

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნანა ბერაია

ბმული ღვარცოფის რისკები და ენერგეტიკული მახასიათებლები

სადოქტორო პროგრამა – „მშენებლობა“

შიფრი – 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2022 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
წყალმომარაგების, წყალარინების, თბოაირმომარაგების და შენობების
საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: **ედუარდ კუხალაშვილი** – ტექნიკის
მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი
რეცენზენტები: **იური ქადარია** - ტექნიკის მეცნიერებათა
დოქტორი, პროფესორი;
ვაჟა ტრაპაიძე - ტექნიკის აკად. დოქტორი,
ასოცირებული პროფესორი.

დაცვა შედგება 2022 წლის „ **“ თებერვალს,-----საათზე საქართველოს**
ტექნიკური უნივერსიტეტის _____
საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი _____,
აუდიტორია _____

მისამართი: 0171, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის
ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო

საბჭოს მდივანი



დემურ ტაბატაძე,

ტექნ. მეცნ. კანდიდატი,

აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

შესავალი

მდგრად ლანდშაფტურ ინფრასტრუქტურას ადამიანის ცხოვრებასა და მოღვაწეობაში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს. ცხოვრების კეთილმოწყობის დონე გარკვეულწილად ბუნებაზე მოქმედი ანომალიების რისკებთანაა დაკავშირებული.

საქართველო მთაგორიანი ქვეყანაა. მისი მთისა და მთისწინა ზონა ქვეყნის ტერიტორიის 54%-ს შეადგენს და მდიდარია ჰიდროგრაფიული ქსელით. ქვეყნის მდინარეთა 90% ღვარცოფულია. ბუნებრივი ანომალიების გამო ამ ტერიტორიის ინფრასტრუქტურა მდგრადობისა და ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის შემთხვევებით გამუდმებით ცვალებადია. ეკოლოგიური წონასწორობის დისბალანსითა და ზარალის შედეგების სიხშირით გამოირჩევა ბმული ღვარცოფები, რომელთა გააქტიურება ბოლო 10 წლის მონაცემებით გეომეტრიული პროგრესითაა გაზრდილი.

ხშირია შემთხვევა, როცა თვითფორმირებად სადინარში ნაკადით ნატანი წარიტაცება ან დაილექება მოძრაობის მიმართულებით. მნიშვნელოვანი დამანგრეველი ძალისა და ენერგეტიკული მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში ცვლილების გამო ხშირად ირღვევა სანაპირო ზოლი და მასა კალაპოტიდან იღვრება. საპროექტო პარამეტრებით არასწორად შერჩეული სარეგულაციო ღონისძიებები ან ნაგებობათა კონსტრუქციული გადაწყვეტები ვერ იძლევა ღვარცოფთა რეგულირების შესაძლებლობებს და სადინარის კალაპოტი ხშირად იხერგება. ღვარცოფით გამოწვეული ზარალი საშუალოდ უკანასკნელ წლებში მილიონობით ლარით განისაზღვრა და მან კატასტროფული ხასიათი მიიღო.

თემის აქტუალურობა. ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის მდგრადობა და გარემოს დაცვა ბუნებრივი ანომალიების ენერგეტიკული მახასიათებლების პოტენციალთან არის დაკავშირებული. მოვლენის ანომალურობისა და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების განსხვავებულობის გამო მათი

საანგარიშო მოდელებით აღწერა და ინოვაციური მეთოდოლოგიის მოვლენასთან ადაპტაცია, შეფასების მეთოდების სრულყოფა და საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანა ძნელად გადასაწყვეტ ამოცანათა კატეგორიას განეკუთვნება. დაბალია არსებული მოდელებით შერჩეული გარემოსდაცვითი საინჟინრო გადაწყვეტების ეფექტურობა. ღვარცოფების გაძლიერებული ზემოქმედების გამო სადინარში მოძრაობის დროს ბუნებრივი ანომალიები ხასიათდება მაღალი ტრანსპორტუნარიანობით. მათ გააჩნიათ თვითფორმირების განსაკუთრებულობა, რაც არსებული გაანგარიშების მეთოდების – მეთოდოლოგიის კორექტირებას, დაზუსტებას საჭიროებს და წყლის რესურსების მართვის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემასაც წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს ღვარცოფთა ჰიდრაულიკაზე დაყრდნობით ინოვაციური საანგარიშო მოდელების შექმნა, ნაკადის ანომალურობის გათვალისწინებით ენერგეტიკული პარამეტრების საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანა და რეგულირების მეთოდოლოგიის სრულყოფა წარმოადგენს.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები: მთისა და მთისწინა ლანდშაფტების ჰიდროგრაფიული ქსელის წყალშემკრები აუზები; ჩამონადენის ფორმირებაზე მოქმედი გეოგრაფიული და კლიმატური ფაქტორები, ჩამონადენის ფორმირების შეფასების გამოყენებული მეთოდები; ღვარცოფწარმომქმნელი აუზები და კერებში ფორმირებული ღვარცოფწარმომქმნელი მასის მდგრადობისა და რღვევის განმსაზღვრელი ფაქტორები; ენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდები; სადინარში ნაკადის ქცევა და მათემატიკური მოდელები; მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების შედგენა და ღვარცოფსადინარში მოძრავი ნაკადის ენერგეტიკული მახასიათებლების საანგარიშო მახასიათებლები; სადინარების მორფომეტრია და მისი გავლენა ნაკადის ძრაობის რეჟიმებზე; კლიმატური ფაქტორები და

მათი გავლენა ღვარცოფის ფორმირებაზე; ღვარცოფსადინარებში ნაკადის სარეგულაციო პარამეტრები და გამოყენებული ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობები; მდინარე მტკვრის აუზი და მასში განლაგებული ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობები.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

– შეფასებულია ღვარცოფულ კერებში ფორმირებული ღვარცოფწარმომქმნელი მასის მდგრადობის რღვევისა და მოძრაობის დაწყების შესაძლებლობები; მიღებულია ენერგეტიკული მახასიათებლების დროში ცვლილების საპროგნოზო და კერაში ფორმირებული ღვარცოფის ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებები;

– ნაკადის სატრანსპორტო ზონაში დადგენილია მისი ქცევისა და ენერგეტიკული მახასიათებლების ცვლილება. ენერჯის განტოლებებზე დაყრდნობით მიღებულია არაპრიზმატულ სადინარში ღვარცოფის არათანაბარი მოძრაობის მათემატიკური მოდელი მუდმივი და ცვლადი ხარჯით მოძრაობის დროს;

– ღვარცოფსადინარებში მოძრავი ღვარცოფებისათვის ენერგეტიკული მახასიათებლების პროგნოზირების მიზნით შერჩეულია ინოვაციური მოდელები, რომელთა საფუძველზეც გამოყვანილია ხარჯის, საშუალო სიჩქარის, წინააღმდეგობის ქანობის, დინამიკური სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებები;

– მოძრაობის რეჟიმების გათვალისწინებით მიღებულია ნაკადის კრიტიკული მდგომარეობის, ნახტომის წარმოქმნის და მასში ენერჯის დანაკარგის, განმსაზღვრელი პარამეტრების საანგარიშო დამოკიდებულებები. დადგენილია ღვარცოფის მოძრაობის რეჟიმისა და დრეკადობის ცვლილების შესაძლებლობა, კერძოდ, გამოყვანილია სიმკვრივის, მოცულობისა და სიღრმის ცვლილების საანგარიშო დამოკიდებულებები;

- დაუმყარებელი მოძრაობის მოდელით დასაბუთებულია ტალღის სიჩქარის საშუალოსთან განსხვავებულობა, ხოლო არათანაბრად მოძრავი ღვარცოფისათვის სადინარის პრიზმატულობასთან კავშირში დადგენილია სიგანისა და სიჩქარის ცვლილება, დაზუსტებულია მათი ცვლილების ზღვრები;
- შეფასებულია შემხვედრი წინააღმდეგობების გავლენა მოძრაობაზე, გამოყვანილია წინააღმდეგობის ქანობისა და ნაგებობათა გეგმაში განლაგებას შორის მანძილის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

ნაშრომის გამოყენების სფერო. ნაშრომში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს სამოქალაქო, სამრეწველო მშენებლობის და აგრარული მეცნიერებებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის დარგში, მაგისტრებისა და დოქტორანტების, აგრეთვე, ჰიდროინჟინერიის, ჰიდრომელიორაციის, ჰიდროლოგიის, საინჟინრო ეკოლოგიის დარგების სპეციალისტების მიერ. ნაშრომი დიდ დახმარებას გაუწევს ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დაპროექტება-მშენებლობითა და ექსპლუატაციით დაინტერესებულ სპეციალისტებს.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, რეზიუმე, ცხრილებისა და ნახაზების ნუსხა, 4 თავი, ლიტერატურის მიმოხილვა, შედეგების განსჯა, დასკვნა, გამოყენებული ლიტერატურა. იგი წარმოდგენილია 141 ნაბეჭდ გვერდზე და მოიცავს 18 ნახაზს, 11 ცხრილს და გამოყენებულია 100 დასახელების ლიტერატურა.

ნაშრომის აპრობაცია. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 14 პუბლიკაცია.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მისი დამუშავების სხვადასხვა ეტაპებზე მოხსენებული იყო სამეცნიერო კონფერენციებზე, მათ შორის:

1. ინტერნეტ სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია, „საქართველოს აგროსაინჟინრო სექტორის სტაბილიზაციისა და განვითარების პრიორიტეტები კორონავირუსის პანდემიისა და მის შემდგომ პერიოდში“, 17–18 სექტემბერი, 2020 წ., თბილისი, გვ. 149–159;
2. ინტერნეტ სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „საქართველოს აგროსაინჟინრო სექტორის სტაბილიზაციისა და განვითარების პრიორიტეტები კორონავირუსის პანდემიისა და მის შემდგომ პერიოდში“, 17–18 სექტემბერი, 2020 წ., თბილისი, გვ. 49–58;
3. IX საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია, „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, 25–27 ივლისი, თბილისი, 2019, გვ. 179–182;
4. ახალგაზრდა მეცნიერთა VII ინტერდისციპლინარული კონფერენცია. ქუთაისი-წყალტუბო, 2019 წ.
5. მე-7 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, 25–27 აგვისტო, თბილისი, 2017, გვ. 108–112.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

პირველ თავში „ღვარცოფთა ენერგეტიკული მახასიათებლების შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა, ანალიზი და განზოგადება“ მოყვანილია საერთო ცნობები ღვარცოფთა გენეზისსა და დინამიკაზე, აღწერილია მათი წყალშემკრებ აუზში ფორმირების გეოგრაფია, ჰიდროლოგია, გაანალიზებულია ფიქსირებულ ღვარცოფთა სახეების ერთმანეთისგან განსხვავებულობა, სახეებად დაყოფის კრიტერიუმები, ფორმირების და მოძრაობის ოპერატიული საშუალებები, გამოყენებული საანგარიშო სქემები, დიფერენციალური განტოლებები და ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასების საანგარიშო მოდელები.

არსებული კვლევებიდან გამომდინარე, ღვარცოფულ მოვლენასთან მათემატიკური მოდელების ადაპტაციას, დინამიკური სტრუქტურის გათვალისწინებით ოპერატიული მათემატიკური მოდელების შედგენასა და ენერგეტიკული მახასიათებლების გამოყვანას უამრავი სამეცნიერო შრომა მიეძღვნა. ძირითადად შრომები სპეციალურ და მომიჯნავე სფეროებში გამოყენებულ ფუნდამენტურ მოდელებსა და მეთოდებს ეყრდნობა. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ბ. ახმედოვის, გ. ბერუჩაშვილის, თ. ვიონიჩ–სინოჟევსკის, მ. გაგოშიძის, შ. გაგოშიძის, ი. ვინოგრადოვის, ო. ნათიშვილის, გ. სვანიძის, ვ. თევზაძის, ზ. იორდანიშვილის, ც. მირცხულავას, ნ. კერესელიძის, გ. გავარდაშვილის, ე. კუხალაშვილის, დ. კერესელიძის, ი. ყრუაშვილის, ნ. კვაშილავას, გ. ხარაიშვილის, გ. ხერხეულიძის, რ. დიაკონიძის სამეცნიერო შრომები.

მყარი და დენადი ტანების მოძრაობის მათემატიკური მოდელებით აღწერა, სადინარში მოძრავი მასის ფორმის ცვლილებით, ენერგეტიკული მახასიათებლების ფორმირებით, შემხვედრი წინააღმდეგობების ზემოქმედების შესაძლებლობებით არის განპირობებული. აღნიშნული კიდეც უფრო ართულებს მოვლენაზე მათემატიკური მოდელების ადაპტაციას მასზე განსხვავებული წარმოდგენის გამო. კერძოდ, მეცნიერთა ერთი ნაწილის აზრით ღვარცოფთა მოძრაობის მოდელი კვაზი–მყარი სხეულის ანალოგიურია და საგრადიენტო შრის გავრცელება ნაკადის სიღრმის გარკვეულ ნაწილზეა შესაძლებელი. მეორე ნაწილის მიხედვით საგრადიენტო შრის გავრცელების ზონა ნაკადის მთელ სიღრმეს მოიცავს და მოძრაობის მოდელი ნიუტონური სითხეების ანალოგიურია. ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის პრაქტიკიდან გამომდინარე, გამოკვეთილია შემხვედრი წინააღმდეგობებისა და სადინარის გეომეტრიის განსხვავებული ზემოქმედებრივი შესაძლებლობები სატრანზიტო მონაკვეთზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე მოძრაობა შეიძლება სხვადასხვა ფორმით ჩამოყალიბდეს, რის გამოც

რთულდება ფორმირებულ პროცესთან შესაბამისი მოდელების ადაპტაცია. შესაბამისად, მიღებული შედეგები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. განსაკუთრებით ეს ეხება ენერგეტიკული პარამეტრების საანგარიშო დამოკიდებულებებს. ღვარცოფთა ენერგეტიკის მნიშვნელოვანი განსხვავებულობა დასტურდება კერებიდან ფორმირებული ღვარცოფის ხარჯის პროგნოზირებით, რეოლოგიური მახასიათებლების მყისიერი ცვლილებით, გამოყენებული მათემატიკური მოდელებით, მოძრაობის პირობებით, კინემატიკისა და დინამიკის მახასიათებელთა გავლენით ნაკადის ქცევაზე. აღნიშნულს ანომალურობასთან ერთად კიდევ უფრო ამყარებს დინამიკური ღერძიდან ნაკადის ნაკადებად გადახრის შესაძლებლობა, შემხვედრი წინააღმდეგობებზე სრული ენერგიით ზემოქმედება, მოძრაობის დროს სადინარის თვითფორმირება და გაზრდილი ტრანსპორტუნარიანობა.

წარმოდგენილი გაანგარიშების მეთოდები და ოპერატიული საშუალებები სრულყოფილად ვერ იძლევა სადინარში მოძრავი ღვარცოფის ქცევისა და ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასების შესაძლებლობას. ამ მიზნით შემუშავებულია მოვლენის მოდელირების მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს ნაკადის კინეტიკისა და დინამიკის უფრო სრულფასოვან გათვალისწინებას ენერგეტიკული პარამეტრების პროგნოზირებისა და სათანადო ინოვაციური დამოკიდებულებების შექმნაში.

მე-2 თავი „ბმულ ღვარცოფთა მოძრაობა ღია კალაპოტებში“ ეძღვნება ღია კალაპოტებში ღვარცოფთა მოძრაობის კანონზომიერების შეფასებას, ოპერატიული საშუალების დაზუსტებას, სტრუქტურისა და რეჟიმების გათვალისწინებას. მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების სრულყოფაში, ენერგეტიკული მახასიათებლების, მათემატიკური მოდელებისა და კრიტიკული მდგომარეობის შეფასების ინოვაციურ კრიტერიუმებს. დამაბულობიდან გამომდინარე, ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის კავშირის ამსახველი ხარისხობრივი დამოკიდებულების გამოყენებით ხარჯის

საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანას. მაქსიმალური და საშუალო სიჩქარის, სიჩქარის შემასწორებელი კოეფიციენტის და წინააღმდეგობის ქანობის სრულყოფას, მიღებული დამოკიდებულებების გრაფიკულ ილუსტრაციას. გარე ძალების იმპულსების გათვალისწინებით რეჟიმების ცვლილების კრიტერიუმების დაზუსტებას, არაპრიზმატულ კალაპოტში მოძრავი ნაკადის დიფერენციალური განტოლების შედგენას.

წრფივად, არათანაბრად, არაპრიზმატულ კალაპოტში ღვარცოფის მოძრაობის აღწერის მიზნით შერჩეულია საანგარიშო სქემა და მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები:

კერძოდ, ორ კვეთს შორის მოქცეული ნაკადისათვის, ზედაპირული და მოცულობითი ძალებით გამოწვეული წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე, რეოლოგიური პარამეტრების მოძრაობაზე გავლენის გათვალისწინებით, დაწნევის დანაკარგის საანგარიშოდ შედგენილია დიფერენციალური განტოლებები სადინარის პრიზმატულობისა და ღვარცოფის ცვლადი ხარჯით მოძრაობის დროს.

სადინარის პრიზმატულობის შემთხვევაში:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_c - \frac{Q^2}{K^3 \omega^2 c^2 h} - \frac{\alpha Q^2}{K^3 \omega^3 g} \frac{\partial \omega}{\partial l}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g \omega^3 K^3} B} . \quad (1)$$

ღვარცოფსადინარში ნაკადის ცვლადი ხარჯით მოძრაობის დროს

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_c - \frac{Q^2}{K^3 \omega^2 c^2 h} - \frac{\alpha Q}{K^3 \omega^3 g} \frac{dQ}{dl}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{K^3 \omega^3 g} B} . \quad (2)$$

სადაც h, B საანგარიშო კვეთში ღვარცოფის სიღრმე და სიგანეა (მ); ω – ცოცხალი კვეთის ფართობი (მ²); Q – ღვარცოფის ხარჯი (მ³/წმ); g – ღვარცოფის ხვედრითი ხარჯი (მ²/წმ); K – წნევის გავრცელების

შემასწორებელი კოეფიციენტი - $K = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi$; i_c - ღვარცოფსადინარის ქანობი; ℓ - სიჩქარის კოეფიციენტი ($\text{მ}^{1/2}/\text{წმ}$).

ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობისა და სადინარის კალაპოტის პრიზმატულობის დროს, როცა $\frac{\partial \omega}{\partial l} = 0$, $\frac{dQ}{dl} = 0$ და, როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ით არის გამოხატული, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ψ -ის და სიჩქარის კოეფიციენტი ℓ -ს ტოლია, ღვარცოფის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე

$$V = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi\ell\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi h i} \quad (3)$$

ხოლო ღვარცოფის ხარჯი

$$Q = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi\alpha\ell\sqrt{\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi h i} \quad (4)$$

სადინარში, როცა ნაკადის მოძრაობა კრიტიკულია, შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია განტოლება

$$1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^3 \psi^3 \omega^3} = 0 \quad (5)$$

მე-5 ტოლობის საფუძველზე კრიტიკული სიღრმის შეფასება შესაძლებელია განხორციელდეს გრაფო-ანალიზური მეთოდით.

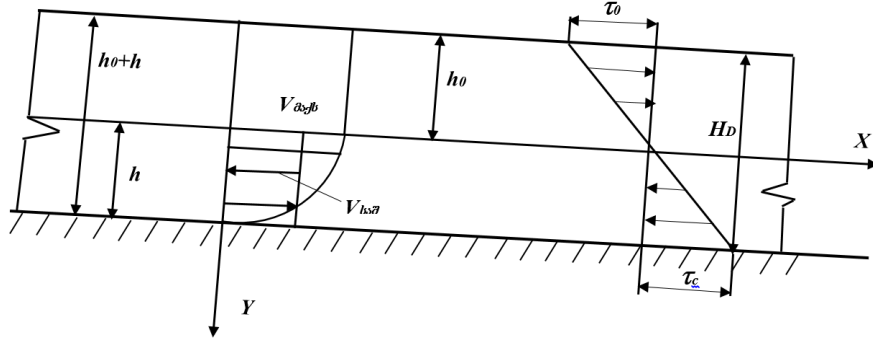
ფუნქციონალური კავშირის $\frac{\omega^3}{B} \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \alpha^3 \psi^3 = f(h)$ გრაფიკულად გამოსახვის

შემდეგ ხდება ღვარცოფის ხარჯის $\frac{\alpha Q^2}{g}$ სიდიდის გაანგარიშება. მიღებული

სიდიდის საფუძველზე გრაფიკიდან წარმოებს კრიტიკული სიღრმის განსაზღვრა.

ღვარცოფთა ენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრა α კუთხით დახრილი სადინარის დროს ნაკადის სტრუქტურული კავშირებისა და

სიმტკიცის მახასიათებლების გათვალისწინებით მიმდინარეობს სრულ ძაბვასა და სიჩქარის გრადიენტს შორის კავშირის ამსახველი დამოკიდებულებით, საწყისი ძვრის წინააღმდეგობის სიდიდის გათვალისწინებითა და ნახ. 1-ზე მოცემული საანგარიშო სქემის მიხედვით.



ნახ. 1 ღვარცოფის მოძრაობის საანგარიშო სქემა

თანაბარი მოძრაობის შემთხვევაში, როცა სადინარის სიგანე B -ს ტოლია, ღვარცოფის მოძრაობა მხოლოდ საგრადიენტო შრითაა წარმოდგენილი, მხები ძაბვის სიღრმეზე ცვლილების კანონზომიერებას აქვს სახე:

$$\tau = \tau_c \frac{y}{H}, \quad (6)$$

ხარჯის საანგარიშოდ გამოყენებულია მოდელი:

$$Q = B \int y du, \quad (7)$$

მხები ძაბვისა და სიჩქარის გრადიენტს შორის კავშირი წარმოდგენილია დევალე-ოსვალდის განტოლებით

$$\tau = -K^* \left(\frac{du}{dy} \right)^n, \quad (8)$$

$f(\tau) = \frac{du}{dy}$ ფუნქციის გათვალისწინებით ხარჯის საანგარიშო სიდიდე

შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს დამოკიდებულებით

$$Q = \frac{BH^2}{\tau_c} \int_{\tau_c}^0 f(\tau) d\tau = \frac{BH^2}{\tau_c} \int_{\tau_c}^0 \frac{\tau^{1+\frac{1}{n}}}{K^{*\frac{1}{n}}} d\tau. \quad (9)$$

გარდაქმნებისა და გამარტივების საფუძველზე მე-9 დამოკიდებულების ინტეგრებით ღვარცოფის ხარჯის სიდიდე:

$$Q_{\text{გრ.}} = \frac{n}{2n+1} \left(\frac{\gamma}{K^*} \right)^{\frac{1}{n}} H_{\text{გრ.}}^{\frac{2n+1}{n}} \left[\psi \left(1 - \frac{h_0}{H_{\text{გრ.}}} \right) \right]^{\frac{2n+1}{n}} B . \quad (10)$$

როცა ცნობილია ღვარცოფის გულისა და საგრადიენტო შრის სისქე და მოძრაობის ინდექსის მნიშვნელობა ($n = 1$), ღვარცოფის ხარჯი:

$$Q_{\text{გრ.}} = \frac{giH_{\text{გრ.}}^3}{\nu} B \left(1 - \frac{h_0}{H_{\text{გრ.}}} \right)^2 \psi^3 \left(1 + 0,492 \frac{h_0}{H_{\text{გრ.}}} \right) . \quad (11)$$

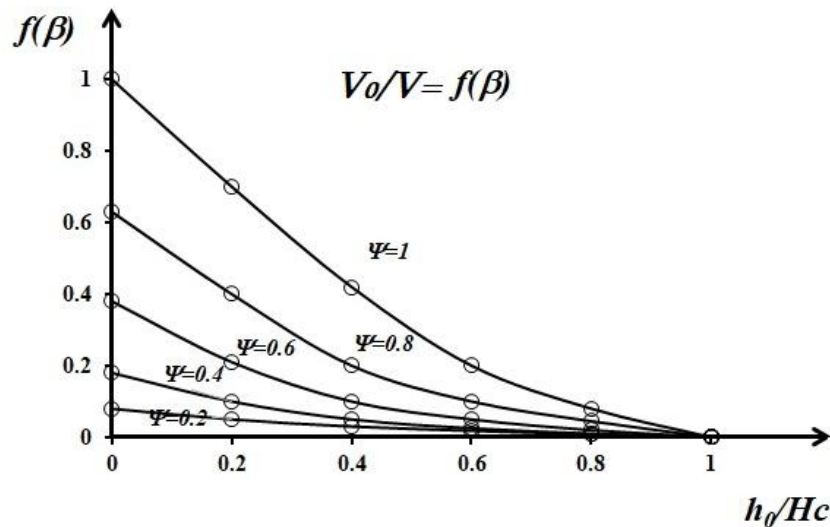
საშუალო სიჩქარე

$$\bar{V}_{\text{საშ.}} = \frac{giH_{\text{გრ.}}^2}{\nu} \left(1 - \frac{h_0}{H_{\text{გრ.}}} \right)^2 \psi^3 \left(1 + 0,492 \frac{h_0}{H_{\text{გრ.}}} \right) . \quad (12)$$

ღვარცოფის საშუალო სიჩქარის ნიუტონური სითხის საშუალო სიჩქარესთან ფარდობა

$$\frac{\bar{V}_{\text{საშ.}}}{V_6} = f(\beta) = \left(1 - \frac{h_0}{H} \right)^2 \psi^3 \left(1 + 0,49 \frac{h_0}{H} \right) . \quad (13)$$

$f(\beta)$ სიდიდის რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირის გრაფიკული ილუსტრაცია მოცემულია ნახ. 2-ზე

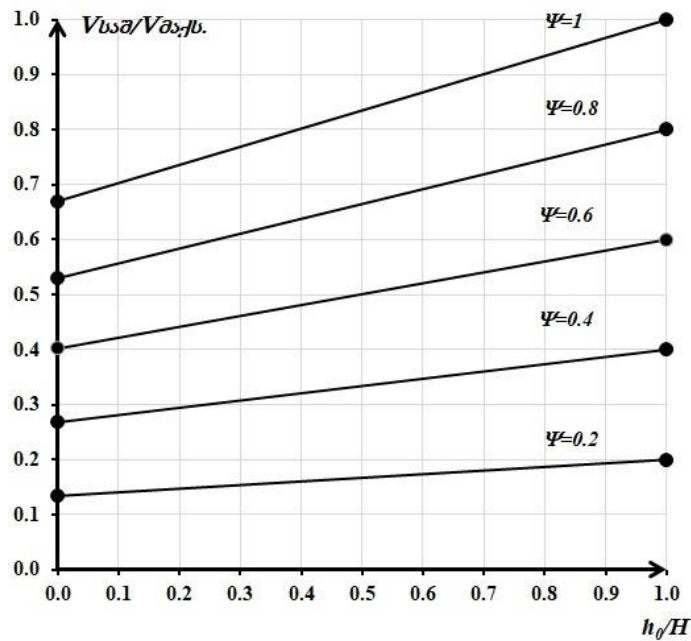


ნახ. 2 გრაფიკული დამოკიდებულება $f(\beta) = f(h_0 / H) \psi$ კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს

საგრადიენტო შრის მთელ სიღრმეზე გავრცელების შემთხვევაში თუ საშუალო სიჩქარის ფარდობას მაქსიმალურთან გამოვსახავთ $\bar{V}/V_{\text{მაქ}} = a$, ფარდობითი სიდიდე ღვარცოვის გულითა და საგრადიენტო შრით მოძრაობის შემთხვევაში:

$$\frac{V_{\text{საშ}}}{V_{\text{მაქ}}} = \left(0,67 + 0,33 \frac{h_0}{H} \right) \psi \quad (14)$$

თვალსაჩინოების მიზნით (14)-ის გრაფიკული ილუსტრაცია მოცემულია ნახ. 3-ზე:



ნახ. 3. გრაფიკული დამოკიდებულება $\frac{\bar{V}}{V_{\text{მაქ}}} = f(h_0/H)$

საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებით წინააღმდეგობის ქანობის სიდიდე

$$i = \frac{3\mu\bar{V}}{\gamma H^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^3 \left(1 + 0,49 \frac{h_0}{H}\right)} \quad (15)$$

ბმული ღვარცოვის დინამიკური სიჩქარე, როცა

$$V^* = \sqrt{g(H - h_0)i\psi} \quad (16)$$

საშუალო სიჩქარის დინამიკურთან ფარდობა

$$\left(\frac{\bar{V}}{V^*}\right)^2 = \frac{8}{\lambda} \quad (17)$$

ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი

$$\lambda = \frac{8\nu}{\bar{V}\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)\psi^2\left(1 + 0,49\frac{h_0}{H}\right)} \quad (18)$$

შესაბამისად, დაწნევის დანაკარგის სიდიდე

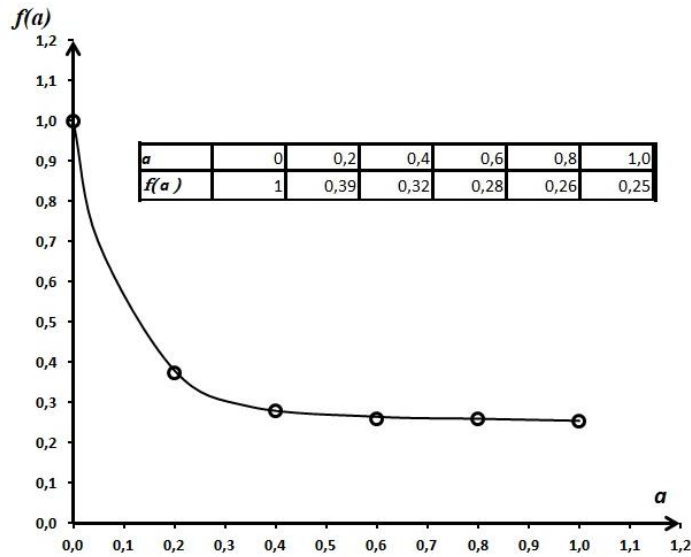
$$h_{\text{დაწ.}} = \frac{8\nu\bar{V}}{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)\psi^2\left(1 + 0,49\frac{h_0}{H}\right)} \cdot \frac{V}{2g} \quad (19)$$

ღვარცოფისათვის, ისევე როგორც ნებისმიერი სახის კალაპოტური ნაკადებისათვის, დამახასიათებელია სადინარში მოძრაობის რეჟიმების ცვლილება, კერძოდ, წყნარიდან ტალღურში გადასვლა ან პირიქით.

წყლის ნაკადებში სტაციონალურობის დარღვევის კრიტერიალური მაჩვენებელი 0,33-ის ტოლია. რაც შეეხება ღვარცოფს, ეს მაჩვენებელი ჯერჯერობით არ არის დადგენილი და სპეციალურ კვლევებთან არის დაკავშირებული. მოძრაობის სქემიდან გამომდინარე, საკონტროლო კვთებში ნაკადის სიღრმეები h_1 -ისა და h_2 -ის ტოლია და ტალღის უწყვეტობის შემთხვევაში მისი სიჩქარე 3-ჯერ აღემატება საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობას, საშუალო V სიჩქარის ტალღის C სიჩქარესთან ფარდობის სიდიდე

$$\left(\frac{V}{C}\right)^2 = \frac{4\sqrt{a+a+4}}{(\alpha'+1)(4\sqrt{a+a})+4} = f(a) \quad (20)$$

გრაფიკული დამოკიდებულება $f(a) = a$ მოცემულია ნახ. 4-ზე



ნახ. 4. გრაფიკული დამოკიდებულება $f(a) = a$

არაპრიზმატულ B სიგანის კალაპოტში h სიღრმით მოძრავი ღვარცოფის შემთხვევაში, როცა სადინარის ქანობი თანაბარი მოძრაობის ჰიდრავლიკური ქანობის ტოლია და, შესაბამისად, საშუალო სიჩქარე V და ტალღის გავრცელების სიჩქარე - c , დაწნევის დანაკარგის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს სახე:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{\left(\frac{V}{c}\right)^2 \frac{h}{B} a \frac{dB}{dl}}{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2 a} \quad (21)$$

როცა ცოცხალი კვეთის ცვლილება ღვარცოფის ხარჯისა და სიჩქარის ცვლილების ფუნქციას წარმოადგენს, სიჩქარის სიგრძეზე ცვლილება სიგანესთან კავშირში წარმოდგენილია დამოკიდებულებით:

$$\frac{dV}{dl} = \frac{V}{B \left[1 - a \left(\frac{V}{c}\right)^2 \right]} \frac{dB}{dl} \quad (22)$$

ღვარცოფის მოცემული სიღრმის შემთხვევაში სიჩქარის სადინარის სიგრძეზე ცვლილება შესაძლებელია როგორც მოძრაობის რეჟიმის შეცვლით, ისე სადინარის გაფართოებითა და შევიწროებით. კალაპოტის სიგანის

ცვლილების გავლენა სიჩქარეზე წყნარ და მძაფრ ნაკადებში, როცა სადინარის კალაპოტის ქანობი ჰიდრავლიკური ქანობის ტოლია, სიღრმისა და სიჩქარის ცვლილება რეჟიმთან კავშირში მოცემულია სქემის სახით.

ცხრილი 1

**ღვარცოფის სიღრმისა და სიჩქარის ცვლილება რეჟიმთან კავშირში სადინარებში
ნაკადის სიგანის გაფართოებისა და კუმშვის დროს, როცა $i_{\Sigma} = i_{საღ}$.**

კალაპოტის სიგანის ცვლილება	ნაკადის მდგრადობა	ცვლილება		კალაპოტის სიგანის ცვლილება	ნაკადის მდგრად.	ცვლილება	
		სიღრმე	სიჩქარე			სიღრმე	სიჩქარე
$\frac{dB}{d\ell} > 0$	$\alpha V/c < 1$ წყნარი	$\frac{dh}{d\ell} > 0$	$\frac{dV}{d\ell} < 0$	$\frac{dB}{d\ell} < 0$	$\alpha V/c < 1$	$\frac{dh}{d\ell} < 0$	$\frac{dV}{d\ell} > 0$
	$\alpha V/c > 1$ მძაფრი	$\frac{dh}{d\ell} < 0$	$\frac{dV}{d\ell} > 0$			$\alpha V/c > 1$	$\frac{dh}{d\ell} > 0$

მე-3 თავი „ბმული ღვარცოფის ჰიდრავლიკა“ ეძღვნება ღვარცოფთა ერთგანზომილებიანი საინჟინრო ამოცანებს. კერძოდ, ღვარცოფწარმოქმნილი კერებიდან ფორმირებული მასის დაძვრის პროცესს. როცა ცნობილია ენერგეტიკული მახასიათებლების დინების მიმართულების ცვლილება, საინჟინრო ღონისძიებათა შერჩევა სირთულეს არ წარმოადგენს. ღვარცოფული ნაკადის ერთეული სიგრძისა და სიგანის კერის ფართობიდან დაძვრული მასის სიდიდე მრავალი ურთიერთმართვადი ფაქტორის ფუნქციაა. მისი წარმოქმნის პროცესის მექანიზმის სრულად წარმოდგენა გარკვეული შუალედური ამოცანების გადაწყვეტასთანაა დაკავშირებული. განსაკუთრებით ეს ეხება ენერგეტიკული მახასიათებლების დროში ცვლილების პროგნოზს. ღვარცოფული კერებიდან დაძვრული მასის ზედაპირის ფორმების შესწავლის სურათიდან გამოვლენილია, რომ მასის სიღრმისა და გავრცელების ზონის სიგრძეს შორის კავშირს ხარისხობრივი დამოკიდებულების სახე აქვს. რეოლოგიასთან კავშირში h ამომეწყრის სიღრმის y კოორდინატის ცვლილებას

წონასწორული ზედაპირის ზონის X სიგრძესთან ხარისხობრივი დამოკიდებულების სახე აქვს, ე.ი.

$$Y = aX^b, \quad (23)$$

ჩამომეწერილი მასის მოცულობა, როცა $a > 0$, $b > 0$, $X=L$ და $y=H$ -ს

$$W = \frac{b}{1+b} \frac{1}{a^{\frac{1}{b}}} H^{\frac{1+b}{b}}. \quad (24)$$

ღვარცოფული მასის კერიდან მოწყვეტის შესაძლებლობა B სიგანის შემთხვევაში, როცა დაძრული მასის სიმკვრივე ρ -ს, სიმძიმის ძალის აჩქარება g -ს, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ψ -ს, ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის ტოლია

$$W = \frac{BH^2}{\alpha} \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2. \quad (25)$$

a და b კოეფიციენტების განსაზღვრის საფუძველზე ჩამომეწერის მოცულობა

$$W = -\frac{1 - \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2}{4} B \cdot H^2. \quad (26)$$

ხოლო ჩამომეწერილი ღვარცოფის ხარჯის სიდიდე

$$Q = \frac{a - \left(1 - \frac{b}{H}\right)^2 \psi^2 BH^2}{4t} \quad (27)$$

როცა ღვარცოფწარმომქმნელი კერის სარკის ზედაპირის ფართობი Ω -ს სახით არის წარმოდგენილი, ჩამომეწერილი მოცულობის დროში ცვლილება

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dH} \frac{dH}{dt} = \Omega \frac{dH}{dt}. \quad (28)$$

შესაბამისი დაშვებისა და გამარტივების საფუძველზე ღვარცოფწარმომქმნელი კერიდან დაძრული მასის სიღრმის სიგრძეზე ცვლილების კანონზომიერება გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

სიღრმის ცვლილება:

$$H(t) = \frac{1}{\frac{1}{H_0} + \frac{\left[1 - \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2\right] B}{4\Omega} t}} . \quad (29)$$

ხარჯის ცვლილება:

$$q(t) = \frac{\left[\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2 - 1\right]}{4t\Omega \left(\frac{1}{H_0} + \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2 t\right)} \quad (30)$$

სიჩქარის ცვლილება:

$$V(t) = \frac{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2 - 1}{4t\Omega + \left(\frac{1}{H_0} + \frac{\left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2 t}{4\Omega}\right)^2} \quad (31)$$

შემხვედრ წინააღმდეგობებთან ზემოქმედების დროს ღვარცოფი ნახტომის სახით ფორმირდება, შერჩეული კვეთებისათვის ბერნულის განტოლების გამოყენების საფუძველზე და შეუღლებულ h_1 და h_2 სიღრმეთა ცვლილების მიხედვით ენერჯის დანაკარგის სიდიდე, როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის ტოლია,

$$h_{\text{გან.}} = \psi \frac{(h_1 h_2 + h_2 h_1 - 2h_0 h_1 h_2)(h_2^2 - h_1^2) - \psi h_1^2 h_2^2 (h_2 - h_1)}{4h_1 h_2} . \quad (32)$$

შემხვედრი წინააღმდეგობებით ღვარცოფთა სტაციონალურობის რღვევის შესაძლებლობა და სიღრმეთა h_1 -დან h_2 -მდე ცვლილების კანონზომიერება ან პირიქით, როცა საბაზისო მოდელად მოძრაობის რაოდენობის განტოლებაა გამოყენებული:

$$h_1 = 0,5h_2 \left(1 - \frac{2h_0}{h_2} \right) \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_2^2 \left(1 - \frac{2h_0}{h_2} \right)^2 \psi}} - 1 \right) \quad (33)$$

$$h_2 = 0,5h_1 \left(1 - \frac{2h_0}{h_1} \right) \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_1^2 \left(1 - \frac{2h_0}{h_1} \right)^2 \psi}} - 1 \right) \quad (34)$$

33-ე და 34-ე საანგარიშო დამოკიდებულებებით, როცა $h_0 = 0$ და $\psi = 1$ ემთხვევა წყლის შეუღლებული სიღრმეების საანგარიშო დამოკიდებულებებს.

შეუღლებულ სიღრმეთა თანაფარდობის ცვლილების შეფასების მიზნით გამოიყენება ნაკადის კინემატიკურობის მახასიათებელი პარამეტრი Πk , რომლის სიდიდე ღვარცოფის q კუთრი ხარჯისა და ნაკადის h -სიღრმის შემთხვევაში, როცა სიჩქარის ცვლილების კოეფიციენტი α -ის ტოლია,

$$\Pi k = \frac{\alpha q^2}{gh^3 \left(1 - \frac{h_0}{h} \right)^3 \psi^3} \quad (35)$$

წარმოდგენილი ენერგეტიკული მახასიათებლების საანგარიშო დამოკიდებულებებითა და კრიტერიუმებით უფრო ზუსტად ფასდება სარეგულაციო ღონისძიებათა საპროექტო პარამეტრები.

მე-4 თავში „ღვარცოფთა პოტენციალის შეფასება და გარემოს დაცვა“ მოყვანილია ღვარცოფთა ჰიდროლოგიური მახასიათებლების შეფასების მეთოდი და გავლენა წყალსატევებზე, რასაც მნიშვნელოვანი როლი გააჩნია წყლის რესურსების ინტეგრირებულ მართვაში.

ზედაპირული ჩამონადენის წყალსატევში შედინება თვითფორმირებადი სადინარებით, ერთი მხრივ, წყალშემკრები აუზის ფართობის, ხოლო, მეორე მხრივ, კლიმატური ფაქტორების ფუნქციას წარმოადგენს, ე.ი. შედინებული ნაკადის მატრანსპორტირებელი შესაძლებლობებით იცვლება წყალსატევების

მყარი ნატანით შევსების დინამიკა და სასარგებლო მოცულობა. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ღვარცოფსადინარების გავლენით სასარგებლო მოცულობის მაჩვენებელი. სადისერტაციო ნაშრომში საკვლევ ობიექტად შერჩეულია მდინარე მტკვრის აუზი და მასში განლაგებული სადინარები ღვარცოფულობის მიხედვით.

შეფასებულია ნალექების უზრუნველყოფის ინტენსივობასთან კავშირის ამსახველი დამოკიდებულება

$$ti^{3/2} + bi = c \quad (36)$$

დადგენილია მდინარე მტკვრის აუზისათვის b და c კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომლის საფუძველზე თავსხმა წვიმების ხანგრძლივობა ინტენსივობასთან კავშირში წარმოდგენილია დამოკიდებულებით

$$t = \frac{25,5 - 16,5i}{i^{3/2}} \quad (37)$$

დადგენილია ნალექების უზრუნველყოფის კავშირი ნალექების ინტენსივობასთან

$$P = \left(\frac{169,8}{H} \right)^{3,33} \quad (38)$$

ყვარლის მეტეოსადგურის მონაცემების მიხედვით მდ. დურუჯის აუზისათვის უზრუნველყოფასა და ხარჯს შორის დამოკიდებულების საფუძველზე გამოყვანილია თხიერი ხარჯის წვიმის ინტენსივობასთან კავშირის საანგარიშო დამოკიდებულება

$$Q = 0,602H^{1,34} \quad (მ^3/წმ) \quad (39)$$

გეოგრაფიული ფაქტორების ზედაპირულ ჩამონადენზე გავლენის შეფასებისა და მახასიათებელი პარამეტრების, კერძოდ, ჩამონადენის კოეფიციენტის, წყალშემკრები აუზის ფართობის, ნაგებობების ფართობზე არათანაბარი გადანაწილების კოეფიციენტის, წყალშემკრები აუზის ფორმის,

ნალექების ხანგრძლივობის და სიუხვის გათვალისწინებით თხიერი ჩამონადენის ხარჯის სიდიდე განზოგადებულ ფორმაში

$$Q = 8,52H \left(\frac{\alpha\beta\delta F}{T} \right)^{0,59} \cdot \text{მ}^3/\text{წმ} \quad (40)$$

სადაც α ჩამონადენის კოეფიციენტი; β – წყალშემკრებ ფართობზე თავსხმა წვიმების განაწილების უთანაბრობის კოეფიციენტი; δ – წყალშემკრები აუზის ფორმის კოეფიციენტი; F – წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ²); T – თავსხმა წვიმების ხანგრძლივობა (წთ); H – ნალექების საანგარიშო რაოდენობა (მმ).

თეორიული გზით მიღებული ნატანდატვირთული ნაკადების, ე.ი. ტურბულენტური ღვარცოფების შემთხვევაში ხარჯის სიდიდე

$$Q_{\delta} = Q_{\text{წყ}} \left(1 + \frac{\gamma_{\delta} - \gamma_{\text{წყ}}}{\gamma_{\text{მყ}}} \right), \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}) \quad (41)$$

(40)–ის მე–(41) საანგარიშო დამოკიდებულებაში გათვალისწინებით, როცა ტურბულენტური ღვარცოფის მოცულობითი წონა γ_{δ} –ის, ტურბულენტური ღვარცოფის მყარი შემადგენლობის მოცულობითი წონა $\gamma_{\text{მყ}}$ –ის და წყლის მოცულობითი წონა $\gamma_{\text{წყ}}$ –ის ტოლია, ტურბულენტური ღვარცოფის ხარჯი

$$Q_{\delta} = 9,48H \frac{(\gamma\beta\delta F)^{0,59}}{T^{0,59}} \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}); \quad (42)$$

ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფის წყალსატევში შედინების შემთხვევაში მოსალოდნელი ხარჯის სიდიდე (3–4)–ჯერ სჭარბობს წყლის ხარჯის სიდიდეს. მისი შემადგენლობიდან გამომდინარე ღვარცოფის ხარჯი

$$Q_{\text{ლ}} = 8,52HB \left(\frac{\alpha\beta\delta F}{T} \right)^{0,52} \left(1 - \frac{h_0}{H_{\text{ლ}}} \right)^2 \left(1 + 0,49 \frac{h_0}{H_{\text{ლ}}} \right) \cdot (\text{მ}^3/\text{წმ}); \quad (43)$$

(36) და (43) ფორმულით მიღებული შედეგები შედარდა ბუნებაში ფიქსირებულ მონაცემებს და განსხვავება მათ შორის არ აღემატება ნორმატივებით განსაზღვრულ სიდიდეს.

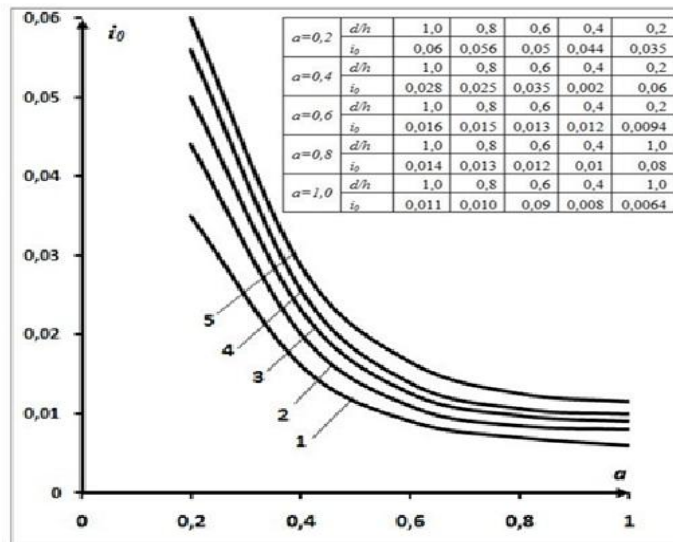
ღვარცოფთა მოსალოდნელ რისკებს თან ახლავს სადინარში რეჟიმების ცვლილება. იგი მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ანალოგიური ჰიდრავლიკური პარამეტრების მქონე წყლისა და ნატანდატვირთული ნაკადებისაგან. შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შემთხვევაში ყოველი კონკრეტული ამოცანა ნაკადის სახეებთან არის დაკავშირებული. ღვარცოფის შემთხვევაში, როცა შემხვედრი წინააღმდეგობებით მიღებული ტალღის სიჩქარე V_{ϕ} , სიჩქარის შემასწორებელი კოეფიციენტი α' -ის და რეოლოგიის კოეფიციენტი a -ს ტოლია, რეჟიმების ცვლილება შესაძლებელია საშუალო V და c დინამიკური ტალღის სიჩქარეების შემთხვევაში,

$$V_{\phi} = V + c \quad (43)$$

ტალღის სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებებზე დაყვანით გამაწონასწორებელი ქანობის მნიშვნელობა გამოისახება ფორმულით:

$$i = 0,002863 \sqrt{\frac{d}{h}} \frac{(2\sqrt{a} + a + 4)^2}{a^{0,33} [(2\alpha' - 1)(2\sqrt{a} + a + 4)^2 - 2]^2} \quad (44)$$

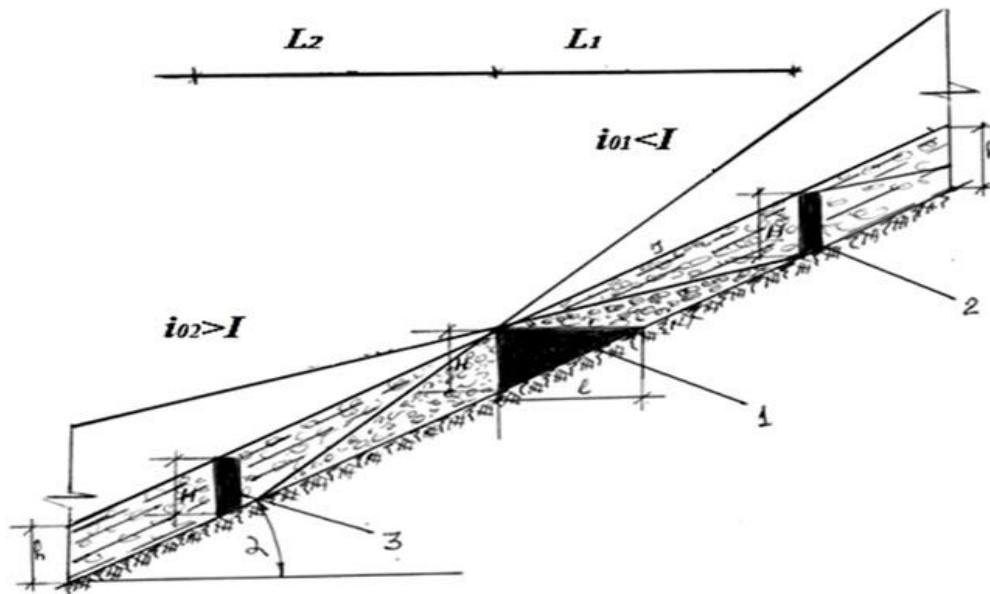
თვალსაჩინოების მიზნით გრაფიკული დამოკიდებულება $i = f\left(a, \frac{d}{h}\right)$ მოცემულია ნახ. 5-ზე



1. $d/h=0,2$; 2. $d/h=0,4$; 3. $d/h=0,6$; 4. $d/h=0,8$; 5. $d/h=1,0$

ნახ. 5 $i = f\left(a, \frac{d}{h}\right)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ღვარცოფსადინარების ბარაჟირება, რომლის დანიშნულებას ღვარცოფის მთლიანად ან ნაწილობრივი შეჩერება წარმოადგენს, მკვეთრად ცვლის ნაკადის მოძრაობის რეჟიმს. იმის მიხედვით, თუ რა ამოცანა წყდება ღვარცოფსარეგულაციო პრაქტიკაში, მაგალითად, ნაკადის მთლიანი შეჩერება ან მის თხემზე გადადინება, ნაგებობებს შორის მანძილის დადგენის მიზნით გამოყენებულია გამაწონასწორებელი ქანობით ტალღის გავრცელების შესაძლებლობა, როგორც დინების, ისე მის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ხოლო მანძილების განსაზღვრა შერჩეული საორიენტაციო ნაგებობითაა შეფასებული.



ნახ. 6 ღვარცოფსადინარში ბარაჟის განლაგების ჭრილი:
 1. საორიენტაციო ნაგებობა; 2. ზედა ბიეფში საპროექტო ნაგებობის დაცილება საორიენტაციო ნაგებობიდან, როცა $i_{01} < I$; 3. საპროექტო ნაგებობის დაცილება საორიენტაციო ნაგებობიდან, როცა $i_{02} > I$

ღვარცოფსადინარში ნაგებობის განლაგების სქემის საფუძველზე (ნახ. 6), როცა გამაწონასწორებელი ქანობით დაჭერილი ღვარცოფული მასის საორიენტაციო ნაგებობიდან ტალღის გავრცელების სიგრძე თავდაპირველი მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით აღნიშნულია L_1 -ით,

$$L_1 = \frac{H}{I_1 \left(1 - \frac{i}{I_1}\right)}. \quad (45)$$

სადაც I_1 საორიენტაციო ნაგებობიდან მოძრაობის საწინააღმდეგოდ გამაწონასწორებელი ქანობია; H - ნაგებობის სიმაღლე (მ); I - კალაპოტის ფუძესთან დახრის კუთხე.

თუ (45)-ში გავითვალისწინებთ (44)-ს, გვექნება:

$$L_1 = \frac{H}{I} = \frac{3\sqrt{a}[(2\alpha' - 1)(2\sqrt{a} + a + 2) - 2]^2}{\sqrt[3]{aI}[(2\alpha' - 1)(2\sqrt{a} + a + 2) - 2]^2 - 0,002686\sqrt{\frac{d}{h}}(2\sqrt{a} + a + 2)^2} \quad (46)$$

ნაკადის ნაგებობის ზღურბლზე გადადინების შემთხვევაში საორიენტაციო ნაგებობიდან სამშენებლო ნაგებობის დაცილება

$$L_2 = \frac{\sqrt[3]{a}[(2\alpha' - 1)(2\sqrt{a} + a + 2) - 2]^2}{0,002686\sqrt{\frac{d}{h}}(2\sqrt{a} + a + 2)^2 - \sqrt[3]{aI}[(2\alpha' - 1)(2\sqrt{a} + a + 2) - 2]^2} \quad (47)$$

ღვარცოფსადინარის ქანობის მუდმივობის დროს ერთი და იმავე რეოლოგიური მახასიათებლების მქონე ღვარცოფებისათვის (ქვის ჩანართის დიამეტრის ნაკადის სიღრმესთან ფარდობის შემცირების შემთხვევაში) გამაწონასწორებელი ქანობის სიდიდე მცირდება და ნაგებობებს შორის მანძილი იზრდება. რეოლოგიური მახასიათებლების სიდიდეთა ზრდის შემთხვევაში ნაგებობებს შორის მანძილის დაცილება იმავე სურათით ხასიათდება.

ძირითადი დასკვნები

1. ღვარცოფთა სარეგულაციო საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით შერჩეულია ოპერატიული საშუალებები მათემატიკური მოდელების სახით, რომელთა საფუძველზე შედგენილია დიფერენციალური განტოლებები წინააღმდეგობის ქანობის სხვადასხვა ვარიანტების გათვალისწინებით. დიფერენციალური განტოლებები მიღებულია ღვარცოფის რეოლოგიაზე დაყრდნობით და უფრო ზუსტად აღწერს მოძრაობის მექანიზმს. იგი შესაძლებლობას იძლევა არაპრიზმატულ კალაპოტებში პროგნოზი გაუკეთდეს ენერგეტიკულ მახასიათებლებს - სიჩქარეს, სიღრმეს, ღვარცოფის როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი ხარჯის დროს. შემოთავაზებული მათემატიკური მოდელით შესაძლებელია ღვარცოფის პროგნოზირება როგორც კრიტიკული, ისე თანაბარი მოძრაობის შემთხვევაში ძირითადი განმსაზღვრელი პარამეტრების დროს;
2. ღვარცოფის ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასება განხორციელებულია მექანიკასა და ჰიდრავლიკაში გამოყენებული მოდელების ჰიპერკონცენტრირებულ ნაკადებთან ადაპტაციის საფუძველზე, თეორიული მოდელით მიღებული შედეგები კარგად პასუხობს ნატურაში ფიქსირებულ შედეგებსა და მათ შორის საშუალო პროცენტული გადახრა ემთხვევა საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები (12%) სიზუსტის ნორმებს;
3. ღვარცოფის შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების შედეგად იცვლება მასა, მოცულობითი ნაზრდი, ფარდობითი დეფორმაცია და სიმკვრივე. დადგინდა ღვარცოფის მასის მდგრადობის რღვევის ზღვრული მნიშვნელობა და მოძრავ ნაკადში შეშფოთების სიგანის მთლიან სიგანესთან ფარდობა. წყალთან შედარებით ეს სიდიდე მცირდება და 0,33-ზე ნაკლებია. არაპრიზმატულ სადინარში მოძრავი

ნაკადისათვის, ღვარცოფის არათანაბარი ერთგანზომილებიანი დიფერენციალური განტოლების გამოყენების საფუძველზე, სიჩქარის ცვლილების საანგარიშო დამოკიდებულება ღვარცოფის რეოლოგიასთან კავშირში ადასტურებს, რომ ღვარცოფის სიჩქარე გაცილებით მცირეა წყლის სიჩქარეზე და რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს.

4. წყალსატევების ნორმალური ფუნქციონირებისათვის განსაკუთრებული როლი გააჩნია მასში შედინებული ნაკადის სახეებს, რომლებიც მნიშვნელოვნად ცვლიან სასარგებლო მოცულობის დონეს, აუზის შეცულობის შემადგენლობას. გამოყვანილია საანგარიშო დამოკიდებულებები ახალი მეთოდოლოგიის საფუძველზე, ასევე ტურბულენტური და ბმული ღვარცოფების შემთხვევაში. კერძოდ, მდ. დურუჯისათვის მიღებულია წყლის, ტურბულენტური და ბმული ღვარცოფის ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებები და განსაზღვრულია მეტეოროლოგიური ფაქტორების როლი წყალსატევებზე ღვარცოფთა ზემოქმედების შესაძლებლობების შედეგებზე წყლის ინტეგრირებული მართვის დროს;
5. ღვარცოფსადინარში მოძრავი ბმული ნაკადისათვის დადგენილია მდგრადობის რღვევის განმსაზღვრელი პარამეტრების კრიტერიალური ზღვრები, გრაფიკული ილუსტრაციები რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ბარაჟების გეგმაში განლაგება;
6. დადგენილია, რომ წმინდა დაყვანილი ღირებულების (NPV) სიდიდე ღვარცოფის სიხშირეზეა დამოკიდებული და მას ჰიპერბოლური სახე გააჩნია. ღვარცოფის გავლის სიხშირის შემცირებით მკვეთრად მცირდება კაპიტალური ინვესტიციების ეფექტურობა დამცავ სტრუქტურაში და გამომდინარე აქედან, საჭიროა კაპიტალური ხარჯების განხორციელება მხოლოდ ღვარცოფწარმომშობი კერის პოტენციალის დეტალური

შეფასების საფუძველზე, ხოლო დამცავი ღონისძიებები უნდა გატარდეს მოსალოდნელი ღვარცოფის გავლის პროგნოზირებულ დრომდე და აუცილებელია ღვარცოფსადინარების პერიოდული გამწმენდი სამუშაოების ჩატარება.

გამოქვეყნებულ შრომათა სია

1. E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, Sh. Kupreishvili, N. Beraia. The Effect of the bounded mudflow on the regulatory barrages. მე-7 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, 25–27 აგვისტო, 2017, გვ. 108–112;
2. E. Kukhalashvili, N. Kvashilava, Sh. Kupreishvili, N. Beraia. Estimation of the associated mudflow impact on semi-conical through constructions. *Annals of Agrarian Science*, 15 (2017), pp. 322-328;
3. E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, Sh. Kupreishvili, N. Beraia. Expected Risks of Cohesive Debris Flows and Fighting Against Them. Lambert Academic Publishing, ISBN 978-613-9-83734-2, 2018;
4. E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, Sh. Kupreishvili, N. Beraia. Effects of cohesive mudflow on semi-cylindrical anti-mud structure, *Construction of Optimized Energy Potential*, vol. 7, N 2/2018, pp. 35-44;
5. ღვარცოფის ენერგეტიკული მახასიათებლები. ახალგაზრდა მეცნიერთა VII ინტერდისციპლინარული კონფერენცია. ქუთაისი-წყალტუბო, 2019 წ.;
6. Maisaia L., Beraia N., Shavlakadze M. The types of the debris flow against buildings and choosing their constructions, IX საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია, „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, 25–27 ივლისი, 2019, გვ. 179–182;

7. Vartanov M., Kukhalashvili E., Beraia N., Maisaia L. Economic Efficiency of Debris-flow Control. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) ISSN (Print) 2313-4410, ISSN (Online) 2313-4402, 2019, pp. 22-28;
8. ე. კუხალაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ირემაშვილი, ლ. მაისაია, ნ. ბერაია, ხ. კიკნაძე, ქ. დადიანი. მათემატიკური მოდელი ღვარცოფის ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასებისთვის. ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეუნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული #74, თბილისი, 2019, გვ. 100–107;
9. Вартанов М. В., Иорданишвили И., Кечхошвили И. М., Бераия Н. П., Шогирадзе М. Х. К вопросу прогнозирования опасности аварий и катастроф на действующих водохранилищах Грузии. საქართველოს სოფლის მეურნეობის აკადემია, ინტერნეტ სამეცნიერო–პრაქტიკული კონფერენცია „საქართველოს აგროსაინჟინრო სექტორის სტაბილიზაციისა და განვითარების პრიორიტეტები კორონავირუსის პანდემიისა და მის შემდგომ პერიოდში“, 17–18 სექტემბერი, 2020 წ., თბილისი, გვ. 49–58;
10. ე. კუხალაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ირემაშვილი, ნ. ბერაია, ქ. დადიანი, ხ. კიკნაძე, ლ. მაისაია. წყალსატევების კვების წყაროთა ჰიდროლოგიური მახასიათებლები და მათი როლი წყლის ინტეგრირებულ მართვაში. საქართველოს სოფლის მეურნეობის აკადემია, ინტერნეტ სამეცნიერო–პრაქტიკული კონფერენცია, „საქართველოს აგროსაინჟინრო სექტორის სტაბილიზაციისა და განვითარების პრიორიტეტები კორონავირუსის პანდემიისა და მის შემდგომ პერიოდში“, 17–18 სექტემბერი, 2020 წ., თბილისი, გვ. 149–159;
11. Вартанов М. В., Кечхошвили И. М., Бераия Н. П., Дадანი К. З., Кикнаძე Х. Л., Маисаია 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;

12. E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, I. Iremashvili*, N. Beraia, Kh. Kiknadze. Debris flow density and their effect on debris flow regulation buildings, Annals of Agrarian Science Journal homepage: <http://journals.org.ge/index.php> ISSN [1512-188](#) Volume 19, Number 1, March 2021, pp. 13-22;
13. Beraia N. COHESIVE DEBRIS FLOW AVERAGE VELOCITY AND ITS CALCULATION MODEL, Znanstvena misel journal The journal is registered and published in Slovenia. ISSN 3124-1123 VOL.1, №61/2021 pp.15-18.
14. ე. კუხალაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ირემაშვილი, ნ. ბერაია, ხ. კიკნაძე. ღვარცოფსადინართა რისკების რეგულირება და ინოვაციური ნაგებობების გაანაგრიშების მეთოდოლოგია. შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდი ფინანსური მხარდაჭერით, თბილისი, 2021, 51 გვ. უაკ (UDC) უაკ (UDC)551.578.59+578.437 ISBN 978-9941-9677-01 კ-25

Abstract

Sustainability of landscape infrastructure and environmental protection are related to the potential of the natural anomalies energy characteristics. According to current data, the efficiency of environmental engineering solutions selected by existing models is low due to the enhanced impact of debris flows while moving in the pipeline. Natural anomalies are characterized by high transportability. They have the peculiarity of self-formation, which requires the correction and refinement of existing calculation methods-methodology.

Following abovementioned:

- The possibilities of breaking the stability of the debris-flow forming mass established in the debris-flow hearts, and of starting the movement are

evaluated; predictive equations of change of energy characteristics over time are obtained; prediction of debris-flow formed in the hearth based on the analogy of soil mechanics and using a qualitative function are obtained as well;

- Flow behavior and energy characteristics in the transport zone are determined. Based on energy equations, a mathematical model of unequal motion in a non-prismatic duct is obtained when moving at a constant and variable flow rate;
- An innovative model for predicting energy characteristics has been selected for the debris flows, moving in the debris-flow ducts; and based on which the calculated dependencies of flow rate, average speed, resistance slope, and dynamic velocity are derived;
- Considering the debris-flow movement, the calculation relationships of the critical condition of the flow, the generation of the jump and the loss of energy in it, and the parameters that determine the critical state are obtained. Based on the energy equation, the possibilities of the movement mode change and the elasticity of the debris-flows are determined; the computational relations of the change of density, volume and depth are derived;
- The unsteady motion model substantiates the difference from the average velocity of the wave velocity; And for unevenly moving debris-flow in connection with the prismatic shape of the duct, changes in width and velocity are established, and their limits are specified as well;
- The effect of oncoming obstacles on the movement possibility is established; the calculated dependencies of the distance between the slope of the resistance and the layout in the plan of the constructions are derived.