{4} - H \quad (4.3.8)$$

შემოთავაზებული მიდგომის საიმედოობა დასახული მიზნის მისაღწევად დაადასტურა ღვარცოფულ დანადგარზე ჩატარებულმა ცდებმა.

5. ღვარცოფის ზემოქმედება ნაგებობებზე

5.1. ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განსაზღვრა

რეოლოგიურად განსხვავებული ნაკადების ბუნებაში არსებობის და სადინართა ძნელად აღსაწერი კონფიგურაციის გამო, განსაკუთრებით ღვარცოფის ტალღის ფორმირების შემთხვევებით და სხვ., ღვარცოფთა სადინარებში მოძრაობა ხასიათდება არასტაციონარულობით, რეჟიმების ცვლილების მაღალეფექტურ სარეგულაციო ღონისძიებათა სტიქიათა რისკებზე ზემოქმედების შესაძლებლობით ეფექტური ინოვაციური მათემატიკური მოდელების მოვლენასთან ადაპტაციასთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფის ხარჯისა და სადინარის კალაპოტის ცნობილი ფორმის შემთხვევაში, კვეთის ენერჯის მრუდზე დაყრდნობით შესაძლებელია სრულად იქნას აღწერილი ნაკადის მდგრადობა. სადინარის კალაპოტის არაპრიზმატულობის შემთხვევაში გამორიცხულია მოძრაობის რეჟიმის სტაციონარულობა. როცა სადინარის ქანობი არის დადებითი, სიგრძე მნიშვნელოვანი, კალაპოტი წარმოდგენილია შემხვედრი წინააღმდეგობების გარეშე. პირველ რიგში აუცილებელია აღწერილ იქნეს ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ფორმა და განისაზღვროს ნაკადის ენერგეტიკა. ასეთ შემთხვევაში ცნობილია, რომ მარტივდება ნაკადის სიღრმის განსაზღვრის, სადინარის სხვადასხვა კვეთში ნაგებობათა გაბარიტების შერჩევის და ნაკადის კალაპოტიდან გადმოღვრის შეფასების შესაძლებლობა.

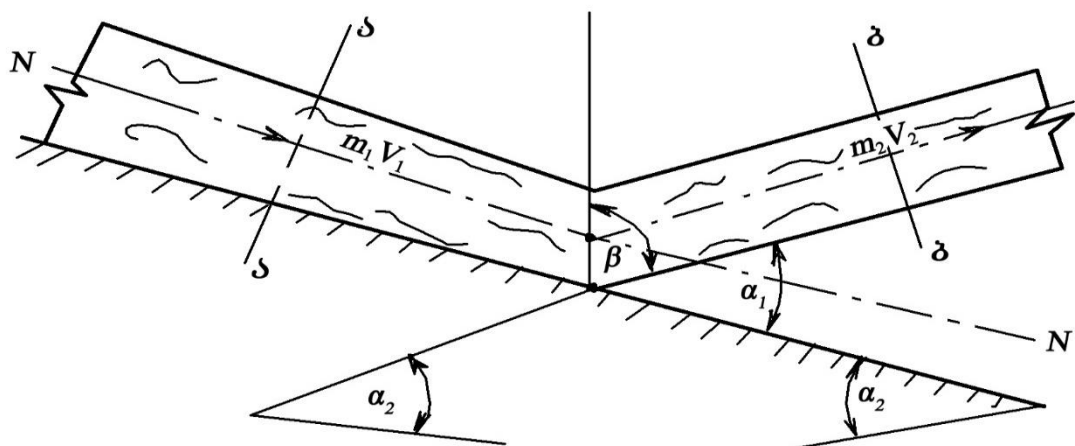
გარემოს დაცვაში ეკოლოგიური წონასწორობა და სტაბილურობა ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის მდგრადობის გარანტიას წარმოადგენს. სტიქიათა ნაგებობაზე ზემოქმედების შეფასების მეთოდოლოგია მათ ანომალურობაზეა დამოკიდებული, ხოლო ნაგებობის ინოვაციურობა არსებულთან შედარებით, ნაკადზე ზემოქმედებით უნდა იყოს განსხვავებული. ზემოთ აღნიშნულთან ერთად, ინოვაციურ ნაგებობათა ნაკადების სხვადასხვა სახის სადინარებში მოწყობის დროს შეიძლება წარმოიშვას რისკები კონსტრუქციულ ელემენტებთან კავშირში, რაც ართულებს გაანგარიშების

ახალი მეთოდოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობებს. ნაგებობაზე მოსალოდნელი დამრტყმელი შესაძლებლობის ცოდნა საშუალებას იძლევა სირთულის გარეშე განისაზღვროს შერჩეულ ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტები.

სადისერტაციო ნაშრომში ვიხილავთ ნაგებობაზე ნაკადის ზემოქმედების ისეთ შემთხვევას, როცა ნაგებობას ღვარცოფდამჭერი ფუნქცია გააჩნია. ასეთი სახის კონსტრუქციების დეტალური აღწერა მოცემულია ლიტერატურაში, სადაც მათი ექსპლუატაციის დადებითი და უარყოფითი მხარეები და გამოყენების შესაძლებლობებია აღწერილი. [81,83,84,85,86]

ბმულ ღვარცოფთა ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის შეფასების და კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშების მეთოდოლოგია დიდი ხანია წარმოებს ტალღური და კალაპოტური წყლის ნაკადების ანალოგიაზე დაყრდნობით. არსებულ გამოყენებულ საანგარიშო სქემებში ვერ ვადგენთ რეოლოგიური მახასიათებლების გავლენის შესაძლებლობებს და ღვარცოფთა გავლის შედეგები პრაქტიკისათვის გაუთვალისწინებელი შედეგებით მთავრდება. აღნიშნული, ნატურაში არსებული კვლევების საფუძველზე აღწერილია პროფ. მ. გაგოშიძის მიერ [3, 4, 5].

ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განსაზღვრის მიზნით გამოიყენება საანგარიშო სქემა, რომელიც ნახ. (15)-ზეა მოცემული.



ნახ. 15. ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების საანგარიშო სქემა

ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განსაზღვრა ხორციელდება შემოთავაზებულ სქემაზე დაყრდნობით და შერჩეულია ა-ა და ბ-ბ კვეთები, მოძრაობის რაოდენობის შესაბამისად – m_1V_1 და m_2V_2 . წარმოდგენილი სქემის შესაბამისად რეაქციის R ძალის სიდიდე განისაზღვრება $N-N$ ღერძზე მოძრაობის რაოდენობის პროექციით. აქედან გამომდინარე, სიჩქარეთა α კოეფიციენტის გათვალისწინებით

$$a_1m_1V_1 - a_2m_2V_2 - R\cos\beta = 0, \quad (5.1.1)$$

სადაც β – რეაქციის ძალასა და ნაკადის ღერძს შორის მოთავსებული კუთხეა;

α_1 - ნაგებობის დახრის კუთხე კალაპოტის ფუძესთან;

α_2 - კალაპოტის დახრის კუთხე საფარდ სიბრტყესთან.

ღვარცოფის ქანობის ცვლილებისას მისი აწევის სიჩქარე ნაგებობაზე, როცა α_1 კუთხე ნაკლებია 90° -ზე, შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$V_2 = V_1 \cos\alpha \quad (5.1.2)$$

რადგან სიჩქარე ნაგებობაზე მცირდება სიღრმის შესაბამისად, როცა $m_1 = m_2$, რეაქციის ძალის საანგარიშოდ გვექნება

$$R = \frac{m_1V_1(1 - \cos\alpha_1)}{\sin\alpha_1} \quad (5.1.3)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ როცა ღვარცოფის სიმკვრივე ρ -ს ტოლია და სადინარის კალაპოტი სწორკუთხა კვეთით არის წარმოდგენილი და მისი მნიშვნელობა ω -ს ტოლია, რეაქციის ძალა

$$R = \rho \omega V_1^2 \sin\alpha_2. \quad (5.1.4)$$

(5.1.4)-ის გათვალისწინებით (5.1.3)-ში

$$R = K\rho\omega V_1^2 \sin\alpha_2. \quad (5.1.5)$$

როცა $\gamma = \rho g$, $\omega = QBV_1$ (5.1.5) განტოლება შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემდეგი სახით

$$R = \frac{2\gamma QV \sin \alpha_2}{g} \quad (5.1.6)$$

სადინარში შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ნებისმიერი სახის ნაკადის ზემოქმედების დროს მოქმედი ნაკადისათვის დამახასიათებელია მისი დინამიკური მახასიათებლების საფეხურისებრ-ნახტომისებრი და მდორედ შეცვლა.

უწყვეტი ტალღის კვლევებიდან გამომდინარე, ნაკადის წინსვლითი მოძრაობის ხარჯის მუდმივობის შემთხვევაში საკონტაქტო კვეთებში ტალღის სიჩქარის, რეჟიმების ცვლილების და წნევის შეფასების მიზნით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მახასიათებლები, კერძოდ წნევის ცვლილების შეფასებისათვის სიჩქარე, ხოლო შემფოთების დასახასიათებლად მასის და მოცულობითი ცვლილების დრეკადობის პარამეტრები.

ჯამური მოძრაობის რაოდენობის ბალანსის განტოლება, როცა ღვარცოფული მასის h სიღრმიდან h_1 სიღრმეზე ხდება, საანგარიშო ხარჯის სიდიდე Q -ს ტოლია და ძალის ცვლილება $P_1 - P = \Delta P$ -ს, რეაქციის ძალა

$$R = \Delta P \frac{h_1 h}{h_1 - h}. \quad (5.1.7)$$

(5.1.6) გათვალისწინებით (5.1.7)-ში მივიღებთ

$$\frac{2\gamma QV \sin \alpha_2}{g} = \Delta P \frac{h_1 h}{h_1 - h}. \quad (5.1.8)$$

(5.1.8) განტოლებაში წარმოდგენილი $\frac{h_1 h}{h_1 - h}$ სიდიდე შეიძლება

განსაზღვრულ იქნეს გრაფიკული დამოკიდებულებით.

(5.1.8) განტოლებაში ძალის იმპულსის სიდიდე

$$\Delta P = \frac{h_1 - h}{h_1 h} \frac{2\gamma QV \sin \alpha_2}{g}. \quad (5.1.9)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $K = \frac{h_1 - h}{h_1 h}$

$$\Delta P = K \frac{2\gamma QV \sin \alpha_2}{g}. \quad (5.1.10)$$

შერჩეული კვეთებისათვის ნაკადის გაჭიმვითა და კუმშვით გამოწვეული ფარდობითი დეფორმაციების სიდიდეებს თუ გამოვსახავთ $K = f(\beta)$, მისი მნიშვნელობა

$$K = f(\beta) \frac{16 - (a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}. \quad (5.1.11)$$

(5.1.11) საანგარიშო დამოკიდებულება ღვარცოფთა დინამიკური ზემოქმედების ძალა შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ნაკადის რეოლოგიასთან არის დაკავშირებული და მისი ცვლილების დიაპაზონი ფიქსირებული ნაკადის კონკრეტულ სახესთან არის დაკავშირებული.

(5.1.11) დამოკიდებულებაში α პარამეტრის სიდიდე ღვარცოფის რეოლოგიურ მახასიათებლებზეა დამოკიდებული. მის საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე;

$$a = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.1.12)$$

სადაც h_0 – ბმულობის ექვივალენტური სიღრმეა (მ);

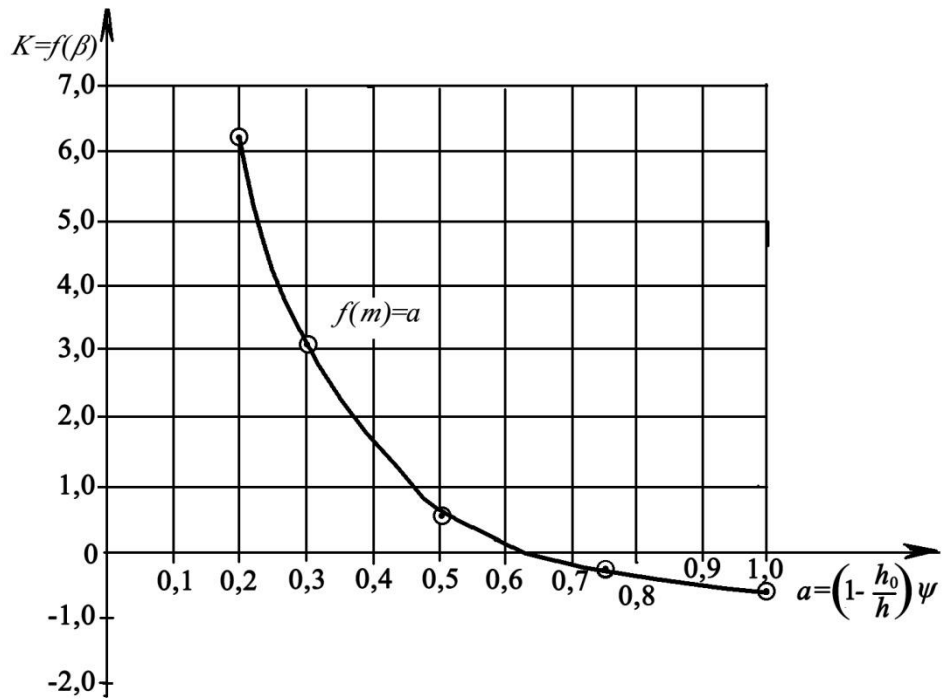
h – ღვარცოფის სიღრმე (მ);

φ – შინაგანი ხახუნის კუთხე.

დამრტყმელი ძალის კოეფიციენტის მნიშვნელობა რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს და გრაფიკული სახით არის წარმოდგენილი ნახ. 16-ზე.

როცა ღვარცოფთა რეგულირება გამჭოლი ნაგებობებით არის გათვალისწინებული და გამჭოლობის კოეფიციენტი K^* -ს ტოლია, მაშინ ნაკადის ძალური ზემოქმედება, როცა $m = f(\beta)K^*$ -ს, შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ფორმულით:

$$\Delta P_1 = \frac{m 2\gamma QV \sin \alpha_2}{g} = K^* f(\beta) \frac{2\gamma QV \sin \alpha_2}{g}. \quad (5.1.13)$$



ნახ. 16. ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში

ფორმულა (5.1.11)-ში შემავალი α წევრის საანგარიშოდ, როცა ცნობილია შინაგანი ხახუნის კუთხის კოეფიციენტი $\psi = \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$, ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის და ნაკადის სიღრმე h -ის ტოლია, მოცემულია მე-2 ცხრილი.

ცხრილი 2

α პარამეტრის ცვლილების დიაპაზონი

φ h_0/h	0	0,4	0,6	0,8	1,0
0	0,04	0,16	0,036	0,64	1,0
0,2	0,025	0,102	0,232	0,409	0,64
0,4	0,014	0,058	0,130	0,234	0,36
0,6	0,0064	0,026	0,058	0,102	0,16
0,8	0,0016	0,006	0,014	0,025	0,04
1,0	0	0	0	0	0

ღვარცოფთა რისკების შემცირებისა და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნების მიზნით ქვემოთ მოცემულია ნაგებობებით მათი რეგულირების შესაძლებლობები და არსებულის შეცვლის სრულიად ახალი მეთოდოლოგიით.

5.2. საავტორო უფლების მქონე ინოვაციური ნაგებობები

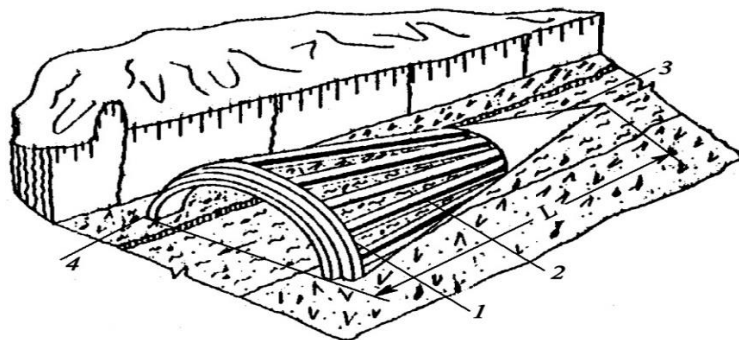
ექსტრემალური ეროზიული პროცესების შედეგად მთისა და მთისწინა მეტწილ წყალშემკრებ აუზებში ადგილი აქვს ღვარცოფწარმომქმნელი მყარი მასის დაგროვებას, რომელზედაც გარე ფაქტორების, კერძოდ, თავსხმა წვიმების ზემოქმედებით ხდება ღვარცოფების ჩამოყალიბება. წარმოდგენილი სტიქია ხასიათდება არა მხოლოდ მოქმედების მასშტაბების განსაკუთრებული სიძლიერით, არამედ ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში ცვალებადობით. ფორმირებულ ღვარცოფთა გაზრდილი სიხშირით წარმოქმნის გამო მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი მათი სატრანზიტო დერეფნის მიმდებარე ტერიტორიების კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დეცენტრალიზაცია, რაც არახელსაყრელი ეკოლოგიური და, აქედან გამომდინარე, სოციალურ-ეკონომიკური პრობლემების წარმომქმნელ ფაქტორად გადაიქცა.

ზემოთ აღნიშნული თავისთავად მეცნიერული კვლევების შედეგად დასაბუთებული სხვადასხვა ინოვაციური მეთოდებისა და ტექნოლოგიის შექმნის აუცილებლობასთან არის დაკავშირებული. საერთოდ, ღვარცოფ-საწინააღმდეგო-სარეგულაციო ნაგებობათა უმრავლესობა რთული კონსტრუქციული ელემენტთა სისტემით არის წარმოდგენილი, რომლის გამო მათ ღვარცოფდამჭერი, ღვარცოფსატრანზიტო, ღვარცოფსარეგულაციო, სანაპირო ზოლის ღვარცოფისგან დამცველი ფუნქცია გააჩნიათ. ყველა შემთხვევაში მათი მწყობრიდან გამოსვლა მძიმე შედეგებით მთავრდება და ხშირია ადამიანთა მსხვერპლი.

ღვარცოფთა ბუნებიდან გამომდინარე, მათთან ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის სიძნელებმა, ანომალურობამ და გაზრდილმა რისკმა განაპირობა ისეთი კონსტრუქციების შექმნის აუცილებლობა, რომლებიც არსებულთან შედარებით კონსტრუქციული გადაწყვეტითა და ნაკადზე ზემოქმედების ინოვაციური შესაძლებლობებით და დამრტყმელ ძალასთან თანდათანობითი დამყოლობით ხასიათდება, ახდენს ნაკადის ენერჯის შრეობრივად დაყოფას და დანაწევრებული ნაკადის გამოყენებას ძირითადი ნაკადის კინეტიკური ენერჯის ჩასაქრობად. ნაკადთან ზემოქმედება არ იწვევს ეკოლოგიური სტაბილურობის რღვევას და ამასთან ერთად ნაგებობა ხასიათდება მაღალი საიმედოობით. კონსტრუქციული გადაწყვეტებიდან გამომდინარე ექსპლუატაციის პერიოდში იძლევა მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობებს, მაქსიმალურად ითვალისწინებს ნაკადის ბუნების ანომალიას.

ენერჯის ჩაქრობის დროს ხასიათდება ნაკადთან თანდათანობითი შეხებითა და ტრანსფორმაციის კარგი უნარით, გააჩნია ნაკადთან ზემოქმედების დროს ელასტიკურობა, შესაძლებელია ნებისმიერი ფორმის კალაპოტში მოწყობა, იძლევა მყარი მასიდან გამოყოფილი მყარი ჩანართის დახარისხების შესაძლებლობას. აღნიშნულიდან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომში არსებულისაგან განსხვავებით, შეცვლილია ბრძოლის სტრატეგიის მიმართულება და შემოთავაზებულია სრულიად განსხვავებული საინჟინრო გადაწყვეტები, რომლებსაც გააჩნია საავტორო უფლებები.

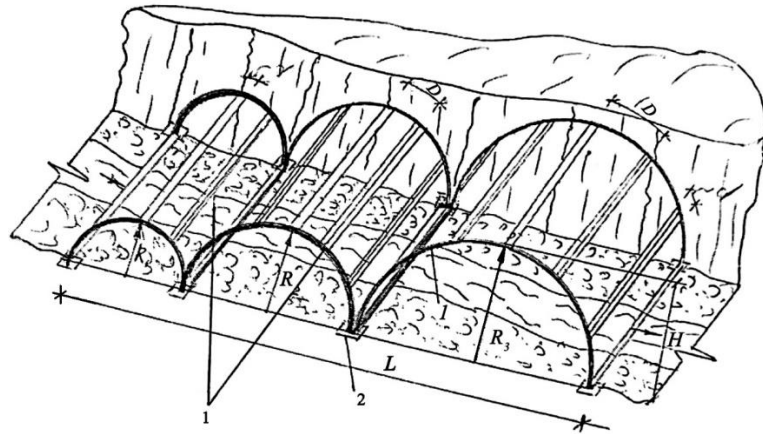
ა) ღვარცოფსარეგულაციო ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობა



ნახ. 17. ღვარცოფსარეგულაციო ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობა
 1. ნაგებობის ბოლო საყრდენი თალი; 2. გრძივი კოჭები; 3. ნაგებობის წვერო

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა (საავტორო მოწმობა №110 1499) წარმოადგენს ნახევარკონუსის ფორმით წარმოდგენილ ნაწილობრივ გამჭოლ კონსტრუქციას, რომლის წვერო (3) (ღრუ ნაწილი) ნაგებობის ბოლო საყრდენ თაღთან (1) დაკავშირებულია კოჭების (2)-ის მეშვეობით და ქმნის ტრამპლინს. ნაგებობის წვერო (3) და თაღების ჩასამაგრებელი საძირკველი (4) შესრულებულია რკინაბეტონით, ხოლო კოჭებად (2) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მეორადი რესურსები, კერძოდ, რკინიგზის ჩამოწერილი რელსები.

ბ) ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ნაგებობა



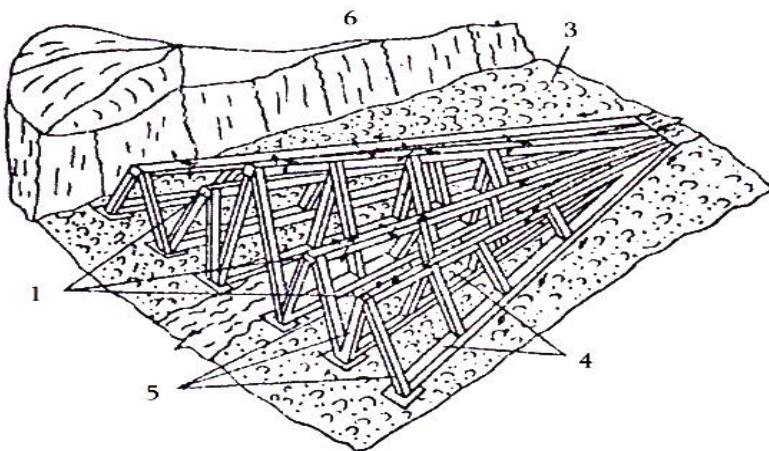
ნახ. 18. ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ნაგებობის ხედი
1. ჩამოწერილი რელსები 2. რკინაბეტონის საძირკველი.

აღნიშნული კონსტრუქცია (საავტორო უფლება №1191515) წარმოდგენილია თაღურ-საფეხურისებრივი ფორმით, რომელსაც ნაკადთან მიმართებაში ერთმანეთთან ჩამაგრებული ნახევრად ცილინდრული ზედაპირი გააჩნია. ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით ადგილი აქვს ნაგებობის ნახევრად ცილინდრული ზედაპირის გაზრდას. ნაგებობაზე სრული წარმოდგენის მიზნით ნახ. 18-ზე მოცემულია ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ხედი აქსონომეტრიაში.

წარმოდგენილი ნაგებობის ზედაპირი შექმნილია მეორადი რესურსით, კერძოდ, ჩამოწერილი რელსებით (1), რომლებიც ჩამაგრებულია რკინაბეტონის საძირკველში (2).

ნაგებობის სიმაღლე დინების მიმართულებით ნახევრად ცილინდრული ზედაპირის რადიუსების გაზრდის საფუძველზე მატულობს. რელსებით შექმნილი გამჭოლი ზედაპირის სივრცე წარმოადგენს სწორკუთხა ღრეჩოებს, რომელთა კვეთის ფართობი ნაგებობის სიმაღლეზე არ იცვლება და მუდმივია. თვით ნაგებობის განივი კვეთის სიდიდე ღვარცოფის სიმძლავრეზე და სატრანზიტო უბანზე ნაკადის ჰიდრავლიკურ პარამეტრებზე არის დამოკიდებული.

გ) პირამიდული სახის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა



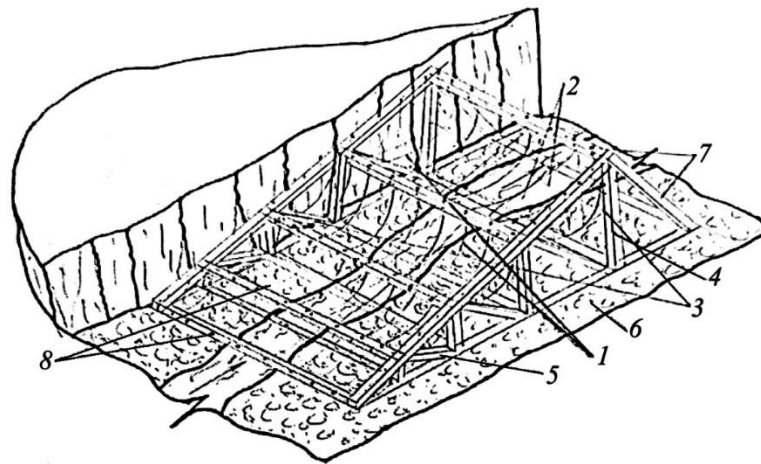
ნახ. 19. ღვარცოფსაწინააღმდეგო მოწყობილობა
 1. კოჭები 2. განაპირა კოჭები 3. ღვარცოფსადინარის კალაპოტი 4. საყრდენი კონსტრუქცია 5. პირამიდის ფუძის კოჭები 6. ღვარცოფსადინარის სანაპირო ზოლი 7. სამკუთხა პირამიდები

წარმოდგენილი ნაგებობა (საავტორო მოწმობა №1413185) განეკუთვნება ჰიდროტექნიკური ნაგებობის კატეგორიას, განკუთვნილია ღვარცოფთა შეკავებისა და კინეტიკური ენერჯის ჩასაქრობად. მისი კონსტრუქციის მიზანია ენერჯის ეფექტურად ჩაქრობა და საიმედოობის გაზრდა. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა გამჭოლი კონსტრუქციის სახით არის წარმოდგენილი, რომელიც კოჭების სისტემით (1) თავში შეკრულია კონად და იგი სხივურად იშლება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით. განაპირა კოჭები (2) განლაგებულია ღვარცოფსატარი კალაპოტის ფუძეზე (3), ხოლო

მათ შორის განლაგებული კოჭი დაყენებულია ნაკადის დინების მიმართულეხასთან ზრდადი უკუქანობით საყრდენ კონსტრუქციაზე (4). კონსტრუქცია განთავსებულია ღვარცოფსადინარის კალაპოტში (3) და დაყრდნობილია საყრდენ კონსტრუქციებზე.

ყოველი კოჭი (1) უახლოეს ორ საყრდენ კოჭთან (4) წყვილი დახრილი კოჭებით (5) ნაგებობის ბოლოს საყრდენი კოჭების შეერთების შედეგად ნაგებობა შეიძლება წარმოდგენილი იქნას წვეროებით კონად შეკრული გამჭოლი პირამიდებით (7), რომელთა სიმაღლეები იზრდება როგორც ნაკადის, ისე სანაპირო ზოლიდან დინამიკური ღერძის მიმართულებით.

დ) ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი



ნახ. 20. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი

1. და 2. გრძივი და განივი ტროსები; 3. სამკუთხა პრიზმები; 4. სამკუთხა პრიზმების ფუძეები; 5. სამკუთხა პრიზმების წახნაგები; 6. კალაპოტზე განლაგებული პრიზმის წახნაგი; 7. პრიზმების წიბოები; 8. ბაგირების ჩასამაგრებელი ხვრელები.

წარმოდგენილი ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი (პატენტი P20207068B) ღვარცოფთან ბრძოლის სიახლე და ინოვაციურობა კონსტრუქციის განსხვავებული ფორმით და ელასტიურობით არის წარმოდგენილი მე-20 ნახაზზე.

წარმოდგენილ ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ელემენტებს წარმოადგენს, სამკუთხა პრიზმები (3), სამკუთხა პრიზმების ფუძეები

(4), წახნაგები (5), პრიზმის ფუძის წახნაგი (6), წიბოები (7), ტროსის ჩასამაგრებელი ხვრელები (8), გრძივი (1) და განივი (2) დრეკადი ტროსები.

ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ტექნიკური ამოცანის გადაჭრის შესაძლებლობა არსებულისაგან განსხვავებით არის მაღალი, მისი მშენებლობა არის მარტივი, შედარებით სრულად ითვალისწინებს ღვარცოფთა ანომალურ ბუნებას, აქვს მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობა, ელასტიურობის ხარჯზე ეფექტურადაა შესაძლებელი ღვარცოფის დარტყმის ძალის მის სადაწნეო ზედაპირზე გადანაწილება, გარდა ამისა, ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის ქვის ჩანართის დახარისხების შესაძლებლობას იძლევა.

ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი, რომელიც წარმოდგენილია სხვადასხვა ფორმის ელემენტებისაგან შედგენილი სექციების სახით, ერთმანეთთან დაკავშირებული სხვადასხვა სახის სიხისტის ელემენტებით. კონსტრუქციას აქვს ტრამპლინის სახე, რომლის სადაწნეო გამჭოლი ზედაპირი მრუდწირული ფორმით არის წარმოდგენილი. ენერგიის ჩაქრობა ხორციელდება სექციების სიმაღლეთა გაზრდის საფუძველზე. ნაგებობის საიმედოობის გაზრდა და ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალასთან მოქნილობა, ასევე კონსტრუქციის ელასტიკურობა მიღწეულია თანაბარი სიმაღლის მქონე პრიზმების მიჯნით სექციების სახით. ნაგებობა წახნაგებით ჩადგმულია მდინარის კალაპოტში, მისი ფუძის სიმაღლე იზრდება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო ზედა წიბოების შორის გაბმულია დრეკადი ლითონის ბაგირები, რომლებიც ქმნიან სექციებს შორის ჯიბეებს ღვარცოფული მასის მისაღებად.

5.3. ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების გაანგარიშების

მეთოდოლოგია

ა) ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობა

როცა ღვარცოფის რეგულირება ხორციელდება წარმოდგენილი

ნაგებობით, აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული მოსალოდნელი კატასტროფის სახე, რადგან რეალობაში ვხვდებით როგორც ტურბულენტურ, ისე ბმულ, ერთმანეთისგან ბუნებით განსხვავებულ ღვარცოფებს. ამასთან ერთად, კონსტრუქციის შერჩევის დროს ნაგებობაზე მოქმედი ნაკადის მახასიათებელი პარამეტრების განსაზღვრის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მოვლენასთან ადაპტირებული საანგარიშო დამოკიდებულებების ერთმანეთთან დიამეტრული განსხვავებულობა [135].

ღვარცოფებთან ბრძოლის დროს გამოყენებულია ნახევრად კონუსური თაღოვანი, სივრცული კოჭოვანი გარსით საყრდენებზე დამაგრებული გამჭოლი კონსტრუქცია ტრამპლინის სახით არის წარმოდგენილი. ნაგებობის კოჭებით შექმნილ გამჭოლობას შეიძლება ჰქონდეს სამკუთხედის ან ტრაპეციის ფორმა, კოჭების განლაგებით ან ყრუ ნაწილის სიგრძის ცვლილებით. წარმოდგენილი ნაგებობის საანგარიშო სქემა გრძივი და განივი ხედით მოცემულია ნახაზებზე (იხ. ნახ. 21, 22).

წრიული თაღის შემთხვევაში, როცა თაღის რადიუსი R -ის, ღვარცოფსადინარის სიგანე B -ს და ნაგებობის სიმაღლე H -ის ტოლია, კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშება შემდეგი სახით ხდება:

– ნაგებობის სიმაღლე

$$H = R = \frac{B}{2} = \frac{n(d + D) - D}{\pi} (\text{მ}), \quad (5.3.1)$$

სადაც n – ნაგებობის მაქსიმალურ თაღზე განლაგებული კოჭების რიცხვია;

d, D – კოჭების და მათ მიერ შექმნილი ღრეჩოს მაქსიმალური სიგანე (მ);

– ნაგებობით დაკავებული განივი კვეთის ფართობი

$$\omega = BH = \frac{2n[(d + D) - D]^2}{\pi^2} = 2H^2 (\text{მ}^2); \quad (5.3.2)$$

– ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის მინიმალური და ყრუ ნაწილის მაქსიმალური რადიუსი

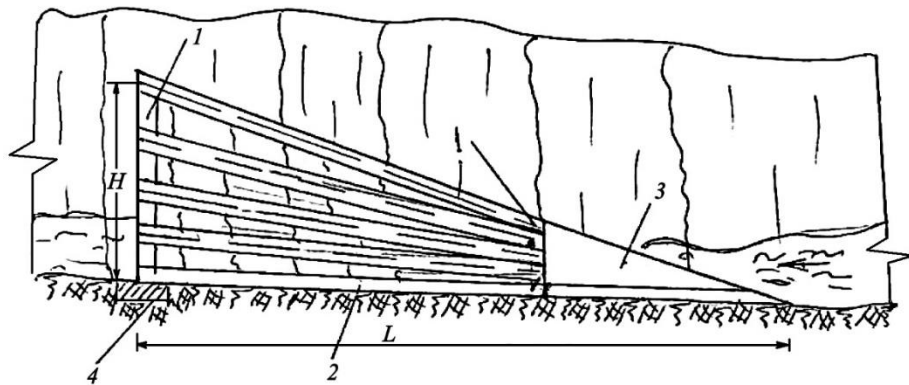
$$r = h = \frac{nd}{\pi} (\text{მ}); \quad (5.3.3)$$

- სამკუთხა ფორმის ღრეჩოების შემთხვევაში კოჭების მაქსიმალური რიცხვი მისი d დიამეტრის და ღრეჩოს D დიამეტრის შემთხვევაში

$$n = \frac{\pi H + D}{d + D} (\text{ცალი}); \quad (5.3.4)$$

- კოჭების სიგრძე, როცა თაღების სიგანე δ -ის ტოლია

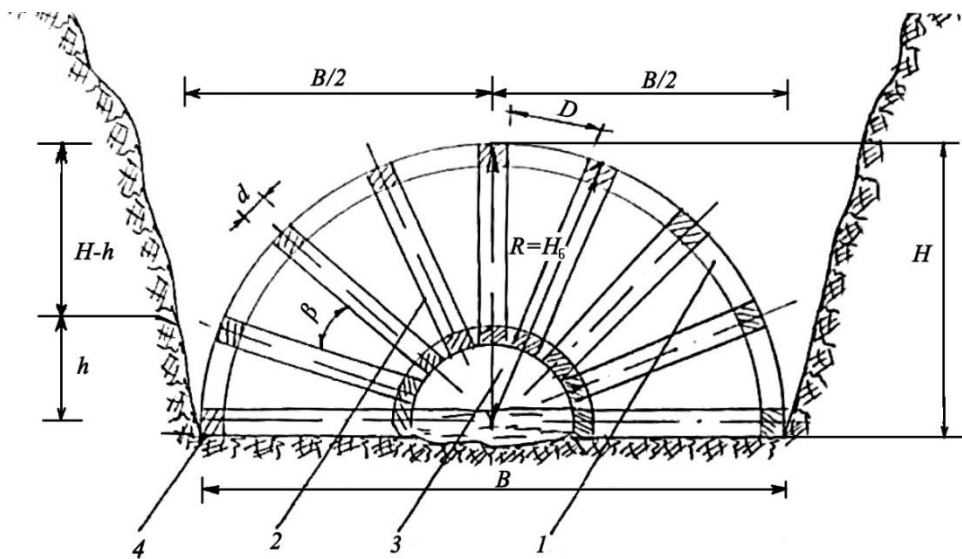
$$L_{\square} = L - l + 2\delta (\text{მ}). \quad (5.3.5)$$



ნახ. 21. ნახევრად კონუსური ნაგებობის გრძივი ჭრილი

1. ნაგებობის თალი 2. გრძივი კოჭები

3. ნაგებობის წვერო 4. ნაგებობის საძირკველი



ნახ. 22. ნახევრად კონუსური ნაგებობის განივი ჭრილი

1. ნაგებობის თალი 2. გრძივი კოჭები 3. ნაგებობის წვერო 4. ნაგებობის საძირკველი

ნაკადის გარსდენის პირობიდან გამომდინარე, ნაგებობის გაშლის კუთხე α აიღება $(11\div 13)^\circ$ -ის საზღვრებში.

– ნაგებობის მთლიანი სიგრძე L :

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{n(d+D)-D}{\pi \sin \alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.6)$$

– ნაგებობის ყრუ ნაწილის სიგრძე

$$l = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{nd}{\pi \sin \alpha} \quad (\text{მ}). \quad (5.3.7)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ღრეჩოს D დიამეტრის მაქსიმალური სიდიდე აიღება ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის მაქსიმალური ან საშუალო დიამეტრის მიხედვით. ტურბულენტური ღვარცოფის შემთხვევაში, როცა ხარჯი Q -ს და სადინარის ქანობი i -ს ტოლია, საშუალო დიამეტრი d იანგარიშება ფორმულით [63,64]:

$$d_1 = (0,02 + 6,55i^{2,73})Q^{0,61} \quad (\text{მ}). \quad (5.3.8)$$

ბმული ღვარცოფის შემთხვევაში ქვის საშუალო დიამეტრი, როცა $n_1, n_2, n_3 \dots n_n$ არსებული ცალკეული ქვის დიამეტრის პროცენტული მოცულობაა, ხოლო $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$ მისი შესაბამისი

$$d_2 = \frac{d_1 n_1 + d_2 n_2 + \dots + d_n n_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} \quad (\text{მ}). \quad (5.3.9)$$

როცა ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის ფართობი ω_j -ს, ხოლო ნაგებობით კალაპოტის გადაკეტვის მთლიანი ფართობი ω -ს ტოლია, გამჭოლობის კოეფიციენტი K

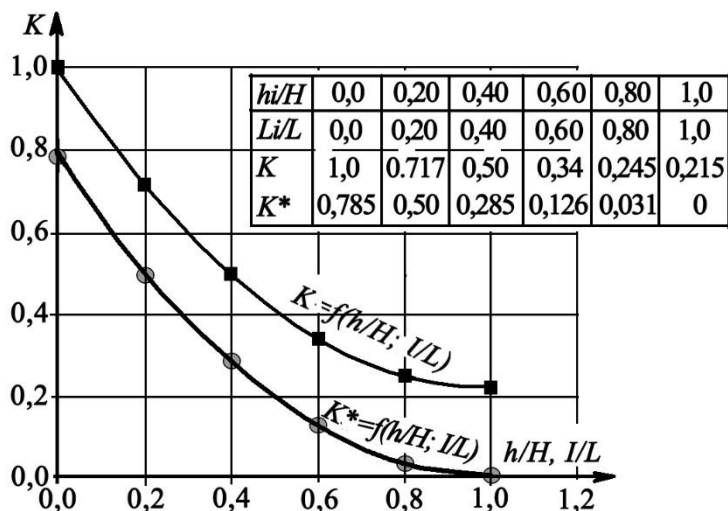
$$K = \frac{\omega_j}{\omega} = 0,215 + 0,785 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2. \quad (5.3.10)$$

ნაგებობის გამჭოლობის კოეფიციენტი K^* , როცა ნაგებობის სიმაღლე h -დან იცვლება H -მდე,

$$K^* = 0,785 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2. \quad (5.3.11)$$

თვალსაჩინოების მიზნით მოყვანილია ღვარცოფის გასატარებელი კვეთის გამჭოლობის K კოეფიციენტის ფუნქციონალური დამოკიდებულება გრაფიკის სახით ნაგებობის ელემენტთან კავშირში (ნახ. 23).

თავდაპირველად უნდა აღინიშნოს, რომ კოჭებს შორის მაქსიმალური დაცილება აიღება ღვარცოფის მყარი ნაწილით ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრის მიხედვით.



ნახ. 23. ღვარცოფის გასატარებელი კვეთის გამჭოლობის K კოეფიციენტის ფუნქციონალური დამოკიდებულება: 1. $K = f(L_i/L)$ დამოკიდებულების გრაფიკი
2. $K^* = f(L_i/L)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ყრუ ნაგებობის შემთხვევაში, როცა ნაგებობის ბოლო თალი საანგარიშო კვეთში კალაპოტის ფუძესთან დახრილია 90° -იანი კუთხით, ნაკადის დამრტყმელი ძალის სიდიდე იანგარიშება ფორმულით:

$$P_1 = \frac{16 - (a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \cdot \frac{\alpha \gamma QV \sin \alpha}{g} \quad (კვ). \quad (5.3.12)$$

სადაც H – ნაგებობაზე მოქმედი ნაკადის სიმაღლეა (მ);

h_0 – ღვარცოფის ბმულობის ექვივალენტური სიმაღლე (მ);

V – ღვარცოფის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე (მ/წმ);

γ – ღვარცოფის მოცულობითი მასა (კგ/მ³);

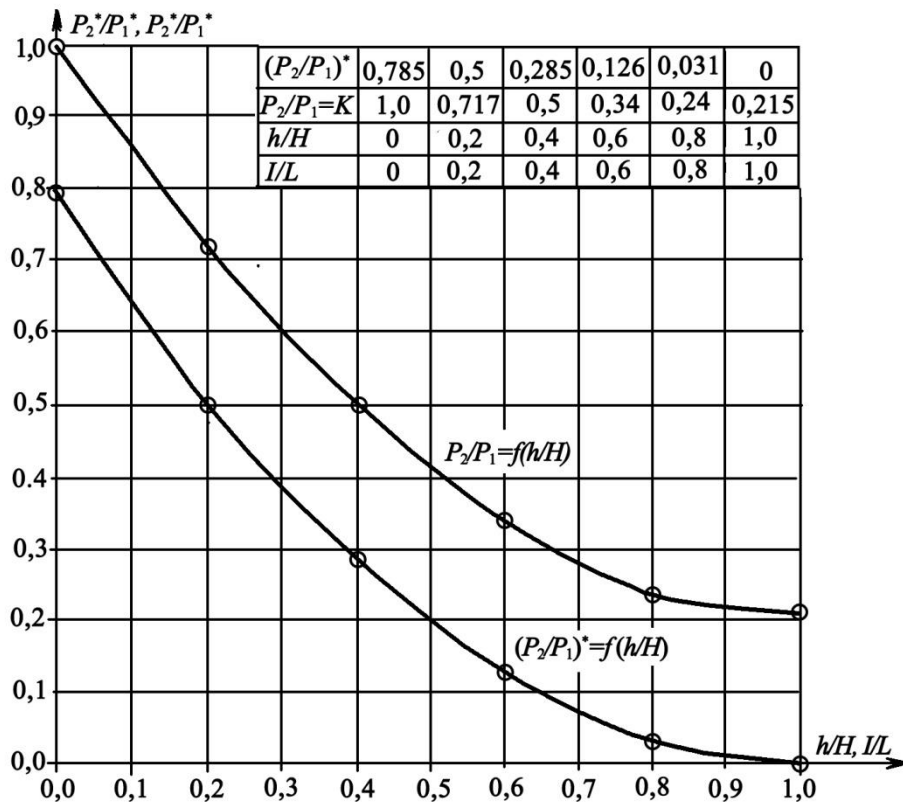
α – ღვარცოფის მასის შინაგანი ხახუნის კუთხის კოეფიციენტი;

$I = \sin \alpha$ – ღვარცოფსადინარის ქანობი.

გამჭოლი ნაგებობის შემთხვევაში, როცა გამჭოლ ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა P_2 -ის ტოლია

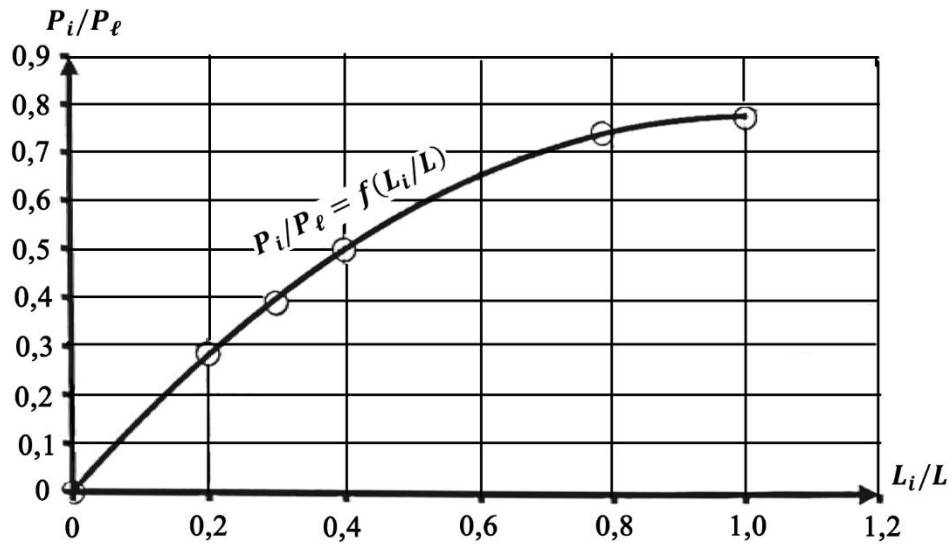
$$P_2 = K P_1 = 0,785 \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \cdot \frac{16 - (a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \cdot \frac{\alpha \gamma QV \sin \alpha}{g} \quad (35). \quad (5.3.13)$$

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება ფარდობით სიდიდეებში $P_2 / P_1 = f(K)$ (ნახ. 24).



ნახ. 24. ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი დამრტყმელი ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი ფარდობით სიდიდეებში გამჭოლობის კოეფიციენტთან

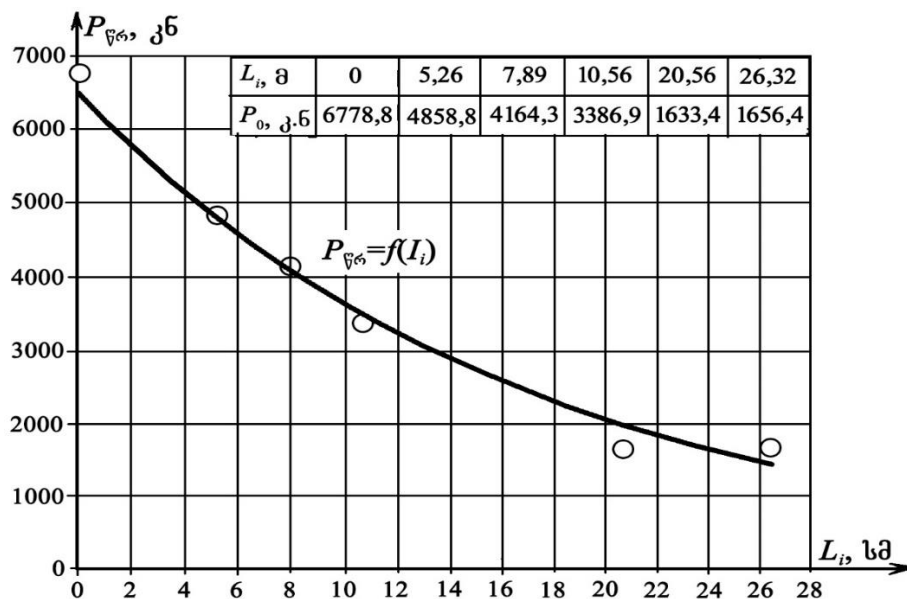
ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით დამრტყმელი ძალის ნაგებობის სიგრძეზე ცვალებადობის შეფასება ნაგებობის ყრუ ნაწილის მიხედვით ხდება, რადგან ნაგებობის ყრუ ნაწილის რადიუსი კოჭების საანგარიშო კვეთის მაქსიმალურ სიდიდესთან არის დაკავშირებული.



ნახ. 25. ყრუ ნაწილის ნაგებობის სიგრძეზე ცვლილების დროს დამრტყმელი ძალის ფარდობით სიდიდეებში ცვლილების გრაფიკი $P_i/P_e = f(L_i/L)$

ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში გრაფიკული სახით მოცემულია ნახ. 25-ზე.

ნაგებობის მიერ დარტყმითი ძალის განეიტრალების შესაძლებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მათი რაოდენობის შერჩევის დროს. აქედან გამომდინარე, ნარჩენი P_0 ძალის სიდიდის ცვლილების სურათი ნაგებობის სიგრძეზე მოყვანილია გრაფიკის სახით ნახ. 26-ზე.



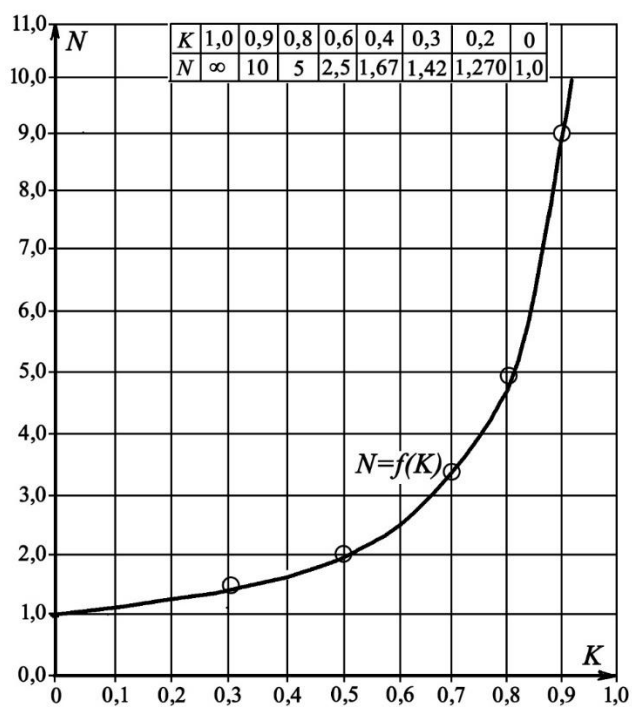
ნახ. 26. ნაგებობის სიგრძეზე ნარჩენი ძალის ცვლილების კანონზომიერება $P_0 = f(L_i)$

ზემოთ მოცემული განგარიშების საფუძველზე მიღებული დამრტყმელი ძალის სრულ განეიტრალებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება დასაპროექტებელი ნაგებობების რაოდენობის დადგენის დროს.

განგარიშებით მიღებული მოქმედი ძალის საფუძველზე, როცა გამჭოლობის კოეფიციენტი K -ს ტოლია, ნაგებობათა რაოდენობა სადინარის ბარაჟირების დროს განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$N = \frac{1}{1 - K}. \quad (5.3.14)$$

ზოგადად, გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილების საფუძველზე ნაგებობის რაოდენობა გამჭოლობასთან კავშირში გრაფიკული დამოკიდებულების სახით მოცემულია ნახ. 27-ზე.



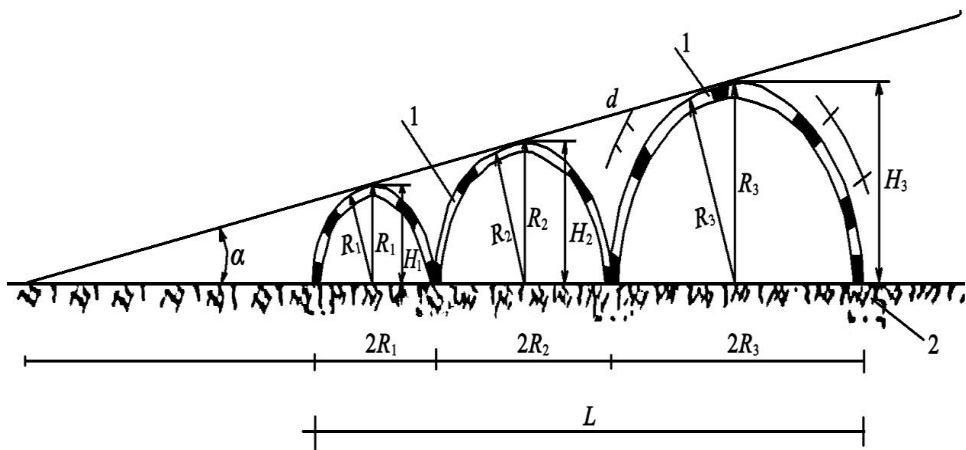
ნახ. 27. ნაგებობის რაოდენობასა და გამჭოლობის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$

შემოთავაზებულ ნაგებობაზე ბმული ღვარცოფის ზემოქმედების პირველი მიახლოებითი მნიშვნელობით განხორციელებული ანგარიში გვიჩვენებს, რომ იგი ღვარცოფთან ბრძოლის ინოვაციურ ღონისძიებას

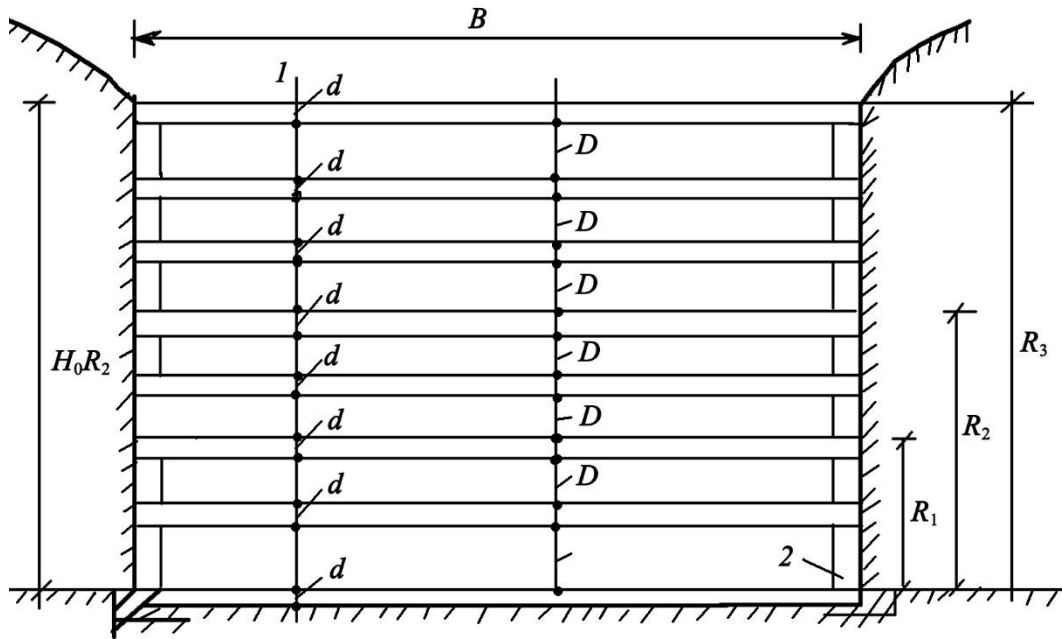
წარმოადგენს. ნაკლებ გავლენას ახდენს ეკოლოგიურ წონასწორობაზე, ექსპლუატაცია არის მარტივი და მეორადი რესურსების გამოყენებით მისი სამშენებლო ღირებულება არის მნიშვნელოვნად დაბალი. ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობის შემოთავაზებული მეთოდებით გაანგარიშება და პრაქტიკაში დანერგვა ღვარცოფთა რეგულირების პრობლემატიკაში პერსპექტიულია, რადგან მოცემული გაანგარიშების პირობებით მისი ეფექტურობის მახასიათებლები დამაკმაყოფილებელია და მისაღებია საინჟინრო პრაქტიკის გათვალისწინებით.

ბ) ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ნაგებობა

ნაგებობათა სახეობების სიმრავლის მიუხედავად, ყოველ მათგანს მკაცრად განსხვავებული დანიშნულება გააჩნია. მოვლენასთან მათი გამოყენების შესაძლებლობა იმ სპეციფიკის გათვალისწინებით უნდა განხორციელდეს, რომელიც ადგილმდებარეობის ღვარცოფულობასთან არის დაკავშირებული. საავტორო უფლების მქონე ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ნაგებობის ღვარცოფთან ბრძოლის გამოყენების მიზანშეწონილობა და კონსტრუქციის ელემენტების შერჩევის მეთოდოლოგია შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს.



ნახ. 28. ნახევრად ცილინდრული ნაგებობის გრძივი კრილი



ნახ. 29. ნახევრად ცილინდრული ნაგებობის განივი ჭრილი

ნაგებობის უპირატესობა მსგავსი ტიპის ნაგებობებთან შედარებით მისი მრავალჯერადი გამოყენებით განისაზღვრება.

გამჭოლი ღრეჩოების ზომები და განლაგების სიხშირე ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის მაქსიმალურ დიამეტრთან არის დაკავშირებული. კონსტრუქციული გადაწყვეტა შესაძლებლობას იძლევა მის ზედაპირზე ნაკადი გადანაწილდეს როგორც სიმაღლეზე, ისე სიგრძეზე.

წარმოდგენილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების და გაანგარიშების მეთოდოლოგია ნახაზებზე (იხ. ნახ. 28, 29) მოცემული საანგარიშო სქემების საფუძველზე ხდება.

- ცილინდრული ზედაპირების წრიული თაღით წარმოდგენის შემთხვევაში, როცა რადიუსი R -ის და სიმაღლე H -ის ტოლია, ღვარცოფსადინარის B სიგანის შემთხვევაში ნახევრად ცილინდრული ზედაპირების რადიუსები განისაზღვრება დამოკიდებულებებით:

$$R_1 = \Delta \frac{\sin \alpha}{1 - \sin \alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.15)$$

$$R_2 = \Delta \frac{1 + \sin \alpha}{1 - \sin \alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.16)$$

$$R_3 = \Delta \frac{1 + 3\sin\alpha + 2\sin^2\alpha}{1 - \sin\alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.17)$$

– ნაგებობის სიმაღლე

$$H = R_3 = \Delta \frac{1 + 3\sin\alpha + 2\sin^2\alpha}{1 - \sin\alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.18)$$

– ნაგებობის სიგრძე

$$L = 2R_1 + 2R_2 + 2R_3 = 2\Delta\sin\alpha \frac{2 + 4\sin\alpha + 2\sin^2\alpha}{1 - \sin\alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.19)$$

– ნაგებობის სიმაღლის სიგრძესთან ფარდობის ცვლილების ზღვრებია

$$\frac{1}{6} \leq \frac{H}{L} \leq \frac{5}{18}; \quad (5.3.20)$$

– ნაგებობის ზედაპირის ფუძესთან დახრის კუთხე α იცვლება $11^\circ \div 13^\circ$;

– როცა წინა ნახევრად ცილინდრული ზედაპირის რადიუსებია ცნობილი, მაშინ მომდევნოები შეიძლება განსაზღვრული იყოს ფორმულებით:

$$R_1 = \Delta \frac{\sin\alpha}{1 - \sin\alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.21)$$

$$R_2 = R_1(1 + \sin\alpha) \quad (\text{მ}); \quad (5.3.22)$$

$$R_3 = R_2 \frac{1 + 3\sin\alpha + 2\sin^2\alpha}{1 + \sin\alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.23)$$

– ნაგებობის სიმაღლე H , როცა მის ზედაპირზე განლაგებული n რაოდენობის კოჭების სისქე d -ს და კოჭებს შორის დაცილება D -ს ტოლია

$$H = nd + (n-1)D \quad (\text{მ}); \quad (5.3.24)$$

– კოჭების რაოდენობა

$$n = \frac{H + D}{d + D} \quad (\text{ცალი}); \quad (5.3.25)$$

ყრუ ნაწილის h სისქე

$$h = nd \quad (\text{მ}); \quad (5.3.26)$$

– ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის ფართობი

$$\omega_1 = B[n(d + D) - D - nd] = BD(n - 1) \quad (\text{მ}^2); \quad (5.3.27)$$

გამჭოლობის კოეფიციენტი K

$$K = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{1 - \frac{d}{H}}{1 + \frac{d}{D}}; \quad (5.3.28)$$

- ნაგებობის სიმაღლე, როცა ცნობილია გამჭოლ ზედაპირზე გამავალი მხების ფუძესთან დახრის კუთხე α

$$H = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 + 3\sin\alpha + 2\sin^2\alpha}{1 - \sin\alpha} L = K^* L \quad (\text{მ}); \quad (5.3.29)$$

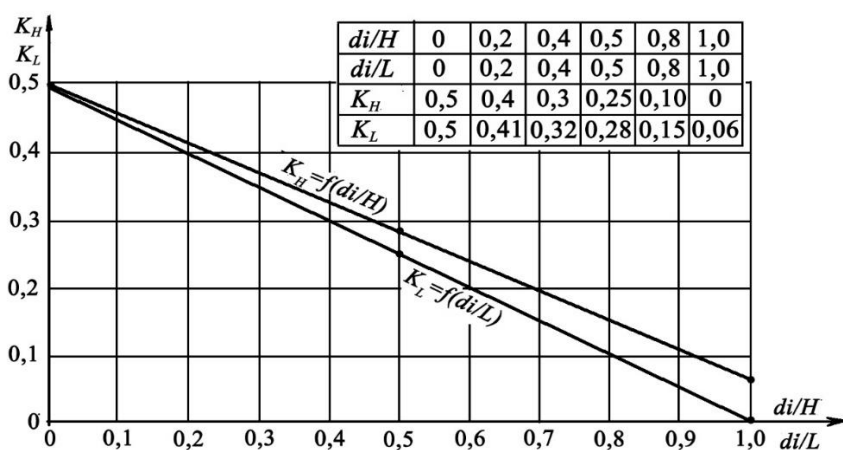
- ფარდობითი სიდიდე კოჭის სისქის ქვის მაქსიმალურ D დიამეტრთან

$$\frac{d}{D} = \frac{K^* L}{2H - K^* L}; \quad (5.3.30)$$

- გამჭოლობის კოეფიციენტი კოჭების სისქესა და ნაგებობის სიმაღლესთან კავშირში

$$K = 0,5 \left(1 - \frac{d}{H} \right). \quad (5.3.31)$$

თვალსაჩინოების მიზნით გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილების შესაძლებლობა მოცემულია გრაფიკული დამოკიდებულებების სახით (ნახ.30).



ნახ. 30. გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილება ნაგებობის სიმაღლისა და სიგრძის მიხედვით

- ნაგებობაზე მოქმედი P_2 ძალა ყრუ ნაგებობის იმ შემთხვევაში, როცა $d = H$ -ს, ღვარცოფის მოცულობითი წონა γ -ს, ცოცხალი კვეთის

ფართობი ω -ს, ნაკადის სიჩქარე V -ს, ნაგებობის ზედაპირის დახრის კუთხე ფუძესთან α -ს და შინაგანი ხახუნის კუთხე φ -ს, ნაკადის ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ს და ნაკადის სიმაღლე H -ს, გვექნება

$$P_2 = \frac{3,34\gamma\omega \sin \alpha_1}{g} \sin \alpha \left[\cos \alpha_1 \tan \varphi + \frac{h_0}{2H} (\sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - \tan \varphi) \right] \quad (35); \quad (5.3.32)$$

ანალოგიურად, გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი P_1 ძალის სიდიდე

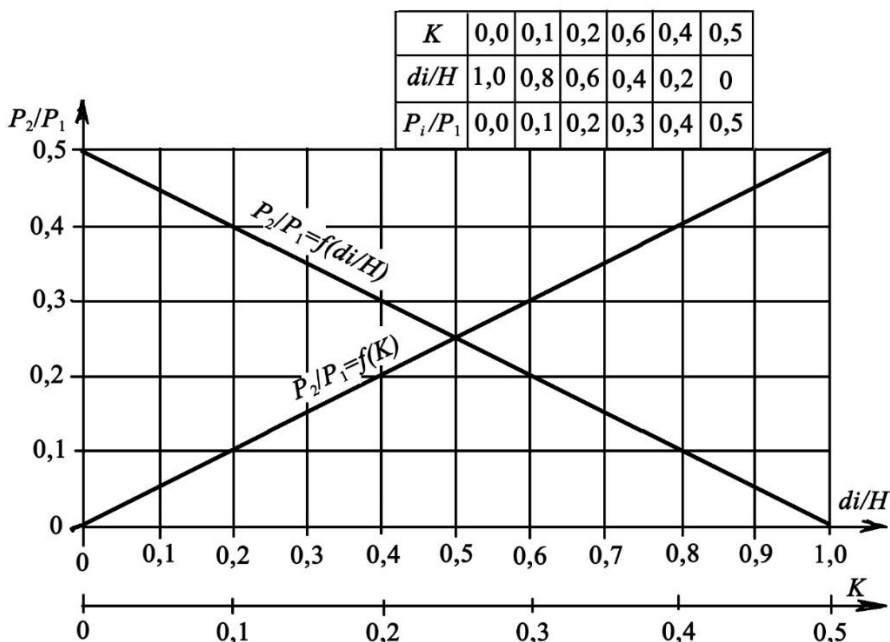
$$P_1 = \frac{3,34\alpha\omega \sin \alpha_1}{g} \sin \alpha \left[\cos \alpha \tan \varphi + \frac{h_0}{2H} (\sqrt{1 - \tan^2 \varphi} - \tan \varphi) \right] \quad (35); \quad (5.3.33)$$

– გამჭოლობის კოეფიციენტი

$$K = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_1}{\omega}. \quad (5.3.34)$$

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად

მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება $\frac{P_2}{P_1} = f\left(K, \frac{d_i}{H}\right)$.

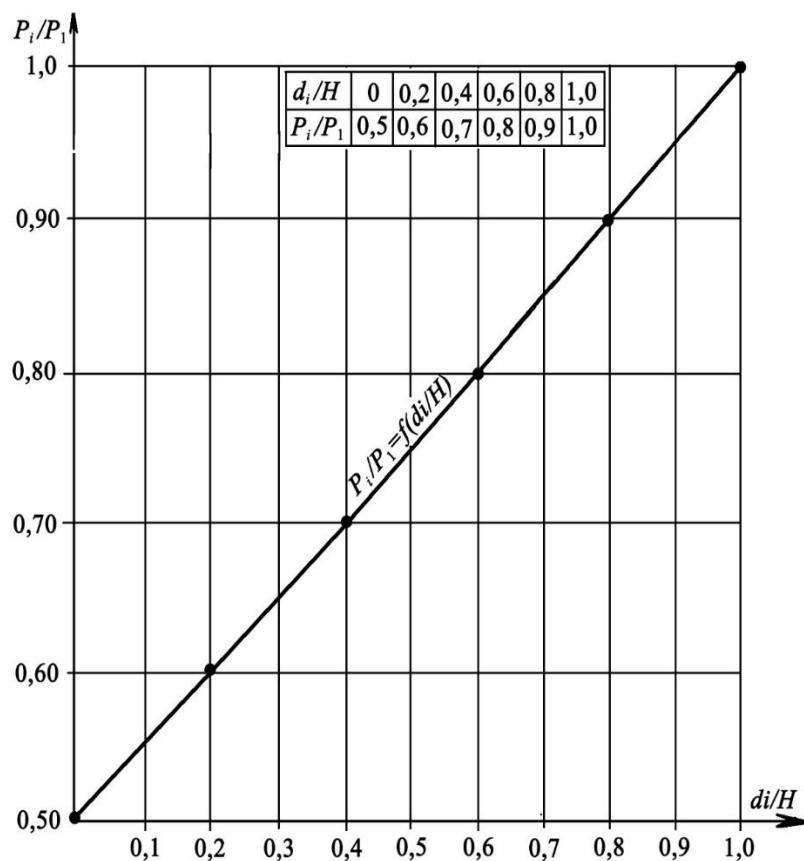


ნახ. 31. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობებზე მოქმედი ძალების ფარდობითი სიდიდეების P_2/P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი (გამჭოლობასთან და კოჭის სიგანის ნაგებობის სიმაღლესთან ფარდობის კავშირი)

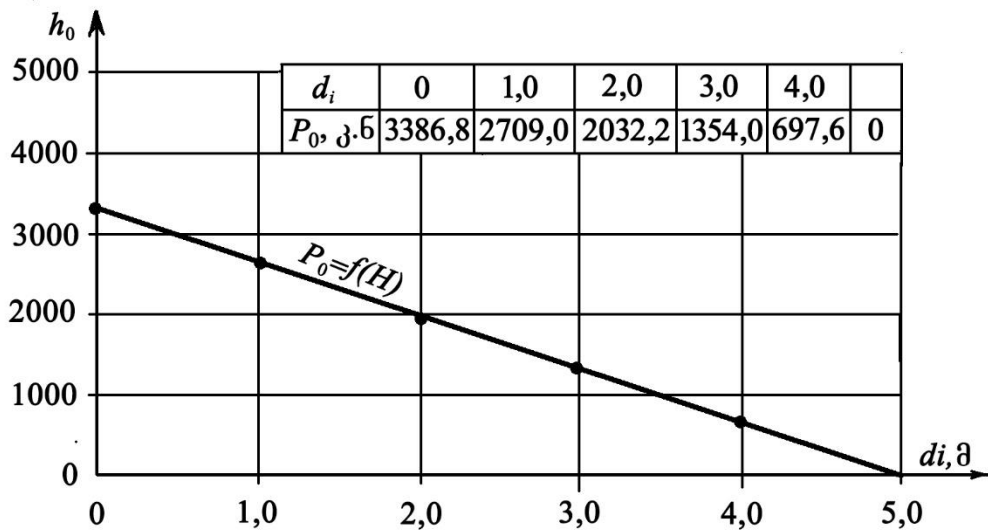
ნაგებობის სიმაღლეზე დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში მოცემულია გრაფიკული სახით (ნახ. 32).

ნაგებობის შედეგად დამრტყმელი ძალის განეიტრალების შესაძლებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მათი საჭირო რაოდენობის ცოდნის შესაფასებლად. აქედან გამომდინარე, დამჭერი P ძალის ცვლილების გრაფიკს ნაგებობის სიმაღლეზე შემდეგი სახე აქვს (ნახ. 33):

განგარიშების საფუძველზე ნაგებობაზე მოქმედი ძალის განეიტრალებას, რომელიც (33)-ე ნახაზზეა მოცემული, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება დასაპროექტებელი ნაგებობის რაოდენობის შერჩევის დროს.



ნახ. 32. ნაგებობის ყრუ ნაწილის ცვლილების დროს დამრტყმელი ძალის ცვლილების გრაფიკი $P_i / P_1 = f(d_i / H)$ ფარდობით სიდიდეებში

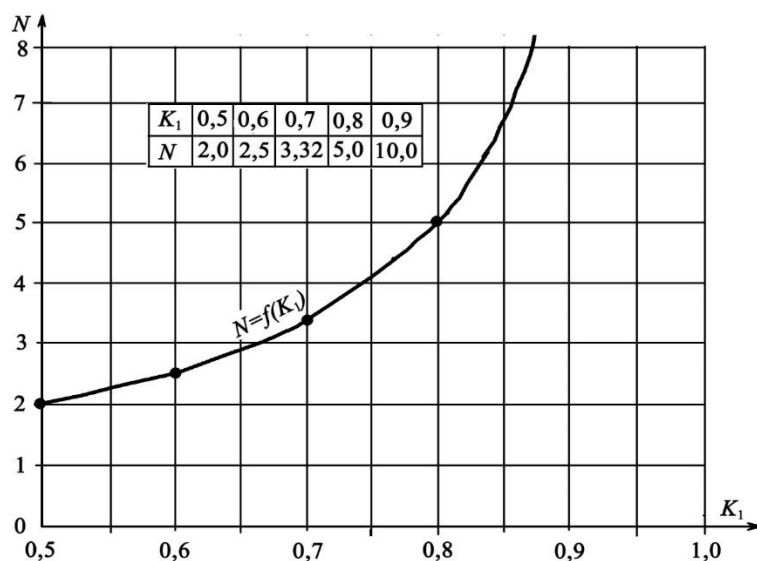


ნახ. 33. დამჭერი ძალის ცვლილების დამოკიდებულება ნაგებობის სიმაღლესთან კავშირში

განგარიშებით მიღებული მოქმედი ძალის საფუძველზე, როცა გამჭოლობის კოეფიციენტი K -ს, ხოლო სიერუს კოეფიციენტი K_1 -ის ტოლია, ნაგებობათა რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$N = \frac{P}{P - P_{გრ}} = \frac{1}{1 - K_1} \quad (5.3.35)$$

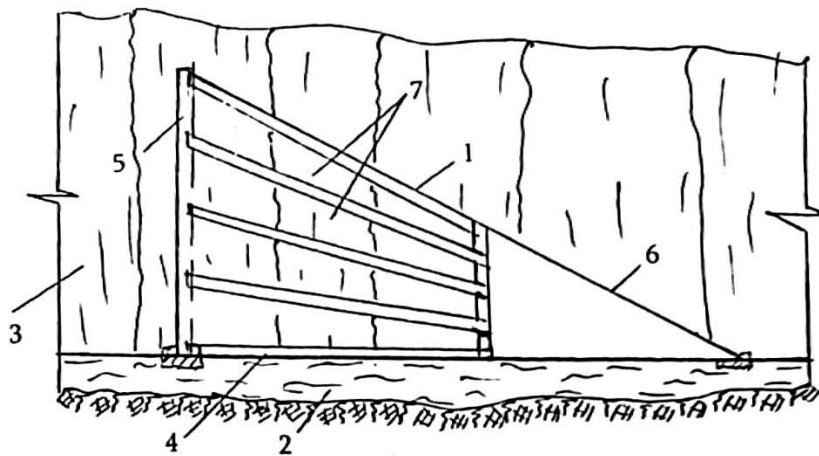
ზოგადად, სიერუს ცვლილების საფუძველზე, ნაგებობათა რაოდენობა გრაფიკული სახით მოცემულია ნახაზზე (34).



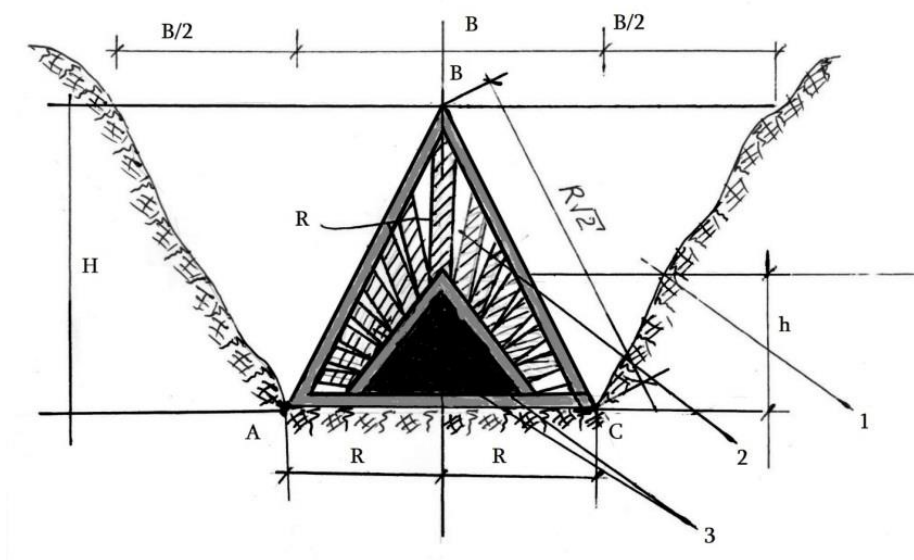
ნახ. 34. ნაგებობის რაოდენობის დამოკიდებულება სიერუს კოეფიციენტთან

გ) პირამიდული გამჭოლი ნაგებობა

ნაგებობა პირამიდების სისტემით არის წარმოდგენილი, მისი გაანგარიშების მიზნით ვიღებთ ერთ პირამიდას, ხოლო ნაკადის ძალური შეფასების მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ ჰიდრავლიკისა და ჰიდროლოგიის საანგარიშო დამოკიდებულებები. ასეთი სახით წარმოდგენილ კონსტრუქციაზე გამჭოლი კოჭების განლაგების შედეგად ღრეჩოებს შეიძლება ჰქონდეს ტრაპეციის ან სამკუთხედის ფორმა. ნაგებობის ჭრილების სქემები (35) და (36) ნახაზებზეა მოცემული.



ნახ. 35. პირამიდული ნაგებობის გრძივი ჭრილი



ნახ. 36. პირამიდული ნაგებობის განივი ჭრილი

წარმოდგენილ ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესაფასებლად ნაგებობის საანგარიშოდ გამოიყენება ნახ. 36. კონსტრუქციული ზომების შერჩევის მიზნით ქვემოთ მოგვყავს საანგარიშო დამოკიდებულებები. პირამიდის სამკუთხა ფუძის შემთხვევაში, როცა კალაპოტის სიგანე B -ს და ნაგებობის სიმაღლე $H = B/2 = R$ -ს ტოლია, ასეთ შემთხვევაში ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის ფერდების სრული სიგრძე $2R\sqrt{2}$ -ის ტოლი იქნება.

- ნაგებობის ყრუ და გამჭოლი ნაწილის დამაკავშირებელი კოჭის სიგრძე

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{n(d+D)-D}{2\sqrt{2}\sin \alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.36)$$

- ყრუ ნაწილის სიგრძე

$$l = \frac{nd}{2\sqrt{2}\sin \alpha} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.37)$$

- ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ღრეჩოს მაქსიმალური ზომა აიღება ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრის ტოლი;
- გამჭოლობის კოეფიციენტი, როცა ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის ფართობი ω_{\square} -ს და ნაგებობით კალაპოტის გადაკვეთის მთლიანი ფართობი ω -ს ტოლია:

$$K = \frac{\omega_{\square}}{\omega} = 0,5 + 0,5 \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2; \quad (5.3.38)$$

- საანგარიშო სქემის მიხედვით, როცა კოჭის სისქე d -ს და კოჭებს შორის ღრეჩოს სიგანე D -ს ტოლია, მაშინ ნაგებობის სიმაღლე:

$$H = \frac{n(d+D)-D}{2\sqrt{2}} \quad (\text{მ}), \quad (5.3.39)$$

სადაც n – ნაგებობის ბოლოს პირამიდის გვერდითი ზედაპირი ფერდებზე განლაგებული კოჭების რაოდენობაა;

- ნაგებობით დაკავებული ღვარცოფის ფართობი

$$\omega = \frac{[n(d+D)+D]^2}{4} \quad (\text{მ}^2); \quad (5.3.40)$$

- ნაგებობის ყრუ ნაწილის სიმაღლე

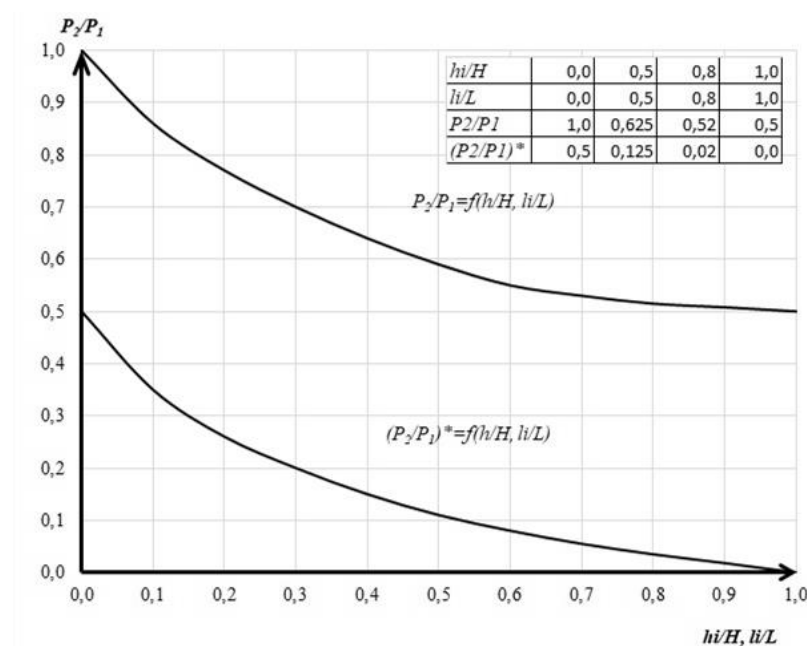
$$h = \frac{nd}{2\sqrt{2}} \text{ (მ)}, \quad (5.3.41)$$

– სამკუთხა ფორმის ღრეჩოების შემთხვევაში კოჭების მაქსიმალური რაოდენობა

$$n = \frac{2\sqrt{2} H + D}{d + D} \text{ (ცალი)}, \quad (5.3.42)$$

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფა-

სებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება $K = \frac{P_2}{P_1} = f\left(\frac{h_i}{H}; \frac{l^i}{L}\right)$



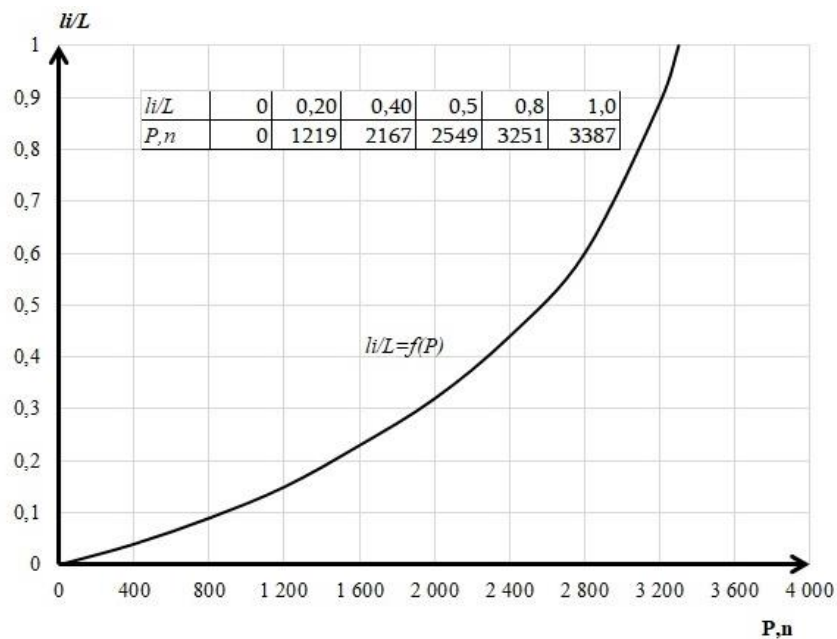
ნახ. 37. გრაფიკული დამოკიდებულება $(P_2 / P_1) = f(h_1 / H; l_i / L)$
და $(P_2 / P_1)^* = f(h_1 / H; l_i / L)$ ნაგებობის ელემენტების
 h_1 / H და l_i / L ცვლილების დროს

ანალოგიურად, ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით დამრტყმელი ძალის სიგრძეზე ცვალებადობა ყრუ ან გამჭოლობის ნაწილის სიგრძესთან არის დაკავშირებული და გამჭოლობის სიდიდე მათი ფარდობის ფუნქციას წარმოადგენს;

$$K = 0,5 + 0,5 \left(1 - \frac{l_i}{L}\right)^2. \quad (5.3.43)$$

ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის გასაანგარიშებლად გამოიყენება იგივე საანგარიშო დამოკიდებულებები, რომლებიც გამოყენებული იქნა ნახევრად კონუსური და ცილინდრული ნაგებობების გაანგარიშების დროს

ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში (ყრუ ნაწილზე მოქმედი ძალის მთლიან ნაგებობაზე მოქმედ ძალასთან ფარდობის შემთხვევაში) გრაფიკის სახით მოცემულია ნახ. 38-ზე.

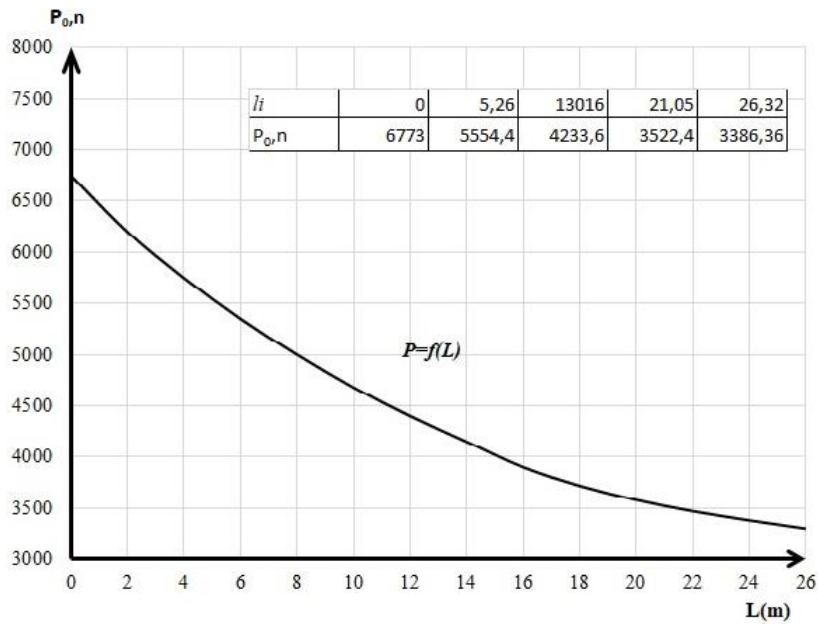


ნახ. 38. ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში

დამრტყმელი ძალის განეიტრალების შესაძლებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა გააჩნია ნაგებობათა რაოდენობის შერჩევის თვალსაზრისით. აქედან გამომდინარე, ნარჩენი P_0 ძალის სიდიდის ცვლილების სურათი, გაანგარიშების საფუძველზე, მოცემულია ნახ. 39-ზე.

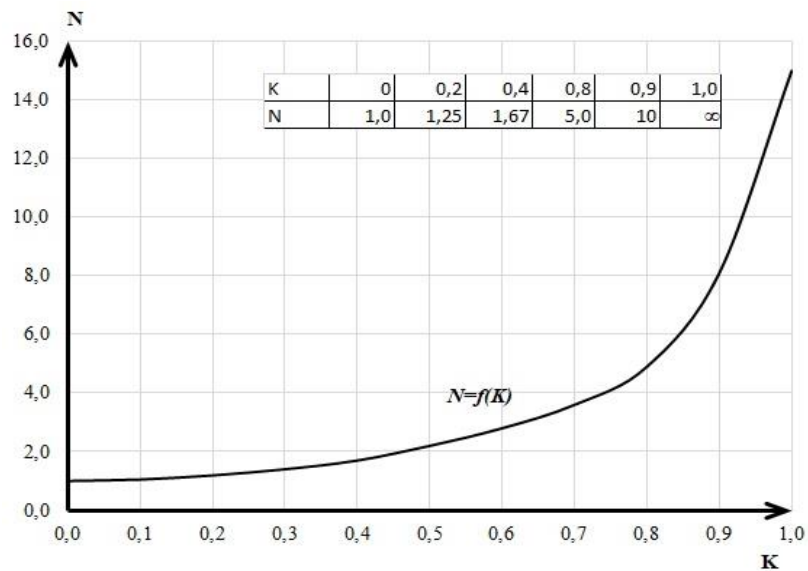
დამრტყმელი ძალის სრულ განეიტრალებაში განმსაზღვრელი როლი გააჩნია ნაგებობათა რაოდენობას, რომელიც, როცა გამჭოლობის კოეფიციენტი K -ს ტოლია, განისაზღვრება ფორმულით:

$$N = \frac{1}{1 - K}. \quad (5.3.44)$$



ნახ. 39. ნარჩენი ძალის დამოკიდებულება ნაგებობის სიგრძესთან კავშირში

თვალსაჩინოების მიზნით ნაგებობათა რაოდენობის შერჩევა შეიძლება განხორციელდეს $N = f(K)$ გრაფიკული დამოკიდებულების საფუძველზე (ნახ. 40).



ნახ. 40. ნაგებობის გამჭოლობასა და რაოდენობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$

შემოთავაზებული ნაგებობის საპროექტო პარამეტრების მიღებული

მნიშვნელობები და კონსტრუქციული გადაწყვეტა გვიჩვენებს, რომ იგი ღვარცოფებთან ბრძოლის ეფექტურ საშუალებად შეიძლება იქნეს მიჩნეული და ამასთან ერთად ნაკლებ გავლენას ახდენს ეკოლოგიურ წონასწორობაზე. მისი ექსპლუატაცია არის მარტივი, მეორადი რესურსების გამოყენების გამო მნიშვნელოვნად მცირდება მისი სამშენებლო ღირებულება.

დ) ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი

არსებული ნაგებობებისაგან განსხვავებით, ელასტიკური ბარაჟის ინოვაცია კონსტრუქციულ გადაწყვეტაშია წარმოდგენილი. იგი შესრულებულია თანაბარი სიმაღლის მქონე ფუძეებით ერთმანეთთან დაკავშირებული სამკუთხა პრიზმებით, რომლებიც იდგმება ღვარცოფსადინარის კალაპოტში.

სტიქიასთან ბრძოლის დროს კონსტრუქცია სექციების სახით არის წარმოდგენილი და მასში ჩაკიდული ბაგირები შექმნილი ელასტიკური ბადის შედეგად სადაწნეო ზედაპირს მრუდწირული ფორმა გააჩნია. ნაგებობის სიმაღლე და დინების მიმართულებით პრიზმების ფუძეების სიმაღლეები იზრდება და იგი ტრამპლინის სახით არის წარმოდგენილი.

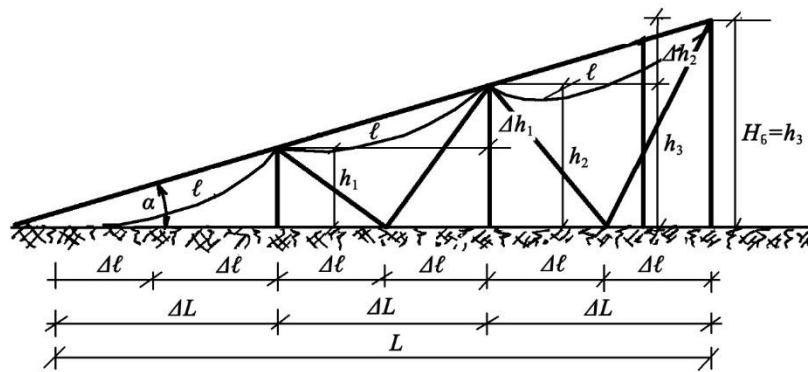
ნაგებობის სადაწნეო მრუდწირულ ზედაპირს გრძივი და განივი ბაგირების განლაგების გამო სამკუთხედის ღრეჩოს ფორმა სწორკუთხედის სახითაა წარმოდგენილი. ღრეჩოს ზედაპირი დამრტყმელი ძალის მიმართ ვერტიკალურ სიბრტყეში შეიძლება კვადრატის ფორმითაც იყოს წარმოდგენილი.

ნაგებობის განივი კვეთის სიდიდე და სიგრძე ღვარცოფის სიმძლავრეზე და სტრუქტურაზეა დამოკიდებული. საავტორო უფლების მქონე ნაგებობა, რომელიც ნახ. 20-ზეა მოცემული, შემადგენელი ელემენტების განლაგების შემდეგი სახით არის წარმოდგენილი: სამკუთხა პრიზმები (3), სამკუთხა პრიზმების ფუძეები (4), პრიზმების ფუძეების წახნაგები (5), პრიზმების წიბოები (7), ჩასამაგრებელი ტროსების ხვრელები (8) ან ამ ადგილებზე შეიძლება მოეწყოს ბადეების ჩამოსაკიდი კაუჩები; გრძივი (1) და

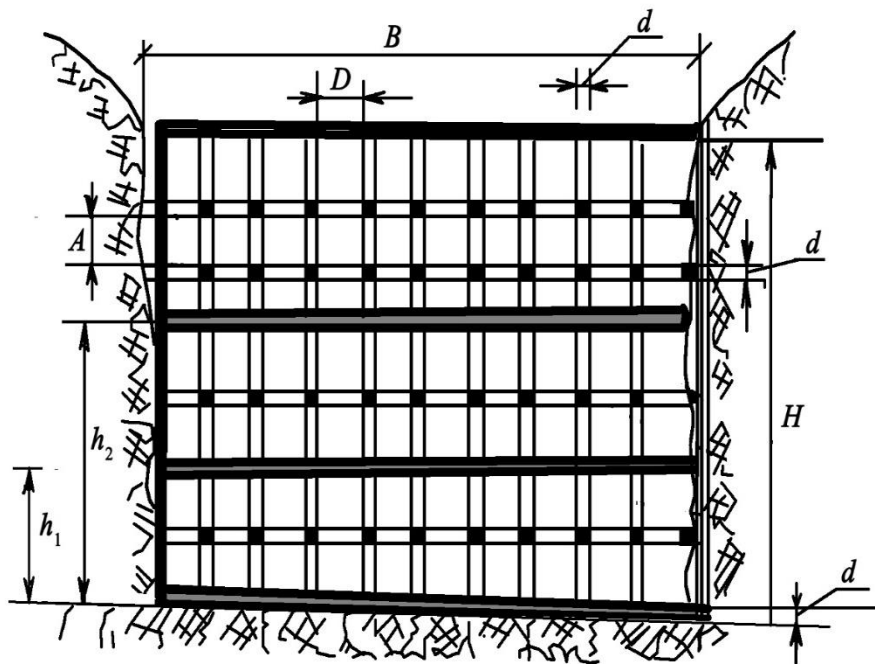
განივი (2) დრეკადი ბაგირები.

ნაგებობის სიმაღლე დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით იზრდება, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში გამჭოლი ღრეჩოს ფართობის სიდიდე სექციების მიხედვით უცვლელია.

წარმოდგენილი ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების განლაგება და მათი გაანგარიშების შესაძლებლობა სქემების სახით მოცემულია ნახ. 41-ზე და ნახ. 42 -ზე.



ნახ. 41. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის გრძივი ჭრილი



ნახ. 42. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის განივი ჭრილი

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევის დროს გამოიყენება სრულიად ახალი მიდგომები და გაანგარიშების მეთოდოლოგია. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის ელასტიკურობის დროს, როცა კალაპოტის სიგანე B -ს ტოლია და ნაკადის ზემოქმედება მისი ზედაპირის მთელ სიგანეზე ხდება, კონსტრუქციული მდგრადობიდან გამომდინარე, სიმაღლე აიღება მისი სიგანის ნახევრის ტოლი $H_{ნაგ} = B / 2$, სამკუთხა პრიზმების შექმნილი სექტორების რაოდენობა და მათი სიგრძე მდგრადობის გაზრდის მიზნით ფუძეში მიიღება ერთმანეთის ტოლი $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots, \Delta L_n$.

- ნაგებობის სიგრძე, როცა სიმაღლე H -ის ტოლია

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} \text{ (მ);} \quad (5.3.45)$$

- ნაგებობის სიგრძე სექციების N რაოდენობიდან გამომდინარე

$$L = N \Delta L \text{ (მ);} \quad (5.3.46)$$

- ნაგებობის სიმაღლე, როცა

$$H = \sin \alpha L \text{ (მ);} \quad (5.3.47)$$

- ნაგებობის სიმაღლის სიგრძესთან ფარდობის ცვლილების ზღვრები

$$\frac{1}{6} \leq \frac{H}{L} \leq \frac{5}{18}; \quad (5.3.48)$$

- ნაგებობის ფუძესთან დახრის კუთხე ნაკადის გარსადენის პრინციპიდან გამომდინარე

$$\alpha = (11^\circ \div 13^\circ); \quad (5.3.49)$$

- ნაგებობის სექციებში ჩასაკიდებელი ბადეების სიგრძეები

$$l = \Delta L + \Delta h = \Delta L(1 + \tan \alpha) \text{ (მ);} \quad (5.3.50)$$

- ნაგებობის სიგანე, როცა ცნობილია ბაგირების განივი კვეთის სიგანე d და ბაგირებს შორის დაცილება D

$$B = nd + (n-1)D \quad (\text{მ}); \quad (5.3.51)$$

- ნაგებობის სიმაღლე, როცა სიგანის მნიშვნელობა $\frac{B}{2}$ -ის ტოლია

$$H = \frac{nd + (n-1)D}{2} \quad (\text{მ}); \quad (5.3.52)$$

- ტროსების რაოდენობა სიგრძეზე

$$n = \frac{1}{2} \cdot \frac{B + 2D}{d + D} \quad (\text{ცალი}); \quad (5.3.53)$$

- ტროსების რაოდენობა სიგანეზე

$$n = \frac{B + D}{d + D} \quad (\text{ცალი}); \quad (5.3.54)$$

- ყრუ ნაწილის სისქე სიმაღლეზე და სიგანეზე

$$d^* = nd \quad (\text{მ}); \quad (5.3.55)$$

- ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის ფართობი

$$\omega_{\circ} = (n-1)D \frac{(n-1)D}{2} = \frac{(n-1)^2 D^2}{2} \quad (\text{მ}^2); \quad (5.3.56)$$

- ნაგებობის მთლიანი ფართობი განივკვეთში

$$\omega = [nd + (n-1)d]^2 \quad (\text{მ}^2); \quad (5.3.57)$$

- ნაგებობის გამჭოლობის კოეფიციენტი

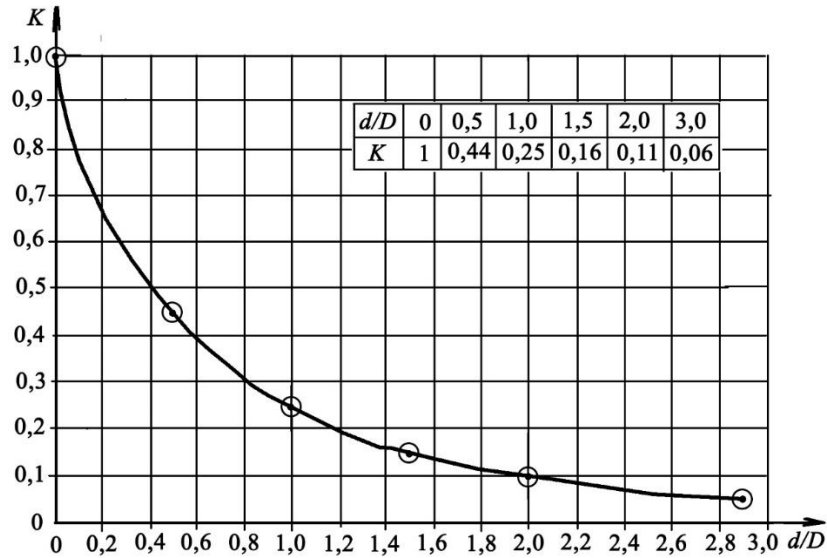
$$K = \frac{\omega_{\text{გამ}}}{\omega} = \frac{\left(1 - \frac{d}{B}\right)^2}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2}; \quad (5.3.58)$$

რადგან ფარდობითი სიდიდე $\frac{d}{B}$ ძალზე მცირეა და თითქმის არ ახდენს გავლენას ნაგებობის გამჭოლობაზე, გამჭოლობის კოეფიციენტი შეიძლება განსაზღვრულ იქნას ფორმულით:

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2}; \quad (5.3.59)$$

გრაფიკული დამოკიდებულება $K = f\left(\frac{d}{B}\right)$ ბაგირების დიამეტრის

გამჭოლობის სიდიდესთან ფართობის სხვადასხვა სიდიდეების შემთხვევის დროს გრაფიკის სახით მოცემულია ნახ. 43-ზე.



ნახ. 43. გამჭოლობის K კოეფიციენტის ცვლილების სურათი ტროსისა და გამჭოლობის ღრეჩოს სიდიდის ფართობის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს

ღვარცოფის დინამიკური ზემოქმედებისას, როცა ბაგირის სიგრძე ნაგებობის სიმაღლის ტოლია, ღვარცოფის მოცულობითი წონა უდრის γ -ს, ცოცხალი კვეთის ფართობი – ω -ს, ნაკადის სიჩქარე – V -ს, ნაგებობის ფუძესთან დახრის კუთხე – α , შინაგანი ხახუნის კუთხე – φ , ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმე – h_0 , ნაკადის სიღრმე – H -ის, სიჩქარის ცვლილების კოეფიციენტი α^* -ს ტოლია

$$P_1 = \frac{\alpha^* \gamma \omega V^2}{g} \sin \alpha f(m) \quad (5.3.60)$$

სადაც
$$f(m) = \frac{16 - (a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \quad (5.3.61)$$

გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი ძალის სიდიდე

$$P_2 = \frac{\gamma \omega V^2}{g} \sin \alpha f(m); \quad (5.3.62)$$

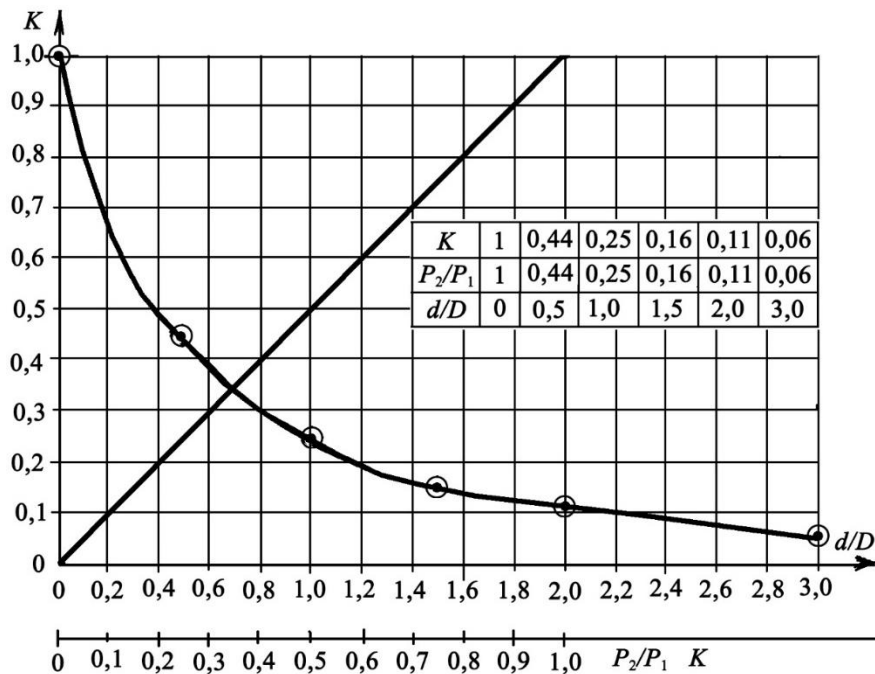
გამჭოლობის კოეფიციენტი

$$\frac{\omega_1}{\omega} = K = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} \quad (5.3.63)$$

შესაბამისად, გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი ძალა

$$P_2 = \frac{\gamma \omega V^2 \sin \alpha}{g} \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} f(m) \quad (5.3.64)$$

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება $\frac{P_2}{P_1} = f\left(K, \frac{d}{D}\right)$

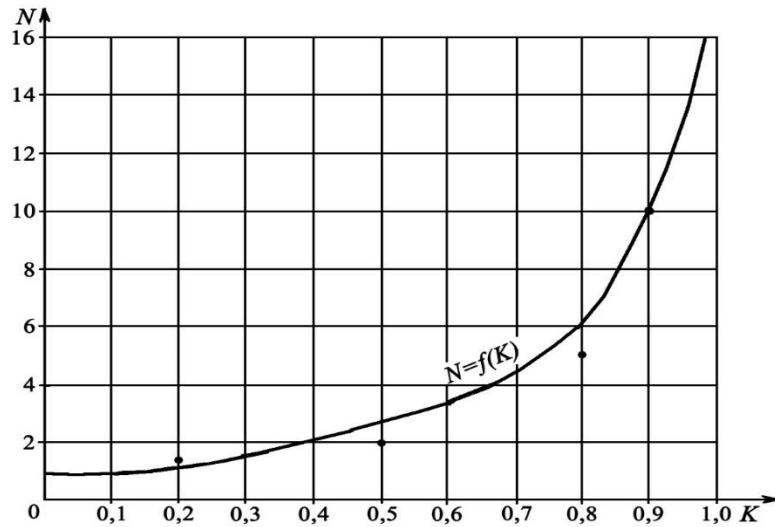


ნახ. 44. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი ძალის ფარდობითი სიდიდის P_2 / P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი გამჭოლობასთან და ზაგირის d დიამეტრის გამჭოლობის D სიგანის ფარდობასთან კავშირში

დამრტყმელი ძალის სრული განეიტრალების დროს ნაგებობათა რაოდენობის დადგენის დროს გამოიყენება ფორმულა

$$N = \frac{1}{1 - K}. \quad (5.3.65)$$

თვალსაჩინოების მიზნით მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება ნაგებობის გამჭოლობის კოეფიციენტსა და რაოდენობას შორის.



ნახ. 45. ნაგებობის გამჭობობასა და რაოდენობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$

ღვარცოფთა ნაგებობაზე ზემოქმედების ამოცანების განხილვის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული აკადემიკოს ო. ნათიშვილის მიერ დასაბუთებული ნაკადის მოძრაობის თავისებურება. როცა ღვარცოფი მოძრაობს საგრადიენტო შრით და გულით, ასეთი შემთხვევის დროს ნაკადის მოძრაობის პირობა უზრუნველყოფილია ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმის ნაკადის სრულ სიმაღლესთან ფარდობის ზღვრებით და იგი ნაკლები უნდა იყოს 0,67-ზე $h_0 / H < 0,67$. სხვა შემთხვევაში ნაკადი არ მოძრაობს და მისი ზემოქმედების შესაძლებლობა ნაგებობების ზედაპირზე არ განიხილება.

დასკვნები

➤ ღვარცოფების რეგულირებაზე ჩატარებული კვლევის შედეგების რანჟირებით გამოიკვეთა, რომ მათი სადინარების გეგმაში კონფიგურაციის, ფუძის ქანობის, მორფომეტრიული ჰიდრაულიკური პარამეტრების ცვლილების სურათის მიხედვით გამოიკვეთა ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების და საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანის სირთულე და ლაბორატორიული კვლევების ჩატარების აუცილებლობა;

➤ კვლევის ობიექტზე ფაქტორთა ზემოქმედების შესწავლის მიზნით გამოყენებულია ლაბორატორიული კვლევების სტანდარტული და მოდიფიცირებული მეთოდები. ღვარცოფსარეგულაციო ბარაჟზე ღვარცოფის ზემოქმედების მოდელირებისა და ექსპერიმენტების დაგეგმვის მეთოდების გამოყენებით ღვარცოფთა სახეობების გათვალისწინებით დაზუსტებულია ნაგებობათა ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობები;

➤ სტრუქტურულ-მაჩვენებლიანი მოდელით დისკრეტულობიდან უწყვეტ ტანამდე ტრანსფორმირებული ღვარცოფისათვის განივი ძალის დადგენის მიზნით გამოყენებული იქნა გრუნტების მექანიკაში აპრობირებული ანალოგები, კერძოდ მხები ძაბვის საფუძველზე შედგენილი იქნა ღვარცოფთა დაწნევიანი და უდაწნეო მოძრაობის მოდელები და ღვარცოფსატარ ნაგებობებში ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების საანგარიშო დამოკიდებულებები;

➤ ღვარცოფთა ნაგებობებით უსაფრთხო ტრანზიტის, მათზე გადადინების და საანგარიშო მახასიათებლების განსაზღვრის მიზნით დადგენილ იქნა შემხვედრი წინააღმდეგობების ოპტიმალური ზომები და ღვარცოფსადინარების გეომეტრიის მახასიათებლები;

➤ ღვარცოფთა პარამეტრების და შემოთავაზებული კონსტრუქციული გადაწყვეტის საფუძველზე გამოიკვეთა მათი ურთიერთშერწყმის შესაძლებლობა, რის საფუძველზე ადვილად გადასაწყვეტი გახდა რეგულირების კონსტრუქციული ელემენტების განსაზღვრის მეთოდოლოგიის შერჩევა;

➤ ფორმირებულ ღვარცოფთა მოძრაობის ტალღური ფორმით ჩამოყალიბებით ნათლად იკვეთება კრიტიკული ინფრასტრუქტურის გაძლიერებული რღვევის შესაძლებლობები, აღნიშნული გახდა საფუძველი როგორც ინოვაციური ნაგებობის შექმნაში, ისე ბრძოლის სტრატეგიის შემუშავებაში. ღვარცოფების რეგულირების მიზნით შემოთავაზებულია ინოვაციურ ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობათა სახეები, რომელზეც მიღებულია პატენტი, ხოლო ბრძოლის სტრატეგიის თვალსაზრისით ეფექტურად მიჩნეული იქნა გრძივი ნეგებობები;

➤ ღვარცოფსარეგულაციო ობიექტების პროექტირების პარამეტრები, რომელსაც თავის მხრივ განსაზღვრავს მოსალოდნელი ღვარცოფების სიმძლავრე და დარტყმითი შესაძლებლობები, შეფასებულ იქნა ინოვაციურ მოდელებზე დაყრდნობით, ჰიდრავლიკური კლასიკური კანონების და დარგში არსებული მიღწევების შესაბამისი დონის სრულ შესატყვისობაში;

➤ დადგენილია ბმული ღვარცოფების შემფოთების წარმოქმნის დამრტყმელი ტალღის ნაგებობებზე ძალური ზემოქმედების შესაძლებლობები და გამოყვანილია საანგარიშო დამოკიდებულებები;

➤ ღვარცოფული მოვლენების ძალური ზემოქმედების შესაძლებლობები საფუძვლად დაედო როგორც ნაკადებთან ბრძოლის სტრატეგიის მიმართულების შეცვლა, ის სხვადასხვა კონფიგურაციის ახალი კონსტრუქციების საპროექტო ელემენტების დაგეგმარების, გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფის საფუძველი გახდა, მიღებული დამოკიდებულებების პრაქტიკული რეალიზაციით შესაძლებელია როგორც სამშენებლო ნორმების და წესების სრულყოფა, ასევე მიღებული კვლევის შედეგებით შესაძლებელი გახდება მეცნიერულად დასაბუთებული ღონისძიებების პრაქტიკაში დანერგვა და კომპლექსურად გამოყენება გარემოს დაცვაში.

გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. Беручашвили Г.М. «Метод определения максимальных расходов селевых потоков в момент их возникновения». В кн.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, 1979, с. 40-55.
2. Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Беручашвили Г.К. – Гидравлической теории потоков лавинного характера. Тр. Зак НИИГимМ, 1970, вып. 37(43), стр. 29-69.
3. Гагошидзе М.С. – Селевые явления и борьба с ними. Издательство "Сабчота Сакартвело", Тбилиси, 1970, 387 стр.
4. Гагошидзе М.С. – Способы защиты от селевых потоков объектов, расположенных на конусе выноса горного водотока. Тр. Груз. НИИГимМ, вып. 23, 1965, стр. 137-158.
5. Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г. – Экспериментальная установка по изучению селевых потоков и паводков. ТР. ГрузНИИГИиМ, Тбилиси, 1965, вып. 23, с. 175-184.
6. Виноградов Ю.Б. – Этюды о селевых потоках. Л., Гидрометеиздат, 1980, 144 стр.
7. Виноградов Ю.Б. – О структуре и динамике селевой массы. Селевые потоки. Гидрометеиздат, сб. 2, 1977, стр. 2-26.
8. Тевзадзе В.И., Гавардашвили Г.В. – Установление расходов турбулентных селевых потоков с учетом гидрологических показателей водосбросного бассейна. Сообщения АН Грузии, т. 148, №1, 1993, стр. 77-79.
9. Тевзадзе В.И., Кухалашвили Э.Г., Квирквелия И.Б. – Трехслойная модель движения (высококонтрированного) селевого потока, селевые потоки. Сб. 8., Гидрометеиздат, 1984, стр. 29-32.
10. Тевзадзе В.Н., Каладзе Б.Л., Кухалашвили Е.Г. – Критериальные значения сложности селевых смесей высокой плотности. Прогноз и борьба с

- эрозией почв. Сб. Научных трудов НИИГиМ, Тбилиси, 1987, стр.119-125.
11. Иорданишвили З.С., Сохадзе А.Д. – К вопросу об ударном воздействии структурного селевого потока на сквозные сооружения. Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. М., 1974, вып. 3, стр. 48-54.
 12. Кереселидзе Н.Б. – К проблеме устойчивости течения потока и его твердых границ в размываемых грунтах. Тбилиси, Мецниереба, Труды ТНИСГЭИ, 1968 вып. 1, стр. 38-65.
 13. მამასახლისი ჟ. – კატასტროფული წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების გაანგარიშება და პროგნოზირება (დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა მაგალითზე). ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტი. სამეცნიერო შრომები, 1996, ტ. №2. გვ. 72-78.
 14. მამასახლისი ჟ., კუხალაშვილი ე., ომსარაშვილი გ. – არაპრიზმულ კალაპოტებში მუდმივი სიღრმის ბმული ღვარცოვის მოძრაობის განტოლება. აგრარულ მეცნიერების პირობები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XII თბილისი, 2001.
 15. Mirtskhoulava Ts. – Ecological breakdowns (prediction of risk of breakdown, measures for lowering the hazard). Tbilisi, 1993, 432 p.
 16. Mirtskhoulava Ts.E. – Hazards and Risk (al some water and other systems. Types, Analysis, Assessment). 2 Books. Tbilisi, "Metsniereba", 2003, 807 p. (in Russian).
 17. Mirtskhulava Ts. – Reliability of Hydro-Reclamation Installations. A.A. Balkema, Rotterdam, 1987, 33 p.
 18. Мирцхулава Ц.Е. – Противозерозионные гидротехнические сооружения. Тбилиси, изд-во "Мециереба" ("Наука"), 2005, 270 стр.
 19. Мирцхулава Ц.Е. – Современные СТМИ возможности предсказания уязвимости состояния территорий и объектов для катастрофических селей. Ж. "Геоэкология" №1, Тбилиси, 2006, ст. 57-65.

20. Мирцхулава Ц.Е. – Оценка риска повреждения противоселевых сооружений. Труды ВНИИГиМ, вып. 4, М., 1975, стр.48-62.
21. Мирцхулава Ц.Е. – Надежность гидромелиоративных сооружений. М., Колос, 1984, 280 стр.
22. Мирцхулава Ц.Е. – Надежность систем осушения. М., Колос, 1985. 240 стр.
23. Мирцхулава Ц.Е. – Некоторые приложения математической теории катастроф к задачам гидротехники и мелиораций. Вопросы мелиорации в горных и предгорных условиях. Сборник научных трудов Тбилиси 1988, стр. 89-102.
24. Мирцхулава Ц.Е. – Оценка частоты появления селей. Ж. "Гидротехническое строительство", №5, М., 1997.
25. Натишвили О.Г., Урушадзе Т.Ф., Гавардашвили Г.В. – Волновое движение склонового стока и интенсивность эрозии почво-грунтов. Институт Водного Хозяйства Грузинского Технического Университета. ООО Издательство «Научтехлитиздат» Москва, 2014, 162 стр.
26. Натишвили О.Г., Круашвили И.Г. – Защита инфраструктуры объектов от селевых потоков (экологические проблемы), "LAP-Lambert Academic Publishing", Германия, 2016, 104 стр.
27. Натишвили О.Г., Круашвили И.Г. – Экологические проблемы защиты объектов от вредного воздействия селевых потоков. Ж. "Экологические системы и приборы", №7, 2015, стр. 20-30.
28. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И., Иорданишвили З.С. – К установлению скорости структурного селевого потока на прямолинейных участках русла. Тр. ГрузНИИГиМ, вып. 22, Тбилиси, 1963, стр. 243-248.
29. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Волны в селях. ООО Издательство «Научмехиздат», М., 2011, 160 стр.
30. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Волны в связных селевых потоках. Ж.

"Метеорология и гидрология", М., №2, 2003. стр. 91-96.

31. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Гидравлические закономерности связанных селей. Тбилиси, «Мецниереба», 1996, 156 стр.
32. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Движение селей и их взаимодействие с сооружениями. Тбилиси. 2001, 148 стр.
33. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Одномерные наносонесущие русловые потоки. Москва, ООО издательство «Научнотехиздат», 2012, 192 стр.
34. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Основы динамики в селях, Тбилиси, 2007, 214 стр.
35. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Работа водного потока по перемещению камня и прогнозирование экологической ситуации в русле горного водотока. Ж. "Инженерная экология", №5, Москва, 2002, стр. 34-38.
36. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Установление высоты волны повышения при входе связанного селевого потока в напорных сооружениях. Ж. "Гидротехническое строительство", М., №5, 2005, стр. 20-26.
37. Натишвили О.Г., Урушадзе Т.Ф., Гавардашвили Г.В. – Влияние волнообразного движения склонового стока на интенсивность эрозии почв. Сборник Научных Трудов Института Водного Хозяйства, Грузии, №69, Тбилиси, 2014, стр. 216-220.
38. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Влияние волнового режима движения водного потока по склону на интенсивность эрозии почв. //С6. Научных трудов "Экологическая безопасность, — устойчивость и надежность водохозяйственных и гидромелиоративных объектов". Тбилиси, 2005, стр. 146-149.
39. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. – Расчетная модель почвоохранного мероприятия с использованием стеблевых растений. Ж. "Экологические системы и приборы", №9, 2006, стр. 40-45.

40. ნატიშვილი ო.გ., ტევზაძე ვ.ი. – Расширение связного селевого потока на конусе выноса. Ж. "Метеорология и гидрология", №7, 2000, стр. 97-150.
41. Natishvili O., Dzlierishvili A. – Solution of Some Practical Problems Connected with a Free Flow Motion in Cohesive Flow. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 155, No2, 1997, pp. 228-230.
42. Natishvili O., Gavardashvili G. – Dynamics of Gully-Formation by Considering the Wave Motion of Flow. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences. (ASRJEST). Vol 55, №1, 2019, pp. 17-26. [http:// asrjstjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/issue/view/81](http://asrjstjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/issue/view/81).
43. Natishvili O, Gavardashvili G. – Calculation of Impact Action of a Coherent Mudflow Current in the Wave Motion Mode on a Transverse Structure. 9th International Scientific and Technical Conference, "Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction". Tbilisi, 2019, pp. 210-214.
44. ნატიშვილი ო., თევზაძე ვ., დანელია ზ., – ღვარცოფისა და ღვარცოფსა-წინააღმდეგო ნაგებობის ჰიდრავლიკა. თბილისი, 1995, 70 გვ.
45. Vartanov M., Kukhalashvili E., Beraia N., Maisaia L. Economic Efficiency of Debris-flow Control, American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) ISSN (Print) 2313-4410, ISSN (Online) 2313-4402, 2019, pp. 22-28;
46. Алтунин В. – Деформации русел канала. М., Колос, 1972, 120 стр.
47. Херхеулидзе И.И. – К определению нагрузок от воздействия селевого потока на поперечные преграды. Тр. Зак. НИГМИ, вып. 40(46), Л. Гидрометеоиздат, 1972, стр. 76-113.
48. Херхеулидзе Н.Н. – Селевые нагрузки и способы их определения. Тр. ЗакНИИГМ, вып. 83(90), Л., Гидрометеоиздат, 1984, стр. 77-111.

49. Хмаладзе Г.Н. Редкий водо-каменный поток. „Природа“, №10, 1995, стр. 91-93.
50. Сулаквелидзе А.А., Пруидзе Д.К. – К вопросу генезиса и прогноза грязекаменных селевых потоков в селевых очагах. Сб. "Эрозионные потоки и борьба с ними", М., 1973, №2, стр. 122-125.
51. Пруидзе Д.К. – Определение уклона остановки селевых потоков. В кн. №6, М.. 1978, стр. 118-121.
52. Шатберашвили Ф.А., Сичинава О.А., Сиамашвили А.Р. – Некоторые гидравлические и гидрометрические закономерности потока в устойчивых руслах. Сообщ. АН Грузии, 1999, стр. 454-457.
53. Яно К., Даидо А. – Фундаментальные изучения грязекаменных потоков. Труды Института Защиты от Стихийных Бедствии, т. 14, часть 2, Киото, 1985, стр. 69-93.
54. Яно К., Даидо А. – Фундаментальные изучения грязекаменных селевых потоков. Труды института Защиты от Стихийных Бедствий», ч. 1 , 1981, стр. 68-93.
55. ხუცურაული ბ. – ბმული ღვარცოფის ფორმირება და საანგარიშო ხარჯის პროგნოზირება. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები“, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XIII, თბილისი, 2001. გვ. 139-144.
56. Aratano M., Deganutti A. M. – Mazchil Debris Flow Monitoring Activities in an Instrumental Watershed on the Italian Alps. //Debris-Flow Hazard Mitigation. Proceeding of First International Conference. San Francisco, 1997, ASCE, pp. 506-515.
57. გავარდაშვილი გ., ჩახაია გ. – საქართველოს ძირითადი ღვარცოფული ტიპის მდინარეთა აუზების ტიპოლოგია და მათი შეფასება. „საქპიდროეკოლოგიის“ ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2005, გვ. 12-19.

58. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Natroshvili G., Qufarashvili I. – The Research of Water Levels in the Zhinvali Water Reservoir and Results of Field Research on the Debris Flow Tributaries of the River Tetri Aragvi flowing in it. International Conference on engineering and technology. WASET, Rome, Italy, January 17, 2019, pp. 702- 705.
59. Gavardashvili G., Kukhalashvili E, Supatashvili T., Kuparashvili I., Bziava K., Natroshvili G. – Field Survey and Assessment of Ecological Processes Occurring in the Water Area of Zhinvali Reservoir. 8 International Scientific and Technical Conference, "Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction". Tbilisi, 2018, pp. 27-34.
60. გავარდაშვილი გ. – ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. თბილისი, გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
61. გავარდაშვილი გ. – ბმული ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, თბილისი, 1995, ტ. 151, №3, გვ. 444-447, (თანაავტორობით).
62. გავარდაშვილი ნ. – თბილისის მოსახლეობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა მდინარე ვერეს წყალშემკრებ აუზში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების რეგულირების გათვალისწინებით. თბილისი, 2017, 42 გვ.
63. Gavardashvili G. – Forecasting of erosion – mudflow processes in the Duruji river basin and new engineering and environmental measures. Tbilisi, Mecniereba, 2003, 116 p.
64. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Natroshvili G., Bziava K., Quparashvili I. – The Research of Water Levels in the Zhinvali Water Reservoir and Results of Field Research on the Debris Flow Tributaries of the River Tetri Aragvi Flowing in it. Conference Proceedings, Rome, Italy, Jan.17-18, 2019, Part V, pp. 813-820.

65. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Iremashvili I., Quparashvili I., Bziava K., Natroshvili G. - Using the "CAPRA" Methodology for Analysis of the Critical State of the Zhinvali Earth dam and Risks. Conference Proceedings, Istanbul, Turkey, Jan. 30-31, 2019, Part XVII, p.p .27-34.
66. Gavardashvili G. – Climate Change and Risk of Land Reclamation in Georgia. Materials of the International Anniversary Scientific and Practical Conference – "Problems of the development of agricultural land reclamation and water management complex based on digital technology", Moscow, Russia, October 23-24, 2019, pp 261-269.
67. Гавардашвили Г.В. – Компьютерная имитация наводнения в случае разрушения ингурской плотины. Сборник Научных Трудов Института Водного Хозяйства Грузии, №65, Тбилиси, 2010, стр. 42-52.
68. Гавардашвили Г.В., Чахая Г.Г., Цулукидзе Л.Н. – Оценка эрозионно-селевых явлений в бассейнах р. Терек, Белая Арагви и Дуруджи. Материалы Международной конференции по селевым. Пятигорск, 2003, стр. 22-24.
69. გავარდაშვილი გ., სუპატაშვილი თ., კუხალაშვილი ე. ნატროშვილი გ., ჭუფარაშვილი ი., ირემაშვილი ი. ბზიავა კ. – ჟინვალის მიწის კაშხლის შესაძლო ავარიის შემთხვევაში წყლით დატბორილი ტერიტორიების რისკის ზონების დადგენა და საგანგებო სიტუაციაში მოსახლეობის ქცევის წესების შეფასება. ბუკლეტი გამოიცა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის №IIL17 615 „მოწყვლადი ინფრასტრუქტურის უსაფრთხოების რისკების შეფასება მოსალოდნელი კატასტროფების ფორმირებისას“ ფინანსური მხარდაჭერით. თბილისი, გამომცემლობა „საჩინო“, 2019, 63 გვ.
70. Gavardashvili G. – Forecast of Flooded Territories By Flooding In Case of Possible Accident of Shaori Rocktill Dam. The International Conference on "Protection of Agro biodiversity and Sustainable Development of Agriculture",

November 24-25, 2010, Tbilisi, Georgia, pp. 295-299.

71. Gavardashvili G. – Forecasting of Erosion and Debris Flow Processes for the Energy Supply and Transport Corridors of Georgia Using the Theory of Reliability and Risk. First International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management (ICVRAM). April 11-13, 2011, University of Maryland, USA, pp. 813-820 (publishing ASCE).
72. Gavardashvili G. – Prediction of Flooded Territories in Case of Possible Breakdown of the Sioni Earth Dam. International Conference on VAIONT – 1963-2013, Thoughts and analyses after 50 years since the catastrophic landslide. Padua, Italy, 8-10 October, 2013, pp. 417-423.
73. Gavardashvili G., Ayyub B.M. – The Field Investigation of Erosion and Debris Flow Processes in Catchments Basin of the Duruji River. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment. Padua, Italy, 14-17 June 2011, pp. 63-71.
74. Gavardashvili G., Ayyub B.M., Sobota J., Bournaski E., Arabidze V. – Simulation of Flood and Mud Flow Scenarios in Case of Failure of the Zhinvali Earth Dam. International Symposium (With the support of UNESCO) on FLOODS AND MODERN METHODS OF CONTROL MEASURES. 23-28 September 2009, Tbilisi, Georgia, pp. 148-163.
75. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Iremashvili I., Bziava K., Natroshvili G. – The Calculation of Maximal and Average Speed of Debris Flow Formed as a Result of Outstretched Water Wave on the Land Dam of Zhinvali. International Conference on Construction and Environmental Engineering. WASET, Barcelona, Spain, June 11-12, 2019, pp.1029-1032.
76. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Iremashvili I., Bziava K., Natroshvili G. – The Ecological Awareness Level Arising of the Population Living in the Flood Risk Zone in case of Possible Accident of Zhinvali Land Dam and Designing Precautionary Measures. XV International Conference on

Environmental, Biological, Ecological Sciences and Engineering. WASET, Rome, Italy, December, 12-13, 2019, pp. 755- 758.

77. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Iremashvili I., Bziava K., Natroshvili G. -Mathematical Modelling of Hydro-dynamic Processes of Overflow Wave on the Zhinvali Land Dam (Georgia). International Conference on Ecological and Environmental Engineering. WASET, Paris, France, May 16-17, 2019, pp. 1029-1032.

78. Гавардашвили Г.В. – Разработка схем расположения противоселевых сооружений на горных реках. Труды института Грузгидроэкологии. Тбилиси, 2001, с. 33-39;

79. Гавардашвили Г.В. – Новые виды противоселевых сооружений и методика их расчета. В кн: Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков (Материалы Международной конференции по селям), Новочеркасск-Пятигорск, 2003, стр. 79-81.

80. Гавардашвили Г.В., Цулукидзе Л.Н. – Противоэрозионное сооружение для горных откосов. Патент Грузии №1080И, бюлл.№5(153) Тбилиси, 2004, стр. 18.

81. Кухалашвили Э. Г., Гавардашвили Г.В., Пруидзе Д.,К. – Противоселевое устройство. Авторское свидетельство 119/515, 1984.

82. Кухалашвили Э.Г. – Об адаптации законов механики неньютоновских систем для описания динамики трехлинейной модели структурных (грязекаменных) селевых потоков. Сообщения АН Груз. ССР, Тбилиси, 1983, т. 112, 31, стр. 113-116.

83. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1108159, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1984.

84. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1254103,

- зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1986.
85. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1413185, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1988.
86. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1645357, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1991.
87. კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ბზიავა კ., ყრუაშვილი ი., დ. ლორთქიფანიძე., ღვარცოფსადინარებში ტალღურად მოძრავი ბმული ღვარცოფის მახასიათებლების დადგენა . სტუ, ჟურნ. „ჰიდროინჟინერია“ №1-2 (19-20) 2015, გვ. 70-75
88. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., ხუცურაული ბ., ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმები. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 145-152.
89. კუხალაშვილი ე., დანელია რ. – ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობის სასრულო სხვაობანი – განტოლებები. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2001, გვ. 116-118.
90. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი. – დაუძირავი ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის ანგარიში ნატანშემცველი ნაკადების გატარების შემთხვევაში. საუ-ის სამეცნიერო შრომები, „საინჟინრო ეკოლოგიის საკითხები ჰიდროტექნიკურ მელიორაციაში“. 1996, გვ.40-48.
91. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1687707, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1991.
92. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №10645357. зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1991.
93. Кухалашвили Э.Г., Гавардашвили Г.В. – "Противоселевое устройство",

- Авт. св. №1101499, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1984.
94. Кухалашвили Э.Г., Гавардашвили Г.В. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1191515, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1985.
95. Кухалашвили Э.Г., Сиамашвили А.Р., Гвилия М.Э. – "Энергогасящая преграда", "Противоселевое устройство", Авт. св. №1335615, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1987.
96. Кухалашвили Э.Г., Сичинава П.О., Ундилашвили Н.А. – Условия движения многокомпонентных потоков. "Известия Аграрной Науки". Т.3, №4, Тбилиси, 2005, стр. 98-100.
97. კუხალაშვილი ე. – ბმული ღვარცოფის თავისუფალი ზედაპირის განტოლება პრიზმატულ კალაპოტებში დამყარებული არათანაბარი მოძრაობის დროს. საქართველოს სახელმწიფო აბრარული უნივერსიტეტის 70 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი 2000, გვ. 370-375.
98. კუხალაშვილი ე., ომსარაშვილი გ. – ბმული ღვარცოფის განივ ნაგებობაზე მოქმედი დამრტყმელი ძალის გაანგარიშება. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. 3, №2 (51), თბილისი, 2010, გვ. 70-73.
99. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი გ. – ღვარცოფის ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობა. საქ. მეც. და ტექ. კომიტეტი, „საქპატენტი“, 1994, ს.ს №001349.
100. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., კლიმიაშვილი ი. არასტაციონარულ საფუელზე ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების განსაზღვრა. სტუ, ჟურნ. „ჰიდროინჟინერია“, №1-2 (17-18), თბილისი, 2014, გვ. 46-53.

101. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ზზიავა კ., ვ. კირტავა. ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადების ჰიდრავლიკური მახასიათებლების გაანგარიშება ღვარსაშვებზე გადადინების შემთხვევაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „კლიმატის ცვლილება და მისი გავლენა სოფლის მეურნეობის მდგრად და უსაფრთხო განვითარებაზე“.თბილისი, 2014, გვ. 345-348.
102. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა ი., კუხალაშვილი ე. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი ტიპის კონსტრუქციები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XX2, თბილისი, 1997, გვ. 180-186.
103. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე. კალაპოტურ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ღიობების ძირითადი გაბარიტების შერჩევა. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. №1 თბილისი, 1997, გვ. 235-238.
104. ყრუაშვილი ი., ინაშვილი ი., კლიმაშვილი ი. – ღვარცოფსაწინააღმდეგო ბარიერების საპროექტო პარამეტრების კომპიუტერული მოდელირება. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „გლობალური დათბობა და აგრობიომრავალფეროვნება“, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2015, გვ. 334-337.
105. Квашилава Н.Г. – Влияние водонасыщенности на условия возникновения селей. Сообщения АН Груз. ССР, 1982, №106, стр. 353-356.
106. ი. ინაშვილი. ირიგაციული დანიშნულების არხებში ნატანდატვირთული ნაკადების კონცენტრაციისა და ტურბულენტური შერევის კოეფიციენტის ვერტიკალზე განაწილების პროგნოზი. სსაუ, აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები, # XXIX, 2004, გვ. 146-149.
107. И. Инашвили, Р. Круашвили. Влияние поперечных сооружений на русловые процессы водотоков при движении наносонесущих потоков. Проблемы Прикладной Механики, Тбилиси, № 3 (24), 2006, сс. 69-72.
108. K. Bziava, I. Inashvili. Impact of Climate on Water Resources Management in Georgia. Proceedings of the Third International Conference on Climate and Water, Helsinki, 3–6 September 2007, pp. 575-576.

109. უნდილაშვილი ნ. – ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობის შეწყვეტის განმსაზღვრელი მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები“. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XXXIII თბილისი, 2005, გვ. 141-143.
110. ზ. გვიშიანი, მ.ნანიტაშვილი, დ.გურგენიძე, მ.მღებრიშვილი ღვარცოფული ნარევის რეოლოგიური მახასიათებლების განსაზღვრის საკითხი მე-9 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობი თანამედროვე პრობლემები”, შრომების კრებული, გამომცემლობა „საჩინო“, თბილისი, 2019 წ.
111. Di Silvio G., – Flood and sediment dynamics in Mountain Rivers. Pre-processing of the NATO ASJ and “Coping with floods”, E. Mojoraamana centre Erice, November, 3415, 1992, pp. 110;
112. Takahashi T. – Debris flow. Taylor & Francis Group, London, UK, 2007, 465 p.
113. ე.კუხალაშვილი.,გ.გავარდაშვილი., ი. ირემაშვილი.,ლ. მაისაია., ნ.ბერაია., ხ. კიკნაძე., ქ. დადიანი. ღვარცოფსადინართა რისკების რეგულირება და ინოვაციური ნეგებობების გაანგარიშების მეთოდოლოგია. მეთოდური ლიტერატურა., თბილისი, 2021წ. 51 გვ.
114. მამასახლისი ქ. – წყალდიდობები დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე და მასთან ბრძოლა. ივ. ჯავახიშვილის დაბადების 120 წლისთავთან მიძღვნილი მეხუთე რესპუბლიკური კონფერენცია, თბილისი, თსუ, 1996, გვ. 114.
115. Kukhalashvili E., Gavardashvili G., Expected Risks of Cohesive Debris flows and Fighting Against them, LAP-Lambert. Academic Publishing. Germane, 2018, 88 p.
116. მამასახლისი ქ. – წყალდიდობები დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე და მასთან ბრძოლა. ივ. ჯავახიშვილის დაბადების 120 წლისთავთან მიძღვნილი მეხუთე რესპუბლიკური კონფერენცია, თბილისი,

თსუ, 1996, გვ. 114.

117. გ.გავარდაშვილი; გ. ჩახაია; ლ. წულუკიძე; კაპეზინა ო. ყაზბეგის მცირე ჰიდროელექტროსადგურების ეკოლოგიური უსაფრთხოების შეფასება დევდორაკის მყინვარების მოქმედებათა გათვალისწინებით მდინარის კალაპოტში (საქართველო)” ოპტიმიზირებული ენერგო პოტენციალის მშენებლობა, #1(15), ჩესტოჰოვას ტექნოლოგიური უნივერსიტეტი. ჩესტოჰოვა, პოლონეთი. 2015
118. ლ.წულუკიძე., ლ. მაისაია., ხ. კიკნაძე. ბორჯომის რაიონში სოფ. დაბასთან არსებულ მდ. ნაღვარევისხევაში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების მოცულობის დადგენა ქვის ჩანართების კონფიგურაციის გათვალისწინებით. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული # 70 თბილისი 2015., გვ. 209-214.
119. Гавришкина А.Н. – К методике расчета статистического напряжения сдвига селевой массы. "Селевые потоки". сб. 6, М., Гидрометеиздат, 1982, стр. 5-15.
120. Кухалашвили Э.Г. – Об адаптации законов механики неньютоновских систем для описания динамики трехлинейной модели структурных (грязекаменных) селевых потоков. Сообщения АН Груз. ССР, Тбилиси, 1983, т. 112, 31, стр. 113-116.
121. უნდილაშვილი ნ. – ბმულ ღვარცოფთა რეგულირების ღვარცოფსადინარების მორფომეტრიული მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები“, ტ. XXXVI, თბილისი, 2005, გვ. 198-200.
122. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე. – ღვარცოფის შეშფოთებული ზონის საგანგაშო მახასიათებლები. „აგრარული მეცნიერების პრობლემები“, სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. IX, თბილისი, 1997., გვ. 229-230.

123. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ბზიავა კ., ღვარცოფული მოვლენები - რისკი, პროგნოზი, დაცვა. სტუ., თბილისი, 2017 წ., 250 გვ.
124. Kukhalashvili E., Gavardashvili G., Beraia N. Effects of cohesive mudflow on on semi- cylindrical anti-mud structure. Construction of Optimized Energy Potential, vol 7, #2/2018. pp. 35-44.
125. გავარდაშვილი გ., კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი ნ. – „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“, P20207068B გამოგონება
126. გავარდაშვილი გ., კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი ნ. – „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“, პატენტი L20207068.
127. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1645357, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1991.
128. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №1687707, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1991.
129. Кухалашвили Э.Г. – "Противоселевое устройство", Авт. св. №10645357. зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР, 1991.
130. Григорян С.С. – О некоторых упрощениях в описании движения мягких грунтов. ППМ, т. 27, вып. 2, 1963, стр.187-194.
131. Григорян С.С. – Об общих уравнениях динамики грунтов РАН СССР т. 124, №2, 1959, стр. 285-287.
132. Воинич–Сяноженцкий Т.Г., Кереселидзе Б.К. – К динамике насыщенных водой грунтов находящихся в предельном состоянии. Сообщения АН ГрузССР, т.85, 1977, №2, стр. 317-320.
133. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., ხუცურაული ბ., ღვარცოფწარმო-მქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორ-მები. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 145-152.

134. ნათიშვილი ო., ყრუაშვილი ი., გავარდაშვილი გ., ინაშვილი ი.
მეთოდური რეკომენდაციები ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების
პროექტირებისათვის (ჰიდრაულიკური გაანგარიშებები). „საქართვე-
ლოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე“, თბილისი, 2016, 48 გვ.
135. Kukhalashvili E., Kvashilava N., Beraia N. Estimation of the associated
mudflow impact on semi-conical through constructions, *Annals of Agrarian
Science*, 15 (2017), pp. 322-328.