

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხათუნა კიკნაძე

ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0171, საქართველო

2022 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ხათუნა კიკნაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

23 თებერვალი, 2022 წელი

ხელმძღვანელი:

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,

პროფესორი

გივი გავარდაშვილი

რეცენზენტი:

პროფესორი

ალექსანდრე ბაგრატიონ-დავითაშვილი

რეცენზენტი:

პროფესორი

მერაბ ალავერდაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: ხათუნა კვიციანი

დასახელება: „ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები“

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

ხარისხი: მისანიჭებელი კვალიფიკაცია — აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი 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

თვითფორმირებად სადინარებში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელებით აღწერის სირთულე, მოვლენის გაანგარიშების სრულყოფილი მეთოდოლოგიის შერჩევა, კავშირის დამყარება ნაკადის ჰიდრაულიკასა და სადინარის კალაპოტის მორფომეტრიას შორის, არსებული საანგარიშო დამოკიდებულებების დაზუსტება, სადინარში ნაკადის ქცევის სურათის შეფასება და ინოვაციური მოდელებით აღწერა რთულად გადასაწყვეტ ამოცანათა კატეგორიას განეკუთვნება. ანალოგიურ ამოცანებს ვხვდებით ისეთ შემთხვევაში, როცა ნაკადის რეგულირება ხელოვნურად ხორციელდება და ადგილი აქვს მოძრავი ნაკადის სტაციონალურობისა და ტანის გეომეტრიის შეცვლას და გაჭიმვა-კუმშვით ჰიდრაულიკური პარამეტრების შეცვლის შესაძლებლობას. ასეთ შემთხვევაში, ჰიდრაულიკური პარამეტრების ცვლილების კატეგორიებად მიღებულია დეფორმაციები, ხოლო სტრუქტურული მდგრადობის ცვლილების ოპერატიულ საშუალებად შეიძლება იყოს გამოყენებული ფარდობითი დეფორმაციები. შესაბამისად, გარემოს დაცვითი დონე არის დაბალი, სტიქიათა ანომალურობის სრულად გაუთვალისწინებლობით ხორციელდება სადინარში მიმდინარე პროცესების აღწერა და სარეგულაციო ღონისძიებათა შერჩევა. გამორჩეული სიხშირით, ობიექტებზე ზემოქმედებისა და სადინართა გამტარუნარიანობის შესაძლებლობების შეფასების მეთოდების სრულყოფილების დაბალი დონის გამო, გაზრდილია შემხვედრი წინააღმდეგობებით გამოწვეული მოვლენის ინფრასტრუქტურაზე ზემოქმედების ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლილების და თავისუფალი ზედაპირის სხვადასხვა ფორმით ჩამოყალიბების შესაძლებლობები, მოძრაობის რეჟიმების ადვილად გარდასახვის, ნაკადის სტაციონალურობის რღვევისა და სადინართა კალაპოტის დეფორმაციები.

აქედან გამომდინარე, ღვარცოფთა სადინარებში მოძრაობას თან ახლავს ჰიდრაულიკის, სტრუქტურის, ენერგეტიკული მახასიათებლებისა და სადინართა კალაპოტების ფორმის ინტენსიური ცვლილების პროცესი.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს: ღვარცოფთა ჩამოყალიბების და მდგრადობის გაძლიერების განმსაზღვრელი ფაქტორების, ფორმირებული ნაკადის კალაპოტურ პროცესებში ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლილების, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების, სადინარში ქცევის სურათის, რეჟიმის ცვლილების, ტალღის ფორმით ჩამოყალიბების, ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის და კალაპოტში მიმდინარე პროცესების შეფასების არსებული მეთოდების სრულყოფა, საანგარიშო მახასიათებლების დაზუსტება და ინოვაციური საანგარიშო მოდელების გამოყვანა.

Resume

Difficulty in the task is describing current processes in self-forming ducts with mathematical models, selection of the perfect methodology for calculating the event, establishing a connection between flow hydraulics and duct bed morphometry, specifying the existing dependencies, analyzing the flow behavior in the pipeline. Similar problems are encountered when the flow is adjusted artificially and there is a change in the stationariness of the moving flow and the geometry of the body, the possibility of changing the hydraulic parameters by stretching and compression. In such a case, deformations are accepted as categories for change of hydraulic parameters, and relative deformations can be used as an operative means of change of structural stability. Consequently, the level of environmental protection is low, with complete disregard for natural disasters and their variables/anomalies, a description of the processes is carried out in the pipeline and the selection of regulatory measures are done. Due to the low level of sophistication of the methods for assessing the impact on objects with distinct frequency and duct capacity; The impact of obstacles and their energy signature on the infrastructure is increased, possibilities of forming a free surface in various forms, easy conversion of movement modes, disruption of flow stationarity and deformation of the duct bed and flow.

Therefore, the movement in the duct beds is accompanied by a process of intensive change in the hydraulics, structure, energy characteristics and shape of the duct beds.

Based on the above, the purpose of the work is to determine the factors that determine: the formation of mud flows and their durability, changes in energy characteristics in the formed flow bed processes, impact on oncoming obstacles, picture of conduit behavior, regime change, waveform formation, flow transportability, improving existing methods for estimating ongoing processes in the bed, clarifying computational characteristics is the creation of innovative reporting models.

შინაარსი

| | |
|--|-----|
| რეზიუმე..... | 4 |
| Resume | 5 |
| ცხრილების ნუსხა | 7 |
| ნახაზების ნუსხა | 8 |
| სურათების ნუსხა | 9 |
| მადლიერების გვერდი | 10 |
| შესავალი | 11 |
| ნაშრომის საერთო დახასიათება | 11 |
| თემის აქტუალობა | 11 |
| სამუშაოს მიზანი..... | 12 |
| კვლევის ობიექტი და მეთოდები..... | 13 |
| ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე | 13 |
| შედეგების გამოყენების სფერო..... | 15 |
| დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა..... | 15 |
| თავი 1 - სადინარებში ღვარცოფთა კალაპოტურ პროცესებზე..... | 16 |
| ზემოქმედების შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა..... | 16 |
| 1.1. ღვარცოფთა ფორმირებისა და დინამიკის თავისებურებანი..... | 16 |
| 1.2. კალაპოტური პროცესების შეფასების მათემატიკური მოდელები..... | 36 |
| 1.3. ღვარცოფების გავრცელების გეოგრაფია და განსაკუთრებულობები | 41 |
| თავი 2 ბმული ღვარცოფის ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი მაჩვენებლების ექსპერიმენტული კვლევა | 47 |
| 2.1. ღვარცოფთა უწყვეტი გარემო და სადინართა მორფომეტრიული მახასიათებლები | 47 |
| 2.2. ტექნოლოგიურად მარტივი და ეკოლოგიურად სუფთა ინოვაციური მეთოდების გამოყენება ღვარცოფწარმოქმნის კერების მდგრადობისთვის | 61 |
| თავი 3 სადინარებში ღვარცოფთა მოძრაობა..... | 71 |
| 3.1. ღვარცოფთა დეფორმაციისა და დინამიკის თეორიული მეთოდები | 71 |
| 3.2. სადინარებში ღვარცოფთა გვერდითი დეფორმაცია | 81 |
| 3.3. სადინარში ღვარცოფთა კუმშვით გამოწვეული სიღრმის ცვლილება.... | 87 |
| 3.4. ღვარცოფთა დინამიკური ზემოქმედება შემხვედრ წინააღმდეგობებზე | 93 |
| თავი 4. ღვარცოფისადინარში კალაპოტური პროცესები და ნაკადის მდგრადობა | 103 |
| 4.1. გრძივი ტალღის ფორმით მოძრავი ბმული ღვარცოფის მდგრადობა .. | 103 |
| 4.2. ღვარცოფის ზღვრული სიჩქარე | 112 |
| 4.3 ღვარცოფთა ტრანსპორტუნარიანობა..... | 116 |
| 4.4. ეკოლოგიური უსაფრთხოება და სამუშაოთა ჩატარების გაზრდის სტრატეგია..... | 127 |
| დასკვნები..... | 132 |
| გამოყენებული ლიტერატურა | 134 |

ცხრილების ნუსხა

| | |
|--|-----|
| 1. მასის შემადგენელი ქვის და მოცულობითი მასის მნიშვნელობები დიამეტრთან კავშირში (ცხრილი 2.1.1)..... | 55 |
| 2. ღვარცოფული ვარცოფული მასის მყარი შემადგენლის კოლოიდური ნაწილის % –ული შეცულობა (ცხრილი 2.1.2)..... | 55 |
| 3. ღვარცოფის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები კგ/მ ³ , მისი შემადგენელი კომპონენტების წონითი ურთიერთანაფარდობების გათვალისწინებით (ცხრილი 2.1.3)..... | 57 |
| 4. სამონასტრო ხევის მორფომეტრული მახასიათებლები (ცხრილი 2.1.4)..... | 59 |
| 5. გრუნტ-პოლიმერული ქერქის ეკვივალენტური შეჭიდულობა (ცხრილი 2.2.1);..... | 64 |
| 6. გრუნტპოლიმერული ქერქის წყალმდგრადობა.(ცხრილი 2.2.2)..... | 66 |
| 7. ღვარცოფპოლიმერული ქერქის მდგრადობა (ცხრილი 2.2.3)..... | 67 |
| 8. ტენიანობის ცვლილება ღვარცოფპოლიმერული ქერქის ქვეშ (ცხრილი 2.2.4)..... | 68 |
| 9. ბალახის აღმოცენება ღვარცოფპოლიმერულ ქერქში (ცხრილი 2.2.5)..... | 69 |
| 10. ღვარცოფულპოლიმერული ქერქის მდგრადობა ქარის ეროზიის მიმართ (ცხრილი 2.2.6)..... | 69 |
| 11. პოლიგონის გრუნტების მახასიათებლები (ცხრილი 2.2.7)..... | 70 |
| 12. ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის მახასიათებელი (E) სიდიდის საანგარიშო განტოლებები ხახუნის კოეფიციენტთან კავშირში (ცხრილი 4.3.1)..... | 124 |
| 13. ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების რაოდენობრივი მაჩვენებლები (t=100 წმ) და მათი შესაბამისი მოცულობები (ცხრილი 4.3.2)..... | 125 |

ნახაზების ნუსხა

| | |
|---|-----|
| 1. ნახ.1.3.1. საქართველოს ტერიტორიის და რაიონების რუკა ღვარცოფული მოვლენებით დაზიანების ხარისხის და აქტიურობის რისკის მიხედვით..... | 48 |
| 2. ნახ.2.1.1 ნაკადის H სიღრმის დამოკიდებულების გრაფიკი ნაკადის სიღრმის ფარდობის სიღრმესთან დამოკიდებულებუს გრაფიკი..... | 61 |
| 3. ნახ. 3.1.1. ღვარცოფული ნაკადის ტალღის ფორმით მოდრაობის შემთხვევა..... | 74 |
| 4. ნახ. 3.1.2. გრაფიკული დამოკიდებულება $f(\beta) = f(h_0/h)$ | 76 |
| 5. ნახ. 3.1.3. და ნახ. 3.1.4. გრაფიკული დამოკიდებულებები $a' = f(\varphi)$ და $a'' = f(h_0/h)$ | 76 |
| 6. ნახ. 3.1.5. ფარდობითი დეფორმაციის μ^* -ის ღვარცოფის რეოლოგიის მახასიათებლებთან დამოკიდებულების გრაფიკი..... | 81 |
| 7. ნახ 3.2.1. $\Delta B/B=f(a)$ დამოკიდებულების გრაფიკი..... | 86 |
| 8. ნახ.3.3.1. h_1/h დამოკიდებულების გრაფიკი ღვარცოფის რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში..... | 93 |
| 9. ნახ. 3.4.1. შემხვედრ წინააღმდეგობაზე ღვარცოფის გადადინების სქემა..... | 99 |
| 10. ნახ. 3.4.2. გრაფიკი დამოკიდებულება $m = f[f(\alpha)]$ | 102 |
| 11. ნახ.4.3.1. ქვის პარალელეპიპედის ფორმის შემთხვევაში..... | 126 |
| 12. ნახ.4.3.2. ქვის პარალელეპიპედის ფორმის შემთხვევაში..... | 126 |
| 13. ნახ. 4.3.3. ქვას აქვს სფეროს ფორმა..... | 127 |
| 14. ნახ. 4.3.3. ქვას აქვს სფეროს ფორმა..... | 127 |

სურათების ნუსხა

| | |
|--|-----|
| 1. სურ.2.1.1. შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის განლაგების გეგმა..... | 51 |
| 2. სურ. 2.1.2. მონასტრის ხევში წყალსადენიდან 20 მ-ის დაცილებით..... | 52 |
| 3. სურ. 2.1.3. მონასტრის ხევის ტოპოგრაფიული გადაღების პროცესი..... | 52 |
| 4. სურ.2.1.4 -მონასტრის ხევის მორფომეტრიის და ღვარცოფული გამონატანის ნიმუშების აღების პროცესი..... | 53 |
| 5. სურ. 2.1.5 ღვარცოფული მასის ნიმუშების აღების პროცესი..... | 53 |
| 6. სურ. 2.1.6. 2.1.7 ღვარცოფული მასის ნიმუშები ლაბორატორიული კვლევებისათვის, ღვარცოფული მასის ნიმუშები..... | 54 |
| 7. სურ.2.1.8 და 2.1.9 ლაბორატორიული კვლევები ღვარცოფული მასის ნიმუშებზე..... | 56 |
| 8. სურ.4.3.1 სოფ. ნაღვარევი..... | 119 |
| 9. სურ. 4.3.2.მდ. ნაღვარევის წყალის ღვარცოფული ხევი..... | 120 |
| 10. სურ. 4.3.3 მდ. ნაღვარევის ხევში გაჩერებული ღვარცოფული ენა..... | 120 |
| 11. სურ. 4.3.4. ნაღვარევის ხევში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების ზომები..... | 121 |
| 12. სურ. 4.3.5. მდ. ნაღვარევის კალაპოტში ტურბულენტური ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული სხვადასხვა ფორმის ქვები..... | 123 |

მადლიერების გვერდი

მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო ჩემი სადისერტაციო თემის სამეცნიერო ხელმძღვანელს, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის დირექტორს, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ **გივი გავარდაშვილს**, რომელიც თავის მრავალმხრივ ცოდნასა და გამოცდილებას მიზიარებდა, როგორც დოქტორანტურაში სწავლის პერიოდში, ისე სადისერტაციო ნაშრომის მომზადების ყველა ეტაპზე. ბ-ნმა გვიმ მომცა საშუალება ინსტიტუტის სამეცნიერო და ტექნიკური ბაზის გამოყენების, სადაც ვატარებდი ექსპერიმენტულ და ლაბორატორიულ ცდებს.

აგრეთვე, მადლიერი ვარ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის დეკანის პროფესორ **ზურაბ გვიშიანის**. წყალმომარაგების, წყალარინების, თბოაირმომარაგების და შენობათა საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტის ხელმძღვანელის, პროფესორ **ალექსანდრე ბაგრატიონ-დავითაშვილის** და თითოეული დეპარტამენტის თანამშრომლის.

მადლობა მინდა გადავუხადო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელს, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ **ედუარდ კუხალაშვილს**, რომელიც გახლავთ საგრანტო პროექტის „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიური ბარაჟი“-ს ხელმძღვანელი. ბ-ნი ედუარდი სადისერტაციო ნაშრომის ყველა ეტაპზე თავდაუზოგავად მეხმარებოდა კვლევისათვის საჭირო მასალების მოპოვებაში და მათ დამუშავებაში.

მადლობა **შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნულ სამეცნიერო ფონდს**, რადგან გამოყენებითი გრანტის „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიური ბარაჟი“ **AB-18-1244** ფარგლებში მოპოვებული საგრანტო დაფინანსება ძალიან დამეხმარა როგორც სწავლის საფასურის გადახდაში, ასევე საველე ექსპერიმენტული კვლევების განხორციელებაში.

მადლობას ვუხდის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მთავარ მეცნიერ-თანამშრომელს, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატს, აკადემიურ დოქტორს **ლევან იტრიაშვილს**, რომელთანაც მრავალი წელი ვითანამშრომლე გრუნტების მექანიკის ლაბორატორიაში და მაქვს მასთან ერთად ჩატარებული არაერთი მნიშვნელოვანი კვლევა. ბატონმა ლევანმა თემატიკასთან დაკავშირებით არაერთი სასარგებლო რჩევა მომცა.

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

შესავალი
ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა

საქართველო მთავორიანი ქვეყანაა. მისი ტერიტორიის 54%-ს მთისა და მთისწინა ზონა შეადგენს. მდიდარია ჰიდროგრაფიული ქსელით. მდინარეთა ქსელის 90% ღვარცოფულია. ლანდშაფტურ ინფრასტრუქტურაზე ბუნებრივი ანომალიების რისკები, დაცვითი დონე და მდგრადობა თვითფორმირებადი სადინარების კალაპოტებში ბუნებრივი ანომალიებით გამოწვეულ კალაპოტურ პროცესებთან არის დაკავშირებული. კარგად შესწავლილ სადინარებშიც კი ფორმირებული ნაკადების ჰიდრაულიკურ პარამეტრებსა და კალაპოტის გეომეტრიას შორის კავშირის ამსახველი დამოკიდებულებები შეუსაბამოა და ვერ იძლევა მიმდინარე პროცესების სრულად აღწერის შესაძლებლობას.

თვითფორმირებად სადინარებში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელებით აღწერის სირთულე, მოვლენის გაანგარიშების სრულყოფილი მეთოდოლოგიის შერჩევა, კავშირის დამყარება ნაკადის ჰიდრაულიკასა და სადინარის კალაპოტის მორფომეტრიას შორის, არსებული საანგარიშო დამოკიდებულებების დაზუსტება, სადინარში ნაკადის ქცევის სურათის შეფასება და ინოვაციური მოდელებით აღწერა, რთულად გადასაწყვეტ ამოცანათა კატეგორიას განეკუთვნება. ანალოგიურ ამოცანებს ვხვდებით ისეთ შემთხვევაში, როცა ნაკადის რეგულირება ხელოვნურად ხორციელდება და ადგილი აქვს მოძრავი ნაკადის სტაციონალურობის და ტანის გეომეტრიის შეცვლას, ჰიდრაულიკური პარამეტრების გაჭიმვა-კუმშვით შეცვლის შესაძლებლობას. ასეთ შემთხვევაში ჰიდრაულიკური პარამეტრების ცვლილების კატეგორიებად მიღებულია დეფორმაციები, ხოლო სტრუქტურული მდგრადობის ცვლილების ოპერატიულ საშუალებად - ფარდობითი დეფორმაციები შეიძლება იყოს გამოყენებული. შესაბამისად გარემოს დაცვითი დონე არის დაბალი და სტიქიათა ანომალურობის სრულად გაუთვალისწინებლობით

ხორციელდება სადინარში მიმდინარე პროცესების აღწერა და სარეგულაციო ღონისძიებათა შერჩევა. გამორჩეული სიხშირით ობიექტებზე ზემოქმედებისა და სადინართა გამტარუნარიანობის შესაძლებლობების შეფასების მეთოდების სრულყოფილების დაბალი დონის გამო, გაზრდილია შემხვედრი წინააღმდეგობებით გამოწვეული მოვლენის ინფრასტრუქტურაზე ზემოქმედების ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლილება, თავისუფალი ზედაპირის სხვადასხვა ფორმით ჩამოყალიბების შესაძლებლობები, მოძრაობის რეჟიმების ადვილად გარდასახვის, ნაკადის სტაციონალურობის რღვევის და სადინართა კალაპოტის დეფორმაციები.

სამუშაოს მიზანი.

ღვარცოფთა სადინარებში მოძრაობას თან ახლავს ჰიდრავლიკის, სტრუქტურის, ენერგეტიკული მახასიათებლების და სადინართა კალაპოტების ფორმის ინტენსიური ცვლილების პროცესი. კალაპოტურ პროცესებში ნაკადის ზეგავლენა და კრიტიკულობა ისეთ მონაკვეთებშია საყურადღებო, სადაც მოსალოდნელია ნაკადის განივი კვეთის ან სიღრმის ცვლილების შესაძლებლობა. ღვარცოფსადინარებისათვის ასეთი მონაკვეთების სიხშირე და მრავალფეროვნება არის დამახასიათებელი და რეგულირების სირთულეებთანაც არის დაკავშირებული. აღნიშნულიდან გამომდინარე სამუშაოს მიზანს ღვარცოფთა ჩამოყალიბების და მდგრადობის გაძლიერების განმსაზღვრელი ფაქტორების, ფორმირებული ნაკადის კალაპოტურ პროცესებში ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლილების, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების, სადინარში ქცევის სურათის, რეჟიმის ცვლილების, ტალღის ფორმით ჩამოყალიბების, ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის, კალაპოტში მიმდინარე პროცესების შეფასების, არსებული მეთოდების სრულყოფა, საანგარიშო მახასიათებლების დაზუსტება და ინოვაციური საანგარიშო მოდელების გამოყვანა წარმოადგენს.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები.

კვლევის ობიექტს ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში ფორმირებული ღვარცოფის მდგრადობა, უწყვეტი გარემოს ზღვრები, სადინარებში ფორმირებული ღვარცოფის სტაციონალობა, ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე პროცესები, მოძრაობის პირობები, ფორმირებული ნაკადის სტრუქტურა, ტალღის ფორმით მოძრაობის ჩამოყალიბება, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედება, ტრანსპორტუნარიანობა და სტაციონალობა წარმოადგენს. დასახული ამოცანების გადაწყვეტა გრუნტების მექანიკაში, ჰიდრავლიკაში, ჰიდროტექნიკასა და ფიზიკაში საყოველთაოდ აღიარებული სამეცნიერო ტექნიკური მიდგომების გამოყენებით იქნა განხორციელებული: - ბმული ღვარცოფის უწყვეტი ტანის, ბმულობის დაკარგვის ჩარჩოდან გასვლის ზღვრებისა და მდგრადობის ამაღლების მიზნით გამოყენებული იქნა გრუნტების მექანიკისა და პოლიმერული სტაბილიზატორების შერჩევის მეთოდოლოგია.

- სადინარებში ღვარცოფთა მოძრაობის, დეფორმაციების, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების ნაკადის მდგრადობის შეფასების, ზღვრული სიჩქარის ტრანსპორტუნარიანობის შეფასების დროს, გამოყენებულია ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლების შედგენის, ექსპერიმენტული ცდების დაგეგმვის, ღვარცოფის თავისუფალი ზედაპირის განსაზღვრის, არაპრიზმატულ კალაპოტებში ნაკადის ქცევის შეფასების, მდგრადობის რღვევის, ტალღის ფორმით ჩამოყალიბების შეფასების, კალაპოტის ფორმირების, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე მოქმედი ფაქტორების თეორიული კვლევის მეთოდები და მეთოდოლოგია.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

ღვარცოფთა ჩამოყალიბების და მდგრადობის ამაღლების ექსპერიმენტებზე და საანგარიშო ფორმულების გამოყვანის მეთოდებზე დაყრდნობით, ფორმირებული ღვარცოფის კალაპოტურ პროცესებში

მონაწილეობის და თეორიულ-ინოვაციური მოდელების გამოყენებით, მიღებულია და დაზუსტებულია კალაპოტური პროცესების შეფასების სრულიად ახალი საანგარიშო კრიტერიუმები და მათემატიკური მოდელები, კერძოდ:

- ღვარცოფის გამონატანის კუმულარული მრუდების ანალიზით და ექსპერიმენტებზე დაყრდნობით დაზუსტებულია ღვარცოფულობის ზღვრები, შემადგენელი კომპონენტების უწყვეტ ტანში ცვლილების შესაძლებლობები უტოლობების სახით და ღვარცოფთა ბუნებაში სპექტრის სახით ფორმირების შესაძლებლობები;
- კერებიდან ფორმირების შესაძლებლობების შემცირების მიზნით, ექსპერიმენტებით მიღებულია პოლიმერული სტაბილიზატორების გამოყენება. შესწავლილია მდგრადობის, კერძოდ, ბმულობის გაზრდის შესაძლებლობები სხვადასხვა ფაქტორებთან კავშირში და მიღებულია სტაბილიზატორების შესაბამისი დოზები;
- კალაპოტური პროცესების შეფასების მიზნით გამოყვანილია და სადინარის ფორმის სირთულის გათვალისწინებით მიღებულია სრულიად ახალი საანგარიშო მოდელები, კერძოდ:
 - მთავარი ძაბვების ცვლილების მათემატიკური მოდელი გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტთან კავშირში;
 - ნაკადის გვერდითი კუმშვისა და სიღრმის ცვლილების საანგარიშო დამოკიდებულებები რეოლოგიასთან კავშირში;
 - ზღვრული სიგანისა და სიღრმის ცვლილების საანგარიშო დამოკიდებულება;
 - ტალღის ფორმით მოძრავი ღვარცოფის სიჩქარის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე დინამიკური ზემოქმედების საანგარიშო დამოკიდებულებები;
 - ტრანსპორტუნარიანობის შეფასებისა და კალაპოტში გა პროცესების რეგულირების მიზნით, ზღვრული სიჩქარის

- და ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების დიამეტრის საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- მდგრადობის რღვევის შეფასების მიზნით შერჩეულია ფორმირების საანგარიშო მოდელები.

შედეგების გამოყენების სფერო.

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი შედეგები საანგარიშო ოპერატიული განტოლებების სახით ხელს შეუწყობს: ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე პროცესების დაზუსტებას, მათი რეგულირების საინჟინრო ღონისძიებების, საინჟინრო საშუალებების შერჩევას და მდგრადობიდან გამომდინარე ღვარცოფთა რეჟიმების ცვლილების პროგნოზს კალაპოტურ პროცესებში.

ცალკეული კონკრეტული გადაწყვეტებით მიღებული შედეგები დიდ დახმარებას გაუწევს ჰიდროტექნიკაში, ჰიდრაულიკაში, გარემოს დაცვაში, საინჟინრო ეკოლოგიაში და სხვა მომიჯნავე დარგებში მოღვაწე მეცნიერებს სამომავლო კვლევებში.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის ოთხი თავის, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურისაგან, იგი მოიცავს 148 ნაბეჭდ გვერდს მათ შორის 15 ნახაზს, 13 ცხრილს, 14 სურათს და 115 დასახელების ლიტერატურას.

თავი 1 - სადინარებში ღვარცოფთა კალაპოტურ პროცესებზე

ზემოქმედების შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა

1.1. ღვარცოფთა ფორმირებისა და დინამიკის თავისებურებანი

მდგრად ლანდშაფტურ ინფრასტრუქტურას ადამიანის ცხოვრებასა და მოღვაწეობაში განსაკუთრებული ადგილი უკავია. იგი ეროვნული სიმდიდრის განმსაზღვრელია და განსაკუთრებული გაფრთხილება, შენარჩუნება და დაცვა ჭირდება. ნებისმიერი ქვეყნის მთიანი ზონები არსებული ინფრასტრუქტურით და მისი წონასწორული მდგომარეობის რღვევის შედეგებით გამუდმებით ცვალებად მდგომარეობაშია. დაცვითი ღონისძიებების დანიშნულებებს, სახეობებს, განსაზღვრავს გარემოს დამცავი ნებისმიერი გადაწყვეტილება და მასზე მოქმედი ბუნებრივი ანომალიების დასარეგულირებელი მახასიათებლები.

ინფრასტრუქტურებზე მოქმედ ანომალიებს შორის ეკოლოგიური წონასწორობის დისბალანსში და ზარალის მომტან შედეგებში განსაკუთრებული სიხშირით გამოირჩევა ბმული ღვარცოფები, რომელთა გააქტიურება ბოლო 10 წლის მონაცემებით გეომეტრიული პროგრესიით არის გაზრდილი. წარმოდგენილი მოვლენის ზემოქმედება გარემოზე და მისი ურთიერთობა ტრანზიტზე სადინარის კალაპოტის დეფორმაციებთან და ნაკადის მდგრადობის დარღვევასთან არის დაკავშირებული. მათი გავრცელების ზონაში ინფრასტრუქტურის მდგრადობის კარგვის რისკები და დეცენტრალიზაცია სადინარის კალაპოტისა და გამდინარე ღვარცოფის ურთიერთქმედებასთან არის დაკავშირებული, ხოლო კალაპოტების დეფორმაციების შემთხვევაში იგი ნაკადის მდგრადობის კარგვის მიზეზიც შეიძლება გახდეს. აქედან გამომდინარე, ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები, ნაკადის ჰიდრავლიკის საანგარიშო მოდელები, მოძრაობის პირობები და ნაკადის კალაპოტის დეფორმაციულობაზე ზემოქმედების ფუნდამენტური კვლევები, სფეროში გამოყენებული

მეთოდების გაღრმავება-დაზუსტებასთან და ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესების შესწავლასთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები მრავალი ფაქტორის ურთიერთქმედებით არის განპირობებული, მისი აღწერა და მიმდინარე პროცესების შეფასება ფორმირებული ნაკადის ჰიდრავლიკასთან, მისი კალაპოტის მდგრადობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების თეორიული შეფასების დონესთან, ღვარცოფსადინარის ფორმირებასთან, ნაკადის კრიტიკული მახასიათებლის შეფასების დონესთან, კალაპოტის ფორმების გათვალისწინებით მოვლენასთან ოპერატიული საშუალებების ადაპტირებასთან, კალაპოტის დეფორმაციულობის გავლენით ნაკადის ქცევასთან და თავისუფალი ზედაპირის ფორმირებასთან, მოძრავი ნაკადის მდგრადობის პირობებთან, ტალღის ფორმით ჩამოყალიბებით, ტალღის ფორმით მოძრავი ნაკადის მახასიათებლების შეფასებასთან, სარეგულაციო ღონისძიებების გამოყენების შემთხვევაში ნაკადის მახასიათებლების პროგნოზირებასთან და მასზე ნაგებობების ზეგავლენასთან არის დაკავშირებული.

მიუხედავად იმისა, რომ კალაპოტური პროცესების შესწავლის მიმართულებით დიდი ხანია ტარდება თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები დღევანდელი მონაცემებით მაინც არ არის შემუშავებული ერთიანი მოდელი, რომელიც სრულყოფილად მოიცავდა სხვადასხვა სახის, ბუნებით განსხვავებული კალაპოტური ნაკადის სადინარზე ზემოქმედების პროცესებს და მისი ერთიანი მოდელის ქვეშ გაერთიანებას, სადაც თავს მოიყრიდა პროცესში მონაწილე ყველა ფაქტორი.

ღვარცოფული გამონატანის კუმულაციური მრუდეების ანალიზი, მყარი მასის ჰიდრავლიკური სიმსხოს არაერთგვაროვნება და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დროში ცვლილება ადასტურებს, რომ იგი არ წარმოადგენს გამონატანის კონუსებზე წყლის ნაკადის ტრანსპორტირებულ მყარ დანალექს. გამომდინარე აქედან, ღვარცოფის ჩამოყალიბება და მოძრაობის მახასიათებლების შეფასება მის ანომალიურ ბუნებასთან არის

დაკავშირებული და მექანიკის კანონებით პროცესის შეფასება ხშირად სასურველ შედეგს ვერ იძლევა. ღვარცოფთა ფიზიკურ-მექანიკური შედგენილობის და რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი მახასიათებლების იდენტურობის შემთხვევაშიც კი, მათი შეფასებისათვის მოყვანილი დიდი რაოდენობის საანგარიშო დამოკიდებულებების მოვლენაზე სხვადასხვა წარმოდგენების გამო ანალოგიურ სურათს ვაწყდებით.

სამეცნიერო ლიტერატურაში დღეისათვის ღვარცოფთა სპექტრი ძირითადად ორი სახეობითაა წარმოდგენილი: პირველი - ბმული ღვარცოფები, რომელთა მოცულობითი წონა 18000-23000ნ/მ³ ფარგლებში მერყეობს და ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადის სახითაა ცნობილი; მეორე - ღვარცოფები, რომელთა მოცულობითი წონა 11000-17000 ნ/მ³ ზღვარშია მოქცეული, მისი ტანი უწყვეტი გარემოთია წარმოდგენილი და მყარი მასის მატრანსპორტირებელ ფაქტორს წყალი წარმოადგენს.

მოვლენისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო შრომათა მიხედვით და განმეორებადობის სიხშირიდან გამომდინარე ღვარცოფთა 74,4% გამოწვეულია თავსხმა წვიმებით, 18% თოვლის დნობით, 3,7% მყინვარების დნობით, 0,37% ზვავებით და 0,38% წყალსაცავების გარღვევით [1.2.3.4.5.6.7.8.].

ბმულ ღვარცოფთა კრიტერიალური საზღვრების დადგენა და შეფასება მოქმედ ფაქტორთა შესაძლო გათვალისწინებით, მათი სპექტრიდან გამოყოფის და მათზე საანგარიშო მოდელების ადაპტირების საფუძველს წარმოადგენს. შემადგენელ კომპონენტთა ურთიერთთანაფარდობაზეა დამოკიდებული ღვარცოფთა დინამიკის და დამაბული მდგომარეობის ამოცანათა გადაწყვეტის შესაძლებლობა. კრიტერიალური საზღვრების უმნიშვნელო ცვლილებითაც კი შესაძლებელია ღვარცოფის ერთი სახიდან მეორეში გარდასახვა. აქედან გამომდინარე, კომპონენტთა ცვლილება ბმული ღვარცოფისათვის უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას: წყლისა და მილიმეტრზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონითი თანაფარდობა უნდა

აკმაყოფილებდეს ცვლილების ზღვრებს $0 \pm 0,49$. წყლის წონის ფარდობა ღვარცოფის მთლიან მასასთან მოთავსებული უნდა იყოს 0,112-0,20, ხოლო მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკების წონის შეფარდება მთლიან მყარ მასასთან 0,23-0,45 ფარგლებში. როცა ცნობილია შემადგენელ კომპონენტთა ცვლილება ღვარცოფის ტანში, მაშინ შესაძლოა ისეთი ამოცანების გადაწყვეტა, როგორცაა კერებში დაგროვილი მასის დაძვრა, მოსალოდნელი ხარჯის პროგნოზი, აქტიური და პასიური წნევების სურათის ცვლილების შესაძლებლობა, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე ღვარცოფის ზემოქმედება და სხვა [9.10.].

საერთოდ ღვარცოფული მოვლენები პროცესთა ისეთი ერთობლიობითაა განსაზღვრული, რომელიც მოიცავს ფორმირების, მოძრაობის და სატრანზიტო უბნებზე გავლის საკითხებს. სხვადასხვა სახით ჩამოყალიბებული ღვარცოფების ზემოქმედებას განიცდის ყველა მთისა და მთისწინა რეგიონი, რაც მათ დარეგულირებას საჭიროებს.

ღვარცოფთა შემადგენელი კომპონენტების დიდ დიაპაზონში ცვლილებიდან გამომდინარე, მათი დინამიკის საანგარიშო დამოკიდებულებებით აღწერა სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის ისტორია ეტაპობრივი სახით არის წარმოდგენილი. პირველი სისტემური სამეცნიერო კვლევები აღწერილობითი ხასიათისაა და მე-19 საუკუნის 20-იან წლებამდე პერიოდს მოიცავს.

შემდგომი ეტაპი ღვარცოფთა ჰიდრავლიკისა და ჰიდროლოგიის გეოგრაფიის ტერმინოლოგიის საკითხებისადმი მიძღვნილი. ამ მხრივ საყურადღებოა ი. ველიკანოვის მ. გაგოშიძის, მ. მოსტკოვის, ს. ფლეიშმანის, ი. ხერხეულიძის, გ. ხმალადის, ა. შეკოს, ლ. სულაქველიძის სამეცნიერო შრომები.[11.12.13.14.15.16.17.18.19]

დაგროვილი ინფორმაციის და არსებული მასალების ანალიზის საფუძველზე შემდგომი ეტაპი ჰიდროდინამიკაში და რეოლოგიაში გამოყენებული მოდელების ღვარცოფებთან ადაპტირებაზეა

ორიენტირებული, მოიცავს მათი თანაბარი, შემდგომში არათანაბარი მოძრაობის საკითხებს. ამ მიმართულებით აღსანიშნავია ი. ვინაგრადოვას, გ. ბერუჩაშვილის, ც. მირცხულავას, თ. ვოინიჩ-სიანოჟენსკის, ნ. კერესელიძის, ო. ნათიშვილის, ბ. ახმედოვის, ვ. სანოიანის, ლ. სულაქველიძის, ზ. იორდანიშვილის, გ. ხერხეულიძის, სამეცნიერო შრომები.[20.21.22.23.24.25.26.27.28.29.30.31]

პროცესთან ანალოგიური შრომებია მიძღვნილი მეცნიერთა მიერ, რომელთა შორის აღსანიშნავია ვ. მიასნოკივის, ბ. სტეფანოვის, დ. ფრუიძის, გ. გავარდაშვილის, ლ. სოხაძის, ი. ყრუაშვილის, ე. კუხალაშვილის. უკანასკნელ პერიოდში გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომები.[32.33.34.35.36.37.38.39]

ღვარცოფული პროცესების შესწავლაში თვითფორმირებად სადინარებში მათი მოძრაობის შეფასების და კალაპოტური პროცესებზე ზემოქმედების მიზნით განსაკუთრებულ ყურადღებას ღვარცოფთა დინამიკა და მისი ტალღური ფორმის ჩამოყალიბება იქცევს. ამ მხრივ აღსანიშნავია აკადემიკოს ო. ნათიშვილის, ვ. თევზაძის, ი. ყრუაშვილის, გ. გავარდაშვილის, ე. კუხალაშვილის, კ. ბზიავას, ი. ინაშვილის ზ. გვიშიანის სამეცნიერო პუბლიკაციები.[40.41.42.43.44.45.46.47.48.49.50.51]

ბმულ ღვარცოფებში მისი ტანის დამაბული მდგომარეობის მახასიათებლის განსაზღვრის, ჩამოყალიბებული მასის წონასწორობის რღვევის პირობების და სადინარში მოძრაობის შემთხვევაში მისი დინამიკის წონასწორობის შეფასების მეთოდებში ფართო გავრცელება ჰპოვა ხაზოვნად დეფორმირებადი სხეულების განტოლებებმა [42] ღვარცოფთა მოძრაობის წონასწორობის დარღვევას, დამძვრელ და დამჭერ ძაბვებს შორის ფარდობას გარკვეული რიცხობრივი მნიშვნელობები შეესაბამება და მისი სიდიდე ყოველთვის ნაკლებია 1-ზე [46].

ღვარცოფსადინარში ღვარცოფული ნაკადის დინების პროცესი წყალთან შედარებით განსხვავებული სახით არის წარმოდგენილი. იმ შემთხვევაში, როცა სატრანზიტო უბნის ქანობი ღვარცოფის ძვრის

ზედაპირის გასაშუალებელი ქანობის მნიშვნელობის ტოლია ან ნაკლებია მასზე, მას ნაკადის უძრაობის პირობა შეესაბამება. ზოგადად, ღვარცოფის მოძრაობის პროცესი შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც ფაქტორთა ორი ტიპის - სტატიკურის და დინამიკურის - ურთიერთქმედების შედეგი.

პირველ მიახლოებით სტატიკურ ფაქტორად შეიძლება მიჩნეულ იქნას კერებში დაგროვილი მყარი მასის სიმძლავრე, კერაში ჩამოყალიბებული ღვარცოფული მასის ინფილტრაციული მახასიათებლები და თვით კერების მორფომეტრია. წარმოდგენილ მახასიათებელთა სტატიკურობა იმდენად ფარდობითია, რამდენადაც კერების ფორმა და ზომები და ლითოლოგიური შედგენილობა. ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მოცულობა გარკვეული წლების განმავლობაში შეიძლება არ შეიცვალოს, ხოლო მაჩვენებლები - ტენიანობა, შინაგანი ხახუნის კუთხე, ბმულობა დღეღამის განმავლობაში შესაძლებელია რამდენჯერმე შეიცვალოს.

დინამიკური ფაქტორებიდან შეიძლება გამოიყოს წვიმის ხანგრძლივობა, ინტენსივობა, სიმძლავრე, ღვარცოფწარმომქმნელი მასივის ჰიდროლოგიური და ფილტრაციული მახასიათებლები და ადგილმდებარეობის სეისმურობა.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა რიგი საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის საკითხებში განსაკუთრებულად საყურადღებოა გ. გაგოშიძის მიერ წარმოებული კვლევის შედეგები. კვლევის საფუძველზე დადგენილი იქნა ღვარცოფთა სახეების სასაზღვრო პირობები, მათი შეფასების რიგი კრიტერიუმები და საანგარიშო სქემები. ბუნებრივი და ლაბორატორიული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ღვარცოფის ყველა შესაძლო სტრუქტურულ-რეოლოგიური ტიპისათვის დადგენილ იქნა მყარი ნაწილის მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებით შევსების ქვედა ზღვარი. კვლევის საფუძველზე დასაბუთებული იქნა კოლოიდური ნაწილით მყარი მასის შევსების შესაძლებლობა, დაზუსტდა ქვის ჩანართის

დიამეტრის გავლენა შევსების სიდიდეზე და წონითი სიდიდე კოლოიდური ნაწილის მყარ მასასთან 0,23-ის ტოლია. [52]

სხვადასხვა დისპერსიული სისტემების კვლევის ანალიზის და განზოგადების საფუძველზე ი. ხერხეულიძის მიერ მდ. დურუჯის აუზის ღვარცოფებისათვის დადგენილია მყარი შემადგენლობის მოცულობითი კონცენტრაციის მაქსიმალური და მისი შესაბამის ქანობის მნიშვნელობები, ე.ი. როცა მოცულობითი კონცენტრაცია 0,7 -ის ტოლია, ღვარცოფის ქანობი $i = 0,25$. [31]

ღვარცოფწარმომქნელი გრუნტის მრავალკომპონენტიანობა წარმოადგენს მისი სხვადასხვა სახით ჩამოყალიბების განმსაზღვრელ ფაქტორს. ერთგვაროვნების კოეფიციენტი K , რომელიც d_{60} / d_{10} სიდიდეების ფარდობით ფასდება, სხვადასხვა ავტორთა მონაცემებით ღვარცოფებისათვის ამ მაჩვენებელს სრულიად განსხვავებული სახე აქვს. მაგალითად გ. ბერუჩაშვილის მიხედვით - $K = 8,5$; ვარდუგინის მონაცემებით - $K=6,7 \div 8$; ა. ზემსის გაანგარიშებით - $K=6,5$; მ. გაგოშიძის კვლევებით - $K = 2,5$; ი. ვინაგრადოვის მიხედვით - $K = 20$; ხოლო რ. ხონინის მომაცემებით - $K = 100$ [52.53. 54]

ღვარცოფის დინამიკის ძირითად განმსაზღვრელ პარამეტრს შინაგანი ხახუნის კუთხე წარმოადგენს, იგი ცვალებადი სიდიდეა და მის დინამიკას ტენიანობასთან კავშირში შემდეგი სახე აქვს: როცა ტენიანობა $3 \div 5\%$ -ის ფარგლებშია მოთავსებული, შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi = 35^\circ$ -ს; ტენიანობის 10% -მდე გაზრდის შემთხვევაში $\varphi = 27^\circ$ -ს, ხოლო როცა ტენიანობა 12% -ია, შინაგანი ხახუნის კუთხე 4° -მდე ეცემა. შინაგანი ხახუნის კუთხის ცვლილების ანალოგიურად იცვლება ბმულობა: როცა ტენიანობა 5% -ის ტოლია, ბმულობის მნიშვნელობა მოთავსებულია $0,03 \div 0,0396$ კგ/სმ² ფარგლებში; ტენიანობის 10% -მდე გაზრდით მისი მნიშვნელობა $0,1$ კგ/სმ² -მდე იზრდება; 12% ტენიანობის შემთხვევაში ბმულობის ეფექტი მთლიანად ქრება. [20]

ბმული ღვარცოფის ხარჯის შეფასების დროს ერთადერთ ოპერატიულ საშუალებად ბუნებრივად შექმნილი მიწის კაშხლის გარღვევის მოდელი შეიძლება იქნას გამოყენებული. ხელოვნური კაშხლების წარმოქმნა სადინარში გვერდითი ფერდების მდგრადობის დაკარგვით და დიდი მასივების კალაპოტში ჩამოცურებით შეიძლება განხორციელდეს. ღვარცოფთა მოძრაობის მახასიათებლების გაანგარიშება რეოლოგიური მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში ცვლილების გამო ხშირად სადინართა ცალკეული უბნებისათვის ხორციელდება, რომლის განსაზღვრის ძირითად ოპერატიულ საშუალებას თანაბარი მოძრაობის დამოკიდებულებები წარმოადგენს. გაანგარიშების დროს კალაპოტის მახასიათებლად აღებულია სიდიდეები, რომლებიც სატრანზიტო უბნის შერჩეულ მონაკვეთს და თანაბარ მოძრაობას შეესაბამება. ასეთი დაშვებებით უგულვებელყოფილია მოძრავი ნაკადის მახასიათებლების ცვლილების რაოდენობრივი მნიშვნელობების რეალური სახე. რაც ზრდის ნაგებობათა მდგრადობის მარაგს ან მათი მწყობრიდან გამოსვლის და ნგრევის მიზეზს წარმოადგენს. რეალურად ღვარცოფსადინარში ნაკადის მოძრაობა არასტაციონალურია, რომელიც სათავიდან მოძრაობის მიმართულებით იცვლის თავის დინამიკურ ღერძს და მაჩვენებლებს. აქედან გამომდინარე, გაანგარიშებისას დაუმყარებელი მოძრაობის ფაქტორის იგნორირების გამო მოსალოდნელია ცდომილებები.

რეოლოგიური თვისებების ერთ-ერთი განმსაზღვრელი პარამეტრია წინაღობა ძვრაზე, რომელიც ღვარცოფის ტანის მოძრაობის განმსაზღვრელი კრიტერიალური მაჩვენებელია. სტატიკური მდგომარეობიდან დინამიკურში გადასვლის დროს საწყისი წინაღობა ძვრაზე საგრადიენტო შრეში იცვლება, კერძოდ, სიბლანტით მოძრავი ტანის სტრუქტურის დარღვევის გამო, შრეებს შორის ხახუნით წარმოქმნილი წინააღმდეგობის მახასიათებელია და რეოლოგიური მაჩვენებლების ფუნქციას წარმოადგენს.

სრული ძვრის წინააღობის ცვლილების სურათის დადგენა ერთ-ერთი რთული საკითხია, რადგან იგი მოიცავს სიბლანტეს და ძვრის საწყისი

წინააღმდეგობის პარამეტრებს. ღვარცოფის სიბლანტის კოეფიციენტის განსაზღვრის მცდელობა მისი ტალახოვან-წყალკოლოიდური შემადგენლების კვლევით იწყება, რის საფუძველზეც ხდება ღვარცოფის ტანის ცალკეული შემადგენლის როლის გამოვლენა რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელ მახასიათებლებზე [54.55]

ღვარცოფთა ჰიდრავლიკის ამოცანების ანალიზური გადაწყვეტა ძალზე რთულია და თანამედროვე პირობებში იმის გამო არ კარგავს თავის აქტუალობას, რომ ნაკადის სატრანზიტო უბნების ცალკეულ მონაკვეთებზე ადგილი აქვს მორფომეტრიული მახასიათებლების ისეთ ცვლილებებს, რომლებიც ხშირად არ ექვემდებარება შეფასებას. მიუხედავად იმისა, რომ კალაპოტურ პროცესებზე არსებობს დიდი სამეცნიერო ინფორმაცია, ღვარცოფთა ჰიდრავლიკური ამოცანების გადაწყვეტისას აუცილებელია ღვარცოფსაწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკა დაფუძნებული იყოს ისეთი გაანგარიშების მეთოდებზე, რომელიც სრულად ასახავს მათ ბუნებას.

ბმულ ღვარცოფთან ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის დროს განსაკუთრებული ყურადღება ნაკადის სტრუქტურის რღვევის საკითხებს ენიჭება. ღვარცოფსადინარები, რომლებიც ხასიათდებიან მორფომეტრიული მახასიათებლების მკვეთრი ცვლილებით გარკვეულ გავლენას ახდენს მის სტრუქტურაზე და ძრაობის რეჟიმზე, ასევე, განსაკუთრებულ გავლენას ნაკადის სტრუქტურის ცვლილებაზე და მისი ტანის კუმშვაზე, ახდენს სადინარის გეომეტრია. წყალთან შედარებით ღვარცოფის დეფორმაციის მაჩვენებლების ცვლილების საზღვრები გაცილებით დიდი დიაპაზონით ხასიათდება და გარკვეულ გავლენას ახდენს ნაგებობათა საპროექტო გადაწყვეტებზე [56.57.58. 59]

ღვარცოფი ნაგებობასთან ურთიერთმოქმედების შემთხვევაში დამრტყმელი ძალის სრული პროგნოზის მიზნით, როცა მკვეთრადაა გამოხატული ბმულობა მის ტანში, ტალღის გავრცელების სიჩქარე მნიშვნელოვნად მცირდება და წყალთან შედარებით მისი სიდიდე თითქმის 7-ჯერ არის შემცირებული [60].

საინჟინრო თვალსაზრისით ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მდგრადობა და სარეგულაციო ნაგებობათა პროექტირება ისეთი კრიტერიუმების გათვალისწინებას საჭიროებს, როდესაც არ ხდება ნაკადის სტრუქტურის ცვლილება და მდგრადობის კოეფიციენტის ნორმატივებიდან გამოსვლა. პირობის დარღვევის შემთხვევებში და მათი სადინარის ღიობების ზომების არასწორად დანიშვნის დროს მოსალოდნელია კალაპოტში ხერგილების წარმოქმნა, რაც სტაბილურობისა და ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის საფუძველი შეიძლება გახდეს [59].

ბმულობიდან გამომდინარე ნებისმიერი სიმძლავრის მქონე ღვარცოფწარმომქმნელი მასის ტანი შეიძლება გაყოფილ იქნას ორ ზონად: პირველი - სადაც არ ხდება ძვრის ზედაპირების წარმოქმნა და მისი სიდიდე ბმულობის ექვივალენტური სიმაღლით შეიძლება დახასიათდეს; მეორე - რომელიც პირველი ზონის გაგრძელებას წარმოადგენს და რომელშიც დარღვეულია ზღვრული წონასწორობა. შედეგად, შესაძლებელია შეფასდეს ღვარცოფის აქტიური ძაბვა და გვერდითი წნევის კოეფიციენტის მნიშვნელობა [60]

ღვარცოფთა რეგულირების სირთულეები სადინარებში მიმდინარე რთული კალაპოტური პროცესის შესწავლის დონეზეა დამოკიდებული, აქედან გამომდინარე კალაპოტების მდგრადობის მორფომეტრიული მახასიათებლების და ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების განსაზღვრა ისეთი ურთიერთშერწყმით უნდა განხორციელდეს, როდესაც დაცული იქნება ნაგებობის და ნაკადის მდგრადობის პირობები. ღვარცოფსადინარებში კალაპოტური პროცესების შესწავლას მიეძღვნა სამეცნიერო შრომები [58]

მომრავი ბმული ღვარცოფის ფიზიკაზე, თანამედროვე წარმოდგენით, შესაძლებელია მისი ნაგებობებზე ზემოქმედების მოდელის სწორად შერჩევა. შრომაში, ამაზე მიუთითებს, მოცემული ბლანტ-პლასტიკური კოჭების მოძრაობის ანალოგის მოდელის გამოყენება და მათი ადაპტირება ღვარცოფების ნაგებობებზე ურთიერთმოქმედების დროს.

არანიუტონური სისტემების რეოლოგიური მაჩვენებლის კვლევებით, შესაძლებელია ეფექტების გამოვლენა და მათი გავლენა მოძრაობის დინამიკაზე. განსაზღვრული პირობების შემთხვევაში, ღვარცოფის მოძრაობის დროს, მყარი ნაწილის დიდი პროცენტული შემცველობის გამო, ადგილი აქვს კალაპოტში მოძრავი ნაკადის მოძრაობის მიმართულების განსაკუთრებულობებს.

ღვარცოფული კერებიდან მოძრავი ტანის ჩამოყალიბების პროცესი შეიძლება არასტაციონალურად ჩაითვალოს, რომლის შეფასების ერთ-ერთ მოდელად შეიძლება იყოს გამოყენებული მიწის კაშხლების გარღვევის ჰიდროგრაფია.

სატრანზიტო უბნებზე მოძრავი ნაკადი ხასიათდება ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლილებების რიგი თავისებურებებით. აღნიშნულზე მიუთითებს მეცნიერთა სხვადასხვა შეხედულების არსებობა მოძრავი ნაკადის წარმოდგენილ მოდელებზე. აღსანიშნავია ძვრის წინალობის ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის დამოკიდებულებების სტრუქტურაც, რომელთაგან შრომათა ერთ ნაწილში, ნაკადის დინების მრუდთა ოჯახში, შვედოვ-ბინგამის მოდელის გამოყენებით, ის სხვადასხვა ინტერპრეტაციით არის წარმოდგენილი. კავშირს ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის სხვადასხვა ფორმა გააჩნია. შრომათა მეორე ნაწილში, კავშირი სიჩქარის გრადიენტსა და ძაბვას შორის ხარისხობრივ განზოგადოებული ფორმის მოდელით არის წარმოდგენილი. ასეთი სახით წარმოდგენა, იძლევა შესაძლებლობას მოვლენა უფრო განზოგადოებული ფორმით იქნას შესწავლილი. [60.61.62.63.64.65.66.67.68]

ბმულ ღვარცოფებში სტრუქტურული კავშირების განსაკუთრებულობასა და სიმტკიცობრივი მახასიათებლების დიდი დიაპაზონით ცვლილების გამო სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების სურათის კანონზომიერების დადგენა და მასზე სწორი წარმოდგენა ხშირად ვერ ხერხდება. აღნიშნულის გამო, მეცნიერთა ერთი ნაწილი სიჩქარეთა ვერტიკალზე განაწილების უწყვეტ ფორმას ემხრობა, ხოლო მეორე ნაწილი

სიჩქარეთა განაწილებას ნაკადის სიღრმეზე საგრადიენტო შრიტა და ძირითადი ბირთვის არსებობით განიხილავს. [69]

კალაპოტური პროცესების კუთხით შესწავლიდან გამომდინარე სადინარში მოძრავი ღვარცოფი ხასიათდება დეფორმაციების განსხვავებულობით, რაც გარეცხვა-დალექვით, კალაპოტის დინამიკური მდგრადი მდგომარეობის ცვლილებით და ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის შესაძლებლობებით არის განპირობებული.

კალაპოტის ფორმირება ნაკადის და კალაპოტის ურთიერთმოქმედების შედეგია და ნაკადის ტრანსპორტის უნარიანობასთან არის უშუალოდ დაკავშირებული. ნატანით დაუტვირთავი ნაკადის დროს კალაპოტზე ნაკადის ზემოქმედების შედეგად ადგილი აქვს გარეცხვას, ხდება მისი სიღრმის გაზრდა და სიჩქარის შენელება. ნაკადით ტრანსპორტირებული ნატანის დალექვის დროს კალაპოტის ფორმირება თვითრეგულირებადი პროცესია და ტრანსპორტუნარიანობასთან არის დაკავშირებული.

კალაპოტური პროცესების გააქტიურება-შენელება ჭეშმარიტი ჩამონადენის ბუნებრივ ან ხელოვნურ ცვლილებასთან არის დაკავშირებული. მისი შეფასება გეომორფომეტრიული მეთოდების გამოყენებით უნდა განხორციელდეს.

ღვარცოფსადინარებში კალაპოტური პროცესების შეფასების თეორიული დონე ჯერ-ჯერობით ამომწურავად ვერ პასუხობს პროცესის სრულად შეფასების შესაძლებლობას.

კალაპოტური დეფორმაციების კონკრეტული გამოსახულებებით აღწერის იდეა ეკუთვნის ვ. მ. ლოხტინს, რომელსაც შემდგომ მხარი დაუჭირა ვ. მ. როდევჩიმა და მ. ა. ველიკანოვმა.[69]

ნაკადის კალაპოტზე ზემოქმედების შედეგად ხდება მისი განივი კვეთის დეფორმაცია, ინტენსიურად გარეცხვა და იგი ნაკადის მიერ ნატანის მატრანსპორტირებელ შესაძლებლობასთან არის დაკავშირებული.

თვითფორმირებად სადინარებში გრძივი და განივი კვეთის პროფილი ნაკადის ხარჯზე, ქანობის და ფსკერის გარეცხვადობაზეა დამოკიდებული. ზემოაღნიშნული ფაქტორის ზემოქმედებით, თანდათანობით ხდება კალაპოტის შედარებით მდგრადი პროფილის გამომუშავება და წონასწორული ფორმით ჩამოყალიბება. აქედან გამომდინარე სადინართა განივი პროფილი ერთი და იგივე პირობებში მყოფ სადინარებშიც კი ერთმანეთისგან განსხვავებულია, მთის ზონებში მას აქვს ხეობის (კანიონის) ფორმა, შუა ნაწილში კარგად განვითარებული ნარწყულის სახე და ქვემო ნაწილში ნარიყით შექმნილი კალაპოტის ფორმა. ნ. დანელიას სადოქტორო დისერტაციის მიხედვით მდინარის გარკვეული უბნისათვის განივი პროფილები სხვადასხვანაირია. [70]

სწორ უბნებზე და ერთგვაროვან გრუნტებში მდინარის მიერ გამომუშავებული კალაპოტი სიმეტრიული ფორმით არის წარმოდგენილი. ბმულ გრუნტებში გამავალი მდინარეების ნაპირებისთვის დამახასიათებელია უფრო ციცაბო ფორმის, სიმეტრიული ცოცხალი კვეთი. სანაპირო ხაზიდან შუაგულისაკენ თანდათანობით გადასვლა მეტად საინტერესოა იმ თვალსაზრისით, თუ როგორ იცვლება კალაპოტის სიგანის სიღრმესთან ფართობის ცვლილების შესაძლებლობები. ალუვიური მდგრადი კალაპოტისათვის შეფასების ეს მაჩვენებელი $8\div 12$ -ის ზღვრებშია მოთავსებული, ადვილად რეცხვად ნაპირებიან მდინარეებში ეს მაჩვენებელი $16\div 20$ -ის ზღვრებამდე იზრდება, ხოლო სადინარის არა რეცხვად ან ძნელად რეცხვად უბნებში ეს მაჩვენებელი $3\div 4$ -ის ზღვრებშია.

სადინარზე ნაკადის განუწყვეტელი ზემოქმედების გამო ადგილი აქვს კალაპოტის ფორმირებას და დეფორმაციას, რომლის უშუალო მიზეზად ნაკადის საერთო ბალანსის დარღვევა შეიძლება იყოს დასახელებული. შემოტანილთან შედარებით მეტი ნატანის ტრანსპორტირების შემთხვევაში, ადგილი აქვს კალაპოტის გარეცხვას ან პირიქით მის ამაღლებას. კალაპოტში მიმდინარე ასეთი პროცესები განსაკუთრებულ ინტერესს იძენს სადინარებში წყალდიდობების, ხოლო ღვარცოფსადინარებში ღვარცოფების გავლის

შემთხვევაში. პროცესის განვითარება ნაკადის რეჟიმის ცვლილებითაა გამოწვეული და კალაპოტური პროცესების აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

პირველი გამოკვლევები კალაპოტური პროცესების შესწავლის საკითხებზე, რომელიც დიუბუას მიერ ჩატარებული ცდებით არის წარმოდგენილი მდინარეებში ნატანის ტრანსპორტირებაზე სამეცნიერო ცნობების შეგროვებით იწყება. შრომებით გამოვლენილი იქნა სხვადასხვა გრუნტებში გამავალი სადინარების შემადგენელი გრუნტების ნაწილაკების გადაადგილების შესაძლებლობები, რომელიც ნაკადის ზემოქმედებით ხდება.

მდინარე რიონზე ჩატარებული დაკვირვებებით მეცნიერება მივიდა მდინარის კალაპოტის ფორმირების თეორიის ჩამოყალიბებაზე, რომლის მიხედვით კალაპოტის ფორმირება ნაკადის წარმტაც ძალაზეა უშუალოდ დამოკიდებული, შესაბამისად, ჩამოყალიბებული კალაპოტის ფორმა აღწერილი იქნა საანგარიშო ფორმულებით.

წარმოდგენილი თეორიის შემდგომ გამგრძელებლად ითვლებიან გერმანელი - მ. მილესი, ფრანგი - ჟირადინი, ვ. ლოხტინი და ნ. ლედიაკვი. [71].

ლოხტინის განმარტებით ყოველი მდინარის არსებობისათვის აუცილებელია სამი ძირითადი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ელემენტის - წყალუხვობის, მდინარის ქანობის და რეცხვადობის შეთანაწყობა. სწორედ ეს პარამეტრები სავსებით ახასიათებს მდინარის შესაძლებლობებს, მასვე ეკუთვნის მდინარის კალაპოტის მდგრადობის ცნება და პირველმა მისცა პროცესს რაოდენობრივი შეფასება. კალაპოტის მდგრადობა მის მიერ შეფასებული იქნა კოეფიციენტებით, რომელთა სიდიდე ნატანის ნაწილაკის საშუალო დიამეტრის მდინარის კილომეტრული ვარდნის სიდიდის ფარდობასთან იყო დაკავშირებული. პროცესის სირთულის გამო ამ სახის მახასიათებლით კალაპოტის

მდგომარეობის შეფასება სირთულეებთან არის დაკავშირებული, მაგრამ ეს იყო კალაპოტური პროცესის შეფასების პირველი ცდა. კალაპოტურ პროცესებში განსაკუთრებული ადგილი სადინარის კვეთაში სიჩქარეთა განაწილებას და რეჟიმის შეცვლას ეთმობა. აღნიშნულის გამო ადგილი აქვს ნაკადის მდგრადობის კარგვის შესაძლებლობას. ამ მხრივ აღსანიშნავია ნ. ლელიავსკის დამსახურება, რომლის მიერ ნატბორებსა და ჩქერებზე შესწავლილ იქნა ნაკადის მოძრაობა. აღმოჩნდა, რომ ჭავლების ცირკულარული მოძრაობის შედეგად, ადგილი ქონდა ნაკადის უწესრიგო დინებას მის მთელ სიგრძეზე.

მცირე დონის მქონე ნაკადების დინებაზე დაკვირვების საფუძველზე ნ. ლელიავსკი თვლიდა, რომ მდინარეებისათვის უფრო მდგრადი ხასიათის მისაცემად, მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული მათი გასწორებაზე ამ მიმართულებით მუშაობის გაადვილების მიზნით.

მდინარის ნაკადი თავის მთელ სიგრძეზე ცდილობს შექმნას სიმეტრიული ცოცხალი კვეთები. დაამუშავოს თავისთვის ერთიანი სწორხაზოვანი კალაპოტი.

ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობაზე, ნატანის აქტიური ხარჯის დროსთან კავშირზე დაკვირვების საფუძველზე და კალაპოტის დეფორმაციების სურათის შესწავლაზე დაყრდნობით, სადინართა კლასიფიკაციის დროს ვხვდებით მდგრადი, რეცხვადი, ლექვადი, წონასწორული, დინამიკურად მდგრადი კალაპოტების მქონე სადინარებს. ყოველ მათგანს გააჩნია ფორმირების განსხვავებული სპეციფიკა და კალაპოტის ფორმირების განსხვავებული სპეციალური მაჩვენებლები.[72.73]

თვითფორმირებადი კალაპოტის ჩამოყალიბების პროცესს კონკრეტულ ფიზიკო-გეოგრაფიულ პირობებში ნაკადის განსაზღვრული ხარჯი შეესაბამება და უშუალოდ დამოკიდებულია ადგილმდებარეობაზე.

კალაპოტის ფორმის თვითჩამოყალიბება კონკრეტული ნაკადის სახეზეა დამოკიდებული, რომლის მორფომეტრულ ელემენტებს შორის

კავშირი კონკრეტული დამოკიდებულებებით არის წარმოდგენილი. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თვითფორმირებადი კალაპოტის ელემენტებს შორის კავშირის ამსახველი დამოკიდებულებები, რომლებიც ნაკადის ჰიდრავლიკის გათვალისწინებით კალაპოტის სიგანის საშუალო და მაქსიმალურ სიღრმესთან, ან მოხვეულობის მეანდრირების ბიჯთან ფარდობის კავშირის შესაძლებლობებს იძლევა [74.75]

ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე პროცესები, კერძოდ კალაპოტების ფორმის ცვლილება, განსაკუთრებულ ზეგავლენას ახდენს ნაკადის მდგრადობაზე. განივი კვეთის ფორმის ცვლილებით ხდება ნაკადის თავისუფალი ზედაპირული ფორმის ჩამოყალიბება. როცა ნაკადი გრძივი კვეთის ტალღის ფორმითაა ჩამოყალიბებული, ე. ი. როცა სიღრმის ცვლილებას შეესაბამება სიდიდეები H -დან h -მდე ან პირიქით, ასეთი პროცესების ენერგეტიკული მახასიათებლის ცვლილების შეფასების მათემატიკური მოდელი სიჩქარის პარამეტრებთან კავშირში პირველად შემოთავაზებული იქნა ჟუკოვსკის მიერ.

შეუსაბამობა კალაპოტის მორფომეტრიასა და ნაკადის ჰიდრავლიკას შორის გამოწვეულია როგორც კალაპოტის მორფომეტრიის, ისე ნაკადის ჰიდრავლიკური პარამეტრების ცვლილებით.

როცა ღვარცოფის დონეები იცვლება, ტალღის ფორმით ნაკადს გრძივი ტალღის სახე აქვს. ამ დროს, ადგილი აქვს ჰიდრავლიკური პარამეტრების უწყვეტი ფორმით ცვლილებას და ის ნაკადის გრძივი პროფილის ტალღის სახელწოდებითაა ცნობილი. როცა პარამეტრების ცვლილება ნახტომისებურად ხდება ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წყვეტას და მოძრაობა დინამიკური ტალღის ფორმით არის ცნობილი.

ღვარცოფები კალაპოტური ნაკადების განსაკუთრებულ ნაირსახეობებს წარმოადგენს და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე

ურთიერთქმედების დროს მათი მოძრაობა ტალღის ფორმით სახით ყალიბდება.

შემხვედრ წინააღმდეგობებთან ნაკადის ზემოქმედების შედეგად ხდება მდგრადობის დაკარგვა.

მდგრადობადაკარგული ნაკადი ხასიათდება დონეებისა და სიჩქარეების მნიშვნელოვანი რყევით, იზრდება ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობა, დონეების ამპლიტუდა და სიჩქარის სიდიდე. ტალღის ფორმით ჩამოყალიბებული ნაკადის სიჩქარე 3-ჯერ ჭარბობს ნაკადის საშუალო სიჩქარის სიდიდეს. აღნიშნულის გამო, აუცილებელია მხედველობაში იქნას მიღებული სარეგულაციო ღონისძიებათა დეფორმულობისა და მდგრადობის რისკების საანგარიშო მოდელების კორექტირება და დაზუსტება.

კალაპოტის ფორმირების დროს ადგილი აქვს სიგანისა და სიღრმის შეცვლის და ნატანის სატრანზიტო ზონაში სხვადასხვა ფორმით გადანაწილებას. ნაკადის ჰიდრავლიკასა და კალაპოტის მაფორმირებელ ფაქტორთა ცვლილებაში აღსანიშნავია ჩამონადენის სეზონური და მრავალწლიური რყევა, მყარი ჩამონადენის ენერგეტიკული ცვლილება, ნატანით ნაკადის დატვირთვის კუთრი შესაძლებლობა და სხვა.

მდგრადობიდან გამომდინარე ვხვდებით ისეთი სახის სადინარებს, რომელთა კალაპოტების მოხაზულობას და გეგმაში განლაგებას რიგი თვისებები გააჩნია.

ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მდგრადი ფორმის მათემატიკური მოდელით აღწერა დიფერენცირებული მიდგომებით ხდება და შემოთავაზებული დამოკიდებულებების ნაწილი ფსკერის ან ფერდის შემადგენელი გრუნტის ნაწილაკის წონასწორობის პირობებიდან გამომდინარეა მიღებული. სადინარში მოძრავი ნაკადის მდგრადობის პირობა იმ შემთხვევაშია უზრუნველყოფილი, როცა კავშირი ჰიდრავლიკასა და მორფომეტრიას შორის ურთიერთშესაბამისობაშია.[76]

ღვარცოფის გამონატანით შედგენილი კალაპოტების შემთხვევაში, როცა მის სიღრმეში წნევის განაწილება ჰიდროსტატიკურის ანალოგიურია, სტრუქტურის რღვევის შესაძლებლობის შეფასების დროს, შეიძლება გამოყენებულ იქნას გრუნტების დამაბულობის თეორია და მათემატიკური მოდელები. განივი კვეთის ფორმების შესწავლიდან გამომდინარე დადგენილია, რომ სიღრმის ფსკერისკენ ზრდის შემთხვევაში წონასწორობის ზედაპირის სახე მრუდის ფორმით არის წარმოდგენილი და იგი ძაბვის ეფექტის მაჩვენებლად არის მიღებული. ფსკერთან მიახლოების შემთხვევაში მას თითქმის წრფის სახე აქვს, ხოლო ზედაპირზე, სადაც აქტიური ძალა მაქსიმალური სიდიდით ხასიათდება, კალაპოტის ფორმა გამოკვეთილი მრუდის ფორმით არის წარმოდგენილი [77].

ღვარცოფსადინარის დეფორმაციას მაშინ აქვს ადგილი, როცა ხდება ნაკადის მდგრადობის დაკარგვა. ნაკადის მდგრადობის კარგვის განმსაზღვრელ კრიტერიუმად მისი კუმშვა ან გაჭიმვაა მიღებული. როცა მდგრადობის განმსაზღვრელ მაჩვენებლად ნაკადის სიგანის სიღრმესთან ფარდობის სიდიდეა მიჩნეული, შეფარდების კრიტიკული მნიშვნელობა $\leq 0,33$ -ზე.

როცა საკითხი ტალღის ფორმით მოძრავი ნაკადის საინჟინრო ამოცანებს ეხება აქტიურობას იძენს ისეთი საკითხები რომლებიც ღვარცოფ-ხერგილებით შექმნილი კაშხლების დარღვევასთან არის დაკავშირებული[78].

სამეცნიერო ლიტერატურაში ვხვდებით ისეთი სახის სამეცნიერო შრომებს სადაც ნაკადის კუმშვის შესაძლებლობა და ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რეოლოგიურ მაჩვენებლებთან არის უშუალოდ დაკავშირებული. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 0,5-ის ტოლია.

ტალღის ფორმით მოძრავი ღვარცოფის შემთხვევაში, როცა უწყვეტი ტალღა უსწრებს დინამიურს, ხდება თანაბარი მოძრაობის პირობების

რღვევა. ასეთი შემთხვევის დროს, შესაბამისად, ტალღის სიჩქარე ნაკადის საშუალო და მის ზედაპირზე გავრცელებული ტალღის სიჩქარის ჯამზე მეტია. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე მიღებულია სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი და ნაკადის სიღრმის ზღვრული სიდიდეების საანგარიშო დამოკიდებულებები სხვადასხვა მახასიათებლებთან კავშირში. [70.79].

დინების მდგრადი ფორმა და მისი რეჟიმის შეცვლა რეგულირების დონეზეა დაკავშირებული. ღვარცოფრეგულირებაში ნაგებობათა ისეთი სახეები და კომპლექსია გათვალისწინებული, რომელთა ქმედება ნაკადზე მოძრაობის რეჟიმის მოწესრიგებისკენ არის მიმართული. კალაპოტის მდგრადი ფორმის შენარჩუნება, როცა ნაკადის რეგულირება ნაგებობის გამოყენებით ხდება, იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა გვერდითი შევიწროება არ იწვევს ნაკადის ჭავლების გამრუდებას. კალაპოტის და ნაკადის ურთიერთქმედების ძირითადი კანონების გამოვლენას და მათი თეორიის გაანგარიშების საკითხების დამუშავებას უკანასკნელ პერიოდში განსაკუთრებული ადგილი უკავია.

მოძრავ ნაკადში ტალღების წარმოქმნის შესაძლებლობა მჭიდროდ არის დაკავშირებული დინების მდგრადობასთან. ამასთან ერთად, მოძრაობის მდგრადობის შეფასება მათემატიკური მეთოდებით დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. აღნიშნული პრობლემის შესწავლის მხრივ, დღესდღეობით, ნაწილობრივ დადგენილია ის კრიტერიუმები, რომლებიც შესაძლებლობას იძლევა წინასწარ შეფასებულ იქნას ტალღის წარმოქმნის შესაძლებლობა.

სენ-ვენინის მიერ წყლის დინებები დაყოფილია ორ სახეობად: წყნარ და მძაფრ დინებებად. ბოლო დინების გრადაციით, გრადაციას მოცემული აქვს ერთი სახეობის დინების მეორით შეცვლის შესაძლებლობა.

თანაბარი მოძრაობის მდგრადობის შეფასებაში განსაკუთრებული წვლილი მიუძღვის ვ. ვედერნიკოვს, რომლის შემოთავაზებულ კრიტერიუმს

აქვს მთელი რიგი უპირატესობანი სხვა არსებულ კრიტერიუმებთან შორის. პირველადაა მოცემული კალაპოტის ფორმის ზეგავლენა მოძრაობის რეჟიმის შეცვლაზე, რომლის ეფექტი მნიშვნელოვნად დიდია.

თ. გ. ვოინიჩ სიანოჟენცკის მიერ მიღებულია თანაბრად მოძრავი ტურბულენტური დინების მდგრადობის კრიტერიუმი. როგორც თვით ავტორი აღნიშნავს მიღებული შედეგები მხოლოდ 10%-ის ფარგლებში არ ემთხვევა რეალობაში არსებულ რეჟიმს [79].

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ამერიკის დეპარტამენტის საირიგაციო სამმართველოს სპეციალისტების მიერ კვლევები დიდქანობიან არხებისთვის, მათ მიერ კიდევ ერთხელ დასაბუთებულია ტალახის დინებებში პრობლემების საკმაოდ დიდი აქტუალობა და შემდგომი შესწავლის აუცილებლობა .

ღვარცოფული მოვლენების გარემოზე ზემოქმედება კალაპოტურ პროცესებთან და კალაპოტების დეფორმაციასთან არის უშუალო კავშირში და ზემოთ აღნიშნული ნაკადის მდგრადობის რღვევის საკითხების შესწავლის დონეზეა უშუალოდ დამოკიდებული. მეცნიერული სიღრმით საკითხი გლობალური სახისაა. მოვლენის ანომალურობის გამო გარემოს ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის მდგრადობის კარგვის რისკები და დეცენტრალიზაცია, სადინარისა და ღვარცოფის ურთიერთმოქმედების შერწყმის დონესთან არის დაკავშირებული. როცა კალაპოტის დეფორმაცია მიმდინარეობს იგი თავისთავად ნაკადის მდგრადობის კარგვის მიზეზიც არის, ან პირიქით. გამომდინარე აქედან, ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე პროცესების საანგარიშო კვლევა და საანგარიშო დამოკიდებულებებით მათი აღწერა მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს ინოვაციური სარეგულაციო ღონისძიებების პროექტების დანერგვის დროს. განსაკუთრებით ყურადღების ცენტრში იქნება მოქცეული ის ამოცანები, რომლებიც ღვარცოფის კუმშვასთან, კალაპოტის ზღვრული წონასწორული მდგომარეობის შესწავლასთან და ტალღური მოძრაობის წარმოქმნის შესაძლებლობებთან იქნება დაკავშირებული.

1.2. კალაპოტური პროცესების შეფასების მათემატიკური მოდელები

ხელოვნურ და ბუნებრივ სადინარებში განვითარებული კალაპოტური პროცესების პრობლემების კვლევა და შეფასება არსებულ თეორიებზეა დამოკიდებული. კალაპოტური პროცესების და სადინარში მოძრავი ნაკადის არსებული სამეცნიერო შრომები ადასტურებს, რომ საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის დროს არც თუ იშვიათად გამოყენებულია ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლებები.

ზოგადად, შემადგენელი მყარი კომპონენტის დიდი მოცულობის და წონითი პროცენტული შემცველობის გამო, ღვარცოფები ჰიპერკონცენტრირებულ ნაკადთა კატეგორიას განეკუთვნება.

ასეთი ნაკადების ჰიდრავლიკის ამოცანების გადაწყვეტის დროს მყარი შემადგენლის გადაადგილება განხილული უნდა იყოს ნაკადის არა ტურბულენტობით, არამედ ნატანშემცველი გარემოს განსაკუთრებული მაჩვენებლით: გაზრდილი სიბლანტით.

კალაპოტური პროცესების შესწავლის დროს არანაკლებ მნიშვნელოვანია იმ განმსაზღვრელი ფაქტორების მექანიზმი და სტრუქტურა, რომელიც კალაპოტის მიერ იმართება.

ტურბულენტური ღვარცოფების შემთხვევაში მყარ ნაწილაკთა შეტივნარებასა და ტრანსპორტირებაში მთავარი როლი ტურბულენტობაზეა დამოკიდებული, ხოლო ნაკადის სადინარებში ქცევა და მასზე ზემოქმედების შესაძლებლობები დინების მექანიზმთან არის უშუალოდ დაკავშირებული. მათი გათვალისწინება მათემატიკურ მოდელებში, მოვლენასთან ისეთი მოდელების ადაპტირებას მოითხოვს, რომელშიც ზუსტად იქნება გათვალისწინებული მოვლენის ანომალური ბუნება. ზოგადად, ღვარცოფებთან რეკომენდებულ მოდელებში ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის ეფექტი ინტეგრალური ფორმით არის შესული და მისი სიდიდე სრულად ასახავს შრეების შორის ცურვის, რეოლოგიური მახასიათებლების, ტურბულენტური ნაკადის კალაპოტთან კონტაქტის და გრუნტის ნაწილაკების წატაცების რეალურ შესაძლებლობებს [80].

არაგლუვი ზედაპირით ღვარცოფული სადინარების კალაპოტური ფორმების ნაირსახეობების გამო ადგილი აქვს ნაკადის მდგრადობის კარგვის შესაძლებლობებს და მოძრაობის რეჟიმების შეცვლას. თანაბრად მოძრავი ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ფორმირების შესაძლებლობა და მასთან დაკავშირებული ამოცანები, გრძივი ტალღების შემთხვევაში, როცა სადინარის ქანობი i , წინალობის ქანობი i_0 , საშუალო სიჩქარე t , დრო v -ს და სიღრმე H -ის ტოლია, აკადემიკოს თ. ნათიშვილის მიერ აღწერილია დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემით, რომელსაც აქვს სახე. [81.82]

$$\begin{cases} i_0 - i - \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{1}{2g} \cdot \frac{\partial(v^2)}{\partial x} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (1.2.1)$$

წარმოდგენილ განტოლებაში წინააღმდეგობის ქანობის მნიშვნელობის შეფასების დროს, თანაბარ მოძრაობაზე დაყრდნობით და ტრადიციულად მიღებული დაშვებების საფუძველზე გამოყვანილია მოძრაობის ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლება მცირე შეშფოთების მეთოდების გათვალისწინებით. მიღებულია თანაბრად მოძრავი ნაკადის სიღრმის შეშფოთებით გამოწვეული ცვლილების დინამიკა მოძრაობის საწინააღმდეგოდ.

თეორიული მექანიკიდან გამომდინარე მოძრაობის მდგრადობა და მისი მკაცრად შეფასების კრიტერიუმები მიღებულია ჰუანკრე-ლიპუნოვის თეორიის გამოყენებით. ნაკადი მდგრადია მანამ, სანამ ნაკადისა და კალაპოტის საკონტაქტო ზედაპირზე თანაბარი მოძრაობა არ ირღვევა. ე. ი. ტალღის წარმოქმნა თავისუფალ ზედაპირზე არ ხდება.

ბმულ ღვარცოფებში ტალღის ფორმით მოძრაობის ჩამოყალიბების საორიენტაციო შესაძლებლობა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მოდელით [83.84]

ბმული ღვარცოფის სიგანეში გაჭიმვის მოდელად შეიძლება ჩაითვალოს მისი ხევიდან გამოტანის კონუსზე გადინების შემთხვევა, ე.ი. როცა ხდება ნაკადის გათავისუფლება მიმმართველი კედლებისაგან. როცა ნაკადი არ იმყოფება შევიწროების წნეხში იგი იღებს ტრაპეციის ფორმას.

წინააღმდეგობის განტოლებას, ასეთ შემთხვევაში, სველი პერიმეტრის გათვალისწინებით აქვს შემდეგი სახე [85]:

$$\omega \frac{dv}{v} + \lambda \frac{h_0 dx}{2} + x \tan b dx = 0 \quad (1.2.2.)$$

ღვარცოფსადინარის I ქანობისა და ℓ სიგრძის შემთხვევაში, როცა ღვარცოფის წინააღმდეგობის ქანობი if -ის ტოლია, მოძრაობა h სიღრმით ხასიათდება და მას გააჩნია ω ცოცხალი კვეთის ფართობი, ამ შემთხვევაში, ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 ტოლია და ხასიათდება φ შინაგანი ხახუნის კუთხით. ასეთ დროს დაუმყარებელი მოძრაობის ერთგანზომილებიან დიფერენციალურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე [86].

$$\frac{dh}{d\ell} = \frac{i - if + \frac{Q2}{q\omega^3} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial \ell}}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi - \frac{\partial Q2}{q\omega^3} \beta} \quad (1.2.3.)$$

წარმოდგენილი განტოლება შესაძლებლობას იძლევა შეფასდეს სიჩქარის და სიღრმის ცვალებადობის ხასიათი მოძრაობის მიმართულებით, როცა ნაკადის კალაპოტის სიგანე β ტოლია, წყნარი და მძაფრი მოძრაობის შემთხვევისათვის $\frac{dh}{d\ell}$ -ით უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $\frac{dh}{d\ell} \geq 0$ -ზე.

ღვარცოფსადინართა კალაპოტების მრავალფეროვნების გამო ნაკადის მდგრადობის დაკარგვა ტალღის სახით ხდება, რომელსაც თან ახლავს ნაკადის ჰიდრავლიკური და ჰიდროლოგიური პარამეტრების შეცვლა.

იმის და მიხედვით თუ რა მიზანს ემსახურება ღვარცოფთა რეგულირება, კალაპოტურ პროცესებში მოძრავი ღვარცოფი შეიძლება განხილული იქნას ტალღის ფორმით.

რეალობაში არსებული მრავალი სახის ტალღიდან, ღვარცოფის ჰიდრავლიკაში განსაკუთრებულ ინტერესს იძენს ეგრეთწოდებული გრძივი დარტყმითი-დინამიკური და მონოკლინარული ტალღები.

ცვლადი ხარჯის მოძრაობის შემთხვევაში, როცა ღვარცოფის მიერ მყარი მასის მიერთების შესაძლებლობა g_n -ის ტოლია, ხარჯი Q -ს, ცოცხალი

კვეთის ფართობი ω -ის, მაშინ დიფერენციის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს [87]:

$$q_n \partial x + Q = (Q + \partial Q) + \frac{\partial \omega}{\partial t} \partial x \quad (1.2.4.)$$

ხარჯის ცვლილება სიგრძეზე შეიძლება წარმოდგენილი იქნას განტოლებით:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial \omega} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial x} = V_0 \frac{\partial \omega}{\partial x} \quad (1.2.5.)$$

როცა ღვარცოფის ფორმირება ტალღის სახით ხდება და მისი სიღრმე H -ის ტოლია, მოძრაობს V სიჩქარით, ტალღის სიმაღლე $\psi = \Delta h$, შინაგანი ხახუნის კუთხე φ , ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 – ის, შემხვედრი ნაკადის სიღრმე h -ის ტოლია. ბერნულის განტოლებაზე დაყრდნობით მიღებულია [88].

$$h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi + \frac{c^2}{2q} = h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi + \Psi + \frac{v^2}{2q} \quad (1.2.6.)$$

ზემოთ გამოყენებული მოდელის საფუძველზე ტალღის სიჩქარე:

$$c = \sqrt{qh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi} \cdot \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{\Psi}{h} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right). \quad (1.2.7.)$$

ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე:

$$V = \frac{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) c}{\Psi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}. \quad (1.2.8.)$$

ტალღის სიღრმის უმნიშვნელო სიდიდის შემთხვევაში, კალაპოტის ფუძესთან დახრის კუთხე θ -ს მნიშვნელობისას:

$$c = \sqrt{qh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \sin \theta} \quad (1.2.9.)$$

რეოლოგიური მახასიათებლების $h_0 = 0$, $\varphi = 1$ და კალაპოტის საფარდ სიბრტყესთან Q დახრის კუთხის 0 -თან ტოლობის შემთხვევაში საანგარიშო ხარჯი [88].

$$q = h \sqrt{gh} \quad (1.2.10.)$$

ნაკადის სიღრმის საწყისთან ფარდობა

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{\left(2\sqrt{\left(1-\frac{h_0}{h}\right)\varphi \cos \alpha} + \left(\frac{3}{4}\frac{\Delta h}{h} - \frac{1}{\left(1-\frac{h_0}{h}\right)\varphi}\right)\right)^2} \quad (1.2.11.)$$

როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა და $\theta = 0$, ფარდობა $\frac{h}{H} = \frac{4}{9}$ -ს ემთხვევა წყალში ნაკადის სიღრმეს დამის საწყის სიღრმესთან ფარდობის მნიშვნელობას.

ღვარცოფის რეგულირების დროს, ე.ი. როცა ხდება მისი განივი კვეთის შევიწროება ან გაფართოება, ადგილი აქვს ნაკადის სტრუქტურის რღვევას და რეჟიმის ცვლილებას. ე.ი. გვერდითი შევიწროების შედეგად ხდება სიღრმეზე მისი გაჭიმვა. კუმშვის შედეგად ღვარცოფის გაჭიმვის ფარდობითი სიდიდე, როცა $\alpha=0$ შემდეგია [89.90.91]

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\sqrt{\left(1-\frac{h_0}{h}\right)\varphi} + \left(1-\frac{h_0}{h}\right)\varphi}{4} \quad (1.2.12.)$$

როცა რეოლოგიური მახასიათებლები $h_0=0$ და $\varphi=1$, მაშინ ფარდობა:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{3}{4} \quad (1.2.13.)$$

ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტი μ მოცემულია შრომაში [88].

$$\mu = \frac{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi}{1 + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi} \quad (1.2.14.)$$

ღვარცოფული ნაკადის გვერდითი კუმშვის სიდიდე $\frac{\Delta B}{B}$:

$$\frac{\Delta B}{B} = \mu \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi} + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi}{4} \quad (1.2.15.)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ბრძოლის ძირითად მიზანს, როცა ჯერ კიდევ არ ფიქსირდება მათი ჩამოყალიბება, წარმოადგენს მათი ლიკვიდაცია, ხოლო ჩამოყალიბებული ღვარცოფების რეგულირება და სარეგულაციო

საკითხების სრულყოფა კალაპოტში მიმდინარე პროცესების თეორიული მოდელების შექმნასთან არის დაკავშირებული.

1.3. ღვარცოფების გავრცელების გეოგრაფია და განსაკუთრებულობები

ლანდშაფტურ ინფრასტრუქტურებზე და მის შემადგენელ ელემენტებზე ზემოქმედების გამო ღვარცოფებს მოაქვს დიდი ზიანი. არც თუ იშვიათად იგი შეუდარებელ ზარალს აყენებს კაცობრიობას და ზემოქმედების შედეგად ყოველ წლიურად მწყობრიდან გამოყავს რამდენიმე ათეულობით კვადრატული კილომეტრის ნაყოფიერი მიწები. ღვარცოფულ მოვლენებთან არის დაკავშირებული მოსახლეობის განსახლების პრობლემა და ცალკეული ოჯახების მიგრაციის საკითხები.

ღვარცოფთა რეგულირება სახეობების განსხვავებულობის გამო საჭიროებს არატრადიციულ მიდგომებს. ჰიდროლოგიისა და ჰიდრაულიკის კანონზომიერებების შესწავლის დროს, კვლევის შედეგების ანალიზებით, ღვარცოფული მოვლენები ეს ის მოვლენებია, რომელიც ფაქტიურად ფიქსირებულია მთიანი რეგიონის თითქმის ყველა ქვეყანაში. გეოგრაფიის მიხედვით განსაკუთრებით აღსანიშნავია ალპები, დასავლეთ კარპატები, ხიბინი, პირინეი, კორდილიერი, ანდი, ტიან-შანი, ასმირი, კავკასია, ჰიმალაი, ახალი ზელანდიის მთები, იაპონია და სხვა.

ალპურ ქვეყნებს შორის ღვარცოფული პროცესების ინტენსიური გამოვლენის შესაძლებლობით შეიძლება გამოყოფილი იქნას ავსტრია. აქ აღრიცხულია 4000-ზე მეტი ღვარცოფული სადინარი.

ღვარცოფის მყარი შემადგენლის ფორმირება გრავიტაციით, კალაპოტის ფუძის და ნაპირის გარეცხვის პროცესით ხდება.

ღვარცოფსადინარებისათვის დამახასიათებელია არც თუ ისე დიდი სიგრძე და ხასიათდება მნიშვნელოვანი ქანობით.

საფრანგეთის ალპებში ღვარცოფული აუზებით ტერიტორიის 2000 კვადრატულ კილომეტრზე მეტია დაკავებული. ღვარცოფების ჩამოყალიბების განმსაზღვრელ ფაქტორს გეოლოგია, ჰიდრომეტეოროლოგია და ნიადაგურ-მცენარეული საფარი, რელიეფის ძლიერი დაყოფადობა სატყეო ზონის ზემოთ, აქტიური გამოფიტვა, უხვი ნალექები და თოვლის ინტენსიური დნობა წარმოადგენს.

შეერთებული შტატები - კორდილიერის სამხრეთი ფერდობები - ღვარცოფები, სიძლიერით განეკუთვნება კატასტროფულს. აქ ღვარცოფების სიჩქარე ხშირ შემთხვევაში 15-20 მ/წმ-ს ფარგლებში მერყეობს. სიმკვრივე აღწევს 25000ნ/მ³ და მასში მყარი შემადგენლის მოცულობა 80%-ია. სამხრეთ ამერიკაში ანდების მოსაზღვრე ქვეყნებში, ღვარცოფები უფრო ინტენსიურად გვხვდება. ღვარცოფები ფიქსირდება აგრეთვე ეკვადორზეც.

იაპონიის ნახევარკუნძული წარმოადგენს ღვარცოფული ფორმირების ადგილს იგი გამოირჩევა არა მხოლოდ მასშტაბით, არამედ ღვარცოფწარმოქმნის თავისებურებებით. იაპონიის არქიპელაგის ოთხივე დიდი კუნძული გამოირჩევა ღვარცოფული პროცესების სიმძლავრით.

აუზის ვაკე ადგილებზე ხდება ნატანის ინტენსიური დაგროვება და ნიშნულების უეცარი ამაღლება. ყოველი კვადრატული კილომეტრიდან საშუალო წლიური გრუნტის გამონატანის მოცულობა შეადგენს 400მ³ -ს, ღვარცოფთა სიმკვრივე 2400ნ/მ³ აღწევს, ხოლო მყარი მასის შემადგენლობა 70%-ს შეადგენს. ღვარცოფის საშუალო წლიური გამონატანი ერთ-ერთი ტიპური ღვარცოფული მდინარის მაგალითზე შეადგენს 0,17 მილიონ /მ³.

ღვარცოფული ნაკადები დამანგრეველი ზემოქმედებით გამოირჩევა უკრაინაში, ყაზახეთში, შუა აზიაში და კავკასიაში.

ზემოთ მოყვანილი ყველა რეგიონისათვის დამახასიათებელია ღვარცოფული პროცესების თავისებურებანი, რომლებიც ძირითადად გეოლოგიური, მეტეოროლოგიური და ჰიდროლოგიური

განსაკუთრებულობით არის გამოწვეული. სადაც მყარი მასალით ღვარცოფწარმოქმნილი კერები წყალშემკრები აუზის მოკლე ზოლშია განლაგებული, ფორმირებულ ღვარცოფთა მოძრაობის სიჩქარე შეადგენს 3,6 მ/წმ, მაქსიმალური ხარჯი 113 მ³/წმ.

შუა აზიის ქვეყნებისა და ყაზახეთისთვის დამახასიათებელი ღვარცოფთა საერთო რაოდენობა 5000-ზე მეტია.

ღვარცოფულობით ხასიათდება ალპებისა და ტიან-შანის მთიანი მასივებიც.

აღნიშნული რეგიონებისათვის აღსანიშნავია მათა ჩამონაცურებები, რომლებიც მასის ძვრების შედეგად ქმნის კაშხლებს. აღნიშნული, ღვარცოფწარმოქმნის პოტენციურ კერებადაა ცნობილი. ღვარცოფშესაძლებლობების მიხედვით კავკასია წარმოადგენს კლასიკურ რეგიონს. ღვარცოფების ფორმირებას ადგილი აქვს თითქმის ყველა სახით.

ვერტიკალური ზონალობის მიხედვით საქართველოს ტერიტორიის ფართობი დაყოფილია შემდეგი მიმდევრობით: 500 მ-მდე - 23,5%; 500 მ-დან 1000 მ-მდე - 22,7%; 1000 მ-დან 1500 მ-მდე - 16,5%; 1500 მ-დან 2000 მ-მდე - 17,4%; 2000 მეტრზე ზევით - 19,8%.

ღვარცოფების გენეზისის სახეების, წარმოშობის, გავლენის ინტენსიურობის, გამოტანის კონუსების აკვატორიაზე მყარი ნატანის გამოტანის მოცულობის მიხედვით, საქართველო წარმოადგენს მეტად რეპრეზენტალურ რეგიონს და მისი ტერიტორიის 20-25% იმყოფება მათი დამანგრეველი მოქმედების ზონაში [44]

ღვარცოფების მოქმედების არეშია რიგი ობიექტები, საავტომობილო და რკინიგზის მაგისტრალები, საირიგაციო, ენერგეტიკული დანიშნულების არხები, კომუნალური და სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობები და აგრეთვე დასახლებული პუნქტები: თელავი, ყვარელი, მცხეთა, დუშეთი, გორი, ყაზბეგი, ლენტეხი, ონი, ქედა, შუახევი და სხვა. [92.93]

ღვარცოფული მოვლენების გავრცელება განისაზღვრება გეოლოგიური, გეოლოგიურ-მორფოლოგიური, ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული და ეგზოგენური პროცესების გამოვლენის დინამიურობის მრავალსახეობათა კომპლექსით [44]

განსაკუთრებით მთის რეგიონები გამოირჩევა ეროზიის, მეწყერების და ღვარცოფული მოვლენებისადმი მიდრეკილებით. საქართველოს ტერიტორიაზე ფიქსირებული ღვარცოფების 79% მიეკუთვნება კასპიის ზღვის, ხოლო 21% შავი ზღვის აუზს.

ღვარცოფების გამომწვევ მეტეოროლოგიურ ფაქტორთა შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია ატმოსფერულ ნალექებს .

კლიმატურ ფაქტორთა შორის აღსანიშნავია აგრეთვე თოვლის საფარი, ხშირი ნისლები, ქარები, მაღალმთიანი ზონებისათვის ნისლიან დღეთა რიცხვი წელიწადში საშუალოდ მერყეობს 45-85-ის ფარგლებში, ხოლო ქარის მაქსიმალური სიჩქარე აღწევს 45 მ/წმ.

მნიშვნელოვანი როლი ღვარცოფების ჩამოყალიბებაში ეკუთვნის ტემპერატურის მერყეობას. რადიაციული ბალანსის წლიური სიდიდე ზოგიერთი რეგიონის გამორიცხვით დადებითია და შუადღისას მზის სხივის მართობულ ზედაპირზე აღწევს 138-140 კკალ/სმ²-ს, ხოლო ზღვის დონიდან 2500 მ სიმაღლეზე 148-150 კკალ/სმ²-ია. [44]

ტექნოლოგიური პროცესები და სეისმური მოვლენები იწვევენ მთის ფერდობებზე ბზარების გაჩენას, ხელს უწყობენ მათ გამოფიტვას და ღვარცოფის მასის მასალის წარმოქმნას. ამ მხრივ აღსანიშნავია, რომ საქართველო 7-8 ბალიან სეისმურ ზონაშია მოქცეული.

გეოლოგიური თვალსაზრისით ღვარცოფის მასის მყარი შემადგენლის წარმომქმნელი გრუნტი თიხა-ფიქალებით და ქვიშნარებით არის წარმოდგენილი, რომლებიც გამოირჩევიან განსხვავებული დენუდაციური მედეგიანობით.

საქართველოს მთის ფერდობები გამოირჩევა გეომორფომეტრიული პროცესების მნიშვნელოვანი განსხვავებებით. მაღალმთიანი ზოლის ალპურ ზონაში გამეფებულია გამყინვარება და ეროზიული პროცესები, ხოლო მთისა და მთისწინა ზონებში ეროზიული, ნაწილობრივ მერყეული მოვლენები - ჩამოზვავება, მთების ჩამონაცურები, ჩამონაშალები და სხვა.

ღვარცოფის წარმომქმნელი გრუნტი მთის ქანების უწყვეტი რღვევით და დაშლით ძირითადად გროვდება ეროზიულ ღრანტებში, რომელიც წარმოდგენილია მთის შენაკადთა სათავეებში კალაპოტთა სისტემით, საიდანაც ეროზიული მოქმედების შედეგად მათი ტრანსპორტირება ღვარცოფულ კერებში ხდება.

ღვარცოფების ზემოქმედების განსაკუთრებულობითა და განმეორებადობის სიხშირით გამოირჩევა სატრანსპორტო და რკინიგზის მაგისტრალები: მდინარე არაგვის აუზში საქართველოს სამხედრო გზა სოფელ ანანურიდან ჯვრის უღელტეხილამდე, მდინარე მტკვრის აუზში ბორჯომი-ხაშური-ახალციხის საავტომობილო მაგისტრალი ბორჯომის მონაკვეთზე, მდინარეების ჩხვრიმელა-ძირულა-თვიბრის აუზებში რკინიგზის მაგისტრალები. ღვარცოფების დამანგრეველ ზონაში მოქმედი საავტომობილო მაგისტრალების საერთო სიგრძე შეადგენს 200 კმ-ს, ხოლო რკინიგზის 17,5 კმ-ს.[44]

განსაკუთრებით ინტენსიურ დამანგრეველ ზემოქმედებას განიცდის კავკასიონის მთავარი ქედის, სამხრეთ ფერდობის აღმოსავლეთ ნაწილში განლაგებული ობიექტები, რომლებიც ჩრდილოეთიდან შემოსაზღვრულია კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედის სიგრძით, ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთით 250 კმ, მდინარე იორის სათავეთი, აღმოსავლეთით მთის შენაკადით ვანდემჩაი, სამხრეთით ცივი გომბორის ქედით. ხოლო მდინარეები ალაზანი, აგრიჩაი, თურიანჩაი, რომლებიც გამოედინებიან აღნიშნული ფერდობიდან მთის შენაკადთა მთავარ წყალშემკრებ კოლექტორებს წარმოადგენენ.

პირველსაწყისი წყაროების მიხედვით საქართველოში ღვარცოფების გავლის შესახებ ცნობები მოგვეპოვება 1775 წლიდან მდინარე ყაბახი /მდ. თერგის შენაკადი/, მდ. დურუჯი 1888 წელი, ნაღვარევის ხევი 1897 წელი, მლეთის ხევი 1902 წელი/ მდ. თეთრი არაგვის მარცხენა შენაკადები/. საქართველოს ტერიტორიაზე, რომელიც განსაკუთრებული ჰიდროგრაფიული ქსელის სიხშირით ხასიათდება 26 ათასი მცირე და დიდი მდინარეა საერთო სიგრძით 60 ათასი კმ. წარმოდგენილ ჰიდროგრაფიულ ქსელში 127 მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობი 100 კმ²-ს აღემატება. ძირითადად მთის მდინარეთა კალაპოტებისათვის დამახასიათებელია V-ს მაგვარი განივი კვეთები, რომელთა დაფერდებით კუთხეები იცვლება (30-50)⁰ ფარგლებში.

ღვარცოფის ჩამოყალიბების ადგილებში მთის მდინარეები ხასიათდებიან წყალშემკრები აუზის შედარებით მცირე ფართობით $\leq 10\text{კმ}^2$ -ზე, ხეობის ციცაბო ფერდობებით, გამოფიტვისადმი ადვილად შლადი ქანებით, მცირე წყლის ხარჯებით და მისი უეცარი მატებით თავსხმა წვიმების დროს.

მდინარე მტკვრის წყალშემკრები აუზი თითქმის მთლიანად მოიცავს აღმოსავლეთ საქართველოს, რომლის შენაკადებიდან აქტიურ ღვარცოფულ ხასიათს ატარებს ალაზნისა და მდ. არაგვის შენაკადები. მდ. თეთრი არაგვის 50 შენაკადიდან ღვარცოფულ ხასიათს ატარებს 20 მარცხენა და 21 მარჯვენა შენაკადი. მდ. თერგის აუზში საქართველოს ტერიტორიაზე მოქცეული შენაკადებიდან 9 ატარებს ღვარცოფულ ხასიათს. მდინარე რიონის აუზში 68 შენაკადიდან 11 ატარებს აქტიურ ღვარცოფულ ხასიათს და ყველაზე დიდი სიმძლავრით ხასიათდება მდ. ცხენის-წყლის მარჯვენა შენაკადი მდ. ლასკადურა. ღვარცოფები ფიქსირებულია აგრეთვე მდინარეების ენგურის, აჭარის წყლის, ჭოროხის, კოდორის და ბზიფის წყალშემკრებ აუზებში. ღვარცოფების წარმოშობის კერები მოცემულია საქართველოს რუკაზენახ.1.1. საქართველოს ტერიტორიის და რაიონების რუკა

ღვარცოფული მოვლენებით დაზიანების ხარისხისა და აქტიურობის რისკის მიხედვით



ნახ.1.3. 1 საქართველოს ტერიტორიაზე ღვარცოფების გავრცელების რუკა

რუკაზე ნაჩვენებია საქართველოს ტერიტორიაზე ღვარცოფებით მიყენებული დაზიანებების ხარისხი. მოცემული პირობითი ნიშნებით აღნიშნულია ამა თუ იმ რაიონებში აქტიური რისკისა და დაზიანებების სხვადასხვა ხარისხის ქვეშ მყოფი რაიონები.

თავი 2 ბმული ღვარცოფის ზღვრული წონასწორობისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი მაჩვენებლების ექსპერიმენტული კვლევა

2.1. ღვარცოფთა უწყვეტი გარემო და სადინართა მორფომეტრიული მახასიათებლები

ბუნებაში გავრცელებული ღვარცოფების არაერთგვაროვნების და მრავალი სახესხვაობების გამო დღემდე არ არსებობს ერთიანი მეთოდიკა, რომელიც გაითვალისწინებდა მოვლენაში მონაწილე ყველა ფაქტორს, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კერებში მდგრადობის დაკარგვის,

ფორმირების და სატრანზიტო ზონაში, ღვარცოფის საანგარიშო მათემატიკურ მოდელებში კალაპოტურ პროცესებში მონაწილე ყველა ფაქტორის გათვალისწინება.

ღვარცოფული ნარევის მრავალკომპონენტურობა და კონცენტრაციის დიდ დიაპაზონში ცვლილების შესაძლებლობები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს წონასწორობის რღვევის და სადინარში ნაკადის ქცევის შესაძლებლობებზე.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ცდების პირველი სერია დაეთმო რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელი პარამეტრების დადგენას და უწყვეტი გარემოს ცვლილების შეფასების შესაძლებლობების დადგენას შემადგენელი კომპონენტების ცვლილებასთან კავშირში.

ღვარცოფული ტანის უწყვეტობა დაკავშირებულია მყარი მასის კოლოიდურ ნაწილთან. ფარდობის ცვლილებასთან დაკავშირებული კოლოიდური ნაწილი ქვის კარკასის შემავსებელ ნაწილს წარმოადგენს და განსაზღვრულ როლს ასრულებს ბმულობის ფორმირების პროცესზე.

საერთოდ ღვარცოფული გრუნტების დისკრეტიულობიდან უწყვეტ გარემომდე ტრანსფორმაცია შემადგენელი კოლოიდურ ნაწილს და წყალს ეკუთვნის. მათი მასაში თანდათანობითი გაზრდა იწვევს მოცულობითი მასის გაზრდის შესაძლებლობებს, ხოლო განსაზღვრულ ექსტრემალურ მნიშვნელობაზე მიღწევის შემდეგ მოცულობითი წონის შემცირებასთან ერთად ხდება მისი ბმულობის უეცრად შემცირება და 0-მდე დაცემა.[56.94]

ღვარცოფულობის ზღვრების და გარემოს უწყვეტობის კრიტერიუმების საზღვრების დადგენის მიზნით შემადგენელი კომპონენტების ცვლილებასთან კავშირში საკვლევი ღვარცოფული მასის ბუნებრივი ნიმუშების შესწავლა განხორციელდა შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის, გარსშემომვლელი ხევით ღვარცოფსადინარის კალაპოტში აღებული ნიმუშების საფუძველზე. კვლევები მიმდინარეობდა შოთა რუსთაველის სამეცნიერო ფონდის ფინანსური დახმარებით, საგრანტო

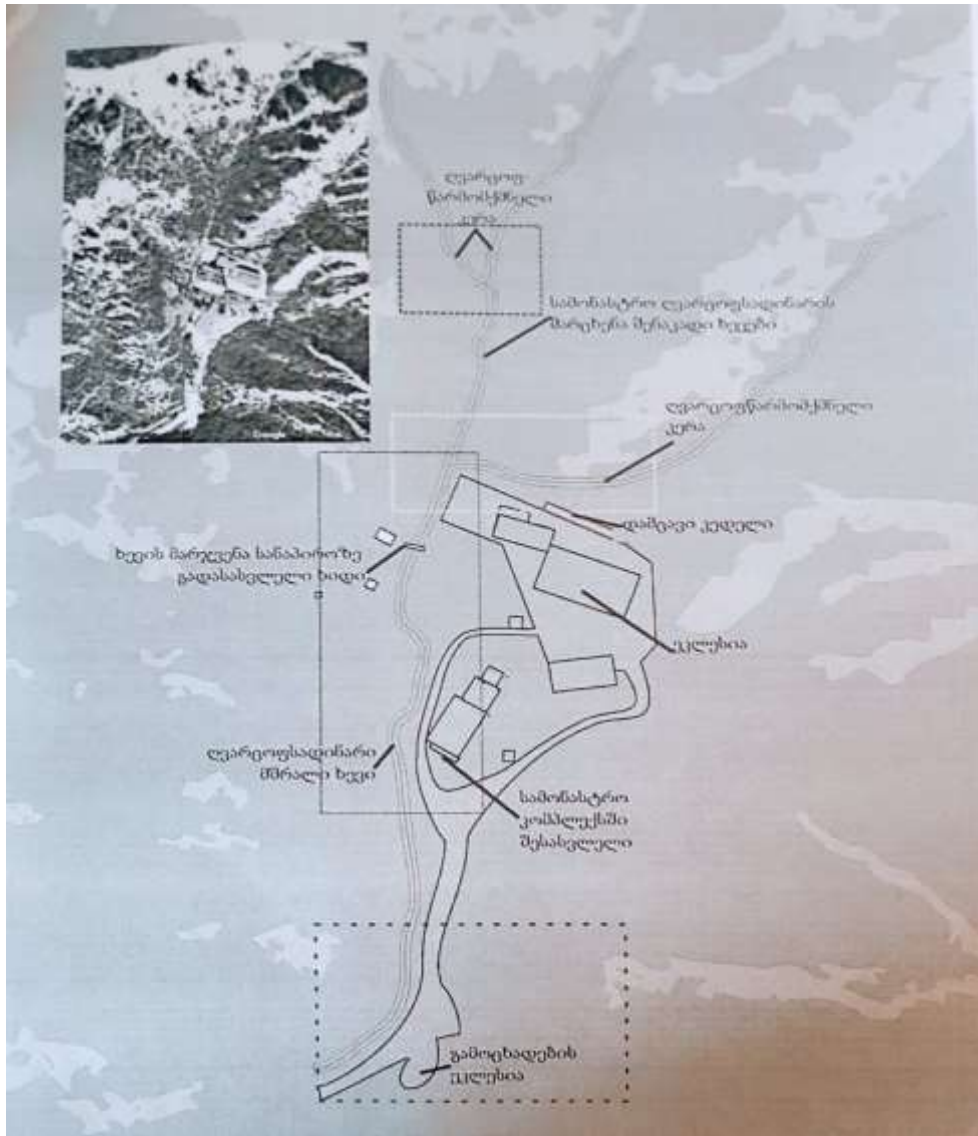
პროექტის AB-18-1244 საფუძველზე. საკვლევი ობიექტი მდებარეობს მცხეთის რაიონში, რომლის საილუსტრაციო სურათი მოცემულია სქემაზე სურათი №2.1.1.

სამონასტრო კომპლექსზე ღვარცოფთა ზემოქმედების მრავალი შემთხვევაა დაფიქსირებული და მიღებული შედეგები ერთმანეთისგან დიამეტრალურადაა განსხვავებული. სამონასტრო კომპლექსის ბუნებრივი სტიქიებისაგან დაცვის ღონისძიებას დღესდღეობით მონასტრის ჩრდილოეთით წლების წინ აშენებული საყრდენი კედელი წარმოადგენს.

სამონასტრო კომპლექსის ტექნიკურად გამართულ მდგომარეობას და უსაფრთხო ექსპლუატაციას მნიშვნელოვნად ამცირებს, მასზე ღვარცოფთა ზემოქმედების ერთმანეთისაგან განსხვავებული შემთხვევები. კომპლექსის გამართული ფუნქციონირება, ძირითადად, ღვარცოფის უსაფრთხო ტრანსპორტირებასთან, ან მის კალაპოტებში სარეგულაციო ღონისძიებების მოწყობით, მის შეჩერებასთან არის დაკავშირებული.

მცხეთის რაიონის წყალშემკრები აუზის ძირითად მდინარეებს მტკვარი, არაგვი, ნარეკვაკვი, ქსანი, თეძამი წარმოადგენს. სასმელი–სამეურნეო წყალმომარაგებისათვის ფუნქციონირებს ნარეკვაკვისა და ზაჰესის წყალსაცავები.

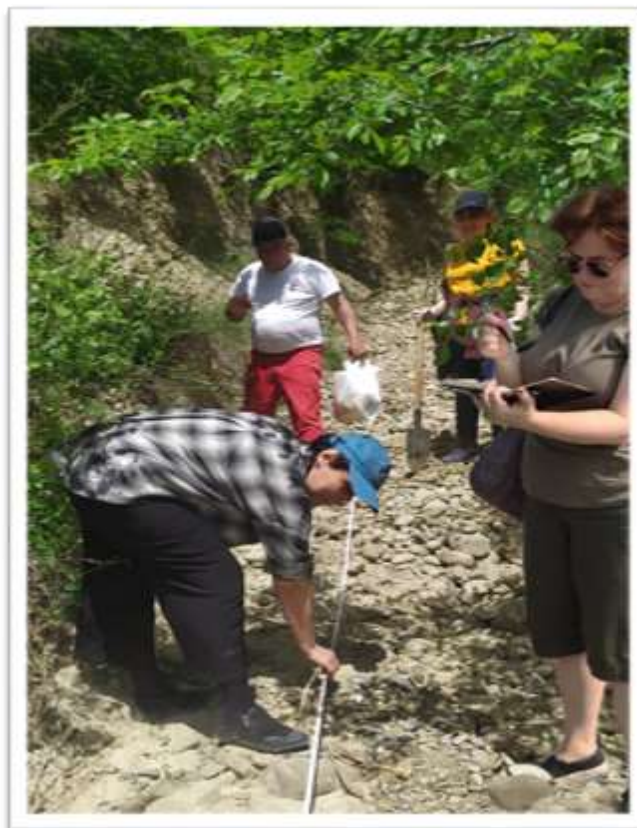
დღევანდელი მონაცემებით სამონასტრო კომპლექსის გარსშემომვლელი ხევის გამტარუნარიანობა ვერ იძლევა ფორმირებულ ღვარცოფთა გატარების შესაძლებლობას და საფრთხეს უქმნის სამონასტრო კომპლექსს. ტექნიკური მდგომარეობითა და სადინარის მიერ ღვარცოფის გატარების უზრუნველყოფის შეუძლებლობის შემთხვევაში, უსაფრთხოების თვალსაზრისით, იგი მძიმე მდგომარეობაშია



სურ. 2.1. 1 შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის განლაგების გეგმა



სურ. 2.1. 2 მონასტრის ხევში წყალსადენიდან 20 მ-ის დაცილებით ღვარცოფული მასის ნიმუშების აღების პროცესი



სურ. 2.1. 3 მონასტრის ხევის ტოპოგრაფიული გადაღების პროცესი



სურ.2.1.4 -2.1.5 მონასტრის ხევის მორფომეტრიის და ღვარცოფული გამონატანის ნიმუშების აღების პროცესი

საკვლევ ნიმუშებში შემადგენელ კომპონენტთა რაოდენობრივი სიდიდის დადგენა განხორციელდა მონასტრის ხევში აღებული მასის ნიმუშებზე დაყრდნობით, ცხაურების კომპლექტის გამოყენებით. მოცულობითი მასის მნიშვნელობები მონასტრის ხევში გავლილი მასის შესწავლის საფუძველზე მოცემულია 2.1.1 ცხრილის სახით. მასში მოცემული მონაცემებით ქვის კარკასის დიამეტრის გავლენა მილიმეტრიან და მასზე ნაკლებ ნაწილაკთა წონით შეცულობაზე არ ფიქსირდება და მისი მნიშვნელობა მუდმივი სიდიდეა.

გამომდინარე აქედან ღვარცოფთა ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების, შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთთანაფარდობა პროცენტული შეცულობა და რეოლოგიური მუდმივების დადგენა განხორციელდა სამონასტრო ხევში გავლილი ღვარცოფის დანალექი

ნიმუშების შესწავლის საფუძველზე. ღვარცოფული გამონატანის ნიმუშებით რეოლოგიური მუდმივების კვლევას მიეძღვნა ექსპერიმენტების პირველი სერია ხოლო, სამონასტრო ხევის მორფომეტრიის, ტოპოგრაფიის შესწავლას კვლევების მეორე სერია. ეს სამუშაოები ფოტოების სახით 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5, 2.2.6 სურათებზეა მოცემული.



სურ. 2.1.6. ღვარცოფული მასის ნიმუშები ლაბორატორიული კვლევებისათვის



სურ. 2.1.7 ღვარცოფული მასის ნიმუშები

შიომღვიმის მონასტრის ხევისთვის ღვარცოფული მასის შემადგენელი ქვის კარკასის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები დიამეტრთან კავშირში 2.1.1 ცხრილის სახით არის მოცემული.

ცხრილი 2.1.1

ღვარცოფული მასის შემადგენელი ქვის და მოცულობითი მასის მნიშვნელობები დიამეტრთან კავშირში

| | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| ნაწილაკთა დიამეტრი, d, მმ | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 15 |
| მოცულობითი მასა, γ, კგ/მ ³ | 1125 | 1570 | 1560 | 1553 | 1758 | 1560 |

მყარი ნაწილაკის კოლოიდური შემადგენლის პროცენტული შეცულობა ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მოცემულია 2.1.2 ცხრილის სახით.

ცხრილი. 2.1.2

ღვარცოფული მასის მყარი შემადგენლის კოლოიდური ნაწილის % –ული შეცულობა

| | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|
| ფრაქციის ზომები, მმ | 1-0,25 | 0,25-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | 0,005-0,001 | ≤0,001 |
| ფრაქციის პროცენტული შეცულობა მასაში | 23,03 | 24,67 | 20,12 | 10,70 | 7,491 | 15,2 |

ღვარცოფული მასის ზღვრული წონასწორობის და მოძრაობის დინამიკური და სტატიკური მახასიათებლების შესწავლა კომპონენტთა ურთიერთთანაფარდობის ცვლილების შესაბამისად განხორციელდა გრუნტების მექანიკაში არსებულ ტრადიციულ მეთოდებზე დაყრდნობით.

ღვარცოფული მასის მოცულობითი წონის სიდიდეები რომლებიც 2.1.3 ცხრილის სახით არის მოცემული, საშუალებას იძლევა დადგინდეს ღვარცოფთა სახეების შემადგენელი კომპონენტების წონით ურთიერთთანაფარდობებთან კავშირი. ღვარცოფულობის კრიტერიალური ზღვრების შემადგენელ კომპონენტთა ცვალებადობა, როცა წყლის წონის ფარდობა მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკების წონასთან

აღნიშნულია M_1 -ით, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები წონის ნაწილაკების წონის ფარდობა მყარ მასასთან M_2 -ით, მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები წონის ნაწილაკების ფარდობა მთლიანი ღვარცოფული მასის ნარევთან M_3 -თ, ღვარცოფულობის კრიტერიალური ზღვრები უტოლობების სახით არის წარმოდგენილი:

$$\begin{cases} 0 < M_1 < 0,49 \\ 0,228 < M_2 < 0,45 \\ 0,12 < M_3 < 0,20 \end{cases} \quad (2.1.1)$$



სურ.2.1.8 ღვარცოფული მასის მყარი ფრაქციის ზომები



სურ.2.1.9 ლაბორატორიული კვლევის დროს

ცხრილი 2.1.3

ღვარცოფის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები კგ/მ³, მისი შემადგენელი კომპონენტების წონითი ურთიერთანაფარდობის გათვალისწინებით

| № | M _z ^{xx} | წყლის წონის შეფარდება ღვარცოფნარევის მთლიან წონასთან | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.30 | 0.32 |
| 1 | 0.000 | 1560 | 1590 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0.067 | 1680 | 1710 | 1720 | 1740 | 1750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0.097 | 1730 | 1770 | 1780 | 1800 | 1820 | 1840 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0.126 | 1790 | 1820 | 1840 | 1860 | 1880 | 1900 | 1930 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0.152 | 1840 | 1880 | 1900 | 1920 | 1940 | 1960 | 1980 | 2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0.177 | 1900 | 1940 | 1960 | 1980 | 2000 | 2020 | 2060 | 2070 | 2100 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0.207 | 1960 | 2000 | 2020 | 2040 | 2060 | 2080 | 2100 | 2130 | 2150 | 2180 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0.228 | 2020 | 2070 | 2090 | 2110 | 2130 | 2150 | 2140 | 2200 | 2220 | 2250 | 2280 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0.258 | 1960 | 2000 | 2020 | 2040 | 2070 | 2090 | 2110 | 2130 | 2160 | 2180 | 2210 | 2240 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 0.298 | 1890 | 1930 | 1950 | 1970 | 1990 | 2010 | 2030 | 2050 | 2070 | 2100 | 2120 | 2140 | 2160 | 2180 | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 0.342 | 1830 | 1850 | 1870 | 1890 | 1910 | 1930 | 1950 | 1970 | 1990 | 2010 | 2030 | 2060 | 2080 | 2110 | 2140 | | | | | | | | | | | |
| 12 | 0.389 | 1730 | 1770 | 1790 | 1810 | 1830 | 1850 | 1870 | 1890 | 1910 | 1930 | 1950 | 1970 | 1990 | 2020 | 2040 | 2060 | 2080 | | | | | | | | | |
| 13 | 0.498 | 1580 | 1610 | 1620 | 1660 | 1670 | 1680 | 1700 | 1720 | 1740 | 1760 | 1780 | 1810 | 1820 | 1840 | 1860 | 1880 | 1910 | 1930 | 1950 | 1990 | | | | | | |
| 14 | 0.629 | 1430 | 1460 | 1470 | 1490 | 1500 | 1520 | 1540 | 1550 | 1570 | 1590 | 1610 | 1620 | 1640 | 1660 | 1680 | 1700 | 1720 | 1740 | 1760 | 1790 | 1830 | 1880 | | | | |
| 15 | 0.752 | 1280 | 1300 | 1320 | 1330 | 1345 | 1160 | 1375 | 1390 | 1405 | 1420 | 1430 | 1450 | 1465 | 1480 | 1495 | 1520 | 1555 | 1560 | 1580 | 1600 | 1670 | 1680 | 1720 | 1730 | | |
| 16 | 1.000 | 1125 | 1150 | 1160 | 1170 | 1190 | 1200 | 1210 | 1220 | 1240 | 1250 | 1260 | 1280 | 1290 | 1310 | 1320 | 1340 | 1360 | 1370 | 1380 | 1410 | 1440 | 1480 | 1580 | 1560 | 1620 | 1670 |

^{xx} მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონის შეფარდება ღვარცოფის მყარ მასასთან.

ექსპერიმენტული კვლევის მეორე სერია მიემდვინა ღვარცოფსადინარის მორფომეტრიული და ჰიდრაულიკური მახასიათებლების შესწავლას.

ღვარცოფის რეგულირება სადინარებში, ნაკადის და კალაპოტის ურთიერთქმედების შესაძლებლობებთან არის დაკავშირებული. აღნიშნული განსაკუთრებით საყურადღებოა ისეთ შემთხვევებში, როცა კალაპოტის მორფომეტრიასა და ნაკადის ჰიდრაულიკურ პარამეტრებს შორის კავშირის შეფასების შესაძლებლობა ძალზე რთულია და ხშირად არ ემორჩილება კანონზომიერებებს. ასეთ პირობებში ნაგებობათა შერჩევის შესაძლებლობა განსაკუთრებულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული.

ტექნიკურ-ეკონომიკური და ეკოლოგიური თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია სადინართა კალაპოტის განივი კვეთის სატრანზიტო მონაკვეთის მდგრადობის საკითხები როგორც ნაკადის რეგულირების, ისე ჰიდრაულიკური პარამეტრების ცვლილების ჩამოყალიბებაში. მოვლენა გამოხატულებას პოულობს როგორც ნაკადის დეფორმაციულობის შესაძლებლობაში, ისე მისი ნაგებობებით რეგულირების დროს.

კალაპოტური პროცესების პროგნოზირებას, კალაპოტის გეომეტრიულ და ნაკადის ჰიდრაულიკურ პარამეტრებს შორის დამოკიდებულების კანონზომიერების ცვლილებას არსებითი მნიშვნელობა გააჩნია საინჟინრო გადაწყვეტების შერჩევის დროს.

რეალობაში ღვარცოფსადინარები ძნელად აღსაწერი კონფიგურაციაა. მისი სადინარის სიგრძეზე ცვლილების კანონზომიერებები განსაზღვრავს ნაკადის ქცევის და ნაგებობათა კალაპოტში განლაგების ადგილის შერჩევის მიზანშეწონილობას და, ამასთან ერთად, ნაგებობათა რეალური განლაგების ეფექტური ადგილის შერჩევას.

სადინარებში მიმდინარე პროცესების ნათლად წარმოჩენის და საანგარიშო მოდელების სიზუსტის შემოწმების თვალსაზრისით შესწავლილი იქნა სამონასტრო ხევის კალაპოტი, მისი განივი და გრძივი პროფილები და სადინარის ქანობის კავშირის ზღვრები

კალაპოტის მორფომეტრიის და ჰიდრაულიკური შესაძლებლობების შესაფასებლად აგებული იქნა სადინარის განივი კვეთები. განივ კვეთებზე რომელთა კვლევის შედეგები 2.1.4 ცხრილის სახით არის მოცემული. კვეთების შერჩევის საორიენტაციო საწყის ადგილად შერჩეულ იქნა სამონასტრო ხეზე გადასასვლელი ხიდი.

ცხრილი 2.1.4

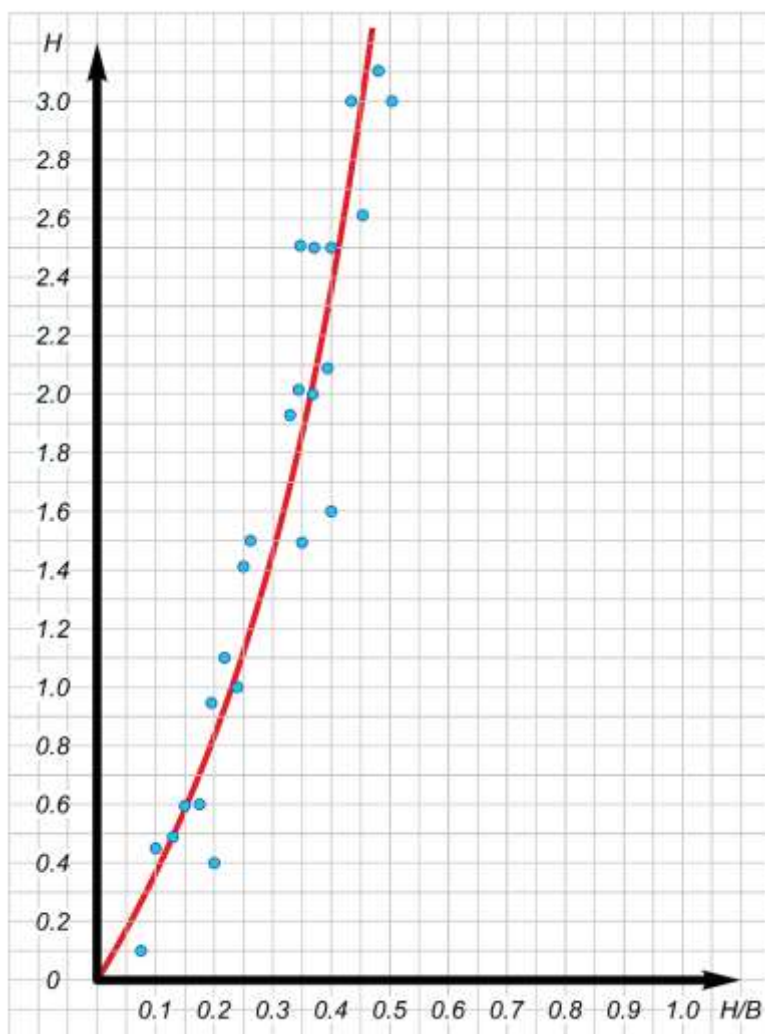
სამონასტრო ხევის მორფომეტრული მახასიათებლები

| № | კალაპოტის სიღრმე, H (მ) | კალაპოტის სიგანე, B (მ) | ცოცხალი კვეთის ფართობი, ა, მ ² | სველი პერიმეტრი, X(მ) | ჰიდრაულიკური რადიუსი, R (მ) | ფარდობითი სიდიდე, B/H | ფარდობითი სიდიდე, H/B | ღვარცოფ სადენის ქანობი, I |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| კვეთი 1-1 ПК0 + 00 | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 0,45 | 4,3 | 1,46 | 4,25 | 0,34 | 7,2 | 0,04 | 0,087 |
| 2 | 0,95 | 5,0 | 5,57 | 5,55 | 10,00 | 45,26 | 0,19 | |
| 3 | 1,45 | 5,8 | 7,96 | 6,75 | 1,18 | 4,0 | 0,25 | |
| 4 | 1,95 | 6,0 | 11,99 | 7,05 | 1,70 | 3,33 | 0,325 | |
| კვეთი 2-2 ПК0 + 31 | | | | | | | | |
| 1 | 0,1 | 1,3 | 0,13 | 2,6 | 0,05 | 13 | 0,076 | 0,165 |
| 2 | 0,6 | 3,2 | 3,53 | 4,3 | 0,82 | 7,0 | 0,187 | |
| 3 | 1,1 | 4,7 | 8,23 | 5,7 | 1,44 | 4,27 | 0,23 | |
| კვეთი 3-3 ПК0 + 66 | | | | | | | | |
| 1 | 0,4 | 1,95 | 0,78 | 4,55 | 0,17 | 4,87 | 0,205 | 0,192 |
| 2 | 1,0 | 4,3 | 3,36 | 7,35 | 0,45 | 4,3 | 0,2 | |
| 3 | 1,5 | 5,1 | 5,91 | 8,45 | 0,69 | 3,4 | 0,29 | |
| 4 | 2,0 | 5,85 | 8,83 | 9,55 | 0,92 | 2,96 | 0,34 | |
| 5 | 2,5 | 6,6 | 12,13 | 10,55 | 1,15 | 2,80 | 0,37 | |

ცხრილი 2.1.4-გაგრძელება

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------|-----|------|--------|------|-------|------|------|-------|
| კვეთი 4-4 ПК0 + 90 | | | | | | | | |
| 1 | 0,6 | 3,5 | 1,35 | 3,7 | 0,36 | 5,83 | 0,17 | 0,15 |
| 2 | 1,1 | 1,00 | 3,22 | 4,70 | 0,68 | 3,63 | 1,0 | |
| 3 | 1,6 | 1,60 | 5,37 | 5,70 | 0,94 | 2,87 | 1,0 | |
| 4 | 2,1 | 5,20 | 7,82 | 6,80 | 1,55 | 2,47 | 0,40 | |
| 5 | 2,6 | 5,70 | 10,55 | 7,90 | 13,3 | 2,19 | 0,46 | |
| 6 | 3,1 | 6,60 | 13,62 | 9,0 | 15,1 | 1,96 | 0,47 | |
| კვეთი 5-5 ПК0 + 94 | | | | | | | | |
| 1 | 0,5 | 3,60 | 1,80 | 3,8 | 0,236 | 7,2 | 0,13 | 0,087 |
| 2 | 1,0 | 4,5 | 2,92 | 5,0 | 0,58 | 4,5 | 0,22 | |
| 3 | 1,5 | 5,0 | 5,29 | 6,1 | 0,86 | 3,33 | 0,20 | |
| 4 | 2,0 | 5,6 | 7,94 | 7,2 | 1,1 | 2,8 | 0,35 | |
| 5 | 2,5 | 6,2 | 10,84 | 8,3 | 1,31 | 2,48 | 0,40 | |
| 6 | 3,0 | 6,8 | 14,09 | 9,4 | 1,49 | 2,26 | 0,44 | |
| კვეთი 6-6 ПК1 + 16 | | | | | | | | |
| 1 | 1,0 | 4,6 | 3,285 | 5,05 | 0,65 | 4,6 | 0,22 | 0,20 |
| 2 | 1,5 | 5,6 | 5,71 | 6,2 | 0,84 | 3,06 | 0,26 | |
| 3 | 2,0 | 5,7 | 8,38 | 7,3 | 1,45 | 2,8 | 0,5 | |
| 4 | 2,5 | 5,8 | 11,218 | 8,4 | 1,33 | 2,33 | 0,4 | |
| 5 | 3,0 | 5,8 | 17,7 | 9,5 | 1,98 | 1,16 | 0,51 | |

ღვარცოფსადინარის ძირის აბსოლუტური ნიშნული ხევის დასაწყისში შეადგენს 725 მ-ს, ხოლო ჩანჩქერის თავზე 727 მ-ს. კალაპოტის ძირის ნიშნული ხიდთან არის 707,3 მ ხოლო, საჰაერო ქანობი $i=0,1525$. მიწის ზედაპირის ნიშნულები ხევის სანაპირო ზოლზე მარჯვენა სანაპიროზე დასაწყისში არის 728 მ, ხიდთან 721 მ, მარცხენა სანაპიროსთან 726,8 მ, ხოლო ძირის ნიშნულთან 722 მ-ს. ფარდობითი სიდიდის სიღრმის და სიგანის დამოკიდებულება სიგრძესთან გრაფიკის სახით მოცემულია ნახ. 2.1.1.-ზე



ნახ.2.1.1 ნაკადის H სიღრმისსიგანესთან ფარდობის სიდიდესთან დამოკიდებულების გრაფიკი

სამონასტრო კომპლექსის წყალშემკრები აუზის ძირითად ღვარცოფსადინარს მშრალი ხევი წარმოადგენს, რომელიც გარს უვლის მონასტერს და საავტომობილო გზის გადაკვეთის ადგილზე, გამოცხადების ეკლესიასთან უერთდება მონასტრიდან მარჯვნივ მდებარე ხევს.

ღვარცოფსადინარი წარმოდგენილია რთული ფორმით და გრძივ ტრასაზე მისთვის დამახასიათებელია ვარდნილი ადგილები.

სადინარის განივ კვეთს არაპრიზმატულობასთან ერთად გააჩნია გამოკვეთილი გეომეტრიული ფორმა. კალაპოტის განივი ცოცხალი კვეთის

ფართობებსა და ჰიდრავლიკური რადიუსების სიდიდეებს შორის განსხვავებები თითქმის უმნიშვნელოა.

ღვარცოფსადინარის კალაპოტი არაპრიზმატულობასთან ერთად განიცდის სიღრმისა და სიგანის მნიშვნელოვან ცვლილებას. მისი მორფომეტრიის ცვლილება შეიძლება შესწავლილი იქნას ტოპოგრაფიულ გეგმაზე განთავსების ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის გეგმით, გრძივი და განივი პროფილების მიხედვით.

2.2. ტექნოლოგიურად მარტივი და ეკოლოგიურად სუფთა ინოვაციური მეთოდების გამოყენება ღვარცოფწარმოქმნის კერების მდგრადობისთვის

კვლევის არსებული მასალები და სტატისტიკა ადასტურებს, რომ ბმულ ღვარცოფთა ფორმირება ღვარცოფული კერებიდან ხდება. სწორედ სხვადასხვა სახის ფაქტორთა ზემოქმედებით ფორმირებული ნაკადის პარამეტრებზეა დამოკიდებული ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის ეკოლოგიური მდგრადობა და ზარალის შესაძლებლობები. გამომდინარე აქედან, კერიდან ღვარცოფის ფორმირების შესაძლებლობა მრავალკომპონენტთან ღვარცოფულ მასაში ზედაპირული წყლების ჩადინების შესაძლებლობასთან ან თვითონ კერის ზედაპირის გამაგრებასთან არის დაკავშირებული.[95.96]

ღვარცოფული კერებიდან ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადების ფორმირების შემცირების მიზნით მრავალი ფიტომელიორაციული და სხვა სახის ღონისძიებებია გამოყენებული. გამარტივებული და ეკოლოგიურად სუფთა მეთოდით შეიძლება მიჩნეულ იქნას ბალახების მრავალწლიანი ჯიშების დათესვა (ბალახის საფარი), მაგრამ ეფექტურობის მიუხედავად მისი გამოყენება საკმაოდ შეზღუდულად შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან ფესვთა სისტემის ჩამოყალიბებამდე და ზედაპირის გამაგრებამდე მოსალოდნელია თესლის გამორეცხვა და გამოქარვა, მისი ეფექტი

ზედაპირის სრულფასოვან ფორმირებამდე საჭიროებს სხვა ღონისძიებების მიშველებას.

ამ მიმართულებით პერსპექტიულად შეიძლება მიჩნეულ იქნას ინოვაციური პოლიმერული სტაბილიზატორი, რომელიც ზედაპირის გამამაგრებელ თვისებებს და რიგ აუცილებელ მოთხოვნილებას უნდა პასუხობდეს, კერძოდ:

- ეკოლოგიური სისუფთავე (დროის განმავლობაში დესტრუქტურიზაციის და დაშლის შემთხვევაში უნდა ქმნიდეს ნიადაგ-გრუნტის ორგანული ნაწილის მსგავს პროდუქტებს);

- წყალში კარგად ხსნადობა, რაც უზრუნველყოფს დამზადების და გამოყენების ტექნოლოგიურობას;

- ხელს არ უნდა უშლიდეს ბალახის აღმოცენებას და განვითარებას კერის ზედაპირზე;

- დაბალი ღირებულება და კომპონენტების არადეფიციტურობა.

დღეისათვის არსებული სტაბილიზატორების უმრავლესობა, საკმარისი ეფექტიანობის მიუხედავად, მთლიანად ან ნაწილობრივ ვერ პასუხობს ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნებს, რაც ზღუდავს მათ ფართო პრაქტიკულ გამოყენებას.

ამ მიმართულებით, კვლევები განხორციელდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ხელშეწყობით.

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ნიადაგებისა და გრუნტების ტექნიკური მელიორაციის ლაბორატორიაში, შეიქმნა ნიადაგ-გრუნტების ზედაპირების გამამაგრების ინოვაციური პოლიმერული სტაბილიზატორები, რომლებიც მაღალი გამამაგრებელი თვისებებით ხასიათდება და არ მოქმედებს გარემოს არსებულ მდგომარეობაზე. წარმოდგენილი პოლიკომპლექსის, რომელიც სსბმ-ის (სულბიდურ სპირტული ბარდა) სახელწოდებითაა ცნობილი, შემადგენელი ძირითადი კომპონენტი

ქალაქის ნარჩენების მეორადი რესურსებით - ტექნიკური ლიგნინებით და მოდიფიცირებული კარბამიდულით - ფორმალდეგიდური ფისით და სუპერფოსფატით არის წარმოდგენილი.

კვლევის დროს ღვარცოფული მასის ზედაპირზე წარმოქმნილი ქერქის სიმტკიცის და დროში მდგრადობაზე შემოწმების მიზნით, ექსპერიმენტები ჩატარდა, ღვარცოფული მასის შემადგენელი ნაწილების: ქვიშის, ხრეშიანი ნაწილის და კოლოიდური ნაწილების გრუნტზე, პოლიმერული ქერქის ექვივალენტური შეჭიდულობის შესამოწმებლად. აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფული მასის სიმკვრივე პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მისი შემადგენელი ნაწილების ცალკეულ ელემენტებს შორის ურთიერთმოქმედი ძალების სიდიდესთან, ანუ სტრუქტურული კავშირების მდგრადობასთან. რაც შეეხება საცდელი მასის სიმტკიცობრივ მახასიათებლებს, პოლიმერული მასალების შეტანისას ის განპირობებულია საწყისი მონომერების, პოლარული ჯგუფების ფიზიკურ-ქიმიური ურთიერთზემოქმედებით და წარმოდგენილი პოლიმერული ჯაჭვების კავშირებით, შემადგენელი ნაწილაკების ზედაპირებთან. ჩატარებული კვლევის შედეგების მონაცემები გრუნტის-პოლიმერული ქერქის ექვივალენტური შეჭიდულობისა 2.2.1 ცხრილის სახით არის მოცემული.

მშრალ ქვიშებს ეკვივალენტური შეჭიდულობა არ აქვს, სველ მდგომარეობაში კი ძალიან მცირეა და აიხსნება კაპილარული ძალებით, ვინაიდან შრება გაშრობისთანავე.

კოლოიდის შემცველ ღვარცოფულ მასას მშრალ მდგომარეობაში მაქსიმალური დატვირთვების დროს ახასიათებს საკმაოდ ძლიერი (ქვიშნარი - 2,4 ნ/სმ², კოლოიდური ნაწილი - 7,1 ნ/სმ²) შეჭიდულობა, რომელიც მკვეთრად ეცემა დასველების შემდეგ (შესაბამისად, 0,1 ნ/სმ² და 0,6 ნ/სმ²), რაც დატენიანებისას მათი კონდენსაციური სტრუქტურების გადასვლით კოაგულაციურ სტრუქტურებში აიხსნება.

გრუნტ-პოლიმერული ქერქის ეკვივალენტური შეჭიდულობა

| გრუნტი | სსბმ დოზა ლ/მ ² | გამოცდის ინტერვალი დღე | ეკვივალენტური შეჭიდულობა კმ/სმ ² | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|------------------------------|---|-------|------|-------|------|-----|------|-----|
| | | | დატვირთვა ნ. | | | | | | | |
| | | | 0,2 | | 0,3 | | 0,4 | | 0,6 | |
| | | | მშრ. | სვ. | მშრ. | სვ. | მშრ. | სვ. | მშრ. | სვ. |
| ქვიშა | 0,0 | - | - | 0,005 | - | 0,085 | - | 0,2 | - | 0,1 |
| | 2,0 | 3 | 13,5 | 10,4 | 12,1 | 10,0 | 11,8 | 9,6 | 7,3 | 5,1 |
| | | 180 | 13,4 | 10,1 | 11,9 | 9,4 | 11,5 | 9,2 | 7,2 | 4,6 |
| | | 360 | 13,2 | 10,0 | 11,6 | 18,1 | 11,3 | 9,2 | 6,8 | 4,4 |
| ქვიშნარი | 0,0 | - | 05,2 | 0,4 | 4,4 | 0,3 | 3,9 | 0,2 | 2,4 | 0,1 |
| | 2,0 | 3 | 16,8 | 11,3 | 15,2 | 10,6 | 14,6 | 9,6 | 13,1 | 7,1 |
| | | 180 | 14,9 | 9,4 | 13,5 | 9,0 | 12,8 | 8,1 | 9,4 | 5,8 |
| | | 360 | 14,9 | 9,4 | 13,5 | 9,0 | 12,8 | 8,1 | 9,4 | 5,8 |
| კოლოიდური ნაწილი | 0,0 | - | 06,9 | 1,1 | 6,2 | 1,0 | 4,6 | 0,8 | 3,1 | 0,6 |
| | 2,5 | 3 | 16,6 | 10,4 | 16,2 | 9,8 | 15,3 | 9,2 | 14,1 | 0,8 |
| | | 180 | 15,1 | 9,6 | 14,4 | 8,8 | 14,0 | 8,0 | 13,1 | 0,2 |
| | | 360 | 14,4 | 8,2 | 13,2 | 7,8 | 12,8 | 7,4 | 11,8 | 0,2 |

საწინააღმდეგო სურათია სსბმ-ით გამაგრებულ გრუნტებში. ქვიშებში, რომლებსაც საერთოდ არ გააჩნიათ შეჭიდულობა, ეს მაჩვენებელი სველ მდგომარეობაში და მაქსიმალური დატვირთვის, 4,6 ნ/სმ² დროს აღწევს 5,1 ნ/სმ²-ს, ხოლო ქვიშნარსა და კოლოიდურ მასაში, შესაბამისად 7,1 ნ/სმ²-ს და 8,8 ნ/სმ²-ს.

ამავე დროს, უნდა აღინიშნოს მიღებული ეფექტის მდგრადობა – ერთი წლის შემდეგ ეკვივალენტური შეჭიდულობის მაჩვენებელი ყველა გრუნტისათვის მცირდება მხოლოდ 7,0-8,0%-ით.

მშრალ მდგომარეობაში ეკვივალენტური შეჭიდულობის მაჩვენებლები ღვარცოფული მასის ქვიშებისათვის 7,3 ნ/სმ², ქვიშნარებისათვის 13,1 ნ/სმ² და კოლოიდური ნაწილისათვის – 14,0 ნ/სმ². ცხადია, რომ სსბმ-ის დასხურების შემდეგ წარმოქმნილ გრუნტპოლიმერულ ქერქს ახასიათებს გამოხატული მდგრადი კონდენსაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურა, რომლის წყალმდგრადობა და გამძლეობა

განპირობებულია პოლიკომპლექსის მოლეკულებსა და გრუნტის ნაწილაკებს შორის მტკიცე, ძნელად გასაწყვეტი ქემოსორბციული კავშირით.

ზემოთ აღნიშნულს, ადასტურებს ცხრილ 2.2.2-ში მოყვანილი პოლიმერგრუნტის ქერქის წყალმდგრადობის კვლევების მონაცემები – 360 დღის შემდეგ მაქსიმალური წყალშედწევადობა არ აღემატება 8,8%-ს.

ცხრილი 2.2.2.

გრუნტპოლიმერული ქერქის წყალმდგრადობა.

| გრუნტი | სსბმ დოზა ლ/მ ² | წყალშედწევადობა % | | | |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|-------|---------|--------|
| | | გაზომვების პერიოდულობა | | | |
| | | 24სთ | 90დღე | 180 დღე | 360დღე |
| ქვიშა | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 2.0 | 1.8 | 2.8 | 4.1 | 5.6 |
| ქვიშნარი | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 2.5 | 3.2 | 4.3 | 5.1 | 6.8 |
| კოლოიდური ნაწილი | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| | 2.5 | 4.7 | 5.7 | 7.2 | 8.8 |

ღვარცოფწარმოქმნილი გრუნტების მდგრადობა მჭიდროდ არის დაკავშირებული ერთი მხრივ, როგორც შეჭიდულობასთან, ასევე, მეორე მხრივ, ზედაპირული ნალექების ჩამონადენის სიდიდესთან. ზედაპირულად გამაგრებულ ღვარცოფულ მასაში ფილტრაციული, ზედაპირული და მყარი ჩამონადენების განსაზღვრა საშუალებას იძლევა ობიექტურად შეფასდეს პოლიკომპლექსის სსბმ-ის დასხურების შედეგად მიღებული გრუნტპოლიმერული ქერქის მდგრადობის რღვევის შესაძლებლობა. ჩატარებული კვლევების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 2.2.2.

კვლევების შედეგებმა გვიჩვენა, რომ დაწვიმების მუდმივი ინტენსივობის დროს თხევადი ჩამონადენი მუდმივია, არ იცვლება დროში და, ქვიშების გარდა, ყოველთვის მეტია ფილტრაციულ ჩამონადენზე.

რაც შეეხება ზედაპირიდან მყარ ჩამონადენს, ანუ პოლიმერღვარცოფის ქერქის ნარევის ჩამონადენის შესაძლებლობას,

პოლიკომპლექსის გამოყენებით ხდება მისი შემცირება (100-1000-ჯერ) და ზოგ შემთხვევაში კი, ის პრაქტიკულად არ ფიქსირდება.

პოლიმერგრუნტის ქერქი მნიშვნელოვნად ამცირებს წყლის აორთქლებას ღვარცოფწარმოქმნის კერის ზედაპირიდან, ტენშემცველობა და მისი შენარჩუნება დროში – 90 დღის შემდეგ ღვარცოფის ქვიშებში 15– 30%-ს ხოლო კოლოიდურ ნაწილში 50%-ს აღემატება. გაუმაგრებელი გრუნტების ეს მაჩვენებელი მოცემულია ცხრილი 2.2.3-ში.

ცხრილი 2.2.3.

ღვარცოფპოლიმერული ქერქის მდგრადობა

| გრუნტი | სსმ დოზა ლ/მ ² | გამოცდის ინტერვალი დღე | დაწვივების ინტენსივობა მმ/წმ | მყარი ჩამონადენი ნ./მ ² წ 10 ⁻⁴ | თხევადი ჩამონადენი მ ³ /მ ² წ 10 ⁻⁵ | ფილტრაციის ჩამონადენი მ ³ /მ ² წ 10 ⁻⁵ |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---|--|---|
| ქვიშა | 0.0 | 24 | 0.3 | 21,0 | 0.13 | 0.37 |
| | | | 0.6 | 28,0 | 0.32 | 0.72 |
| | | | 0.9 | 41,0 | 0.58 | 0.91 |
| | | | 1.2 | 62,0 | 0.72 | 1.02 |
| | 2.0 | 24 | 0.3 | 0,00 | 0.37 | 0.16 |
| | | | 0.6 | 0,00 | 0.77 | 0.22 |
| | | | 0.9 | 0,00 | 1.17 | 0.29 |
| | | | 1.2 | 0,00 | 1.65 | 0.52 |
| | | 180 | 0.3 | 0,05 | 0.30 | 0.21 |
| | | | 0.6 | 0,08 | 0.68 | 0.28 |
| | | | 0.9 | 0,16 | 1.12 | 0.36 |
| | | | 1.2 | 0,22 | 1.30 | 0.68 |
| ქვიშნარი | 0.0 | 24 | 0.3 | 13,1 | 0.33 | 0.16 |
| | | | 0.6 | 17,0 | 0.58 | 0.36 |
| | | | 0.9 | 22,0 | 0.90 | 0.68 |
| | | | 1.2 | 34,0 | 1.12 | 0.96 |
| | 2.5 | 24 | 0.3 | 0,07 | 0.44 | 0.09 |
| | | | 0.6 | 0,09 | 0.88 | 0.16 |
| | | | 0.9 | 0,11 | 1.30 | 0.24 |
| | | | 1.2 | 0,16 | 1.65 | 0.32 |
| | | 180 | 0.3 | 0,17 | 0.33 | 0.16 |
| | | | 0.6 | 0,24 | 0.58 | 0.41 |
| | | | 0.9 | 0,38 | 0.78 | 0.78 |
| | | | 1.2 | 0,51 | 0.96 | 1.09 |

ცხრილი 2.2.3. გაგრძელება

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| კოლოიდური ნაწილი | 0.0 | 24 | 0.3 | 4,2 | 0.40 | 0.08 |
| | | | 0.6 | 6,3 | 0.72 | 0.21 |
| | | | 0.9 | 10,0 | 1.25 | 0.25 |
| | | | 1.2 | 46,2 | 1.69 | 0.30 |
| | 2.5 | 24 | 0.3 | 0,13 | 0.52 | 0.02 |
| | | | 0.6 | 0,23 | 0.97 | 0.05 |
| | | | 0.9 | 0,34 | 1.34 | 0.13 |
| | | | 1.2 | 0,46 | 1.71 | 0.24 |
| | | 180 | 0.3 | 0,26 | 0.41 | 0.08 |
| | | | 0.6 | 0,38 | 0.86 | 0.12 |
| | | | 0.9 | 0,55 | 1.25 | 0.22 |
| | | | 1.2 | 0,84 | 1.59 | 0.38 |

ვეგეტაციური კვლევები (ცხრ. 2.2.4) განხორციელებულ იქნა კერებში ბალახის აღმოცენების და მჭიდრო საფარის ფორმირების შესაძლებლობის გავლენის მიზნით. იმის მიუხედავად, რომ პირველი 15 დღის განმავლობაში ყლორტის განვითარება გაუმაგრებელ ღვარცოფულ მასასთან შედარებით ერთობ შეზღუდულია, შემდგომში ბალახი ღვარცოფპოლიმერულ ქერქზე ვითარდება ნორმალურად და არ ჩამორჩება გაუმაგრებელ გრუნტს.

ცხრილი 2.2.4.

ტენიანობის ცვლილება ღვარცოფპოლიმერული ქერქის ქვეშ

| გრუნტების დასახელება | სსბმ დოზა ლ/მ ² | ტენიანობა % | | | | | |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | | გაზომვების პერიოდულობა, სთ | | | | | |
| | | საწყისი | 10 | 30 | 50 | 70 | 90 |
| ქვიშა | 0.0 | 4.4 | 2.42 | 1.36 | 0.91 | 0.61 | 0.38 |
| | 2.0 | 4.5 | 4.3 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 2.6 |
| ქვიშნარი | 0.0 | 20.9 | 13.7 | 9.2 | 6.7 | 5.4 | 4.5 |
| კოლოიდური ნაწილი | 0.0 | 37.9 | 28.2 | 22.3 | 18.5 | 15.6 | 13.2 |
| | 2.5 | 38.7 | 35.7 | 33.2 | 29.8 | 27.3 | 24.3 |

გამაგრებული ზედაპირების გამოცდამ 10,0-25,0 მ/წმ სიჩქარის ქარის და მასში 12 გ/წმ ხარჯის მყარი ფაზის (ქვიშა $d < 1,0$ მმ) ზეგავლენის პირობებში, გამოავლინა ღვარცოფპოლიმერული ქერქის მაღალი მდგრადობა ქარის ეროზიის მიმართ (ცხრ. 2.2.5.).

ცხრილი 2.2.5.

ბალახის აღმოცენება ღვარცოფპოლიმერულ ქერქში

| გრუნტები | სსბმ დოზა ლ/მ ² | ჭვავის ყლორტის სიმაღლე, სმ | | | | | |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | გაზომვების პერიოდულობა, დღე | | | | | |
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| ქვიშა | 0.0 | 5-6 | 10-12 | 18-20 | 25-26 | 30-34 | 34-35 |
| | 2.0 | 2-3 | 7-9 | 12-14 | 16-18 | 24-25 | 32-34 |
| ქვიშნარი | 0.0 | 5-6 | 10-12 | 17-18 | 24-25 | 30-32 | 33-35 |
| | 2.5 | 2-3 | 8-9 | 14-16 | 21-23 | 25-27 | 34-35 |
| კოლოიდური ნაწილი | 0.0 | 6-7 | 12-14 | 19-20 | 25-27 | 32-34 | 34-35 |
| | 2.5 | 3-4 | 9-11 | 14-16 | 24-26 | 32-34 | 33-34 |

ამრიგად, პოლიკომპლექსის სსბმ-ის ღვარცოფწარმოქმნელი მასის ზედაპირებზე დატანის შედეგად წარმოიქმნება 0,6-1,0 სმ სისქის მექანიკურად მტკიცე, წყალ-ქარ და ხანგამძლე პოლიმერღვარცოფული მასის ქერქი, რომელიც არ აბრკოლებს ბალახის აღმოცენებას და განვითარებას.

ცხრილი 2.2.6.

ღვარცოფულპოლიმერული ქერქის მდგრადობა ქარის ეროზიის მიმართ

| გრუნტები | სსბმ დოზა ლ/მ ² | ეროზიის ინტენსივობა, გ/მ ² წმ | | | |
|------------------|----------------------------|--|--------|--------|--------|
| | | გაზომვების პერიოდულობა, დღე | | | |
| | | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 25.0 |
| ქვიშა | 0.0 | 1727.0 | 2093.0 | 2688.0 | 3207.0 |
| | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.12 | 0.18 |
| ქვიშნარი | 0.0 | 1502.0 | 1969.0 | 2320.0 | 2963.0 |
| | 2.5 | 0.0 | 0.10 | 0.12 | 0.18 |
| კოლოიდური ნაწილი | 0.0 | 1268.0 | 1530.0 | 2190.0 | 2635.0 |
| | 2.5 | 0.0 | 0.14 | 0.16 | 0.2 |

ზემოთ მოყვანილი შედეგები იძლევა საფუძველს სსბმ-ი გამოყენებულ იყოს ღვარცოფწარმოქმნილი კერების მდგრადობის გაზრდის და დაძვრის შესაძლებლობის შემცირების მიზნით

ამ მიმართულებით შეიძლება რეკომენდაცია გაეწიოს შემდეგ მიმართულებებს:

1. დროებითი, - ხანგამძლეობით ორი წელი, სსბმ-ის დასხურების გამოყენებით ღვარცოფული მასისი ზედაპირზე;
2. ხანგრძლივი, - მდგომარეობს სსბმ-ის დასხურებით და ბალახის დათესვით კომბინაციაში.

ხანგამძლეობა დამოკიდებულია დათესილი ბალახის სიცოცხლისუნარიანობასა და მრავალწლიანობაზე. ამ შემთხვევაში, პოლიმერგრუნტის ქერქი ზედაპირს იცავს ბალახის მჭიდრო საფარის და განვითარებულ ფესვთა სისტემის ჩამოყალიბებამდე.

საველე გამოცდები ტარდებოდა ღვარცოფსადინარებში გამოტანილი ღვარცოფული მასის ნიმუშებზე.

ცხრილში.2.2.7

პოლიგონის გრუნტების მახასიათებლები

| შრის სისქე მ | მოცულობითი მასა, მ/მ ² | კუთრი მასა, გ/მ ² | ფორიანობა, % | პლასტიკურობა, რიცხვი | წყალშემწევალობა % | გაჯირჯევა, % | K _ფ A 10 ⁻ⁿ სმ/წმ |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------|----------------------|-------------------|--------------|---|
| 0.5 | 1.36 | 2.69 | 49.4 | 26.0 | 100.0 | 10.0 | 4.2·10 ⁻⁴ |

კვლევები ჩატარდა რვა მოედანზე.

№1 და №2 სტაბილიზაციის გარეშე;

№3 და №4 სტაბილიზაციის გარეშე, ბალახის დათესვით;

№5 და №6 სტაბილიზებული სსბმ-ის 2,5 ლ/მ² დოზით;

№7 და №8 სტაბილიზებული სსბმ-ის 2,5 ლ/მ2 დოზით, ბალახის დათესვით.

სსბმ-ის დატანა ზედაპირზე ხორციელდებოდა დასხურებით, ხელის აპარატის გამოყენებით. ბალახის თესლად გამოყენებული იყო სათესლე მასალა სათითურა, ჰექტარზე 25 კგ. პოლიკომპლექსის დასხურება მიმდინარეობდა 2.5 ლ/მ2 დოზით.

ჩატარებული კვლევის შედეგებით გამოიკვეთა, რომ კერების მდგრადობის ამაღლების მიზნით გამოყენებული კომბინირებული სტაბილიზატორები, მძლავრი ბალახის საფარის და განვითარებულ ფესვთა სისტემის საშუალებით, საიმედოდ ზრდის ღვარცოფწარმოქმნილი გრუნტის როგორც მდგრადობას, ისე პოლიმერგრუნტის ზედაპირული ქერქის წარმოქმნას.

თავი 3 სადინარებში ღვარცოფთა მოძრაობა

3.1. ღვარცოფთა დეფორმაციისა და დინამიკის თეორიული მეთოდები

ბუნებრივი ანომალიების გარემოზე ზემოქმედების რისკები არსებითად მნიშვნელოვანია არსებული ბუნებრივი რესურსების გამოყენებისა და ეკონომიკის განვითარებაში.

ექსპლუატაციაში მყოფი ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებათა ანალიზიდან გამომდინარე, გარემოსდაცვითი მდგომარეობა ჯერ კიდევ ვერ პასუხობს ბუნებრივი ინფრასტრუქტურის მდგრადობის მაღალ რისკებს და დიდ საზრუნავს ქმნის როგორც ინოვაციური ბრძოლის ახალი სახეების შექმნაში, ისე გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სრულყოფაში. აღნიშნული გამოწვეულია ღვარცოფთა როგორც გენეზისით, ისე დინამიკის თავისებურებით და, ასევე, ნაგებობათა კონსტრუირების სირთულით. კვლევა, რომელიც ღვარცოფთა რეგულირების პრობლემებს ეხება, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების გაანგარიშების მეთოდოლოგიის დაზუსტებისა და ნაკადის ძალური ზემოქმედების შესაძლებლობის განსაზღვრაზეა ორიენტირებული. ზემოთ აღნიშნულს აღრმავებს ღვარცოფსადინართა სატრანზიტო მონაკვეთებზე კალაპოტის ფორმის სირთულით გამოწვეული მოძრავი ნაკადის რეჟიმების და მდგრადობის ცვლილების შესაძლებლობები. განსაკუთრებით ღვარცოფთა რეგულირების საკითხი და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების კრიტიკულობა სადინარში, ისეთ მონაკვეთებზეა გასათვალისწინებელი, სადაც მათ შესაძლებელია გამოხატული ჰქონდეთ განივი კვეთის ფორმის ცვლილება, ე.ი. სადინარში მოძრავი ნაკადის განივი კვეთი იცვლება გაფართოების ან კუმშვის შედეგად, დინების მიმართულებით და იცვლება ნაკადის სტაციონალურობაც. ასეთ შემთხვევაში, ნაკადის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შეფასება და საანგარიშო მოდელის შერჩევა სრულიად განსხვავებულ მიდგომებსა და გაანგარიშების მეთოდოლოგიის შერჩევასთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფთა ტრანსპორტუნარიანობის შესაძლებლობების და მდგრადობის კარგვის მიზეზების შესწავლის ანალიზით დასტურდება, რომ ყოველი მათგანის მდგრადობიდან გამოსვლის შემთხვევა ერთმანეთისგან დიამეტრულად არის განსხვავებული. ნაკადის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების მოდელის შედგენის დროს აუცილებელია მისი ენერჯის ჩაქრობის საკითხთან ერთად, დაზუსტდეს სადინარის წინააღმდეგუნარიანობის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრები, ხოლო ნაგებობათა გეგმაზე განლაგება, რაოდენობა და გაბარიტული ზომები, გამომდინარე აქედან, უნდა განხორციელდეს.

ღვარცოფთა ქცევის, მდგრადობის, ენერგეტიკული მახასიათებლის ცვლილების შეფასების მიდგომები და კრიტერიალური მაჩვენებლების შეფასების მეთოდები და მეთოდოლოგია მოცემულია სამეცნიერო შრომებში [6.8.16.44.53.54.60. 65.66. 75.97.98.99.100.101]

როცა ღვარცოფის აჩქარება ფიქსირდება დროის მცირე მონაკვეთში, მნიშვნელოვანია მისი სიდიდე, რომელიც არ არის დაკავშირებული ტანის დეფორმაციასთან. ასეთი მოძრაობის შემთხვევას შეესაბამება ნაკადის შემხვედრ წინააღმდეგობაზე დარტყმა, მისი შეფასება ჭეშმარიტი ძალისა და დეფორმაციის სიზუსტის ალბათობით არის შესაძლებელი.

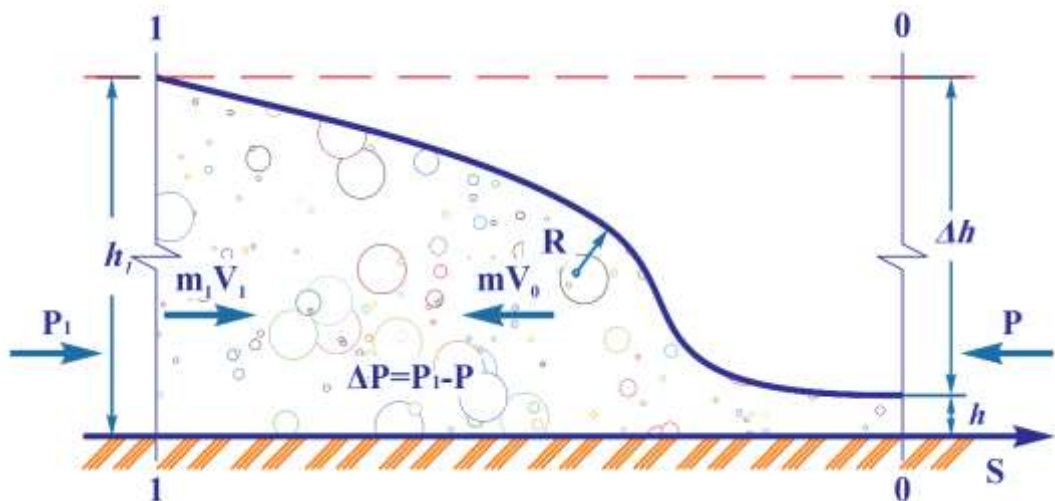
შემხვედრი წინააღმდეგობის ზემოქმედებით ნაკადის მდგრადობის რღვევა და ტანის ფორმის ცვლილება დეფორმაციის სიჩქარის გავრცელების სიდიდესა და მასის სტრუქტურული კავშირების განმსაზღვრელ მუდმივებთან არის დაკავშირებული.

მდგრადობის შეფასების დროს პროპორციულობის ზღვრებში ღვარცოფის დეფორმაციის ანალოგებად შეიძლება ისეთი მოდელები იქნას გამოყენებული, როცა გაჭიმვა-კუმშვის დეფორმაციის სიჩქარის მოდელის სიდიდე ნაკლები, ან ტოლია ბგერის გავრცელების სიდიდეზე. პროცესის სრულად შეფასების შემთხვევაში აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს ნაკადის სტრუქტურის რღვევის და მასის მოსალოდნელი შესაძლო წყვეტის შესაძლებლობები [8].

ნაკადში შემფოთების გამოკვეთილი ზონის წარმოქმნის შესაძლებლობა დეფორმაციის სიჩქარით არის განპირობებული. ამასთან ერთად მისი მასშტაბები დაძაბულობაზე, კონცენტრაციაზე, ნაკადის შუბლის ფორმასა და ზომებზეა დამოკიდებული. შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესწავლის დროს განიხილება ისეთი შემთხვევა, როცა ცნობილია ქმედებაში მყოფი ღვარცოფის როგორც პოტენციური, ისე კინეტიკური ენერგია. დაცულია ენერგიათა ტოლობის შესაძლებლობები ძაბვასა და დეფორმაციას შორის და კავშირი მათ შორის არის სწორხაზოვანი და დინამიკური, ხოლო სტატიკური ზემოქმედებით დეფორმაციის სიდიდეები ერთმანეთის ტოლია, ე.ი. კინეტიკური ენერგიის პოტენციურში გადასვლის შემთხვევაში დაცულია დეფორმაციის სიდიდეთა ტოლობა.

ღვარცოფთა მდგრადობის რღვევა, თავისუფალი ზედაპირის ფორმით ჩამოყალიბება, ჰიდრავლიკური ელემენტების უწყვეტი ან საფეხურისებრი ცვლილება, მრავალი ურთიერთმართვადი ფაქტორის ზემოქმედებით არის გამოწვეული და განპირობებული.

გრძელ ცილინდრულ კალაპოტში მოძრავი ღვარცოფის მოდელი, რომელსაც სწორკუთხა განივი კვეთის ფორმა გააჩნია, საანგარიშო სქემის სახით შეიძლება წარმოდგენილ იქნას ნახ. 3.1.1-ზე.



ნახ. 3.1.1. ღვარცოფული ნაკადის ტალღის ფორმით მოძრაობის შემთხვევა

ღვარცოფის ტალღის მახასიათებელსა და ზემოქმედების იმპულსს შორის ანალიზური კავშირის დამყარება მოცემული სქემის საფუძველზე შემდეგნაირად ხდება. როცა 1-1 კვეთიდან მასის $m_1 = \rho Q$ სიდიდის ცვლილება ტალღის მიმართულებით არ ხდება, მოძრაობის რაოდენობა, როცა სიჩქარე V_1 -ის, ხოლო სიდიდეთა ნამრავლი $\alpha V_1 \rho Q$ მოძრაობის რაოდენობის ხარჯის სიდიდით არის წარმოდგენილი, ძალის განზომილებით არის წარმოდგენილი. ანალოგიურად 1-1 კვეთისა 0-0 კვეთში ტალღის V_0 სიჩქარით გავრცელების შემთხვევაში მოძრაობის რაოდენობის ხარჯი $\alpha V_0 \rho Q$ ტოლია. ასეთი დაშვებებით წარმოდგენილ ხარჯებს ძალის განზომილება აქვს და მათი გეგმილების სიდიდე, როცა S ღერძს გადაადგილების საწინააღმდეგო მიმართულება აქვს, შეიძლება უარყოფითი მნიშვნელობით იყოს წარმოდგენილი.

წამური მოძრაობის რაოდენობის ბალანსის განტოლებას, როცა ღვარცოფის მასის h_1 სიღრმე h სიღრმემდე მცირდება და საკონტროლო კვეთებში ხარჯის სიდიდე Q – ს ტოლია, ძალის ცვლილება P -დან P_1 - მდე იმპულსის სახით შეიძლება წარმოდგენილი იქნას განტოლებით

$$\alpha p Q V - \alpha p Q V_0 = P_1 - P \quad (3.1.1)$$

შერჩეულ კვეთებში ღვარცოფის სიჩქარეების ცოცხალი კვეთის ფართობები, როცა ღვარცოფის მოცულობითი წონა γ -ს, განივი კვეთის სიგანე B -ს და ძალის იმპულსის ცვლილება ΔP –ს ტოლია, შეიძლება წარმოდგენილი იქნას განტოლებით:

$$\frac{\alpha \gamma Q B}{g \Delta P} = \frac{h_1 h}{h_1 - h} \quad (3.1.2)$$

ტალღის ფორმით ღვარცოფის მოძრაობის შემთხვევას შეესაბამება ნაკადის მოძრაობის არასტაციონალურობა.

სადინარის სატრანზიტო მონაკვეთზე, როცა მისი ფუძის ქანობი i -ის, ხარჯი Q -ს ცოცხალი კვეთის ფართობი ω -ს, რეოლოგიის კოეფიციენტი α -ს, სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი c -ს, სიბლანტის კოეფიციენტი μ -ს, სიმძიმის ძალის აჩქარება g -ს და ნაკადის სიღრმე h -ის ტოლია, დაწნევის

დანაკარგის სიდიდე, როცა ღვარცოფის მოძრაობის სიღრმე რეოლოგიური მახასიათებლის ფუნქციას წარმოადგენს არის შემდეგი:

$$\frac{dh}{d\ell} = \frac{i_c \frac{Q^2}{\alpha^4 \omega^2 c^2 h} \left(1 - \frac{\alpha a c^2 h \partial \omega}{g \omega \partial \ell}\right)}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \alpha^3 \omega^3}} \quad (3.1.3)$$

როცა ღვარცოფი მოძრაობს Q ცვლადი ხარჯით და სადინარის 1 გრძივი მეტრიდან შემოდინებული მისი კუთრი სიდიდე $q = \frac{Q}{\ell}$ -ის ტოლია,

$$\frac{dh}{d\ell} = \frac{i_c - \frac{QV}{gBf(\beta)} \left(1 - \frac{ghf(\beta)}{2K^3B}\right)}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \alpha^3 \omega^3}} \quad (3.1.4)$$

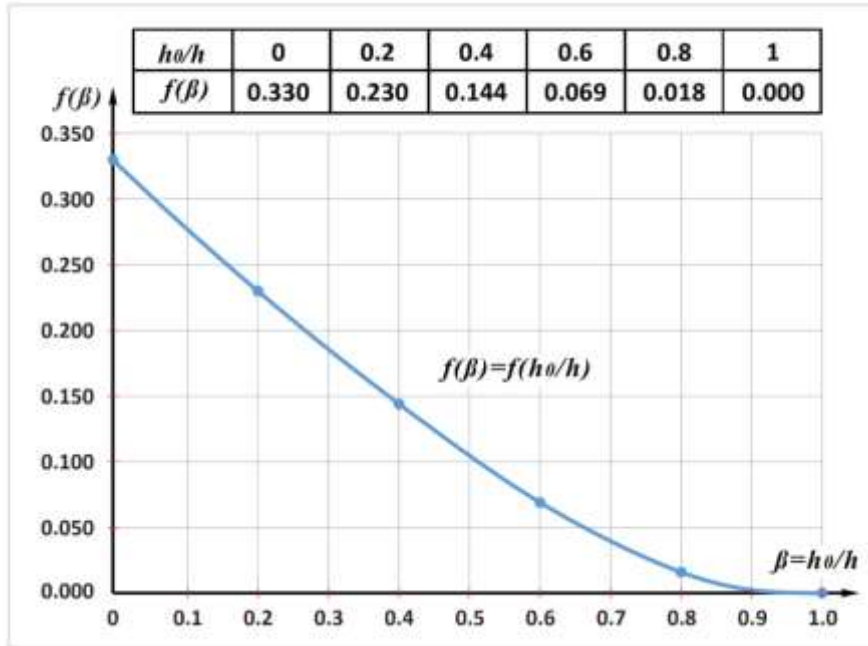
(3.1.3) და (3.1.4) დიფერენციალურ განტოლებებში შემავალი წევრების $f(\beta)$ -ს და $a = a'a''$ სიდიდეების გაანგარიშების გამარტივების მიზნით ნახ.

3.1.2-სა და ნახ. 3.1.3-ზე მოცემულია $f(\beta) = \frac{h_0}{2h} \left[\left(\frac{h_0}{h}\right)^2 - 1 + \frac{1}{3} \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^3 \right]$,

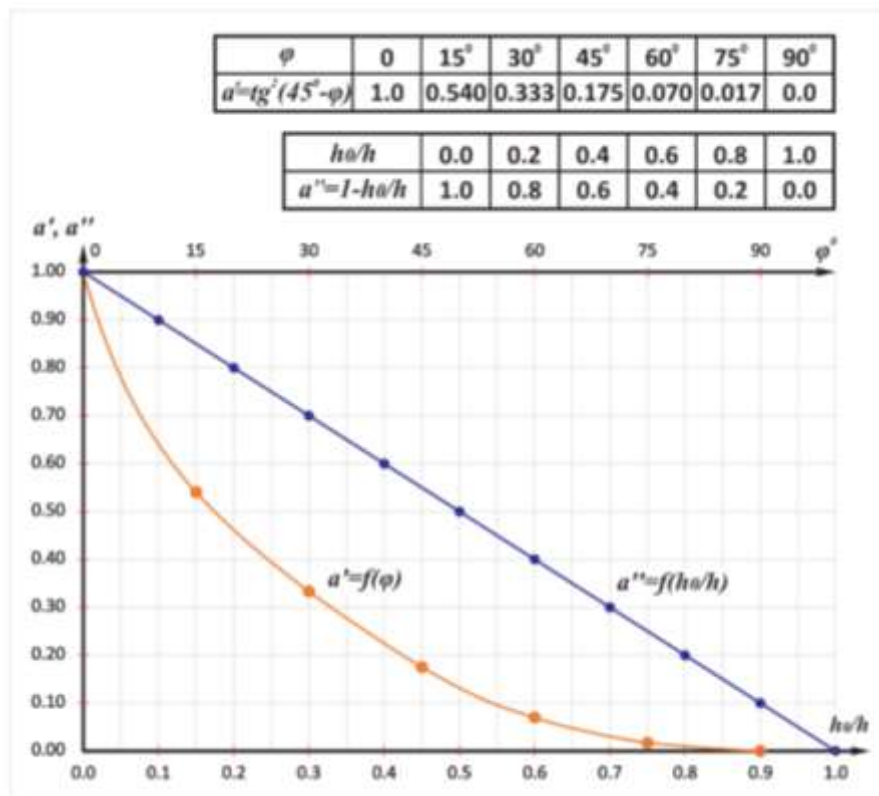
$a' = f(\varphi)$ და $a'' = f\left(\frac{h_0}{h}\right)$ დამოკიდებულების გრაფიკები.

ღვარცოფის გრძივი ტალღის ფორმით მოძრაობის შემთხვევაში, როცა მისი ჰიდრავლიკური ელემენტების ცვლილება მდორედ მიმდინარეობს, ტალღის გავრცელების სიჩქარე 3-ჯერ აღემატება საშუალო სიჩქარეს.[102.103]

ბმული ღვარცოფული მასისათვის გარე დატვირთვების მიმართ დამახასიათებელია ისეთი წინააღმდეგობის უნარი, რომლის ფორმის ცვლილება სრულიად განსხვავებულია ნიუტონური სითხეების ანალოგებისგან. ღვარცოფის ტანის ფორმის ცვლილება შემხვედრი წინააღმდეგობის ზემოქმედების შესაძლებლობასა და ნაკადის დამაბულ მდგომარეობაზე დაკავშირებული.



ნახ. 3.1.2. გრაფიკული დამოკიდებულება $f(\beta) = f(h_0/h)$



ნახ. 3.1.3. და ნახ. 3.1.4. გრაფიკული დამოკიდებულებები $a' = f(\varphi)$ და $a'' = f(h_0/h)$

ღვარცოფით სადინარში შემხვედრი წინააღმდეგობების გადალახვის შემთხვევისათვის დამახასიათებელია ნაკადის დინამიკური მახასიათებლების საფეხურისებრი, ნახტომისებრი და მდორე ცვლილება.

როცა დინამიკური ნახტომისებრი ტალღა ადრე დარიყულ უბანზე გადაადგილდება V_0 სიჩქარით, ასეთი მოვლენის სრულად შეფასების შემთხვევისათვის ფართოდაა გამოყენებული კლასიკური მიდგომები ლაგრანჟის დამოკიდებულებების სახით. დიფერენციალური პირველი და მეორე განტოლებების ანალიზიდან გამომდინარე, როცა მარჯვენა ნაწილის მნიშვნელის $1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{\omega^3}{B\alpha^3}$ სიდიდე 0-ის ტოლია, ასეთი შემთხვევაში კვეთის ენერჯია სიდიდით მინიმალურია და ტალღის გავრცელების C სიჩქარე საშუალო \bar{V} სიჩქარის ტოლია. უწყვეტი ტალღების კვლევებიდან გამომდინარე, ნაკადის წინსვლითი მოძრაობის ხარჯის მუდმივობის შემთხვევაში, საკონტაქტო ტალღის სიჩქარის, სადინარში ღვარცოფის რეჟიმების და წნევის ცვლილების შეფასების მიზნით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მახასიათებლები, კერძოდ, წნევის ცვლილების შემთხვევაში ნაკადის სიჩქარე, ხოლო შეშფოთების დასახასიათებლად მასის და მოცულობის ცვლილების დრეკადობის პარამეტრები [102.103.104]

ღვარცოფთა რისკები და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედება, მათი ჩამოყალიბების მოძრაობის და გაჩერების შესაძლებლობების განმსაზღვრელი კრიტერიუმების სწორი შეფასების მეთოდების სრულყოფილებასთან არის დაკავშირებული.

განსაკუთრებული ყურადღება ღვარცოფთა შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების ისეთ შემთხვევებს ეთმობა, რომელიც მისი სტრუქტურის ცვლილების პროგნოზირებასთან, შემხვედრი წინააღმდეგობებით ნაკადის ტანში შეშფოთების წარმოქმნასთან, ნაკადის ტანის გეომეტრიის ცვლილებასა და გაჩერების დროს თავისუფალი ზედაპირის მიღებული ფორმის სახესთან არის დაკავშირებული. ყოველი კონკრეტული ამოცანა ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ღვარცოფთა

სახეებზეა დამოკიდებული და ენერჯის ჩაქრობის ყოველი შემთხვევა სარეგულაციო ღონისძიებათა ეფექტურად განლაგების შემთხვევებით არის განპირობებული.

სადინარის ცნობილი მორფომეტრიის შემთხვევაში მოძრავი ნაკადის სტრუქტურის რღვევის შესაძლებლობა მის თავისუფალ ზედაპირზე განლაგებული წერტილებითაა შესაძლებელი. ნაკადი ფსკერის გარდატეხისას ინარჩუნებს თავისუფალი ზედაპირის უწყვეტ სახეს ჰიდრავლიკური ნახტომის გარეშე. ისეთი შემთხვევის დროს, როცა სადინარის ქანობები კრიტიკულზე ნაკლებია და, როცა ეს პირობა დარღვეულია, იკარგება მისი მდგრადობა. ამ დროს, ადგილი აქვს თავისუფალი ზედაპირით კრიტიკულის გადაკვეთას და ტალღის წარმოქმნას[102.104.105]

მდგრადობის პროგნოზი და რეჟიმების ცვლილების შეფასება ისეთ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა ნაკადის მოძრაობის თავისუფალი ზედაპირის ფორმაა ცნობილი. ასეთი სახით ნაკადის წარმოდგენა და მისი თავისუფალი ზედაპირის წირის აგება, სადინარის მცირე მონაკვეთის სიგრძის შერჩევის შემთხვევაში, ჰიდრავლიკური დამოკიდებულებების გამოყენებით, მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების შედგენით, ინტეგრების მოხერხებულობის მიზნით, მისი გამარტივებით, მიღებული განტოლების საფუძველზე თავისუფალი ზედაპირის კოორდინატების გამოთვლით და ზედაპირის პროფილის აგებით არის შესაძლებელი [102.103].

ღვარცოფთა მდგრადობის შეფასების დროს, ნაკადის მდგრადობის ცვლილების კანონზომიერებაში, აუცილებელია გათვალისწინებული იყოს როგორც შემხვედრი წინააღმდეგობების გავლენის როლი, ასევე ნაკადის დინამიკისა და დამაბული მდგომარეობის ცვლილების შესაძლებლობები.

ღვარცოფული მასის დეფორმაციულობის ცვალებადობით, შევიწროებით ან გაფართოებით ხდება მისი ტანის როგორც ფორმის, ისე ელექტრომაგნიტური და სითბური მდგომარეობის შეცვლა. ამასთან ერთად

ადგილი აქვს დახარჯული ენერჯის პოტენციურში გადასვლას და ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ტალღის ფორმით ჩამოყალიბებას.

ნახევრად დაუტვირთავი ღვარცოფის გვერდითი გაფართოება ფასდება μ^* გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტით. როცა ღვარცოფის მასა შემოსაზღვრულია ჰორიზონტალური ზედაპირით, ხოლო დამაბული ელემენტი ხასიათდება h სიმაღლით, γ მოცულობითი მასით, φ შინაგანი ხახუნის კუთხით და h_0 ბმულობის ექვივალენტური სიღრმით, გვერდითი გაფართოების ცვლილების სურათი შეიძლება შეფასდეს მთავარი ძაბვების ფარდობითი სიდიდის საფუძველზე, ან გვერდითი μ^* გაფართოების კოეფიციენტით:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\gamma h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\gamma h} = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi = \frac{\mu^*}{1 - \mu^*} \quad (3.1.5)$$

ღვარცოფის მასის დეფორმაციის გამოკვეთილ სურათს რეალობაში მიწის კაშხლის გარღვევის, ან მისი კერიდან დაძვრის დროს, მდგრადობის კარგვის ისეთი შემთხვევა შეესაბამება, როცა ნაკადის თავისუფალი ზედაპირი ტალღისებური ფორმით ყალიბდება.

ღვარცოფული მასის ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტის სიდიდე, როცა ღვარცოფის მასის სიგანე B -ს, სიმაღლე h -ს და შესაბამისი დეფორმაციების სიდიდეები $-\Delta B$ და Δh ტოლია:

$$\mu^* = \frac{\frac{\Delta B}{B}}{\frac{\Delta h}{Bh}} = \frac{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi}{1 + \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (3.1.6)$$

(3.1.6) დამოკიდებულების ანალიზით ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდე რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს და მისი ცვლილების ნათელი სურათი 3.1.4 ნახაზზეა წარმოდგენილი. ნაკადის სიგანის შემცირებას შეესაბამება მისი სიღრმეში გაზრდა და დენის წირების პარალელობის რღვევა. როცა ღვარცოფის სიგანე B -ს და გვერდითი

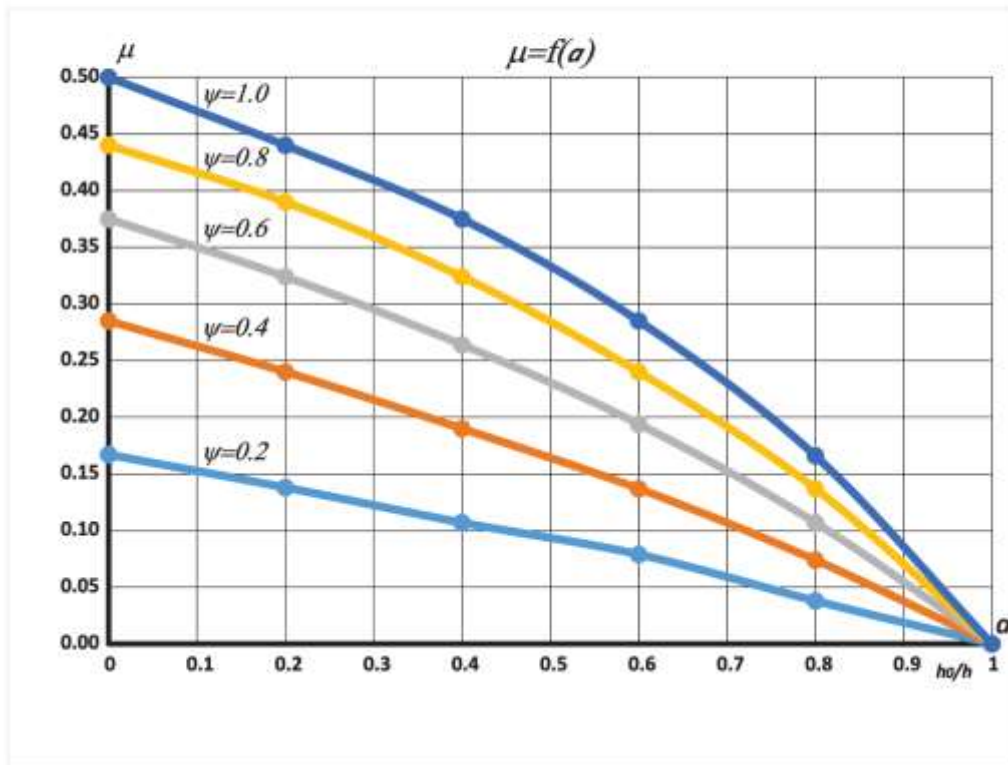
შევიწროება ΔB -ს ტოლია, სიგანის შევიწროებით ზღვრული $B_{ზღ}$ სიგანის მნიშვნელობაა:

$$B - \Delta B \leq B_{ზღ} \quad (3.1.7)$$

ნაკადის სიგანის გვერდითი დეფორმაციის სიდიდე:

$$\frac{\Delta B}{B} = 1 - \frac{B_{ზღ}}{B} \quad (3.1.8)$$

| ψ | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| h_0/h | μ | | | | |
| 0 | 0.167 | 0.285 | 0.375 | 0.440 | 0.500 |
| 0.2 | 0.138 | 0.240 | 0.324 | 0.390 | 0.440 |
| 0.4 | 0.107 | 0.190 | 0.264 | 0.324 | 0.375 |
| 0.6 | 0.079 | 0.137 | 0.194 | 0.240 | 0.285 |
| 0.8 | 0.038 | 0.074 | 0.107 | 0.137 | 0.166 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |



ნახ. 3.1.5. ფარდობითი დეფორმაციის μ^* -ის ღვარცოფის რეოლოგიის მახასიათებლებთან დამოკიდებულების გრაფიკი

როცა რეოლოგიური მახასიათებლების მნიშვნელობები $\frac{h_0}{h} = 0$ $\Psi = 1$, ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტის სიდიდე ემთხვევა წყლის დეფორმაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობას და მისი სიდიდე 0,5-ია.

3.2. სადინარში ღვარცოფთა გვერდითი დეფორმაცია

სადინარში შემხვედრი წინააღმდეგობებით ღვარცოფის რეჟიმების ცვლილების შესაძლებლობა და სარეგულაციო კრიტერიუმების დაზუსტება ისეთი საანგარიშო თეორიული მოდელების შექმნასთან არის დაკავშირებული, რომელიც სრულად მოიცავს მოვლენის არსს.

ღვარცოფთა უსაფრთხო ტრანზიტის შემთხვევაში აუცილებელია გაზრდილი იქნეს კალაპოტის წინააღმდეგუნარიანობა, ან ნაკადის ენერგეტიკა ზუსტად უნდა ასახავდეს მის პოტენციურ შესაძლებლობებს. ნაკადის ჰიდრავლიკისა და სადინარის მახასიათებლების შეუსაბამობას შეიძლება თან ახლდეს რეჟიმების ცვლილების, მოძრავი ნაკადის თავისუფალი ზედაპირისა და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების განსხვავებული შესაძლებლობები.

სადინარში ღვარცოფთა ქცევა მისი განმსაზღვრელი პარამეტრების ცვლილების განსაკუთრებულობებთან არის დაკავშირებული.

თუ ნაკადის რეჟიმების ცვლილების მიზეზს გვერდითი კუმშვა წარმოადგენს, მაშინ აუცილებელია შეფასდეს გვერდითი კუმშვის შესაძლებლობები ნაკადის მდგრადობის გათვალისწინებით, ან რეჟიმების ცვლილების კრიტერიუმები. ასეთივე შემთხვევას შეიძლება ქონდეს ადგილი, როცა ხდება ხარჯის ცვლილება, ან ადგილი აქვს კალაპოტის მორფომეტრიის შეცვლას.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, სადინარში ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების შედეგად მოსალოდნელია როგორც ნაკადის, ისე კალაპოტის გადაფორმირების შესაძლებლობები.

ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების სურათს შემდეგი სახე აქვს: რეცხვად თვითფორმირებად წყალსადინარებში მოძრავი წყლის ნაკადი უშუალოდ მოქმედებს კალაპოტის ფორმაზე. თუ ნაკადის სიჩქარე მცირეა, მაშინ კალაპოტის დეფორმაცია არ ფიქსირდება, ხოლო სიჩქარის გადიდების შემდეგ ხდება კალაპოტის ფორმის შეცვლა და ახალი სახით მისი ჩამოყალიბება. ნაკადის აგრესიას უპირისპირდება მასზე კალაპოტის

ზემოქმედება, რაც იწვევს ნაკადის სიჩქარეთა ველის ცვლილებას. ხანგრძლივი ურთიერთქმედების შედეგად კალაპოტი მისთვის დამახასიათებელი სიმრუდით, სიღრმით და განივი კვეთის ფორმით ყალიბდება. სადინარის კალაპოტის ფორმირება სიჩქარესთან, ქანობთან, და ტურბულენტობასთან ნაკადის წარმტაც ძალასთან არის დაკავშირებული.

მდინარეთა კალაპოტში მიმდინარე პროცესები უფრო ინტენსიურია წყალუხვობის პერიოდში და იგი განსაკუთრებულ შედეგს მაშინ აღწევს, როცა ნაკადი ძლიერადაა გაჯერებული ნატანით. ამოცანის ეს სახე განსაკუთრებულად საინტერესოა ღვარცოფებში, პროცესის კვლევა განსაკუთრებულ მეთოდოლოგიის მოვლენასთან ადაპტაციაზე არის დაკავშირებული.

ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების ურთიერთმოქმედების საფუძველზე ხდება კალაპოტის მდგრადი ფორმით ჩამოყალიბება, ე.ი., ისეთი ფორმით, რომელსაც წონასწორული ზღვრული პროფილი შეესაბამება.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს ღვარცოფული გამონატანით შექმნილი სადინარების კალაპოტები, სადაც მათი დეფორმაციის საკითხები და მათი შესწავლის მდგომარეობა განსაკუთრებულ მიდგომას საჭიროებს. აქედან გამომდინარე ღვარცოფსადინარების სატრანზიტო უბანზე და გამოტანის კონუსებზე მიმდინარე კალაპოტური პროცესები და მათი მახასიათებლების ცვლილების პროგნოზირება, შეფასების მეთოდების გადრმავება-დაზუსტებას მოითხოვს და კვლევები პროცესთან მათემატიკური მოდელების ადაპტაციას საჭიროებს.

ღვარცოფსადინარებში ნაკადის დინამიკური თავისებურებების სრულად წარმოჩენა განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს იმ შემთხვევაში, როცა ნაკადი ფორმირებულია, ცნობილია ნაკადის მოძრაობის პირობები, მათი ქცევის მახასიათებლების პროგნოზირება, ჩვეულებრივი ნაკადების მოდელების პროცესთან ადაპტაცია და შესაძლებელია ჭეშმარიტი სურათის სრულად წარმოჩენა, ბუნებაში ღვარცოფთა მრავალი სახეობის არსებობის

მიუხედავად. რეალობაში ასეთი ნაკადების განმსაზღვრელი პარამეტრების ურთიერთმიმართ უთანაზომობის შედეგად კიდევ უფრო რთულდება ლოგიკური თეორემის მოვლენასთან ადაპტირება და ხშირად ეს ერთმანეთის საწინააღმდეგო მოსაზრებების წარმოშობის მიზეზად, ან განსხვავებული შედეგების მიღების განმსაზღვრელ კრიტერიუმად შეიძლება მოგვევლინოს.

ზოგადად კალაპოტის პროცესებში ნაკადის მახასიათებლებს შორის კავშირს შემდეგი სახე აქვს:

სწორხაზოვან უბნებსა და ერთგვაროვან გრუნტებში სადინართა გამომუშავებული კალაპოტები სიმეტრიული პარაბოლური ფორმით არის წარმოდგენილი. რაც უფრო სიმეტრიული წესიერი და თანდათანობითია გადასვლა ნაპირის კიდედან კალაპოტის გულისაკენ, მით უფრო პარალელური და სწორხაზოვანია ნაკადის უდიდეს სიჩქარეთა მიმართულება სწორ ხაზოვან უბნებზე. შესაბამისად კალაპოტური პროცესების განმსაზღვრელ კრიტერიუმად მიჩნეულია ნაკადის სიგანის სიღრმესთან ფარდობის ცვლილებების შესაძლებლობები.

წარმოდგენილი მახასიათებელი ნაკადის ხარჯის, ქანობი ტრანსპორტუნარიანობის ცვლილების ფუნქციას წარმოადგენს და ფარდობის ზღვრული მნიშვნელობის სიდიდე ზემო აღნიშნულ მახასიათებლებთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფთა რეგულირების შესაძლებლობის ქვეშ მოიაზრება ჩამოყალიბებული ნაკადის რეჟიმებისა და სტრუქტურის განმსაზღვრელი იმ კრიტერიუმების ცვლილების ზღვრები, რომელთა კრიტიკულ სიდიდემდე ცვლილების შესაძლებლობა არ იწვევს მისი რეჟიმის ცვლილების შესაძლებლობას და წესრიგში მყოფი მდგომარეობის შერევას სადინარში.

წყლის ნაკადების სტაციონალურობის დაურღვევლად რეგულირების შემთხვევაში მისი კუმშვის ფარდობა სიგანესთან გამოისახება უტოლობით. ე.ი., როცა კუმშვის სიდიდეა l ხოლო ნაკადის თავისუფალი სიგანე B -ს ტოლია:

$$\frac{l}{B} \leq 0.33 \quad (3.2.1)$$

უტოლობის პირობის რღვევის შემთხვევაში მოსალოდნელია რეჟიმის ცვლილების შესაძლებლობა და რეგულირების კრიტერიუმების სხვა ფორმის სახე. ანალოგიურად, ზემოთ აღნიშნულის მე-2 კრიტერიუმად მიჩნეულია სადინარში ნაკადის ხარჯის ცვლილების შესაძლებლობები კუმშვითა და კუმშვის გარეშე.

$$\frac{Q_1}{Q} \leq 0.33 \quad (3.2.2)$$

როცა კრიტერიუმის მნიშვნელობა აჭარბებს 0,33-ს, იწყება ნაკადის სტრუქტურის ცვლილება, იქმნება შესაძლებლობა ნაკადის ფორმის ცვლილებისა და ნაკადის ახალი ენერგეტიკული მახასიათებლებით ფორმირებისა.

ღვარცოფული ნაკადების რეგულირების დროს, კერძოდ მისი განივი კვეთის თანაბრად შევიწროებით ან გაფართოებით ე.ი. განივი კვეთის კუმშვის ან გაფართოების შემთხვევაში, ადგილი აქვს მისი სიღრმის მატებას ან კლებას. აღნიშნული მოვლენის შედეგად ხდება როგორც ნაკადის კუმშვა, ისე მისი გაჭიმვა. გაჭიმვა კუმშვის თეორიიდან გამომდინარე განივი დეფორმაციის გრძივთან ფარდობით, შესაძლებელია დახასიათდეს ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადის წარმომქმნელი მყარი მასის დრეკადი თვისებები.

ტალღის წარმოშობის კვეთაში, როცა საწყისი სიმაღლე H-ის, ხოლო ნაკადის სიმაღლე h-ის ტოლია, მაშინ ნაკადის და ტალღის სიმაღლეებს შორის ფარდობა ტალღის Δh სიმაღლის უმნიშვნელო სიდიდის შემთხვევაში, როცა სადინარის α დახრის კუთხე 0-ის ტოლია გამოისახება ფორმულით:

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{(2 + \sqrt{\alpha})^2} \quad (3.2.3)$$

(3.2.3) ფორმულას თუ გარდავქმნით ტალღის სიღრმის ნაკადის სიღრმესთან ფარდობით კავშირში გვექნება

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{4} \quad (3.2.4)$$

(3.2.4) ფორმულაში როცა რეოლოგიური მახასიათებლები 0-ის ტოლია ფარდობა $\frac{\Delta h}{h} = \frac{5}{4}$ (3.2.4) ფორმულით შესაძლებელია შეფასდეს ღვარცოფის ფარდობითი დეფორმაციების მახასიათებლები. თუ დავუშვებთ, რომ $\frac{\Delta h}{h}$ წარმოადგენს ღვარცოფის გრძივ ფარდობით დეფორმაციას, მაშინ მისი უწყვეტობის პირობიდან გამომდინარე განივი ფარდობითი დეფორმაციის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს დამოკიდებულება:

$$\mu = \frac{\frac{\Delta B}{B}}{\frac{\Delta l}{l}} = \frac{\frac{\Delta B}{B}}{\frac{\Delta h}{h}} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (3.2.5)$$

(3.2.5) ფორმულის საფუძველზე ღვარცოფწარმოქმნილი მასის განივი ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდე:

$$\frac{\Delta B}{B} = \mu \frac{\Delta h}{h} \quad (3.2.6)$$

(3.2.6) ფარდობითი $\frac{\Delta h}{h}$ სიდიდის გათვალისწინებით გვექნება:

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot \frac{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{4(1 + \alpha)} \quad (3.2.7)$$

მიღებული (3.2.7) ფორმულა წარმოადგენს ნაკადის გვერდითი კუმშვის საანგარიშო დამოკიდებულებას,

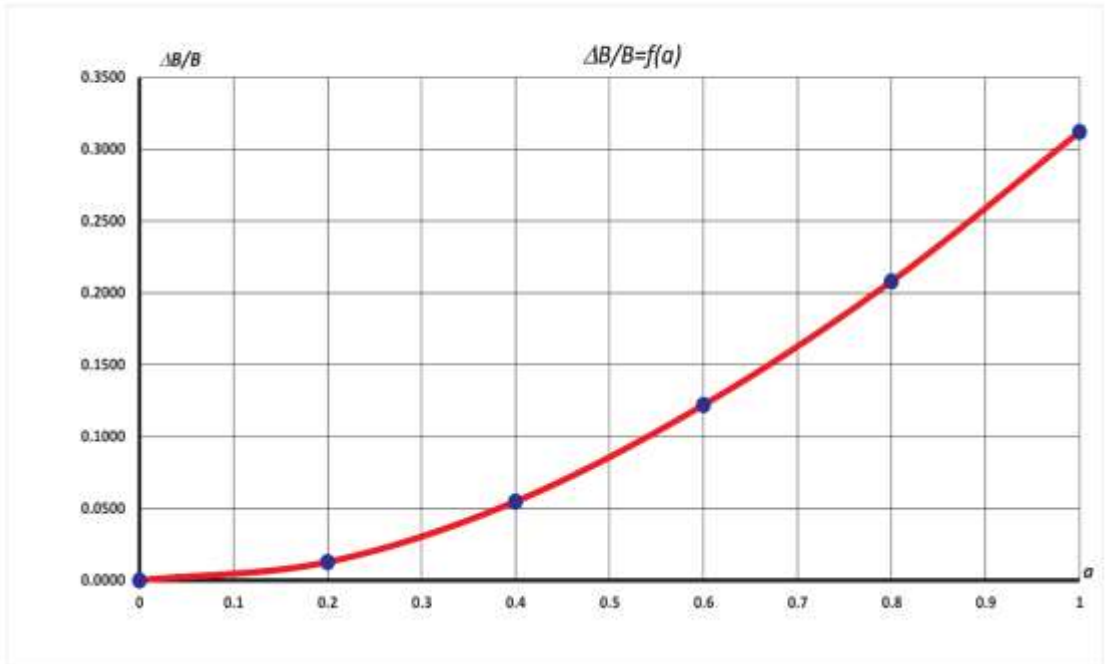
სადაც ΔB - ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადის კუმშვის სიდიდეა (მ);

B - ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადის სიგანეა (მ);

μ - განივი კუმშვის გრძივ გაჭიმვასთან ფარდობითი სიდიდეების შეფარდების კოეფიციენტი, რომლის მაქსიმალური მნიშვნელობა მოცულობითი ფარდობის დეფორმაციის დროს 0,5 -ის ტოლია

ნაკადის განივი კუმშვის სიდიდის დამოკიდებულება რეოლოგიურ მახასიათებლებთან მოცემულია ნახ. 3.2.1-ზე.

| $a=(1-h a/h) y$ | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\Delta B/B$ | 0.0000 | 0.0127 | 0.0548 | 0.1220 | 0.2080 | 0.3120 |



ნახ 3.2.1. $\Delta B/B=f(a)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ფორმულის ანალიზი ადასტურებს, რომ წყლისათვის, როცა რეოლოგიური მახასიათებლების მნიშვნელობები 0-ის ტოლია, მაშინ ფარდობა $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$ და $\mu=0,5$ -ს. შესაბამისად, გვერდითი კუმშვის სიდიდე $\frac{\Delta B}{B} = \frac{3}{4} 0,5 = 0,35$ და მიღებული შედეგი სრულად ასაბუთებს წყალზე ჩატარებული კვლევის შედეგებს. ლაბორატორიული კვლევის საფუძველზე წყლის ნაკადის განივი ნაგებობებით რეგულირების დროს ფარდობა $\frac{\Delta B}{B} = 0,33$ ე.ი. განსხვავება თეორიულ და ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებს შორის 10%-ის ფარგლებშია მოთავსებული.

ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან გამომდინარე განივი ფარდობითი დეფორმაციის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულს იქნეს დამოკიდებულება მთავარი ძაბვების ფარდობითი სიდიდის კანონზომიერებიდან.

3.3. სადინარში ღვარცოფთა კუმშვით გამოწვეული სიღრმის ცვლილება

რეალურად ღვარცოფსადინარებში ნაკადის ჰიდრავლიკური პარამეტრები და კალაპოტის მორფომეტრია ხშირად შეუსაბამო კავშირშია და ამიტომ ადგილი აქვს სადინარის კალაპოტის დეფორმაციას და მწყობრიდან გამოსვლას. გარდა ზემოაღნიშნულისა, დეფორმაციების განვითარების გამომწვევ მიზეზად შეიძლება კალაპოტების გაგანიერებული და შევიწროებული უბნები იქნეს მიჩნეული. ასეთ სურათს შესაძლებელია ადგილი ქონდეს ისეთ შემთხვევაშიც, როცა ნაკადი რეგულირდება სადინარის კალაპოტის განივი კვეთის ზემოქმედებით.

კალაპოტის შევიწროება-გაფართოების გამო ხდება მისი გამდინარე ნაკადის ფორმის ცვლილება, რაც თავისთავად, მისი როგორც სტრუქტურის, ისე ელექტრომაგნიტური და სითბური მდგომარეობის ცვლილების გამომწვევ მიზეზსაც წარმოადგენს. დეფორმაციაზე დახარჯული ენერგიის გარდაქმნა ხდება ნაკადის პოტენციალურ ენერგიად და იგი იღებს ტალღის ფორმას. ამ შემთხვევაში ტალღის სიდიდე უშუალო კავშირშია ჩამოყალიბებული ნაკადის საწყის სიღრმესთან და თვით ამ უკანასკნელის სიღრმესთან.

ზემოთ მოყვანილი მახასიათებლების დაზუსტებით შესაძლებელია შეფასდეს ნაკადის რეჟიმების ცვლილების შესაძლო კრიტერიუმები.

ღვარცოფთა მოძრაობის პირობების შესაბამისი კრიტერიუმებით შეფასება შესაძლებლობას მოგვცემს რიგი პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის დროს სრულად იქნას გათვალისწინებული ზემოქმედების შესაძლებლობები და სარეგულაციო ნაგებობების კონსტრუქციული გადაწყვეტები.

საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის დროს განიხილება თავისუფალი ზედაპირის სიმრუდის სახე, ან გვერდითი შევიწროებით სტაციონალურობის რღვევა, ან არასტაციონალურობიდან სტაციონალურში გადასვლის სხვადასახვა შემთხვევები.

ღვარცოფთა რეჟიმების ცვლილების და მოძრაობის მდგომარეობის განმსაზღვრელ კრიტერიუმად შეიძლება გამოყენებულ იქნას უტოლობა, რომელიც ფაქტორთა კომპლექსის სახით არის წარმოდგენილი:

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} \leq T \quad (3.3.1)$$

სადაც T -უგანზომილებო პარამეტრა და მისი სიდიდე წყლის ნაკადების შემთხვევაში ტოლია 1,0, ხოლო სხვა შემთხვევაში რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს $T = \psi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)$

α - ფორიოლისის კოეფიციენტი

Q - მოძრავი ღვარცოფის ხარჯი

ω - ცოცხალი კვეთი

g - სიმძიმის ძალის აჩქარება

h_0 - ბმულობის ექვივალენტური სიდიდე

h - ნაკადის სიღრმე

ψ - კოეფიციენტი და შინაგანი ხახუნის კუთხის ფუნქცია

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

პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის დროს ხშირად გვიწევს ერთი მიმართულების გრძივი ტალღების ჰიდრაულიკის ამოცანებთან შეხება, განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებული უნდა იყოს ტალღის ფორმით ნაკადის ჩამოყალიბებაზე. ერთ-ერთ ასეთ შემთხვევად შეიძლება მიჩნეულ იქნას ღვარცოფწარმომქმნელ კერაში ჩამოყალიბებული მასის დამაბული მდგომარეობის რღვევა და კერიდან ღვარცოფის დაძვრის პროცესი. აქედან გამომდინარე, ქვემოთ მიმდინარეობს მცდელობა მიახლოებით გადაწყვეტილ იქნას საკითხი, რომელიც ერთი მიმართულების გრძივი ტალღების გაანგარიშების პრობლემებს ეძღვნება. ასეთი ამოცანების გადაწყვეტის მიზანი, ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება ფორმალურ ხასიათს ატარებდეს, მაგრამ იგი აქტუალურ ხასიათს იძენს ისეთ შემთხვევაში, როცა ღვარცოფებით შექმნილი ხერგილების (ხელოვნური კაშხლების) გარღვევას აქვს ადგილი. ამის ნათელ მაგალითად შეიძლება ჩაითვალოს 2015 წელს

მდინარე ვერეს მიერ დატრიალებული ტრაგედია და უამრავი ადამიანის მსხვერპლი.

მაღალკონცენტრირებულ ნაკადებში მოვლენა ე.ი. კაშხლის გარღვევის პროცესი შეიძლება წარმოდგენილი იქნას როგორც გადაადგილების გაჩერებული ტალღა.

რეჟიმშეცვლილი წყლის სიღრმე როდესაც არის H და ნაკადის გადაადგილება თავისუფალი ზედაპირის მოძრაობა C სიჩქარით ხდება, ცოცხალი კვეთის ფართობი რეჟიმის შეცვლამდე კვეთის ფართობის ტოლია, როცა C სიჩქარე მოძრაობი ნაკადის სიჩქარის ტოლია ასეთ შემთხვევაში წარმოქმნილი ტალღა უძრავად შეიძლება ჩაითვალოს. ტალღის უკუდინების შემთხვევაში თავისუფალი ზედაპირი წარმოდგენილია ციცაბო ფერდით, ცვლილების დინამიკა შეიძლება შეფასდეს ფერდის მოხაზულობით. ტალღის H სიღრმიდან ნაკადის $h_1=h$ სიღრმემდე ცვლილების სიჩქარის მათემატიკური მოდელი:

$$V = \pm\sqrt{gH} \mp \sqrt{2g\psi} + V_0 \quad (3.3.2)$$

შემხვედრი ნაკადისადმი ტალღის საწინააღმდეგო მიმართულებით გავრცელების შემთხვევაში, სიჩქარე, როცა მისი საწყისი მნიშვნელობა 0-ის ტოლია, შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ფორმულით:

$$V = -2\sqrt{gH} + 2\sqrt{gh} \quad (3.3.3)$$

შესაბამისად, ღვარცოფის ხარჯი:

$$q = Vh = h(-2\sqrt{gH} + 2\sqrt{gh}) \quad (3.3.4)$$

როცა ტალღის სიმაღლე მნიშვნელოვანია, დამოკიდებულება ტალღის C სიჩქარისა და ნაკადის მახასიათებლებს შორის კალაპოტის ფუძის ჰორიზონტთან α კუთხით დახრის შემთხვევაში წარმოდგენილია შემდეგნაირად:

$$C = \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\varphi}\right) \quad (3.3.5)$$

სადაც

C - ტალღის გავრცელების სიჩქარე (მ/წმ)

g - სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ²)

h_0 - ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიღრმე (მ)

φ - კოეფიციენტი (შინაგანი ხახუნის კუთხის ფუნქციას წარმოადგენს)

Δh - ტალღის გავრცელების სიჩქარე

h - ნაკადის სიღრმე (მ)

როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა $\Delta h = 0$ მაშინ ტალღის სიჩქარე:

$$C = \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \quad (3.3.6)$$

როცა $h_0 = 0$ $\varphi = 1$ ე.ი. რეოლოგიური მახასიათებლები 0-თან ტოლობის დროს წარმოდგენილია შემდეგნაირად:

$$C = \sqrt{gh \cos \alpha} \quad (3.3.7)$$

ტალღის წარმოშობის უბანზე, როცა ტალღის სიმაღლე არის მნიშვნელოვანი, ნაკადის ხარჯი იანგარიშება დამოკიდებულებით:

$$q = h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right) \quad (3.3.8)$$

როცა ტალღის სიმაღლე არის უმნიშვნელო $\Delta h = 0$ მაშინ:

$$q = h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \quad (3.3.9)$$

რეოლოგიური მახასიათებლების 0-თან ტოლობის შემთხვევაში ე.ი. როცა $h_0 = 0$ $\varphi = 1$ ნაკადის ხარჯი იანგარიშება ფორმულით:

$$q = h \sqrt{gh \cos \alpha} \quad (3.3.10)$$

როცა $\alpha = 0$

$$q = h \sqrt{gh} \quad (3.3.11)$$

(5.2.1) და (5.2.7) დამოკიდებულებების განტოლების შემთხვევაში, როცა ტალღის სიმაღლე არის მნიშვნელოვანი:

$$h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \beta} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right) = h(-2\sqrt{gH} + 2\sqrt{gh}) \quad (3.3.12)$$

(3.3.1) თუ ამოვხსნით h -ის მიმართ, ტალღის სიმაღლის საწყის სიღრმესთან ფარდობა იქნება:

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{\left(2 + \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha} \left(1 + \frac{3\Delta h}{4h}\right) \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi}\right)^2} \quad (3.3.13)$$

როცა ტალღის სიმაღლე უმნიშვნელოა $\Delta h = 0$ მაშინ:

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{\left(2 + \sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \varphi \cos \alpha}\right)^2} \quad (3.3.14)$$

როცა რეოლოგიური მახასიათებლები $h_0 = 0$ $\varphi = 1$:

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{(2 + \sqrt{\cos \alpha})^2} \quad (3.3.15)$$

როცა $\alpha = 0$, $h_0 \neq 0$, $\varphi \neq 0$:

$$\frac{h}{H} = \frac{4}{9} \frac{4}{(2 + \sqrt{\varphi})^2} \quad (3.3.16)$$

როცა $\alpha = 0$, $h_0 = 0$, $\varphi = 1$:

$$\left(\frac{h}{H}\right) = \frac{4}{9} \quad (3.3.17)$$

ზემოთ მოყვანილი საანგარიშო დამოკიდებულებებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნას ნაკადის სიმაღლე, ტალღის სიმაღლის გათვალისწინებით როგორც რეოლოგიური მაჩვენებლის გათვალისწინებით, ისე მის გარეშე.

შესაბამისად (3.3.17) დეფორმაციის სიდიდე:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{4}. \quad (3.3.18.)$$

ღვარცოფის მასის კუმშვით, გვერდითი შევიწროვებით, გაჭიმვის ფარდობითი წაგრძელების სიდიდე:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{h_1 - h}{h} = \frac{h_1}{h} - 1 \quad (3.3.19.)$$

შესაბამისად (3.3.17.)-ის გათვალისწინებით (1.3.20)-ში:

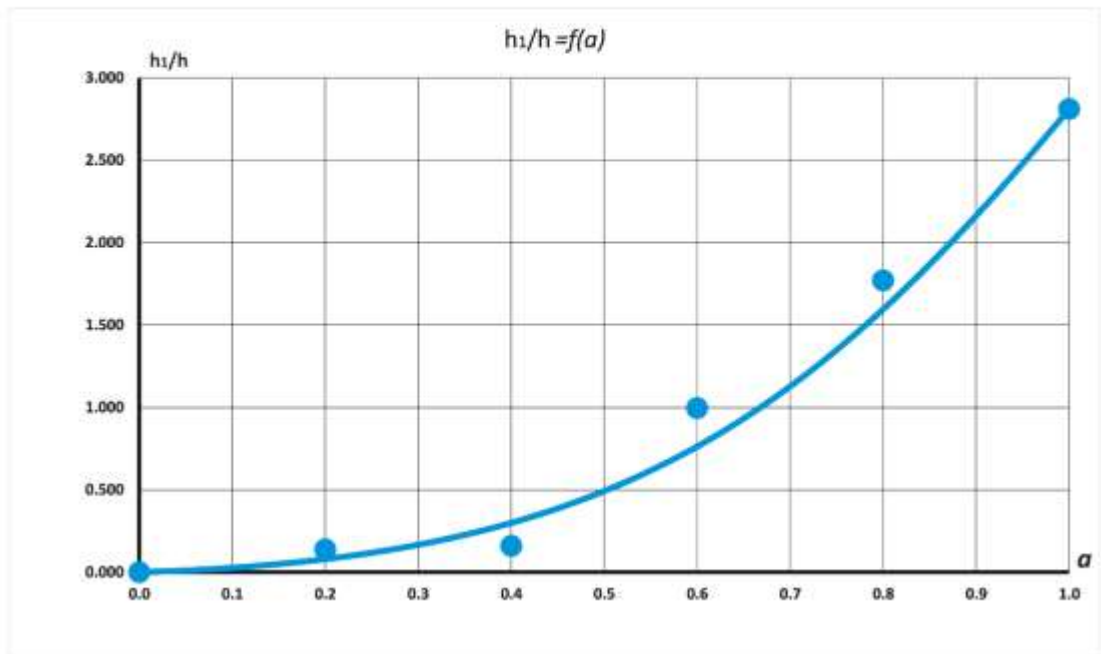
$$\frac{h_1}{h} = \frac{4\alpha + \alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{4} \quad (3.3.20.)$$

როცა $\alpha = 1$, $\frac{h_1}{h} = 2,25$ საკონტროლო კვებებში ნაკადის გრძივი და განივი დეფორმაციების ფარდობის სიდიდეებს თუ გამოვსახავთ საწყის სიდიდესთან წაგრძელებით ან კუმშვით, ე. ი. $\frac{h_1}{h} = f(\beta)$:

$$f(\beta) = \frac{(\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha})(2 + \sqrt{\alpha})^2}{16} \quad (3.3.21.)$$

(3.3.21.) დამოკიდებულებით ფარდობითი სიდიდის $\frac{h_1}{h}$ ილუსტრაცია რეოლოგიასთან კავშირში მოცემულია ნახ. 1.3.7.-ის სახით

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a=(1-h_0/h) \gamma$ | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| h_1/h | 0.000 | 0.137 | 0.160 | 0.995 | 1.770 | 2.810 |



ნახ.3.3.1. h_1/h დამოკიდებულების გრაფიკი ღვარცოფის რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში

ღვარცოფთა რისკები და სხვადასხვა სახის ობიექტებზე ზემოქმედების თავისებურება მის სიმძლავრესა და ენერგეტიკულ მახასიათებლებზეა დაკავშირებული. რეგულირების ამოცანებს შორის მნიშვნელოვანია დინამიკურ დარტყმებზე მომუშავე შემხვედრი წინააღმდეგობებით ნაკადში შემფოთების ზონის გავრცელების სიდიდის და წინააღმდეგობის ძალებით შექმნილი ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის გამაწონასწორებელი ქანობი.

საინჟინრო ღონისძიებათა გეგმაში განლაგება ნაკადთან, თავისუფალი ზედაპირის სახესთან და ასეთი ანომალიების ბუნებაში მრავალი სახით არსებობასთან არის დაკავშირებული.

3.4. ღვარცოფთა დინამიკური ზემოქმედება შემხვედრ წინააღმდეგობებზე

ღვარცოფთა კინეტიკური ენერგია და შესაბამისად შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობები სიდიდით გაცილებით განსხვავებულია როგორც ტურბულენტური ღვარცოფების, ისე უეცრად წარმოქმნილი წყალდიდობის შემთხვევაში. წამური მასების თანაბრობის დროს, რამდენადაც ღვარცოფის მასის მოცულობითი წონა გაცილებით ჭარბობს, იმდენად ასეთივე სხვა სახის ნაკადების შემთხვევაში წინააღმდეგობებზე მოქმედებს შეყურსულად და ზემოქმედების პროცესში მონაწილეობას იღებს მისი სიგრძის გარკვეული ნაწილი.

როგორც ცნობილია, ჯერ-ჯერობით არ არსებობს სრულყოფილი ექსპერიმენტული და თეორიული მონაცემები, რომელიც სრულად მოიცავს ღვარცოფის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების მექანიზმს, რადგან სადინარში ნაკადისა და კალაპოტის ზემოქმედების პროცესებში მოქმედ ფაქტორთა სიმრავლე და საანგარიშო მოდელებით გათვალისწინებული პირობები გათვალისწინებულ დიაპაზონში პრაქტიკული გაანგარიშების დროს სრულად ვერ ასახავს იმ ზღვრებს და დაშვებებს, რომელსაც ადგილი აქვს ნაკადის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების დროს.

სადინართა ფორმირების და მასში დენადი ნაკადის კალაპოტურ პროცესებზე ზემოქმედება, ნაკადის ჰიდრაულიკური ცვლილება, მოვლენის ანომალურობა, ნაკადის სტრუქტურის რღვევის შესაძლებლობები და თავისუფალი ზედაპირის სხვადასხვა ფორმით ჩამოყალიბების შესაძლებლობა კიდევ უფრო ართულებს ზემოქმედების შეფასებას, რადგან ფუნქციურად შემხვედრი წინააღმდეგობები ნაკადის რეჟიმისა და სტაციონალურობის რღვევისადმი არის ორიენტირებული.

ღია ნაკადების ჰიდრაულიკაში, დინამიკაში მყოფი ნაკადების სტაციონალურობას და რღვევის შესაძლებლობას მისი პოტენციური ენერგიის კინეტიკურთან ფარდობის სიდიდით აფასებენ და თუ ეს მაჩვენებელი ერთის ტოლია, მაშინ სტაციონალურობის თვალსაზრისით ნაკადი ზღვრულ მდგომარეობაშია. ხოლო როცა ეს მაჩვენებელი განსხვავებულია ერთისაგან, მოძრაობა შეიძლება იყოს წყნარი ან მძაფრი [98]

ტალღური ფორმით მოძრაობის შემთხვევაში როცა ნაკადს გააჩნია მცირე ამპლიტუდა, ენერგიის შესაფასებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ამპლიტუდების მქონე ტალღის თეორია, ამ მხრივ მნიშვნელოვნად შეიძლება ჩაითვალოს ნ.ტ. მელეშენკოს მიერ გამოყენებული მცირე ტალღების თეორია. ანალოგიური მიდგომებია გამოყენებული ვ.მ. მაკავევის მიერ სადინარში მოძრავი ნაკადების შეფასებისას.

სრული ამპლიტუდის მქონე გრძელი ტალღები ნაკადის მდგრადობის შეფასების ოპერატიულ საშუალებებად, ძირითადად, იყენებენ სენ-ვენანის მიერ მოცემულ განტოლებებს [110]

როცა მოძრაობის პროფილის სიმრუდის ცვლილების შესაძლებლობა ნელცვლადია დროში და ძალზე მცირეა, წინააღმდეგობების ძალების განსაზღვრას ახორციელებენ ცნობილი ფორმულებით, ხოლო დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება განსაზღვრულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. აკადემიკოს ო. ნათიშვილის მიერ გაკეთებული დაშვებებით მნიშვნელოვნად გამარტივებულია დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნის შესაძლებლობები.

სადინარის კალაპოტში მიმდინარე პროცესები ნაკადის დინამიკური ზემოქმედებით მუდმივ ქმედებაშია და მნიშვნელოვან გამოკვეთილ სახეს იღებს სადინარის კალაპოტის ფორმის ცვლილებაზე. ნაკადის სადინარის კალაპოტის ფორმირება შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც მოძრავი მასის დინამიკური დარტყმის შედეგი. ეს უკანასკნელი ხარჯის ფუნქციაა და მნიშვნელოვნადაა გამოსახული დეფორმაციის დინამიკაში.

კალაპოტური პროცესებზე მოძრავი ნაკადის ზემოქმედება და მისი მასის აჩქარების შეფასება ნაკადის კინემატიკაზე დაყრდნობით, ხოლო სტატიკური - მიერთებით ხდება. როცა აჩქარების სიდიდე მნიშვნელოვანია, დროის მცირე მონაკვეთში სადინარის კალაპოტის დეფორმაციის შეფასების დროს, ითვალისწინებენ ნაკადის დამრტყმელ ძალას.

კალაპოტური პროცესების თეორიის შექმნა, შემხვედრი წინააღმდეგობების ნაკადის დარტყმის შედეგად გამოწვეული დეფორმაციების პროცესი და ფიზიკური მექანიზმის სრულად წარმოჩენა, ჭეშმარიტი ძალისა და რეალური დეფორმაციის სიდიდის მნიშვნელობებთან არის დაკავშირებული.

პროცესის სირთულიდან გამომდინარე, დარტყმის შეფასების მიზნით გამოიყენება მიახლოებითი მეთოდები და ენერჯის შენახვის კანონი.

ღვარცოფის დეფორმაციულობისას, როცა მრავალკომპონენტურობის გამო ის დეფორმაციის გავრცელების სიჩქარესთან და სტრუქტურულ აგებულებასთან არის დაკავშირებული, ადგილი აქვს დეფორმაციის მუდმივების განსაზღვრის ანალოგად ჰუკისა და სტატიკური დატვირთვების შეფასების მეთოდებით გამოყენებას.

ღვარცოფის მასის სტრუქტურა - სიბლანტე ცდილობს წინააღმდეგობა გაუწიოს ნაკადის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე დამრტყმელ ზემოქმედებას, ჩააქროს ნაკადის მექანიკური ენერჯია და განსაკუთრებულ როლს ასრულებს მასის მახასიათებლების შეფასებაში. დარტყმის დროს ხშირად ადგილი აქვს ისეთ შემთხვევებს, როცა ხდება მოძრავი მასის პლასტიკურობის შემცირება და ამ უკანასკნელის სტრუქტურის დარღვევის გამო გაბნეულ მდგომარეობაში გადასვლა. დარტყმის შედეგად გამოწვეული შეშფოთებები დეფორმაციის სიჩქარეზე, ძალის მოდებაზე, მოძრავი მასის დამაბულობის კონცენტრაციასა და ნაკადის ზომებზეა დამოკიდებული.

დარტყმის დროს სხეულის ხაზოვანი დეფორმაციის მნიშვნელოვანი სიდიდის პირობებში, როცა ცნობილია ძაბვა და დეფორმაცია, ე.ი. დეფორმაციის გამომწვევი პოტენციური და კინეტიკური ენერგია, დაცულია ენერგიათა ტოლობის პირობა, დეფორმაცია არის არადრეკადი და შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის კინეტიკური ენერგიის პოტენციურში გადასვლის შესაძლებლობაც.

დინამიკაში მყოფი ღვარცოფული მასის ტურბულენტობის წარმოქმნის წყაროდ, ხშირად, სადინარები მოიაზრება. გლუვი ზედაპირების მქონე სადინარებში კი ხშირად ადგილი აქვს მისი ფერდობიდან და ფუძიდან ნაწილაკების პერიოდულად მოწყვეტის სურათს და წარმოქმნილი ცალკეული ცირკულაციური ინდივიდების მიერ ნაკადის სიღრმის შემცირების შემთხვევებს. თავის მხრივ, შემხვედრი ნაკადი, აიძულებს ძირითად შეშფოთების ენერგიას მისი ინდივიდუალობის კარგვას.

ტურბულენტურ ნაკადებში სიჩქარის არათანაბრობის განმსაზღვრელ ფაქტორს შემხვედრი წინააღმდეგობები წარმოადგენს. იგი ნაკადის მდგრადობისა და რეჟიმების ცვლილების ერთ-ერთი განმსაზღვრელი მაჩვენებელია, ხოლო ნაკადის მოძრაობის მდგრადობის შეფასება მიღებული თავისუფალი ზედაპირს მრუდის ფორმით არის შესაძლებელი.

დაუმყარებელი არათანაბარი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებებით შესაძლებელია შეფასდეს ნაკადის დინების რეჟიმები.

მაგალითად თანაბარი მოძრაობის შემთხვევას შეესაბამება დაწნევის დანაკარგის ნულთან ტოლობა, ხოლო როცა დაწნევის დანაკარგი \pm ზღვრებში იცვლება, კრიტიკული მდგომარეობის შეფასება და საანგარიშო მახასიათებლების დამოკიდებულებებით აღწერა სირთულეს არ წარმოადგენს.

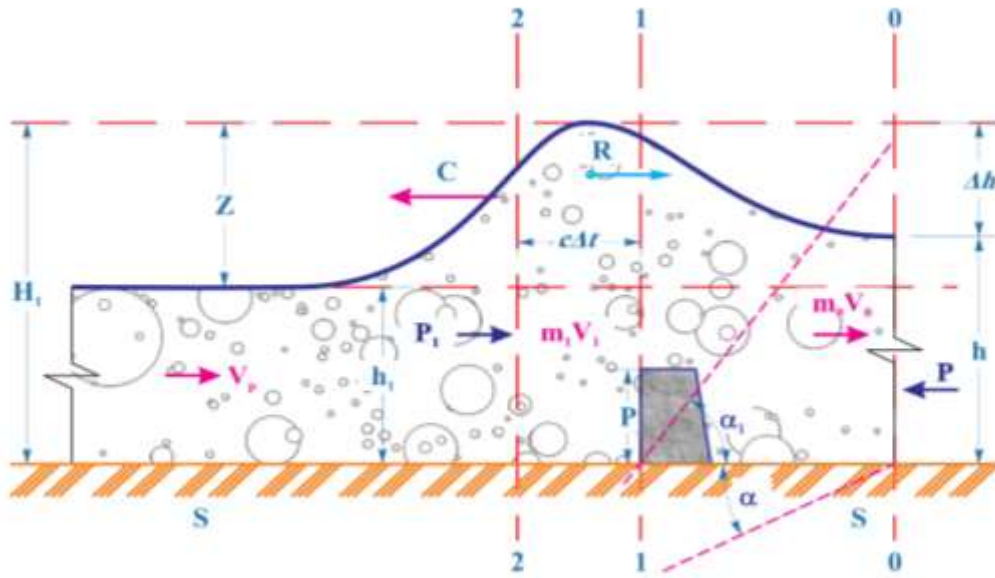
ღვარცოფთა მდგრადობის დაკარგვის ხარისხი, დონეთა მკვეთრი ცვალებადობის სიდიდით შეიძლება შეფასდეს. წონასწორობის რღვევის დროს დონეთა მკვეთრი ცვლილების ხანგრძლივობის შემთხვევაში

თავისუფალი ზედაპირის ფუძესთან შექმნილი კუთხე მიღებულია შინაგანი ხახუნის კუთხედ. მოძრავი ნაკადის მდგრადობის კარგვის შესაძლებლობები სხვადასხვა პირობებით არის გამოწვეული და, შესაბამისად, შეფასების კრიტერიუმებიც ერთმანეთისგან განსხვავებულია. წონასწორობაში მყოფი ღვარცოფის ფენებს შორის წონასწორობის რღვევის პროცესი, მათი ფენების ერთი მეორის მიმართ ცურვით, ან მათ შორის შემხები ზედაპირების სტრუქტურის რღვევით შეიძლება განხორციელდეს. პროცესის აღნიშნულ შემთხვევას შეესაბამება მხები და ნორმალური ძაბვების ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობა, როცა მასის შემადგენელი ნაწილაკების ფორმასა და ერთგვაროვნებასთან არის დაკავშირებული. დინამიკაში ღვარცოფთა მდგრადობა მოძრაობის რეჟიმების ცვლილების შესაძლებლობებთან არის დაკავშირებული და მისი შეფასების განმსაზღვრელ კრიტერიუმებად კინეტიკური ენერჯის პოტენციურთან ფარდობის სიდიდეს იყენებენ.

სადინარის კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების სირთულე მოძრავი ანომალიებით, კერძოდ, ღვარცოფთა მოძრაობის შემთხვევებით და მათი სტაციონალურობის კარგვის შესაძლებლობებით არის გამოწვეული. დინებების განსაკუთრებული შემთხვევები შეინიშნება შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ნაკადის დიდი ამპლიტუდით მოქმედებისა და სანაპირო კედლებიდან გადმოღვრის შესაძლებლობების დროს. ასეთ პირობებში მყოფ ღვარცოფთა მოძრაობა ხასიათდება რეჟიმების ცვალებადობის შესაძლებლობებით და ძრაობის არამდგრადობით, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია როგორც საინჟინრო ღონისძიებების გაანგარიშების შემთხვევაში, ისე გარემოს დაცვითი ღონისძიებების შერჩევის დროს.

ღვარცოფის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შემთხვევაში, როცა სადაწნეო ზედაპირი მოძრაობის რაოდენობის ვექტორის მიმართ დახრილია α კუთხით, მოძრაობის რაოდენობის ვექტორი ფუძესთან ადგენს α კუთხე. შემხვედრი წინააღმდეგობის გავლენა ნაკადის ზემოქმედებაზე გამოსახულია R ვექტორით ან $P_1 - P = \Delta$ ძალის იმპულსით, რომელიც მოძრაობის რაოდენობის ვექტორთან ადგენს $\beta = 180 - \beta_1$, კუთხეს. თუ

მხედველობაში მივიღებთ, რომ შემხვედრი წინააღმდეგობა იწვევს ღვარცოფის დეფორმაციას და მოძრაობის რეჟიმის შეცვლას და ტალღის ფორმის ჩამოყალიბებას, ძალის იმპულსსა და ტალღის მახასიათებლებს შორის ანალიზური დამოკიდებულებების დამყარების მიზნით მოცემულია საანგარიშო სქემა ნახ.3. 4.1



ნახ. 3.4.1 შემხვედრ წინააღმდეგობაზე ღვარცოფის გადინების სქემა

1-ლი კვეთიდან მოცემული სქემის მიხედვით მასის ცვლილებისას $m_1 = PQ$ სიდიდის ცვლილებას ადგილი არ აქვს, შესაბამისად, მოძრაობის რაოდენობის $m_1 = PQ$ სიდიდის ცვლილებას ადგილი არ აქვს და მოძრაობის რაოდენობა, როცა სიჩქარე V_1 -ის ტოლია $\alpha V_1 \rho Q$ სიდიდითა ნამრავლით შეიძლება იქნას წარმოდგენილი, ხოლო მოძრაობის რაოდენობის ხარჯი - ძალის განზომილებით. ანალოგიურად 1-1 კვეთისა 0-0 კვეთში ტალღის V_0 სიჩქარით გავრცელების შემთხვევაში მოძრაობის რაოდენობის ხარჯია $\alpha V_0 \rho Q$. ასეთი დაშვებით წარმოდგენილ ხარჯს ძალის განზომილება აქვს და მათი გეგმილების სიდიდე, როცა მოძრაობის რაოდენობის ვექტორს გადაადგილების საწინააღმდეგო მიმართულება აქვს, შეიძლება უარყოფითი სიდიდითაც იყოს წარმოდგენილი.

წამური მოძრაობის რაოდენობის ბალანსის განტოლება, როცა ღვარცოფის მასის h_1 სიღრმე h სიღრმემდე მცირდება, შესაბამისად საკონტროლო კვეთში ხარჯის სიდიდე Q , ტოლია ძალის ცვლილება P -დან P_1 -მდე ძალის იმპულსის სიდიდის:

$$\alpha V_1 \rho Q - \alpha V_0 \rho Q = P_1 - P \quad (3.4.1)$$

შესაბამისად შერჩეულ კვეთებში სიჩქარეების ცოცხალი კვეთების გამოსახვის შემთხვევაში, როცა ღვარცოფის მოცულობითი წონა γ -ს და სადინარის სიგანე B -ს ტოლია მივიღებთ

$$\frac{\alpha \gamma Q}{g \Delta P B} = \frac{h_1 h}{h_1 - h} \quad (3.4.2)$$

ღვარცოფული ნაკადების შემთხვევაში წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების დროს, კერძოდ, მისი განივი კვეთის შევიწროებით, ან გაფართოებით ზემოქმედების შემთხვევაში მოსალოდნელია სიღრმის, ან სიმაღლის ცვლილების შესაძლებლობის მატება ან კლება.

კუმშვის თეორიაზე დაყრდნობით განივი დეფორმაციის გრძივთან ფარდობის ცვლილების შესაძლებლობით შესაძლებელია ახსნილ იქნას განსახილველი ღვარცოფის დრეკადობის თვისებები.

ტალღის წარმოქმნის კვეთაში, როცა სიღრმე h_1 -ის ხოლო ნაკადის სიღრმე h -ის ტოლია საწყის სიღრმესა და ნაკადის სიღრმეს შორის კავშირი:

$$\frac{h}{h_1} = \frac{4}{(2 + \sqrt{\alpha})^2} \quad (3.4.3)$$

სადაც α რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციაა და როცა ბმულობის ექვივალენტური h_0 -ის ტოლია შინაგანი ხახუნის კუთხე ρ -ს ტოლია, და ბმულობა C -ს ტოლია, ბმულობის ექვივალენტია:

$$h_0 = \frac{2c}{\gamma \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (3.4.4)$$

$$\psi = \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3.4.5)$$

$$K = \left(1 - \frac{h_0}{h_1}\right) \psi \quad (3.4.6)$$

შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ღვარცოფის დინამიკური ზემოქმედების იმპულსი:

$$\Delta P = (\rho CV + \rho V^2) \omega \quad (3.4.7)$$

როცა $C \gg V$ -ზე და მოძრაობის ქანობი $\sin \alpha$ -ს ტოლია

(3.4.8) განტოლებაში თუ აღნიშნულია

$$f(\alpha) = (\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha})(2 + \sqrt{\alpha})^2, \quad (3.4.8)$$

შესაბამისად დარტყმის კოეფიციენტის მნიშვნელობა:

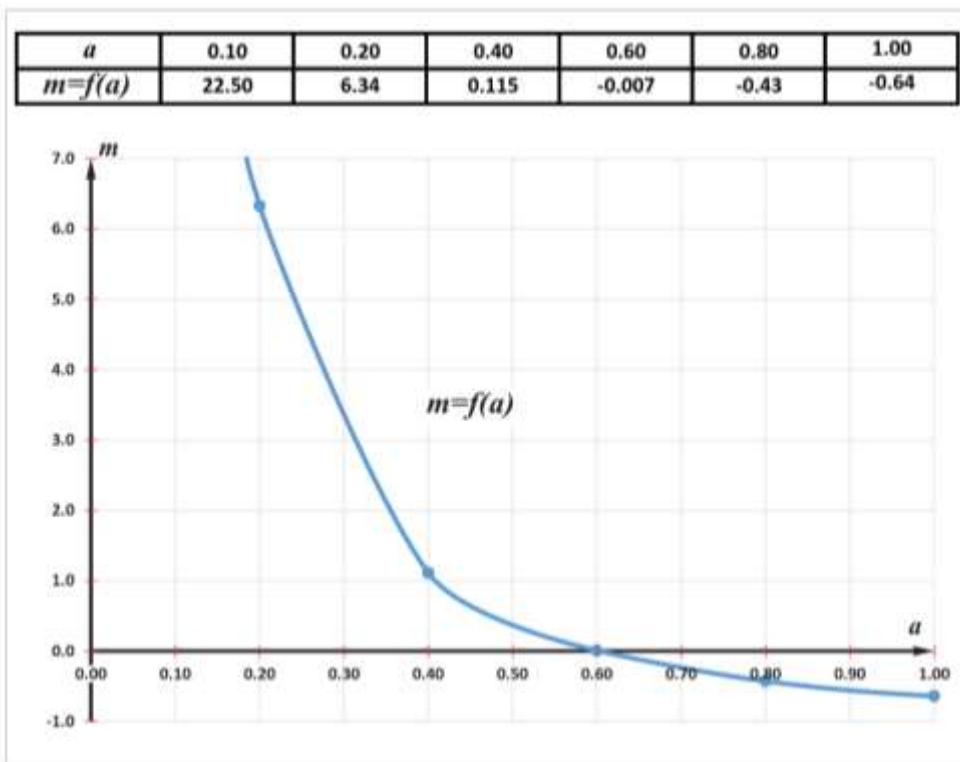
$$m = \frac{16 - f(\alpha)}{f(\alpha)} \quad (3.4.9)$$

ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის სიდიდე:

$$\Delta P = m \frac{\alpha \omega V^2}{g} \quad (3.4.10)$$

როგორც (3.4.2.) დამოკიდებულების ანალიზი ადასტურებს, ფუნქციონალურად დამრტყმელი ძალის კოეფიციენტის სიდიდე ღვარცოფთა რეოლოგიასთან არის დაკავშირებული და მისი ცვლილების ხასიათი ყოველი კონკრეტული ღვარცოფის სახეზეა დამოკიდებული. როცა α -ს სიდიდე $>0,60$, ასეთ შემთხვევაში, პირობას შეესაბამება ღვარცოფის უძრაობა და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შესაძლებლობა 0-ის ტოლია. $f(m)$ ფუნქცია 1-ის ტოლია იმ შემთხვევაში, როცა

$$\alpha = \left(1 - \frac{h_0}{h_1}\right) f$$



ნახ. 3.4.2. გრაფიკული დამოკიდებულება $m = f[f(a)]$

დამრტყმელი ძალის კოეფიციენტის მნიშვნელობა რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს და მისი სიდიდე გრაფიკული სახით მოცემულია ნახ. 3.4.2.-ზე

გარემოს დაცვაში ღვარცოფსარეგულაციო ღონისძიებები დანიშნულების შესაბამისად, შემაღენელ ელემენტთა კონსტრუქციული გადაწყვეტების მიხედვით, დაყოფილია ღვარცოფსატრანზიტო, ღვარცოფმიმართველ, ღვარცოფგარსშემომვლებ ნაგებობებად. ყოველი მათგანის ფუნქცია ერთმანეთისაგან დიამეტრულად არის განსხვავებული და მწყობრიდან გამოსვლის შესაძლებლობები ღვარცოფთა ზემოქმედების სპეციფიკურობით არის გამოწვეული. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ნაშრომში, ღვარცოფებთან ბრძოლის, არსებულთან შედარებით, ინოვაცია სარეგულაციო ღონისძიებათა გამოყენების სტრატეგიის მიმართულებისა და განივი ნაგებობების კონსტრუქციული გადაწყვეტების, გრძივით შეცვლით არის წარმოდგენილი. ამ მხრივ დამუშავებულია ნაგებობათა სახეები,

რომლებზეც მიღებულია საავტორო მოწმობები. განსაკუთრებით გამოირჩევა ბოლო დროს შექმნილი ელასტიური ბარაჟი პატენტი (P20207068B) – გამოგონება. ღვარცოფთა ნაგებობებით ზემოქმედების ეფექტი საავტორო უფლების მქონე ნაგებობით რეგულირების დროს მათ გამჭოლობასთან არის დაკავშირებული. გამჭოლობის კოეფიციენტისა და ნაგებობათა სახეების მიხედვით, ღვარცოფთა ძალური ზემოქმედება ნაგებობათა სახეების მიხედვით მოცემულია საანგარიშო დამოკიდებულების სახით: [102, 103 104 105, 106.107.108.109]

1. ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობა:

$$\Delta P = \frac{\alpha \omega V^2}{g} \sin \alpha (K_1) \frac{16 - f(\alpha)}{f(\alpha)} \quad (3.4.11)$$

2. პირამიდული გამჭოლი ნაგებობა:

$$\Delta P = \frac{\alpha \omega V^2}{g} \sin \alpha (K_2) \frac{16 - f(\alpha)}{f(\alpha)} \quad (3.4.12)$$

3. ნახევრად ცილინდრული ნაგებობა:

$$\Delta P = \frac{\alpha \omega V^2}{g} \sin \alpha (K_3) \frac{16 - f(\alpha)}{f(\alpha)} \quad (3.4.13)$$

4. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიური ბარაჟი:

$$\Delta P = \frac{\alpha \omega V^2}{g} \sin \alpha (K_4) \frac{16 - f(\alpha)}{f(\alpha)} \quad (3.4.14)$$

თავი 4. ღვარცოფისადინარში კალაპოტური პროცესები და ნაკადის მდგრადობა

4.1. გრძივი ტალღის ფორმით მოძრავი ზმული ღვარცოფის მდგრადობა

სადინარში მოძრავი ყველა სახის ნაკადის მისწრაფების საბოლოო შედეგს თანაბარი რეჟიმით მოძრაობა წარმოადგენს. აღნიშნული პირობა მაშინ სრულდება, როცა სიმძიმის ძალის მუშაობა წინააღმდეგობის ძალების მუშაობას უთანაბრდება. არათანაბარი მოძრაობის რეჟიმით ღვარცოფის სადინარებში ჩამოყალიბება იმ შემთხვევაშია მოსალოდნელი, როცა წინააღმდეგობებით ხდება სტრუქტურის რღვევა და უწყვეტი გარემოს მდგრადობის დაკარგვა.

ღია კალაპოტებში არათანაბარი მოძრაობა მაშინ მიიღება, როცა მდინარის მიმართულებით სიღრმე, სიჩქარე, ცვალებადი სიდიდეებია და $h \neq const$ და $V \neq const$ შემხვედრი წინააღმდეგობებით ნაკადზე ზემოქმედების შემთხვევაში, ან ნაკადის პარამეტრების ცვლილების დროს მოსალოდნელია როგორც თავისუფალი ზედაპირის, ისე რეჟიმების ცვლილების შესაძლებლობა.

უდაწნეო ნაკადების რეჟიმების ცვლილება უამრავი მიზეზით შეიძლება იყოს გამოწვეული. სადინარის კალაპოტის ცილინდრული ფორმის შემთხვევაში დადებითი ქანობის დროს რეჟიმების ცვლილებით გამომწვევ მიზეზთა შორის შეიძლება მოყვანილი იქნეს სხვადასხვა შემთხვევები, როცა ადგილი აქვს ნაკადის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე გადადინებას მისი თავისუფალი ზედაპირის კორდინატები და სიღრმე სრულად განსხვავებულია თანაბარი მოძრაობის რეჟიმის ასეთივესაგან. ასეთივე სურათს შეიძლება ქონდეს ადგილი ისეთ შემთხვევაში, როცა სადინარს აქვს ვარდნის ფორმა, ან სადინარში ეწყობა ფარი. სადინარის ნულოვანი და უარყოფითი ქანობის დროს თანაბარი მოძრაობის რეჟიმის შესაძლებლობა ფიზიკურად გამორიცხულია და მდგრადობის თვალსაზრისით ასეთი ამოცანები არ განიხილება.

ნაკადის სტრუქტურის რღვევისა და მოძრაობის რეჟიმების ცვლილების შემთხვევებს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ნაკადის გაფართოებისა და კუმშვის შემთხვევების დროს. ე.ი., როცა ადგილი აქვს ნაკადის არაპრიზმატულ კალაპოტებში და სადინარის მოხვეულ უბნებზე მოძრაობის შემთხვევას.

ჭეშმარიტ ბუნებრივ თვითფორმირებად სადინარებში სხვადასხვა სახის ნაკადების მოძრაობის ამოცანების განხილვის დროს, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რეჟიმების შესაძლებლობა, როცა ის ნაკადის გაფართოება-კუმშვის შესაძლებლობებით და სადინარის ფუძის ქანობის და განივი კვეთის მნიშვნელოვანი ცვლილებებით არის გამოწვეული.

სხვადასხვა სახის შემხვედრი წინააღმდეგობების და სადინარში მოწყობის დროს აუცილებელია, პირველ რიგში, გათვალისწინებულ იქნეს ის პირობები, რომელიც მნიშვნელოვნად მიახლოებულია ნაკადის ქცევის პროცესთან. გაანგარიშებათა ზუსტი შედეგი შეიძლება ისეთ პირობებში იქნეს მიღებული, როცა ნათელია ნაკადის სტრუქტურისა და რეჟიმის ცვლილებების შესაძლებლობა. როდესაც ნაკადი მოძრაობს წყნარი რეჟიმით ბუნებრივ სადინარში, მისი ფორმისა და სტრუქტურის მდგრადობის რღვევას წარმოადგენს, სხვადასხვა სახის ნაკადების მოძრაობის ისეთი სახე, რომლის დროსაც შემფოთება მის ზედაპირზე ან ტანში შეიძლება განხილული იქნეს დინების როგორც საწინააღმდეგოდ, ისე მისი მიმართულებით. რაც შეეხება მძაფრ მოძრაობას, ასეთ შემთხვევაში შემფოთება განხილება მხოლოდ დინების მიმართულებით.

კალაპოტური ნაკადების მრავალ სახეობათა შორის ღვარცოფები ერთ-ერთი გამორჩეულთაგანია ანომალიებისა და სადინარებში სხვა ნაკადებისგან ქცევის განსხვავებულობის გამო. ამ უკანასკნელის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედებას თან ახლავს რეჟიმისა და სადინარის კალაპოტში ქცევის განსაკუთრებულობები, რაც ართულებს როგორც რეგულირებას, ასევე სარეგულაციო ღონისძიებების შერჩევის შესაძლებლობებს.

სხვადასხვა ნაკადების კალაპოტურ პროცესებში მონაწილეობის შესწავლას, თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებს, საკმაოდ დიდი ისტორია გააჩნია. სადღეისო მონაცემებით, ამ მხრივ შემუშავებულია ერთიანი მოდელი, რომელიც სრულყოფას და დაზუსტებას საჭიროებს.

აღნიშნულს, ასევე, ართულებს ღვარცოფსადინართა ქანობების დიდ დიაპაზონში ცვლილებები, ტრანსპორტუნარიანობის გაზრდილი შესაძლებლობები და დინების სტაციონალურობის რღვევის განსაკუთრებულობები.

გამომდინარე აქედან, მოდელის შერჩევისა და ღვარცოფთა და რეგულირების საკითხების სრულად გადაწყვეტის მიზნით სხვადასხვა მაჩვენებლებზე დაყრდნობით მოცემულია ღვარცოფსადინართა კლასიფიკაცია:

სიგრძის მიხედვით:

- გრძელი - 10 კილომეტრამდე სიგრძით
- საშუალო - 3-5 კილომეტრის სიგრძით
- მოკლე - 1 კილომეტრამდე სიგრძით

ქანობის მიხედვით:

- მცირე - $i = 0.1 \div 0.3$
- საშუალო - $i = 0.3 \div 0.4$
- ციცაბო- $i = 0,64$

სადინარის ფსკერი სიმრუდის მიხედვით:

- ჩაზნექილი - $\frac{dH}{dl} > 0$
- სწორხაზოვანი - $\frac{dH}{dl} > const$
- ამოზნექილი - $\frac{dH}{dl} < 0$

სადინარის განივი კვეთის ფორმის მიხედვით უპირატესი გავრცელებით ხასიათდება მრუდწირული ტრაპეციული განივკვეთის მქონე

ღვარცოფსადინარები. იშვიათად ვხვდებით სამკუთხედი განივი კვეთის მქონე სადინარებს.

მოძრავი ანომალიები მკვეთრად განსხვავებული ჰიდრავლიკური და მულტიმედიური მახასიათებლებით ხასიათდება, რაც კიდევ უფრო ართულებს. მასში პროცესის აღწერის შესაძლებლობები ღვარცოფთა რეგულირება და სარეგულაციო ღონისძიებების შერჩევა კომპლექსურად არის დაკავშირებული ურთიერთმართვად ფაქტორებზე.

ღვარცოფსადინართა კალაპოტები, მიმდინარე პროცესების ზემოქმედების გამო, ყალიბდება გარკვეული მახასიათებელი ფორმით და პარამეტრების სიგანის, სიმრუდის და სიღრმის ფორმირების პირდაპირპროპორციულად, დაკავშირებული არის ხარჯთან, სიჩქარესთან, ქანობთან, ტურბულენტობასთან და ნაკადის წარმტაც ძალასთან.

რაც უფრო ბუნებით განსხვავებული ნაკადის გავლის შემთხვევებს აქვს ადგილი, მით უფრო გამოკვეთილია სადინარში ინტენსიურად მიმდინარე კალაპოტური პროცესების სურათი.

ერთფეროვანი გრუნტებისა და სწორხაზოვანი ბუნების მქონე ღვარცოფსადინარებისათვის დამახასიათებელია სიმეტრიული კალაპოტები. კალაპოტური პროცესების განმსაზღვრელ კრიტერიუმად უკანასკნელი მონაცემებით ნაკადის სიგანის სიღრმესთან ფარდობაა მიჩნეული, რომელიც ხარჯის, ქანობის, ნატანის და სადინარის კალაპოტის ფორმის ცვლილებაზეა დამოკიდებული. აღნიშნულ პარამეტრს გააჩნია ცვლილების ზღვარი, რომელიც სადინარში მოძრავი ნაკადის რეჟიმების ცვლილებების შესაძლებლობებზეა დამოკიდებული.

ღვარცოფი - ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადი - წარმოადგენს კალაპოტური ნაკადების ერთ-ერთ განსაკუთრებულ ნაირსახეობას, რომლისთვისაც სატრანზიტო უბანზე დამახასიათებელია მოძრაობის რეჟიმის, კერძოდ, წყნარიდან მძაფრში გადასვლის, ან პირიქით შემთხვევები. ე.ი. ადგილი აქვს თანაბარი მოძრაობის ტალღურ დინებაში გადასვლას.

ღვარცოფი მდგრადობა აგრესიულობით არის გამორჩეული როგორც კალაპოტური პროცესების, ისე მასში განლაგებული შემხვედრი წინააღმდეგობების საიმედოობის მიმართ. განსაკუთრებით მოვლენა კრიტიკულობით გამოირჩევა სადინართა იმ მონაკვეთებზე, სადაც ადგილი აქვს სადინარის ფორმის და ჰიდრავლიკური მახასიათებლების ცვლილების შესაძლებლობებს.

როცა ღვარცოფის ტალღის ფორმით მოძრაობას აქვს ადგილი, ნაკადი ხასიათდება ჰიდროლოგიური მახასიათებლების გაზრდილი მნიშვნელობებით. კალაპოტის მდგრადობისა და დეფორმაციის სიდიდეთა განსაზღვრული საპროექტო პარამეტრები წინააღმდეგობას ვერ უწევს ნაკადის ზემოქმედებას და მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი ხდება, ხოლო ნაკადის სტრუქტურის რღვევის განმსაზღვრელ ფაქტორად ნაკადის საშუალო სიჩქარეა მიჩნეული. უკანასკნელი დროის კვლევებმა დაადასტურა, რომ თანაბარი მოძრაობის დარღვევის გამო ხდება ნაკადის როგორც ტრანსპორტუნარიანობის გაზრდის შესაძლებლობა, ასევე მოსალოდნელია ჰიდრავლიკური პარამეტრების მნიშვნელოვანი ცვლილება. ამასთან ერთად ტალღური ფორმით მოძრაობის შემთხვევაში ნაკადის ძალური ზემოქმედების შესაძლებლობა განსხვავებულია ნაკადისაგან. [65].

ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის შეცვლა, მის ზედაპირზე ტალღის წარმოქმნა, ჰიდრავლიკური პარამეტრების როგორც უწყვეტად, ისე საფეხურისებრად ცვლილება მრავალი ფაქტორის ზემოქმედებით შეიძლება იყოს გამოწვეული. ზემოთ მოყვანილი შესაძლებლობებიდან ტალღის პირველი სახე უწყვეტის, ხოლო მეორე - დინამიკური სახელწოდებითაა ცნობილი.

ღვარცოფის ზედაპირზე ტალღა ხშირად მნიშვნელოვანი ამპლიტუდით ხასიათდება, რომლის გათვალისწინება საპროექტო გადაწყვეტებში აუცილებელ რეალობას წარმოადგენს.

საკონტროლო მოცულობაში ტალღის ფორმით გადინებული ღვარცოფის სიჩქარის დადგენა და მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება შერჩეულ კვეთებს შორის შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს განტოლებით:

$$\frac{\alpha' \gamma Q}{g} (V - V_1) = P_1 - P \quad (4.1.1)$$

სადაც α' -სიჩქარის შემასწორებელია, γQ კოეფიციენტია და იცვლება $1,05 \div 1,08$ ფარგლებში;

γ - ღვარცოფის მოცულობითი წონა (ნ/მ^3);

V, V_1 - შერჩეულ კვეთებში მოძრავი ნაკადის საშუალო სიჩქარეები (მ/წმ)

P_1, P - შერჩეულ კვეთებში მოქმედი წნევები (ნ/მ^2);

Q - ღვარცოფის ხარჯი ($\text{მ}^3/\text{წმ}$)

შერჩეული კვეთის სიჩქარეებს თუ წარმოვადგენთ ცოცხალი კვეთის ფარდობებით:

$$\Delta P = \frac{\alpha' \gamma Q^2}{g} \cdot \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1 \omega} \quad (4.1.2)$$

პრიზმული სწორკუთხა კვეთის მქონე კალაპოტისათვის, როცა ($\omega = Bh$):

$$\Delta P = \frac{\alpha' \gamma Q^2}{Bg} \cdot \frac{h_1 - h}{h_1 h} \quad (4.1.3)$$

შეუღლებული სიღრმეების მიხედვით:

$$\Delta h = h_1 - h \quad (4.1.4)$$

(4.1.4) ფორმულის გათვალისწინებით მე (4.1.3) -ში:

$$\frac{\alpha' \gamma Q^2}{g \Delta P} = 1 + \frac{h}{\Delta h} \quad (4.1.5)$$

ფარდობა $\frac{\Delta h}{h}$ წარმოადგენს ნაკადის გაჭიმვით ბმული ღვარცოფის ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდეს და, როცა $\alpha = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi$

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{4} \quad (4.1.6)$$

სადაც h_0 არის ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიღრმე (მ)

Δh - ტალღის სიმაღლე (მ)

h_1 - ნაკადის სიღრმე (მ)

ψ - კოეფიციენტი, შინაგანი ხახუნის კუთხის ფუნქციას წარმოადგენს:

$$\psi = (\sqrt{1 + tg^2\varphi} - tg\varphi)^2$$

(4.1.6)-ს გათვალისწინებით (4.1.5)-ში შესაბამისი გარდაქმნებით და გამარტივების საფუძველზე გვექნება:

$$\frac{\alpha' \gamma QV}{g\Delta P} = \frac{\alpha^3 + 4\sqrt{\alpha} + 4}{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}} \quad (4.1.7)$$

ე.ი.

$$\Delta P = \frac{\alpha' \gamma QV}{g} \cdot \frac{\alpha^3 + 4\sqrt{\alpha} + 4}{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}} \quad (4.1.8)$$

როცა რეოლოგიური მახასიათებლები 0-ის ტოლია ე.ი. $h_0 = 0$, $\psi = 1$ მაშინ $\alpha = 1$ და, შესაბამისად ძალის იმპულსი:

$$\Delta P = \frac{5}{2} \alpha' \gamma QV \quad (4.1.9)$$

შეშფოთებული ზონის მიმართ გარე ძალის იმპულსი, როცა ნაკადის სიჩქარე V -ს ტოლია:

$$\Delta P = (\rho CV + \rho V^2)\omega \quad (4.1.10)$$

როცა ნაკადის სიჩქარე $V = C$ მაშინ:

$$\Delta P = \rho CV\omega = V^2 \frac{Q}{V} = 2\varphi CQ \quad (4.1.11)$$

(4.1.11) განტოლებით (4.1.8)-თან მივიღებთ

$$C = \alpha' V \frac{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{\alpha^3 + 4\sqrt{\alpha} + 4} \quad (4.1.12)$$

როცა უწყვეტი ტალღა უსწრებს დინამიკურს, მაშინ პირველსაწყისი თანაბარი მოძრაობის პირობა ირღვევა და იგი არამდგრადია. ΔP ძალის

იმპულსით გამოწვეული ტალღის სიჩქარე შემფოთებული ტალღის ზონაში, ნაკადის თავისუფალ ზედაპირზე, შეიძლება ხასიათდებოდეს სიჩქარით $V \geq C$, რომელიც წყნარი მდგომარეობის დროს გამოისახება უტოლობით $V < C$ ე.ი. დინების ზემოთ ტალღის ცენტრი სიჩქარის მიმართულებით გადაადგილდება, ხოლო ტალღის გავრცელების სიჩქარე შეიძლება წარმოდგენილი იქნას V_c სიდიდით:

რეოლოგიური მახასიათებლების გავლენის გამო და ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით ნაკადი უფრო მდგრადია.

ძრაობის რეჟიმის დაკარგვა ღვარცოფში, ხშირად, იწვევს ხარჯის სიღრმის სიჩქარის უწყვეტად, ან საფეხურისებურად ცვლილებას, სადინართა კალაპოტი ხასიათდება მდგრადობის რღვევისა და გაზრდილი ტრანსპორტუნარიანობის შესაძლებლობით. აქედან გამომდინარე, ტალღის ნაკადის მახასიათებელ პარამეტრებთან კავშირის დამყარებით შესაძლებელია რაოდენობრივად შეფასდეს ტალღის წარმოქმნის შესაძლებლობა მის პარამეტრების ცვლილებასთან კავშირში.

ღვარცოფთა მდგრადობის რღვევა, გადაადგილების დროს იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა ერთ განზომილებიანი ტალღის სიჩქარე ჭარბობს მის ზღვარზე გავრცელებული დინამიკური ტალღის C სიჩქარეზე.

როცა ღვარცოფის ბმულის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის, მოცულობითი წონა $f(\beta)$ -ის, სტრუქტურის მახასიათებელი კოეფიციენტი ψ – ს, შინაგანი ხახუნის კუთხე φ – ს და ბმულობა ρ -ს ტოლია მაშინ;

$$V = \frac{gih^2}{\alpha} f(\beta) \quad (4.1.13)$$

$$h = \frac{2\rho}{atg\left(45^\circ - \frac{\varphi}{\alpha}\right)} \quad (4.1.14)$$

$$\psi = tg2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (4.1.15)$$

$$f(\beta) = \frac{h_0}{h} \left[\left(\left(\frac{h_0}{h} \right)^2 - 1 \right) + \frac{1}{3} \left(1 - \left(\frac{h_0}{h} \right)^3 \right) \right] \quad (4.1.16)$$

ზემოთ მოყვანილი მახასიათებლების საფუძველზე პარამეტრებთან კავშირში ღვარცოფის ტალღის გავრცელების სიჩქარეა:

$$V_{\phi} = \frac{\delta Q}{\delta \omega} = \frac{dq}{dh} = \frac{3qih^2}{\alpha} f(\beta) \quad (4.1.17)$$

ღვარცოფის მდგრადობის რღვევის პირობიდან გამომდინარე, როცა სადინარის ფუძის საფარდ სიბრტყესთან დახრის კუთხე α -ს ტოლია:

$$\frac{3gih^2}{\alpha} f(\beta) > \frac{gih^2}{\alpha} f(\beta) + \sqrt{ghacosa} \quad (4.1.18)$$

ე.ი.

$$i > \sqrt{\frac{gacosa}{gf(\beta)^2 h^3}} \quad (4.1.19)$$

ძრაობის რეჟიმის ცვლილება ნებისმიერი სახის ნაკადში იწვევს ხარჯის, სიღრმის, სიჩქარის უწყვეტ ან საფეხურისებრ შეცვლას. უკუტალღის გაჩერების შესაძლებლობებს ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როცა ტალღის სიჩქარე საშუალო და უკუტალღის სიჩქარეთა ჯამის ტოლია. ტალღის მდგრადობის რღვევას შეესაბამება პირობა, როცა მისი სიდიდე V_{ϕ} , საშუალო და ტალღის სიჩქარეთა ჯამის ტოლია.

უწყვეტი ტალღის საკონტროლო 1-1 და 2-2 კვეთებში ხარჯის ცვლილება შეიძლება განისაზღვროს უწყვეტობის პირობიდან გამომდინარე:

$$Q - \omega V_{\phi} = Q + \delta Q - V_{\phi}(\omega + \delta \omega) \quad (4.1.20)$$

სადაც,

ω, Q - ღვარცოფის საანგარიშო ცოცხალი კვეთის ფართობი და ხარჯია საწყის კვეთში;

$\omega + \delta \omega, Q + \delta Q$ - საანგარიშო ცოცხალი კვეთის ფართობი და ხარჯია საწყის კვეთში;

განტოლება (4.1.14) -ის საფუძველზე ტალღის სიჩქარე

$$V_{\phi} = V + \omega \frac{\delta V}{\delta \omega} \quad (4.1.21)$$

ბმული ღვარცოფის ხარჯი:

$$Q = \frac{Bgi h^3}{\alpha} f(\beta) \quad (4.1.22)$$

სადაც,

B - სადინარის სიგანეა

i - სადინარის ქანობია

h - ღვარცოფის სიღრმეა

სადინარში ღვარცოფის ტალღის ფორმით მოძრაობის შემთხვევაში, ქანობის ცვლილებით, ადგილი აქვს მდგრადობის რღვევას, შესაბამისი ქანობის დროს. აქედან გამომდინარე ყოველი უწყვეტი ტალღა შეიძლება გავრცელდეს თავისი სიჩქარით იმ შემთხვევაში, როცა ქანობის სიდიდე ნაკლებია დასაშვებ ნიშნულამდე, ხოლო, როცა ქანობის მნიშვნელობა დასაშვებზე მეტია მაშინ ტალღა გადაადგილდება უფრო ჩქარი რეჟიმით.

4.2. ღვარცოფის ზღვრული სიჩქარე

კალაპოტური დეფორმაციების უამრავი ფაქტითა და მონიტორინგის მასალებით, საქართველოს მთიანეთის წყალსადინარები და ღვარცოფსადინარები, კალაპოტური ეროზიული პროცესებით და ღვარცოფების ტრანზიტის საშიშროების რისკით უმაღლესი კატეგორიის ზონაშია განთავსებული.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ტერიტორიის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი ღვარცოფების სადინარებისა და წყალდიდობების მახასიათებელ მდინარეთა შემკრები აუზების ზონაშია განლაგებული. სწორედ, ასეთი ხასიათის მდინარეებში მიმდინარე კალაპოტური ეროზიის შედეგად ხდება როგორც სანაპირო ზოლის მწყობრიდან გამოყვანა, ასევე ადგილი აქვს სადინართა მდგრადობის განმსაზღვრელი მაჩვენებლების შემცირებას.

განსაკუთრებული კვლევის საგნად შეიძლება მიჩნეულ იქნას როგორც ნაკადის მდგრადობის რღვევა, ასევე ბუნებრივ სადინართა კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების შედეგად გამოწვეული დეფორმაციები. ამით არის გამოწვეული ნაკადის სადინარში დიდი სიღრმით ჩაჭრილობა, რომელთა გვერდითი ფერდობები ჩვეულებრივი რეჟიმის დროსაც კი განიცდიან ჩამოშლას და ფორმის შეცვლას. ჩამოშლისა და სანაპირო ზოლის დეფორმაციებით მიღებული პროფილის სახე, გამოწვეული წყალდიდობებით და ღვარცოფების გავლით გეომეტრიული პროგრესიით არის გაზრდილი.

კალაპოტური პროცესების გამოკვეთილი სურათით და სადინარების დეფორმაციების მასშტაბურობითა და საშიშროების რისკით დიდი საშიშროების ქვეშ ყენდება ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურა.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ღვარცოფული გამონატანით შექმნილ სადინარებში მიმდინარე კალაპოტები, დეფორმაციის საკითხები და მათი შესწავლის მდგომარეობა. აქედან გამომდინარე, ღვარცოფსადინარების სატრანზიტო უბანზე და გამოტანის კონუსებზე მიმდინარე კალაპოტური პროცესები და მათი მახასიათებლების ცვლილების პროგნოზირება განსაკუთრებულ ყურადღებას და შეფასების მეთოდების გაღრმავება-დაზუსტებას საჭიროებს. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, პროცესთან მათემატიკური მოდელების ადაპტაციასა და პრიორიტეტს საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყენება წარმოადგენს.

ღვარცოფებში ნაკადის დინამიკის ცვლილების სრულად წარმოჩენა განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს იმ შემთხვევაში, როცა ხდება მისი სხვადასხვა რეჟიმით ფორმირება. ასეთი ნაკადების მოძრაობის პირობების პროგნოზირება საანგარიშო პარამეტრებით, პროცესის სრულად წარმოჩენა, მდგრადი მახასიათებლების ჩვეულებრივისაგან განსხვავებულობა და დიდ დიაპაზონში ცვლილება უთანაზომობის შედეგად კიდევ უფრო რთულდება. ამასთან ერთად, რთულდება მოვლენასთან ადაპტირება, რაც, ხშირად, ერთმანეთის საწინააღმდეგო მოსაზრებების წარმოშობის მიზეზად და

განსხვავებული შედეგების მიღების განმსაზღვრელ კრიტერიუმად გვევლინება.

ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესების გამოკვლევები ადასტურებს, რომ ფორმირების სტადიაში მყოფი ღვარცოფი ენერგეტიკულ მახასიათებლებთან არის დაკავშირებული, რომელთა შორის ყურადღებას იპყრობს ნაკადის ხარჯი, ქანობი, ნაკადის სიჩქარე და სხვა.

ღვარცოფის მოძრაობის შემთხვევების სიგანის ზღვრული მნიშვნელობის სიდიდის განსაზღვრის ანალოგად გამოიყენება პარამეტრთა კომბინაციის მოდელი:

$$B_{\text{ზღ}} = \frac{Q^{0.5}K}{I^{0.2}\sqrt{V_{\text{ზღ}}}} \quad (4.2.1)$$

სადაც,

$B_{\text{ზღ}}$ - მოძრავი ღვარცოფის სიგანე (მ)

Q - სადინარის განივი კვეთის მაფორმირებელი ხარჯი (მ³/წმ)

I - სადინარის ქანობი

K - კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა დაახლოებით 1-ის ტოლია.

წარმოდგენილი მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ღვარცოფის გამონატანით შექმნილი სადინარებისათვის. ე.ი. ღვარცოფსადინარი წარმოდგენილია ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტით.

ღვარცოფსადინარის ზღვრული სიგანის დადგენის მოდელი, როცა განიხილება სადინარში ასეთი სახის ნაკადის მოძრაობა გვერდითი კუმშვის ზღვრულ მნიშვნელობაზე დაყრდნობით, შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემდეგი სახით:

$$1 - \frac{\Delta B}{B} = \frac{B_{\text{ზღ}}}{B} \quad (4.2.2)$$

სადაც,

ΔB - ნაკადის კუმშვის ზღვრული მნიშვნელობაა.

ΔB სიდიდის კრიტიკულ მნიშვნელობაზე გადაჭარბების შემთხვევაში ნაკადი კარგავს მდგრადობას.

$$\frac{B_{\text{ზღ}}}{B} - \text{ნაკადის გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტია და (4.2.2)}$$

დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$1 - n = \frac{B_{\text{ზღ}}}{B} \quad (4.2.3)$$

საიდანაც,

$$B = \frac{B_{\text{ზღ}}}{1 - n} \quad (4.2.4)$$

ნაკადის სიგანე, როცა ხარჯი:

$$Q = \frac{Bgh^3f(\beta)}{\alpha} \quad (4.2.5)$$

საიდანაც $B = \frac{QL}{gh^3f(\beta)}$

სადაც,

$$f(\beta) = \frac{h_0}{2h} \left[\left(\left(\frac{h_0}{h} \right)^2 - 1 \right) + \frac{1}{3} \left(1 - \left(\frac{h_0}{h} \right)^2 \right) \right] \quad (4.2.6)$$

ღვარცოფის ზღვრული სიგანე:

$$B_{\text{ზღ}} = (1 - n) \frac{QL}{gh^3f(\beta)} \quad (4.2.7)$$

თუ განტოლებაში ვითვალისწინებთ ღვარცოფული ნაკადის გვერდითი კუმშვის მნიშვნელობას, ნაკადის ზღვრული სიგანე იანგარიშება ფორმულით:

$$B_{\text{ზღ}} = 1 - \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot \frac{\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha}}{4(1 + \alpha)} \cdot \frac{QL}{gh^3f(\beta)\psi^3} \quad (4.2.8)$$

როცა $\alpha = 1$ ე.ი. წყლის ნაკადის შემთხვევაში:

$$B_{\text{ზღ}} = 1 - \frac{11}{16} \cdot \frac{QL}{gh^3f(\beta)} \quad (4.2.9)$$

წყლის ნაკადის შემთხვევაში ზღვრული სიჩქარის მნიშვნელობა:

$$V_{ზღ} = \frac{Q}{B_{ზღ} I^{0.4}} \quad (4.2.10)$$

(4.2.9) გათვალისწინებით (4.2.10) -ში

$$V_{ზღ} = \frac{[gih^3 \psi^3 f(\beta)(1-n)]^2}{I^{0.4} Q L^2} \quad (4.2.11)$$

წყალსადინარებზე ჩატარებული ანალიზით დგინდება, რომ მსგავსი გეოტექნიკური მახასიათებლების მქონე ღვარცოფსადინარებში განივი კვეთი შეიძლება სხვადასხვა ფორმით იყოს წარმოდგენილი. რაც შეეხება განაპირა ფორმებს, მათი სიდიდე შეიძლება ზღვრული დამაბული მდგრადობის საფუძველზე შეფასდეს.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ღვარცოფსადინარებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები სპეციფიკურია და იგი დიამეტრულადაა განსხვავებული წყალსადინარების თვითფორმირებად ბუნებრივ კალაპოტებში მიმდინარე პროცესებისაგან. მორფომეტრიული პარამეტრების გავლენის გათვალისწინებით კალაპოტური პროცესების შეფასება სამეცნიერო კვლევების ერთ-ერთ საინტერესო შედეგს წარმოადგენს.

კვლევების საფუძველზე სადინართა კალაპოტების მდგრადი ფორმის შეფასების საანგარიშოდ შეიძლება გამოყენებულ იქნას ზემოთ მოცემული ფორმულები (), რომელიც ნაკადის ხარჯის, ქანობის და კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის ნაწილაკის დიამეტრის სიდიდის ფუნქციას წარმოადგენს.

4.3 ღვარცოფთა ტრანსპორტუნარიანობა

საქართველოს მთიან რეგიონებში, ფართოდ არის გავრცელებული ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესები. გლობალურმა დათბობამ მათ გააქტიურებას კიდევ უფრო შეუწყო ხელი. იმატა როგორც

წყალმოვარდნებმა, ზვავებმა, ასევე, ღვარცოფულმა მოვლენებმა. ეს საკმაოდ დიდ ზიანს აყენებს როგორც სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს, ასევე ამ ზონაში მდებარე დასახლებულ პუნქტებს და, შესაბამისად, იქ მცხოვრებ მოსახლეობას.

ბუნებაში გავრცელებული ღვარცოფების არაერთგვაროვნების და მრავალი სახესხვაობების გამო დღემდე არ არსებობს ერთიანი მეთოდიკა, რომელიც გაითვალისწინებდა მოვლენაში მონაწილე ყველა ფაქტორს, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კერებში მდგრადობის დაკარგვა, ფორმირება და სატრანზიტო ზონაში კალაპოტურ პროცესებში მონაწილე ყველა ფაქტორის გათვალისწინება.

ყურადღება გამახვილდა სოფ. ნაღვარევზე, რომელიც მდებარეობს მდ. თეთრი არაგვის ხეობის მარჯვენა ფერდის ქვედა ნაწილში. სოფლის ტერიტორიაზე ჩამოედინება მდ. ნაღვარევის ხევი, რომელიც არის ღვარცოფული და ქვაწყლიანი ტიპის. კალაპოტი ზედა ნაწილში ამოვსებულია ღვარცოფული მასით, ხოლო სოფლის ტერიტორიაზე, მის ქვედა ნაწილი არის ნაწილობრივ გაწმენდილი. სოფლის მიმდებარედ მდ. არაგვის კალაპოტამდე გამომუშავებული აქვს გამოზიდვის კონუსი. საავტომობილო გზის ხიდის ქვემოთ გამოზიდვის კონუსზე კალაპოტი არ იწმინდება, რადგან მის ქვედა ნაწილში გადის მაგისტრალური გაზსადენი. ხევის კალაპოტში განვითარებული ღვარცოფული ნაკადები საშიშროებას უქმნის მოსახლეობის ეზოებს და საცხოვრებელ სახლებს, მარჯვენა მხარეს გადასვლის შემთხვევაში საშიშროებას შეუქმნის სამხედრო გზას და მაგისტრალურ გაზსადენს.



სურ.4.3.1 სოფ. ნაღვარევი

კვლევის ობიექტად შეირჩა მდ. ნაღვარევის ხევის წყალშემკრები აუზი. ყურადღება გამახვილდა მის მდგომარეობაზე და სადინარში მიმდინარე კალაპოტურ პროცესებზე.

საანგარიშო მათემატიკური მოდელისა და განხორციელებული სამეცნიერო, საველე კვლევის შედეგების გამოყენებით, მიზანი იყო ღვარცოფის მიერ ფორმირებულ ღვარცოფულ მასაში ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების მოცულობის დადგენა ქვის ჩანართების კონფიგურაციით.



სურ. 4.3.2.მდ. ნაღვარევის წყალის ღვარცოფული ხევი.

საანგარიშო მათემატიკური მოდელისა და განხორციელებული სამეცნიერო, საველე კვლევის შედეგების გამოყენებით, მიზანი იყო ღვარცოფის მიერ ფორმირებულ ღვარცოფულ მასაში ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების მოცულობის დადგენა ქვის ჩანართების კონფიგურაციით.[19.21]



სურ. 4.3.3 მდ. ნაღვარევის ხევში გაჩერებული ღვარცოფული ენა.

სურათებზე ნაჩვენებია: სურ. 4.3.3 მდ. ნაღვარევის ხევში გაჩერებული ღვარცოფული ენა. და სურ. 4.3.4. ნაღვარევის ხევში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების ზომები.



სურ. 4.3.4. ნაღვარევის ხევში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების ზომები

ღვარცოფსადინარის კალაპოტში ქვების გადაადგილების ტრანსპორტუნარიანობის შესაძლებლობა ხდება ნაკადის მამოძრავებელი ძალის სიდიდით:

$$F_x = \frac{\pi d^2}{8} [K_c - f(1 + K)] \rho_{\text{წყ}} V^2 + \frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\text{კვ}} - \rho_{\text{წყ}}) g i \quad (4.3.1)$$

სადაც d - ქვის დიამეტრია (მ);

K_c - ნაკადის ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი ($K_c = 0,5$);

f - ქვის ხახუნის კოეფიციენტი კალაპოტში მოძრაობისას $K = \frac{G_y}{N}$,

(G_y არის სიმძიმის ძალის პროექცია y ღერძზე და $G_y = G \cos \varphi$);

N - მასში ქვის წონა (კგ),

$\rho_{\text{წყ}}$ - წყლის სიმკვრივე (კგ/მ³);

V - წყლის ნაკადის სიჩქარე;

$\pi = 3,14$;

$\rho_{\text{ჰ}}$ - ქვის სიმკვრივე (კგ/მ³);

g - სიმძიმის ძალის აჩქარება ($g = 9,81$ მ/წმ²);

$i = \sin\varphi$ - მდინარის კალაპოტის ქანობი.

თუ წყლის ფარდობით სიჩქარეს წარმოვადგენთ დამოკიდებულებით

$V = V_{\text{წყ}} - V_{\text{ჰ}}$, გარდაქმნების საფუძველზე მივიღებთ:

$$\frac{dV_{\text{ჰ}}}{V_{\text{წყ}} - V_{\text{ჰ}}} = E dt \quad (4.3.2)$$

საანგარიშო მოდელში ქვის ფორმის მახასიათებელია E სიდიდის მნიშვნელობა:

$$E = \frac{3[K_c - f(1 + K)]\rho_{\text{წყ}}}{4d(\rho_{\text{ჰ}} - \rho_{\text{წყ}})} + \frac{g}{C^2 R} = \text{const} \quad (4.3.3)$$

(4.3.3) გამოსახულებაში C - შუბის კოეფიციენტი;

R - ჰიდრავლიკური რადიუსი;

დამოკიდებულების გარდაქმნით და ინტეგრირებით სადაც ქვის გადაადგილების მანძილი x -ია, ხოლო t ქვის გადაადგილების დრო, მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას სადინარში [39].

$$x = V_{\text{წყ}} t - \frac{\ln(EV_{\text{წყ}} t + 1)}{E} \quad (4.3.4)$$

ნაკადის მიერ წრიული ფორმის ქვის გადაადგილებაზე დახარჯული მუშაობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$A_1 = \frac{\pi d^3 V_{\text{წყ}}^2}{12} \left(\frac{EV_{\text{წყ}} t}{EV_{\text{წყ}} t + 1} \right)^2 (\rho_{\text{ჰ}} - \rho_{\text{წყ}}) \left(\frac{\text{კვძ}^2}{\text{წძ}^2} \right) \quad (4.3.5)$$

სხვა ფორმის ქვის გადაადგილებაზე (პარალელეპიპედის ფორმის) შესრულებული მუშაობას ექნება შემდეგი სახე:

$$A_2 = \frac{m V_{\text{წყ}}^2}{2} \left(\frac{EV_{\text{წყ}} t}{EV_{\text{წყ}} t + 1} \right)^2 \left(\frac{\text{კვძ}^2}{\text{წძ}^2} \right) \quad (4.3.6)$$

ქვის ტრანსპორტირებისას ნაკადის სიმძლავრე ტოლია:

$$N = \gamma_{\text{წყ}} Q H \left(\frac{\text{კვძ}^2}{\text{წძ}^2} \right) \quad (4.3.7)$$

ქვის წრიული ფორმის შემთხვევაში ღვარცოფის მიერ შესრულებული მუშაობა:

$$N_t = \frac{A}{t} \left(\frac{კგძ^2}{წმ^3} \right) \quad (4.3.8)$$

პარალელებიპედის ფორმის მქონე ქვის გატანის შემთხვევაში ღვარცოფის შესრულებული მუშაობა:

$$N_t^1 = Nt \quad (კგძ^2 წმ^3) \quad (4.3.9)$$

ქვების საერთო რაოდენობა, რომელიც შეიძლება ტრანსპორტირებული იყოს ღვარცოფსადინარში:

$$n = \frac{N}{N_t} \quad (ცალი) \quad (4.3.10)$$

საველე-საექსპედიციო გამოკვლევებით მდ. ნაღვარევის სადინარისათვის მდინარის კალაპოტის დახრის კუთხე, როცა იცვლებოდა და შეადგენდა 6°, 13°, 7°, 22° და 24° კალაპოტის სიგანის ცვლილების დიაპაზონი შეადგენდა - 6,0-12,5 მ-ს ტრანსპორტირებული ქვის საშუალო დიამეტრის სიდიდე იცვლებოდა 6-30 სმ-ის ზღვრებში.[113.114]



სურ. 4.3.5. მდ. ნაღვარევის კალაპოტში ტურბულენტური ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული სხვადასხვა ფორმის ქვები

მდ. ნაღვარევის კალაპოტში ტურბულენტური ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული სხვადასხვა ფორმის ქვების გადაადგილებისას კალაპოტის ფსკერით წარმოქმნილი ხახუნის კოეფიციენტების სიდიდეები (4.3.3) ფორმულის საფუძველზე ცხრილის 1 სახითაა მოცემული.

ცხრილი. 4. 3.1

ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის მახასიათებელი (E)
სიდიდის საანგარიშო განტოლებები ხახუნის კოეფიციენტთან კავშირში

| № | მდინარის კალაპოტის დახრის კუთხე | ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმა | | | |
|---|--|--|----------------|----------------|----------------|
| | | პარალელეპიპედი | კუბი | სფერო | ელიფსოიდი |
| 1 | 6° | $E=3.01-2.38f$ | $E=0,95-1.92f$ | $E=1.15-2.32f$ | $E=1.91-1.55f$ |
| 2 | 13° | $E=3.05-2.39f$ | $E=0.95-1.93f$ | $E=1,66-2,34f$ | $E=2.04-1.56f$ |
| 3 | 17° | $E=3.04-2.38f$ | $E=0,95-1.92f$ | $E=1,15-2,32f$ | $E=1,91-1,54f$ |
| 4 | 22° | $E=3.03-2.37f$ | $E=0.96-1.91f$ | $E=1,16-2.31f$ | $E=1,91-1.54f$ |
| 5 | 24° | $E=3.04-2.36f$ | $E=0,96-1,90f$ | $E=1.15-2.30f$ | $E=1,91-1.54f$ |

საველე-ექსპერიმენტებით გამოკვლევამ დაადასტურა, რომ მდინარე ნაღვარევის ხევის კალაპოტში ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების უმეტესობა პარალელეპიპედის ფორმისაა. შესაბამისად საანგარიშო ფორმულა, რომელიც ამყარებს კავშირს ქვის ფორმის მახასიათებელსა (E) და კალაპოტის ხახუნის კოეფიციენტს შორის, შემდეგი სახე აქვს:

$$E = 3.01 - 2.38f \quad (4.3.11)$$

განხილული მეთოდიკის გამოყენებით გაანგარიშებულია მდინარე ნაღვარევის ხევის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული პარალელეპიპედის ფორმის ქვების რაოდენობა, რომლის რიცხვითი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 2.

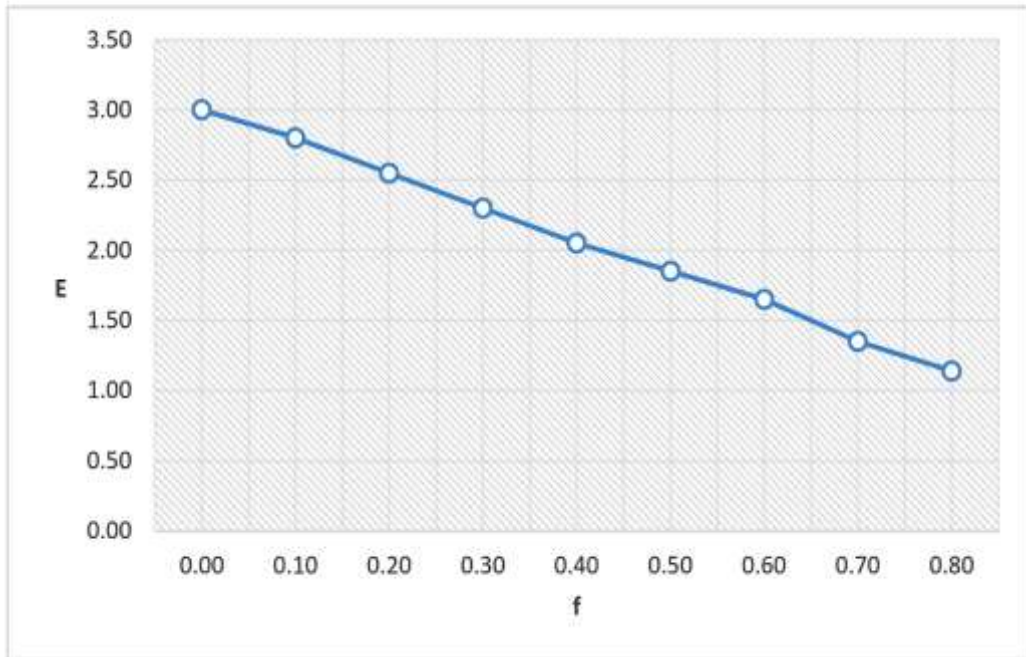
ცხრილი 4. 3.2.

**ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების რაოდენობრივი მაჩვენებლები
($t=100$ წმ) და მათი შესაბამისი მოცულობები**

| # | კალაპოტის ქანობი α | ქვის დიამეტრი d (მ) | გაანგარიშებული სიდიდეები | | | | |
|---|------------------------------|--------------------------|---|--|--|-----------------------|----------------------|
| | | | ქვის ფორმის საანგარიშო კოეფიციენტი (E) | პარალელეპიპედის ფორმის ქვის წყლის ნაკადის მიერ შესრულებული მუშაობა A_2 | ქვის ტრანსპორტირებისას ნაკადის სიმძლავრე N | ქვიშის რაოდენობა n | ქვის მოცულობა (მ) |
| 1 | 6° | 0.08 | 0.0218 | 371700 | 43.35 | 8574 | 4.4 |
| 2 | 13° | 0.1 | 0.1957 | 477048 | 198.16 | 2407 | 2.4 |
| 3 | 17° | 0.15 | 0.8373 | 1257391 | 456.35 | 2755 | 9.3 |
| 4 | 22° | 0.2 | 0.3253 | 15593349 | 2649 | 5886 | 47.1 |
| 5 | 24° | 0.25 | 0.6455 | 31882278 | 5416.63 | 1483 | 91.9 |

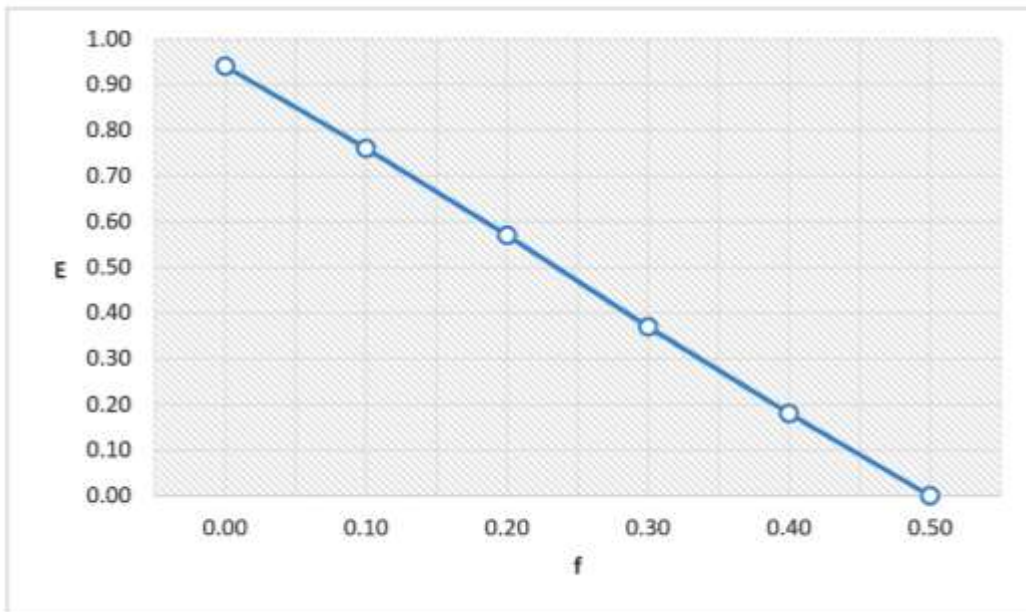
საველე დაკვირვებების შედეგად, მისი დამუშავების საფუძველით, აგებულია ქვის ფორმის მახასიათებელსა (E) და კალაპოტის ხახუნის კოეფიციენტს (A) შორის დამოკიდებულების გრაფიკები, პარალელეპიპედის, კუბის, სფეროსა და ელიფსოიდის ფორმის შემთხვევების დროს. ქვემოთ მოყვანილია ქვის ფორმის და კალაპოტის ხახუნის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების გრაფიკები ნახ. 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 და 4.3.4.

| | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| E | 3.00 | 2.80 | 2.55 | 2.30 | 2.05 | 1.85 | 1.65 | 1.35 | 1.14 |



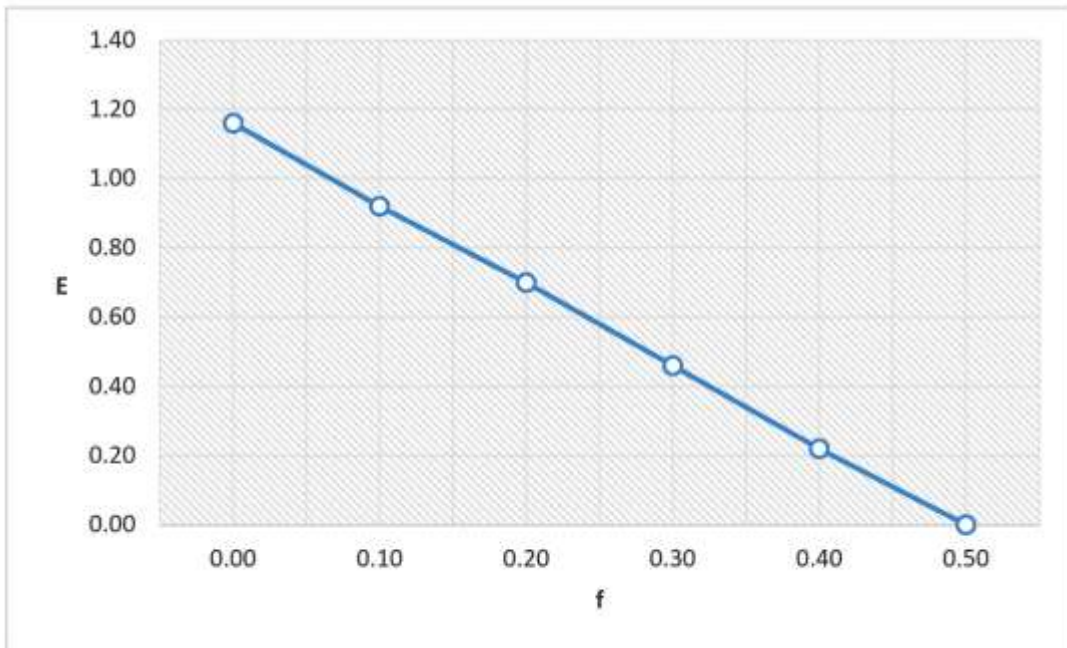
ნახ.4.3.1 ქვის პარალელუბედის ფორმის შემთხვევაში

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| f | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
| E | 0.94 | 0.76 | 0.57 | 0.37 | 0.18 | 0.00 |



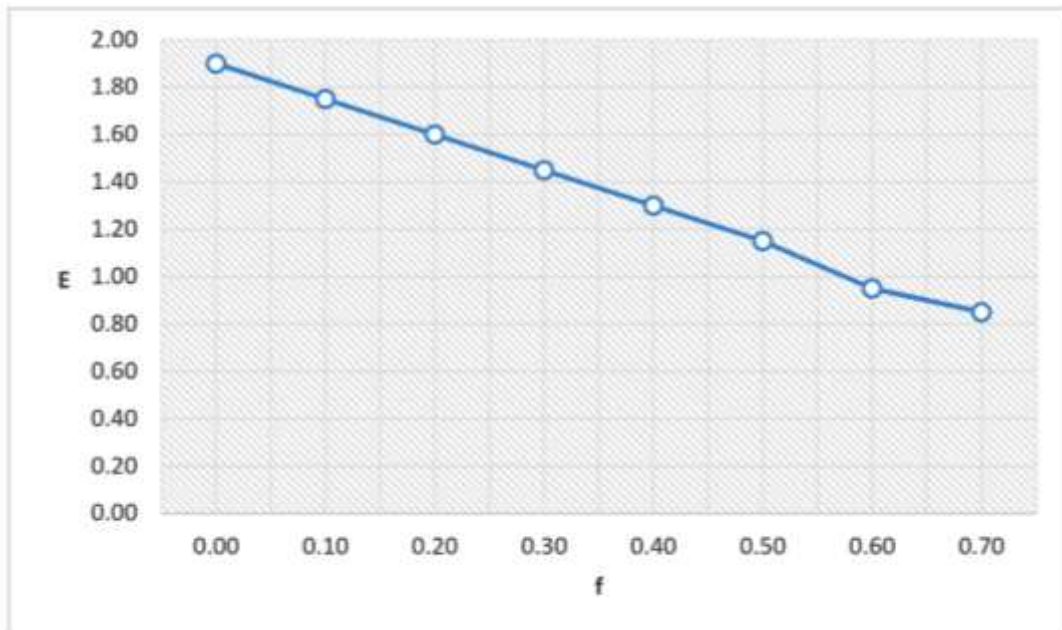
ნახ.4.3.2 ქვას აქვს კუბის ფორმა

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| f | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
| E | 1.16 | 0.92 | 0.70 | 0.46 | 0.22 | 0.00 |



ნახ. 4.3.3. ქვას აქვს სფეროს ფორმა

| | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 |
| E | 1.90 | 1.75 | 1.60 | 1.45 | 1.30 | 1.15 | 0.95 | 0.85 |



ნახ. 4.3.4. ქვას აქვს ელიფსური ფორმა

ზემოაღნიშნული მეთოდით გაანგარიშებული ღვარცოფის მიერ, განსაზღვრული დროის განმავლობაში, ტრანსპორტირებული სხვადასხვა ფორმისა და დიამეტრის მქონე ქვების რაოდენობას, მოცულობას, გადაადგილების მანძილს და სიჩქარეს, დიდი მნიშვნელობა აქვს ღვარცოფებში მიმდინარე პროცესების შეფასების და სარეგულაციო ნაგებობების შერჩევაში.

ღვარცოფსადინარის კალაპოტებში შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ნაკადის ზემოქმედების შესაძლებლობებისა და ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის პროგნოზირების მიზნით, მიღებულია საანგარიშო ფორმულა, რომელიც ამყარებს კავშირს ნაკადის დახარჯულ მუშაობასა და ფორმირების გათვალისწინებით გადასატან ქვას შორის. მოყვანილია ქვის ფორმის მახასიათებლებსა და კალაპოტის ხახუნის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების გრაფიკული ილუსტრაციები ქვის ფორმის გათვალისწინებით.

4.4. ეკოლოგიური უსაფრთხოება და სამუშაოთა ჩატარების გაზრდის სტრატეგია

გართულებული ეკოლოგიური სიტუაციის პირობებში ბუნებათსარგებლობის პროცესით გამოწვეული უწყესივრობების კლასიფიკაცია უმნიშვნელოვანესი და გადაუდებელი ამოცანაა. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ბუნებრივი ანომალიებით დაკავშირებული უწყესივრობების კლასიფიკაცია.

დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ ცვლილებების შესწავლასა და კლასიფიკაციას, რომელსაც ღვარცოფები ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის მდგრადობის რღვევაში იძენენ.

ღვარცოფული საინჟინრო ღონისძიებათა სისტემა და კლასიფიცირება ჯგუფებად დაყოფის გზით ხდება. პირველს მიეკუთვნებიან ისინი, რომელთა მწყობრიდან გამოსვლა დაუშვებელია, რადგან მწყობრიდან

გამოსვლა უშუალოდ იწვევს ობიექტის ფუნქციების შეწყვეტას და მთავრდება ადამიანის მსხვერპლით (სადინარებში კაშხლების დანგრევა, სანაპირო ზოლებში ნაკადების გადმოდენა, კალაპოტების დეფორმაციები და სხვა). [114.115]

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ნაგებობები, რომლის ფუნქციების შეწყვეტამ შეიძლება გამოიწვიოს სისტემის მწყობრიდან გამოსვლა, მაგრამ არ იწვევს დიდ ზარალს და მსხვერპლს.

თუ ობიექტზე არ ტარდება დაცვის უნარიანობის შეფასება და, ასევე, არ ხდება ობიექტის დაცვის შეფასება, მაშინ ეს, როგორც წესი, ზრდის ეკონომიკური და სოციალური დანაკარგების რაოდენობას.

ობიექტების დაზიანებით გამოწვეული ზარალი შეიძლება დადგენილი იქნეს გამოსახულებით:

$$\eta_{\text{გ}}(t) = \eta_1(t) - Z_1(t) - Z_2(t) \quad (4.4.1)$$

სადაც $\eta_{\text{გ}}(t)$ - ობიექტის t დროის განმავლობაში ფუნქციონირებისათვის შემოსული თანხებია

$Z_1(t)$ - გეგმურ პროფილაქტიკურ რემონტებზე დანახარჯებია

$Z_2(t)$ - არა გეგმურ რემონტებზე დანახარჯებია

$\eta_1(t)$ - შეიძლება დადგენილ იქნეს

$$\eta_1(t) = \int_0^t f(\eta) dt \quad (4.4.2)$$

სადაც $f(\eta)$ - ობიექტის ექსპლუატაციისას შემოსავლის ზრდის ფუნქციაა.

გეგმიური პროფილაქტიკური რემონტების ღირებულება შეიძლება დადგენილი იქნას გამოსახულებით:

$$Z_1(t) = \int_0^t f(Z_1) dt \quad (4.4.3)$$

სადაც $f(Z_1)$ - სარემონტო სამუშაოების ზრდის ფუნქციაა.

$Z_1(t)$ - ის მნიშვნელობა განისაზღვრება გამოსახულებით

$$Z_1(t) = \int_0^t f(Z_1)dt = \int_0^{Z_1} f(Z_{zs})dt + \int_0^{Z_2} f(Z_{za})dt \quad (4.4.4)$$

სადაც, $\int_0^{Z_1} f(Z_{zs}), f(Z_{za})$ – შესაბამისად სარემონტო სამუშაოების უეცარი ცვეთის მტყუნებასთან დაკავშირებული დანახარჯების ზრდის ფუნქციაა. ეს მტყუნებები შეიძლება დაკავშირებული იყოს ავარიებთან ან სხვა მიზეზებთან.

ეკოსისტემების მრავალფეროვნების აღსაწერად შეიძლება გამოყენებული იქნეს ე.წ. შეწონის მახასიათებელი.

ეს მახასიათებელი, როგორც ცნობილია, იძლევა საშუალებას გავითვალისწინოთ სისტემის სტრუქტურაანობის მაჩვენებელი და გამოითვლება ენტროპიის ალბათური ფორმულით:

$$H = - \sum_i^N P_i \log_2 P_i \quad (4.4.5)$$

სადაც P_i - ელემენტის რომელიმე მაჩვენებლის (მდგომარეობის) ალბათობაა შესაძლო N მაჩვენებლებიდან (მდგომარეობიდან) ე.ი. $i = 1, 2, \dots, N$

მოყვანილი მიდგომის ღვარცოფდაცვასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური უწესივრობის შესაფასებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, აგრეთვე, ტექნიკური და ეკონომიკური კრიტერიუმები.

ტექნიკური – ძირითადად, საშუალებას იძლევა აღწეროს ეკოსისტემის, მისი ელემენტების ფუნქციონირების უნარიანობის დარღვევა სხვადასხვა მათემატიკური მოდელირების მეშვეობით.

იმ ობიექტებისთვის, რომლის წლიური წარმადობა დამოკიდებულია მის მიერ გამოშვებული პროდუქციის მოცულობაზე (რაოდენობაზე) ან სხვა მაჩვენებელზე. ობიექტის ექსპლუატაციის ეფექტი შეიძლება დადგინდეს შემდეგი მიდგომით.

ვთქვათ წლიური სასარგებლო ეფექტი - წლის განმავლობაში

$$E_{un} = W_n m \quad (4.4.6)$$

სადაც W_n - წარმადობაა დროის ერთეულში

m - W_n -ის რაოდენობაა წლის განმავლობაში.

პირველი მიახლოებით:

$$W_n = W_0(1 - \eta_n) \quad (4.4.7)$$

სადაც η_n - წარმადობის შემცირების წლიური კოეფიციენტია, რომელიც აღნუსხავს სხვადასხვა მიზეზებით წარმადობის შემცირებას მათ შორის ხანდაზმულობით გამოწვეულსაც.

W_0 - დაცვისუნარიანობის პირველ წელს ობიექტის ნორმალური წარმადობაა. ობიექტის ფუნქციონირების მთელი დროის განმავლობაში.

წლიური დანახარჯები გაწეული ობიექტის შექმნაზე და მდგრადუნარიანობაზე:

$$l_{\Sigma} = l_0 + l_{\ell}(N) \quad (4.4.9)$$

სადაც l_0 - ობიექტის ფასი, l_{ℓ} მდგრადუნარიანობა მთელი დროის განმავლობაში ჯამური მდგრადუნარიანობის დანახარჯები.

ჯამური მდგრადუნარიანობის დანახარჯები N - წლისათვის შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:

$$l_{\ell}(n) = l_c + l_z(n) \quad (4.4.10)$$

აქ l_c - მუდმივი დანახარჯებია, l_z - რემონტისათვის საჭირო დანახარჯებია.

ჯამური მდგრადუნარიანობის დანახარჯები ობიექტის ფუნქციონირების მთელი პერიოდისათვის შეიძლება გამოვიანგარიშოთ:

$$l_{\ell}(N) = \int_0^N l_{\ell}(n) dn \quad (4.4.11)$$

ობიექტის მდგრადუნარიანობის შედეგად მიღებული ეფექტიანობა იქნება:

$$\xi = \frac{E_{\Sigma}}{\ell_{\Sigma}} \quad (4.4.12)$$

იმის მიხედვით თუ როგორ იქნება გამოთვლილი E_{Σ} და ℓ_{Σ} ეკოლოგიური უსაფრთხოებისათვის საჭირო სამუშაოების მოცულობების გათვალისწინებით და მის გარეშე, დადგენილი იქნება ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნების და გაზრდის სამუშაოების ეფექტურობა, ეკოლოგიურ უწყესივრობათა მიერ მიყენებული ზარალის გათვალისწინებით.

(4.4.12) ფარდობა იძლევა საშუალებას შევარჩიოთ ეკოლოგიური უსაფრთხოების შენარჩუნების, ან გაზრდის სამუშაოთა ჩატარების ოპტიმალური სტრატეგია.

ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა არჩეულ იქნეს ისეთი განმაპირობებელი პარამეტრები რომლებიც იქნებიან ყველაზე სრულყოფილი. ამ პარამეტრების არჩევის დროს გასათვალისწინებელია:

1. პარამეტრიც ერთმნიშვნელოვნად და ოპერატიულად უნდა რეაგირებდეს სიტუაციის ცვლილებებზე;
2. პარამეტრიც უნდა იყოს საკმარისად მდგრადი გარე ზემოქმედების მიმართ;
3. პარამეტრმა საკმაოდ სენსიტიურად უნდა მოახდინოს რეაგირება გარე ზემოქმედებაზე.

მოყვანილი მიდგომა იძლევა საშუალებას განვსაზღვროთ ეკოსისტემების მდგომარეობა, როდესაც სისტემა და მისი ელემენტები არასაკმარისადაა შესწავლილი და ავირჩიოთ ორიენტირები ეკოლოგიური მდგომარეობის გასაზრდელად.

დასკვნები

1. მეცნიერული კვლევებით დაზუსტებულია ღვარცოფის უწყვეტი ტანის განმსაზღვრელი მაჩვენებლები: - თიხოვან კოლოიდური ნაწილის მასაში ცვლილების შესაძლებლობა $10 < M_1 < 49$, კოლოიდური ნაწილის მყარ მასასთან ფარდობის ცვლილების ზღვრები $0,228 < M_2 < 0,45$ და წყლის წილის მთლიან მასასთან ფარდობის სიდიდე $0,12 < M_3 < 0,20$.
2. ღვარცოფთა სადინარებში ნაკადის ძრაობისა და კალაპოტურ პროცესებში მონაწილეობის შეფასების მიზნით, დაზუსტებულ იქნა საკვლევი სადინარის მორფომეტრიისა და ნაკადის მახასიათებელი პარამეტრების ცვლილების დიაპაზონები;
3. ეროზიული კერებიდან ღვარცოფთა დამკრის შესაძლებლობების შემცირების და ფორმირებული მასის მდგრადობის გაზრდის მიზნით გამოყენებულია ეკოლოგიურად მარტივი და სუფთა პოლიმერული სტაბილიზატორი და შესწავლილია კერების ზედაპირზე მცენარის აღმოცენების შესაძლებლობები, შეფასებულია პოლიმერული სტაბილიზატორების ნარევით შექმნილი ქერქის ექვივალენტური შეჭიდულობა;
4. ღვარცოფული მასის ქვიშის, ქვიშნარის, თიხის ნიმუშებზე ჩატარებული ცდებით დადგენილ იქნა გრუნტპოლიმერული მახასიათებლები, კერძოდ ქერქის წყალმედევობა, გრუნტიპოლიმერული ქერქის მდგრადობა, ტენიანობის ცვლილება გრუნტპოლიმერული ქერქის ქვეშ და ქარის მიმართ ეროზიული მდგრადობა;
5. ღვარცოფების რეგულირებების ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით შეფასებულია ნაგებობებზე ძალური ზემოქმედების შესაძლებლობები და გამოყვანილია მისი შეფასების საანგარიშო დამოკიდებულებები;
6. ბმული ღვარცოფებისათვის დადგენილია გვერდითი გაფართოების კოეფიციენტის ცვლილების ხასიათი და სტაციონალურობის დაურღვევლობის შენარჩუნებით დაზუსტებულია ღვარცოფთა რეჟიმების

ცვლილების და სადინარში მოძრაობის შესაძლებლობები. რეგულირების პროცესი შეფასებულია ნაკადის გვერდითი კუმშვისა და სიღრმის ცვალებადობით, მოყვანილია ზღვრული სიგანისა და სიღრმის საწყის სიდიდეებთან ფარდობის ცვლილებების პროცესი რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში;

7. სადინარში ღვარცოფის ჰიდრაულიკურ პარამეტრებსა და მორფომეტრიას შორის კავშირის შესაძლებლობა დადგენილია მათემატიკური მოდელებით და ნაკადის რეჟიმის ცვლილების კრიტერიუმებზე დაყრდნობით გამოყვანილია ტალღის სიჩქარის, ხარჯის, სიღრმის ფარდობითი ნაზრდის და გვერდითი კუმშვის საანგარიშო დამოკიდებულებები რეოლოგიასთან კავშირში;
8. გრძივი ტალღის ფორმით მოძრავი ღვარცოფისათვის შეფასებულია მდგრადობის შემხვედრი წინააღმდეგობებით რღვევის შესაძლებლობა და ტალღის გავრცელების სიჩქარე, მოყვანილია მდგრადობის განმსაზღვრელი პარამეტრი - ქანობის ცვლილების საანგარიშო დამოკიდებულება;
9. ღვარცოფსადინარში ნაგებობაზე ნაკადის ზემოქმედების შესაძლებლობებისა და მისი ტრანსპორტუნარიანობის პროგნოზირების მიზნით დანუშავებულია მეთოდოლოგია, რომელიც კავშირს ამყარებს ნაკადის დახარჯულ მუშაობასა და ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის კონფიგურაციას შორის, ხოლო ქვის ფორმის მახასიათებლებსა და კალაპოტის ხახუნის კოეფიციენტს შორის კავშირის შესაფასებლად მოყვანილია შესაბანისი გრაფიკული ილუსტრაციები;

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Издательство «Сабчота Сакартвелო», Тбилиси, 1970, 386 с.
2. Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г., Сулаквелидзе Л.А., Тевзадзе В.И. Некоторые инженерные задачи расчета селевых потоков. /Труды ГрузНИИГИМ. Тбилиси. 1967. вып. 25, с.26-37
3. Мирцхулава ULE. Оценка частоты появления селей катастрофического характера. ж. "Гидротехническое строительство", М., №5, 1988
4. გავარდაშვილი გ. ბმული ღვარცოფული ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერის წინაღობის გათვალისწინებით. საქ. მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, თბილისი, 1995, ტ. 151, მ3, გვ. 444-447
5. თ. ნათიშვილი, იყრუაშვილი, გ. გავარდაშვილი, მეთოდური რეკომენდაციები. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებისათვის“ (პიდრავლიკური გაანგარიშებები), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2016, 48გვ
6. Круашвили И.Г., Кухалашвили Э.Г., Икашвили И.Д., Бзнава к.н., Климиашвили И.А.. Математическая модель неравномерного движения связного селя». ГТУ, Ж. Гидротехническая инженерия, №1-2(17-18), 2014, стр. 42-45;
7. ნათიშვილი თ., ი. ყრუაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ინაშვილი მეთოდური რეკომენდაციები. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებისათვის“ (პიდრავლიკური გაანგარიშებები), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2016, 48გვ
8. Круашвили И.Г., Кухалашвили Э.Г., Инашвили И.Д. Бзнава К.Н., Лордкипანიძე Д.Г. «Установление гидравлических параметров селевых русел». ж. Экологические системы и приборы, 2016, стр.9-14;

9. Gavardashvili G.V., 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.
10. Gavardashvili G.V., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Iremashvili L, 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.
11. Великанов М.А. Современное представление динамической структуры селевого потока. Вест. Моск. Ун-та, сер. Физ-мат. и естест. наук. В кн.: Вопросы геологии Азии. Изд-во АН СССР, М.-Л. т. 2, 1955, с. 397-405. |
12. Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г. Экспериментальная установка по изучению селевых потоков и паводков. ТР. ГрузНИИГИиМ, Тбилиси, 1965, вып. 23, с. 175-184.
13. Гагошидзе М.С. Структура, формирование и движение структурных селевых потоков. Сб. Защита железных дорог от селевых потоков, М., 1962.
14. Мостков М.А. Очерк теории руслового потока. М. Изд-во АН СССР, 1959, с. 246. |
15. Флейшман С. М. Сели, А. Гидрометиздат, 1978, ст. 312;
16. Херхеулидзе И. И. Овражные и селевые выносы, Дориздат., М., 1947, ст. 97:
17. Хмаладзе Г.Н. Редкий водокаменный поток. „Природа“, №10, 1995, с. 91-93.

18. Шeko A.H. Распространение и формирование селей на территории СССР. В сб.: Метод, руководство по комплексному изучению селей. М., Недра, 1971, с.13-16.
19. Сулаквелидзе А.А., Пруидзе Д.К. «К вопросу генезиса и прогноза грязекаменных селевых потоков в селевых очагах», сб. Эрозионные потоки и борьба с ними, 2, М, 1973, ст.122-125.
20. Виноградов Ю.Б. «Этюды о селевых потоках». Л., Гидрометеиздат, 1980, 144 с.;
21. Беручашвили Г. М. - Некоторые вопросы динамики селевого потока и его воздействия с сооружениями. ВКН Материалы IV всесоюзной конференций по селевым потокам. Алма-Ата, Изд-во АНКаз ССР, 1959г. стр. 132-144;
22. Мирцхулава Ц.Е. - Оценка риска повреждения противоселевых сооружений. Труды ВНИИ ГиМ, вып. 4,М., 1975, стр. 48-62.
23. Войнич-Сяноженский Т.Г., Беручашвили Г. Яноженский Т.Г., Беручашвили Г.К Гидравлической теории потоков лавинного характера. Тр. Зак НИИГимМ..1970, вып. 37 (43), с. 29-69;
24. Кереселидзе Н. Б. К проблеме устойчивости течения потока и его твердых границ в размываемых грунтах. Тбилиси, Мецниереба, Труды ТНИСГЭИ, 1968 вып. 1, с. 38-65;
25. ნათიშვილი ო., ი. ყრუაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ინაშვილი მეთოდური რეკომენდაციები. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებისათვის“ (ჰიდრავლიკური გაანგარიშებები), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2016, 48გვ
26. ნათიშვილი ო., თევზაძე ვ. დანელია., ღვარცოფისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ჰიდრავლიკა, თბილისი, 1995, გვ. 70;

27. Ахмедов Б.М., Джартаев Д.К.Б Квасов Л.Н. Исследование сбросных сооружений селезадерживающих плотин. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата, изг-во Казахстан, 1979, с. 144-152
28. Саноян А.Г. Неравномерное движение селевого потока В непризматических каналах с переменным уклоном дна. Изв. АН Арм. ССР, Ереван, 1973, №2. с.28-34.
29. Сулаквелидзе Л.А. Прохождение селевых потоков по руслу горного потока Шави Дуруджи 29.07.1956 г. Труды ГрузНИИГИМ, Тбилиси, 1957, вып. 18-19.
30. 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. с. 48-54;
31. Херхеулидзе Г.И. К определению нагрузок от воздействия селевого потока на поперечные преграды. Тр. Зак. НИГМИ, вып. 40 (46), Л. Гидрометеоиздат, 1972 г., 76-113;
32. Мясников В.П. Течение вязко-пластической среды при сложном сдвиге. ПМТФО, 1961, №6, с. 76-78.
33. Степанов Б.С. О соотношении транспортных и гравитационных сил при движении селевых потоков. Селевые потоки. М., Гидрометеоиздат, 1977, сб.№2, с.
34. Пруидзе Д.К. Определение уклона остановки селевых потоков. В кн. №6, М.1978, с. 118-121.
35. Гавардашвили Г. В. Разработка схем расположения противоселевых сооружений на горных реках. Труды международной конференции по теме эрозионно-селевые явления и некоторые смежные проблемы. Труды института Грузгидроэкологии. Тбилиси, 2001, с. 33 -39;
36. Сохадзе А.д. Об ударном воздействии структурных селевых потоков. Материалы конференции молодых научных работников по

- гидроэнергетическому строительству и гидромелиорации, Изд-во. -
.Месниереба ", Тбилиси, 1971 г.с. 77-80.
37. ყრუაშვილი ი. ღვარცოფების შემფოთებული ზონის საანგარიშო
მახასიათებლები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები.
სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი. 1997 წ. ტ. N1. გვ. 228-
235.
38. დანელია რ. კუხალაშვილი ე. ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი
მოდრაობა; კალაპოტური პროცესების სამილსადენო ტრანსპორტისა
და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჰიდრავლიკისა და
ჰიდროტექნიკის საკითხებზე სამეცნიერო კონფერენციის შრომები
„თბილისი“ 2000 წ. გვ. 43-45.
39. Кухалашвили Э. Г. Об адаптации законов механики неньютоновских
систем для описания динамики трехслойной модели структурных
(грязокаменных) селевых потоков. Сообщения АНГрузССР, т.112, 31,
Тбилиси, 1983. стр. 113-116;
40. ნატიშვილი ო. გ., ურუაშაძე თ. ფ., გავარდაშვილი გ. ვ.- Волновое
движение склонового стока и интенсивность эрозии почвогрунтов.
Институт Водного Хозяйства Грузинского Технического
Университета. ООО Издательство «Научтехлитиздат» Москва, 2014:
ст 162.
41. ნატიშილი ო.გ. ტევაძე ვ.ი. Влияние волнового режима движения
водного потока по склону на интенсивность эрозии почв. //Сб.
Научных трудов "Экологическая безопасность, — устойчивость и
надежность водохозяйственных и гидромелиоративных объектов". Т
биисн. 2005, с. 146-149.
42. ნატიშვილი ო.გ., ტევაძე ვ.ი. Установление высоты волны
поведения при входе связного селевого потока в напорных
сооружениях //ж. "Гидротехническое строительство", М., №5, 2005, с.
20-26.

43. ყრუაშვილი ი, ქაცარავა თ. კუხალაშვილი ე. ღვარცოფის შემფოთებული ზონის საანგარიშო მახასიათებლები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. IX, თბილისი, 1997, გვ. 229–230;
44. ყრუაშვილი ი., ე. კუხალაშვილი, ი. ინაშვილი, კ. ბზიავა. „ღვარცოფული მოვლენები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა“, სტუ, თბილისი 2017, 250გვ.;
45. Тевзадзе В.И., Кухалашвили Э.Г., Квирквелиа И.Б. 'Трехслойная модель движения (высококонтрированного) селевого потока, селевые потоки. Сб. 8., Гидрометеоиздат, 1984 г., стр. 29-32.
46. Кухалашвили ЭГ. Сичинава П.О, Ундилაშვილი Н. А... „Условия движения многово компонентных потоков. „Известия Аграрной Науки‘. Т.3..№4. Тбилиси, 2005. с. 98-100.
47. **И. Инашвили.** Математическая модель определения средней объемной концентрации наносонесущих русловых потоков ирригационных каналов. Известия Армянской Сельскохозяйственной Академии, Ереван, № 3, 2005 г., 56-59 сс.
48. **И. Инашвили, Р. Круаშვილი.** Влияние поперечных сооружений на русловые процессы водотоков при движении наносонесущих потоков. Проблемы Прикладной Механики, Тбилиси, № 3 (24), 2006, сс. 69-72.
49. **ე. კუხალაშვილი, კ. ბზიავა, ი. ინაშვილი.** ბმული ღვარცოფის გამოტანის კონუსებზე მოძრაობის პირობების პროგნოზი.საქ. განათლ. და მეცნ. სამ., სტუ წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, სამეცნ. შრომათა კრებული #68, 2013, გვ. 126-128.
50. 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, с.,119-125;

51. 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 მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები”, შრომების კრებული, გამომცემლობა „საჩინო“, თბილისი, 2019 წ.
52. Гагошидзе М.С., Натишвили О.Г., Сулаквелидзе Л.А. Тевзадзе В.И. Некоторые инженерные задачи расчета селевых потоков. /Труды ГрузНИИГИМ. Тбилиси. 1967. вып. 25, с.26-37
53. Беручашвили Г.М. Метод определения максимальных расходов селевых потоков в момент их возникновения>>. В кн.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма Ата, 1979, с. 40-55;
54. Виноградов Ю.Б. «Этюды о селевых потоках» Л. Гидрометеиздат, СССР 1980, 144ст.
55. გავარდაშვილი გ. მდინარე დურუჯის აუზში ეროზიულ – ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი საწინააღმდეგო ახალი საინჟინრო – ეკოლოგიური ღონისძიებები. „მეცნიერება“.თბილისი, 2003 წ. გვ. 116.
56. გვიშიანი ზ., ნანიტაშვილი მ., გურგენიძე დ., კოსიორ-კაზბერუკი მ., მღებრიშვილი მ. მდ. დულუჯის გამოტანის კონუსზე აღებული ღვარცოფული მასის გრანულომეტრიული შემადგენლობის შესახებ. VIII საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები” თბილისი 2018წ. გვ 40 - 45.
57. უნდილაშვილი ნ. ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობის შეწყვეტის განმსაზღვრელი მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა

- პრობლემები”. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XXXIII თბილისი. 2005 წ. გვ. 141-143.
58. უნდილაშვილი ნ., ბმულ ღვარცოფთა რეგულირების ღვარცოფსადინარების მორფომეტრიული მახასიათებლები. „აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები”. ტ. XXXVI. თბილისი. 2005 წ. გვ.198-200.
59. ი. ინაშვილი, რ. ყრუაშვილი. წყალსადინარის კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების პროგნოზირება და მორფომეტრიული კანონზომიერებანი. სსაუ, აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები, ტ. XXXVI, 2006, გვ. 206-208.
60. ო. ნათიშვილი, ი. ყრუაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ინაშვილი, „მეთოდური რეკომენდაციები ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებისათვის“ (პიდრავლიკური გაანგარიშებები), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2016, 48გვ.;
61. კუხალაშვილი ე., ყრუაშვილი ი., ხეცურიანი ბ. ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის მდგრადობის რღვევის ზედაპირის შესაძლო ფორმები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 145–152;
62. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Волны в связанных селевых потоках. //ж. "Метеорология и гидрология", М.. №2, 2003. с. 91-96.
63. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Гидравлические закономерности связанных селей. Тбилиси, «Мецниереба» 1996 г., 156 с.
64. Кухалашвили ЭГ. Сичинава П.О, Ундилашвили Н. А... „Условия движения многокомпонентных потоков. „Известия Аграрной Науки’. Т.3..№4. Тбилиси, 2005. с. 98-100.
65. კუხალაშვილი ე., ი. ინაშვილი, ბზიავა, ი. ყრუაშვილი, დ. ლორთქიფანიძე. „ღვარცოფსადინარებში ტალღურად მოძრავი

- ბმული ღვარცოფის მახასიათებლების დადგენა“. სტუ, ჟ. „ჰიდროინჟინერია“ №-2 (19-20) 2015, გვ. 70-75;
66. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., კლიმიაშვილი „არასტაციონალურ საფუძველზე ღვარცოფსაცავის მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერების განსაზღვრა“. სტუ. ჟ. „ჰიდროინჟინერია“, №1-2 (17-18) თბილისი. 2014. გვ. 46-53;
67. Gavardashvili Givi, Eduard Kukhalashvili, Natia Gavardashvil, Shorena Kupreishvili. Designing and evaluating elastic debris flow-regulating barrage for efficient debris flow regulation. XIII International Conference on Environmental, Biolog.
68. ღვარცოფის ენერგეტიკული მახასიათებლები. ახალგაზრდა მეცნიერთა VII ინტერდისციპლინარული კონფერენცია. ქუთაისი-წყალტუბო, 2019 წ.;
69. Егизаров И.К. К решению задачи и транспортн незвязных наносов (любых фракций) с учетом влияния их концентраций в слое градиентом: мутности. зд- во АН СССР №5, 1959, с. 115-126
70. დანელია რ. კუხალაშვილი ე. ბმული ღვარცოფის დაუმყარებელი მოძრაობა; კალაპოტური პროცესების სამილსადენო ტრანსპორტისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჰიდრავლიკისა და ჰიდროტექნიკის საკითხებზე სამეცნიერო კონფერენციის შრომები „თბილისი“ 2000 წ. გვ. 43-45.
71. Лохтин В. М. Новый путь для углубления рек // Вопросы гидротехники свободных рек. — Москва, 1948 — С.60-64
72. ხუცურაული ბ. ბმული ღვარცოფის ფორმირება და საანგარიშო ხარჯის პროგნოზირება. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XIII, თბილისი, 2001. გვ. 139-144,
73. ყრუაშვილი ი., თ.ქაცარავა. ე.კუხალაშვილი. „კალაპოტურ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დიობების ძირითადი გაბარიტების

- შერჩევა“. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ.1 თბილისი, 1997 გვ.235-238.
74. მამასახლისი ჟ., კუხალაშვილი ე., ომსარაშვილი გ. არაპრიზმულ კალაპოტებში მუდმივი სიღრმის ბმული ღვარცოვის მოძრაობის განტოლება. აგრარულ მეცნიერების პირობები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XII თბილისი. 2001წ.
 75. Натишвили О.Г., Тензадзе В.И. Основы динамики в селях. Тбилиси, 2007, ст. 214;
 76. Вартанов М. В., Кечхошвили И. М., Бераия Н. П., Дадияни К. З., Кикнаде Х. Л., Маисаия Л. Д. Математические модели некоторых задач интегрального управления водными ресурсами, DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.1.87, Европейский Союз Ученых. Серия: Экономические и юридические науки. №6(87), 2021, с. 3-7;
 77. შ. გაგომიძე, ი. ქადარია, გ. კახაძე. მ. კოდუა. მალღივი კაშხლებიდან ვარდნილი ნაკადებით კლდოვანი ფუძეების წარეცხვების გაანგარიშებისათვის. ჰიდროინჟინერია, N1-2 (29-30), 2021;
 78. . Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И., Волны в селях, ООО Издательство « Научмехиздат», М., 2011, 160 с.;
 79. Войнич-Сяноженский Т.Г., Беручашвили Г. Яноженский Т.Г., Беручашвили Г.К Гидравлической теории потоков лавинного характера. Тр. Зак НИИГимМ..1970, вып. 37 (43), с. 29-69;
 80. Тевзадзе В.И., Гавардашвили Г.В. Установление расходов турбулентных селевых потоков с учетом гидрологических показателей водосборного бассейна. //Сообщения АП Грузии, т. 148, №1, 1993,с. 77-79.
 81. Natishvili OG., Gavardashvili G.V. - Calculation of Impact Action of a Coherent Mudflow Current in the Wave Motion Mode on a Transverse Structure. 9" International Scientific and Technical Conference, Modern

- Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction”. Tbilisi, 2019, pp. 210-214.
82. Natishvili O.G., Gavardashvili G. V. - 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:// asrjtsjournal. org/i ndex. php/American_Scientific _Journal/issue/view/8 1](http://asrjtsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/issue/view/81).
 83. Gavardashvili G.V., Kukhalashvili E, Supatashvili _T., Kugarashvili ., 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.
 84. Gavardashvili G.V., 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.
 85. Натишвили О. Г., Круашвили И. Г., «Экологические проблемы защиты объектов от вредного воздействия селевых потоков», Ж. Экологические системы и приборы, №7, М., 2015, с. 20-30;
 86. კუხალაშვილი ე. ბმული ღვარცოფის თავისუფალი ზედაპირის განტოლება პრიზმატულ კალაპოტებში დამყარებული არათანაბარი მოძრაობის დროს. საქართველოს სახელმწიფო აბრარული უნივერსიტეტის 70 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი 2000 წ. 3. 370-375.

87. ნატიშვილი ო. გ., კრუაშვილი ი. გ., Защита инфраструктуры объектов от селевых потоков (Экологические проблемы) LAP_LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2016, 104 p.;
88. კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი გ., ირემაშვილი ი., მასისაია ლ., ბერაია ნ. , კიკნაძე ხ., დადიანი ქ. მათემატიკური მოდელი ღვარცოფის ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასებისათვის. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული თბილისი, გვ.100., 2019წ.
89. ნათიშვილი ო., ი. ყრუაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ინაშვილი მეთოდური რეკომენდაციები. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების პროექტირებისათვის“ (პიდრავლიკური გაანგარიშებები), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2016, 48გვ
90. Круаშვილი И. Решение некоторых частных задач движения взвесенесущих потоков с переменным расходом вдоль пути, Изв. Армении ГИУА серия тех. наук., №1, 1996 г. сс 47-51,
91. Херхеулидзе И.И. Эмпирические формулы для приближенного определения расчетных параметров структурных селевых потоков. Всесоюзной конференции-совершения по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку, 1962, с, 178-185.
92. გავარდაშვილი გ.ვ. - ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. თბილისი, გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
93. გავარდაშვილი ნ.გ. - თბილისის მოსახლეობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა მდინარე ვერეს წყალშემკრებ აუზში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების რეგულირების გათვალისწინებით. თბილისი, 2017, 42 გვ. (თვი 1,3)
94. ე. კუხალაშვილი, გ. გავარდაშვილი „ღვარცოფსაღინართა რისკების რეგულირება და ინოვაციური ნაგებობების გაანგარიშების

მეთოდოლოგია“ საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი. გარემოს დაცვის ეკოცენტრი. გაეროს ეკონომიკური და სოციალური საბჭოს (ECOSOC) საკონსულტაციო სტატუსის ორგანიზაცია თბილისი 2021წ.

95. იტრიაშვილი ლ. ხ. კიკნაძე ე. ხოსროშვილი ”გრუნტებში წყლის შებმულობის ენერგეტიკა კატეგორიები და კლასიფიკაცია“წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2007
96. იტრიაშვილი ლ. ხ. კიკნაძე ე. ხოსროშვილი მ. შავლაყაძე ქ. დადინი ნიადაგ გრუნტების თვისებების მართვა პოლიკომპლექსის გამოყენებით საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების
97. Гагошидзе М.С. «Селевые явления и борьба с ними». Издательство Сабчота Саккартвело Тбилиси, 1970, 387 Стр.;
98. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Волны в селях, ООО Издательство «Научмехиздат», М., 2011, ст. 160;
99. G. Di Silvio, Flood and sediment dynamics in Mountain Rivers. Preproceeding of the NATO ASJ and “Coping with floods”, E. Mojoraamana center Erice, November, 3415, 1992, pp. 110;
100. Яно К., Даидо А. Фундаментальные изучения грязекаменных потоков, Труды Института Защиты от Стихийных Бедствии, Т. 14, ЧАСТЬ 2, Киото, 1985, ст. 69-93:
101. Takahashi T., Debris flow, Tailor & Francis Group, London, UK, 2007, p. 465.
102. Кухалашвили Противоселевые Э.Г., Гавардашвили Г.В., «устройство», Авт.св.№1191515, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1985;

103. Кухалашвили Э.Г. «Противоселевые устройство», Авт.св.№1254103, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1986;
104. Кухалашвили Э.Г., Сиамашвили А.Р., Гвилия М.Э., «Энергогосыщая преграда», «Противоселевые устройство», Авт.св.№1335615, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1987;
105. Кухалашвили Э.Г. «Противоселевые устройство», Авт.св.№1413185, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1988;
106. Кухалашвили Э.Г. «Противоселевые устройство», Авт.св.№1645357, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1991;
107. Кухалашвили Э.Г. «Противоселевые устройство», Авт.св.№1687707, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1991;
108. Кухалашвили Э.Г. «Противоселевые устройство», Авт.св.№1108159, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1984;
109. Кухалашвили Э.Г., Гавардашвили Г.В., «Противоселевые устройство», Авт.св.№1101499, зарегистрировано в государственном реестре изобретений СССР 1984;
110. Сен-Венан, Адемар Жан Клод // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
111. წულუკიძე. ლ., მასიაია ლ., კიკნაძე ხ. “ბორჯომის რაიონში სოფ. დაბასთან არსებულ მდ. ნაღვარევის ხეობაში ფორმირებული ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების მოცულობის დადგენა ქვის ჩანართების კონფიგურაციის გათვალისწინებით” საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი სამეცნიერო შრომათა კრებული #
70 თბილისი 2015 გვ. 209-214

112. Бегишвили К.Р. Новые данные о движении грязекаменных потоков. Материалы всесоюзной конференции по селевым потокам, Алма-Ата, 1959 г.с. 122-125.
113. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Работа водного потока по перемещению камня и прогиозирование экологической ситуации в русле горного водотока. //ж. "Инженерная экология", №5, Москва, 2002. с. 34-38.
114. Круашвили И.Г. «Сели и методы борьбы с ними», Тбилиси, ГТУ, 2014, ст. 338;
115. Gavardashvili G.V. - 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.