

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ქეთევან დადიანი

ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფის მდგრადობა და
ნაგებობაზე ზემოქმედების შესაძლებლობები

სადოქტორო პროგრამა – „მშენებლობა“

შიფრი – 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2022 წელი

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

ხელმძღვანელი: გივი გავარდაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

რეცენზენტები: პროფესორი ზურაბ გვიშიანი

პროფესორი დავით კერესელიძე

დაცვა შედგება 2022 წლის „ „ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----
----- საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი ----I-----
-----, აუდიტორია ----- მისამართი: 0171, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის
ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი-

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,

აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

 დემურ ტაბატაძე.

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალობა. ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურა ეროვნული სიმდიდრის განმსაზღვრელია, რომელსაც განსაკუთრებული გაფრთხილება, შენარჩუნება და დაცვა სჭირდება.

საქართველო მთაგორიანი ქვეყანაა. მისი მთისა და მთისწინა ზონა ქვეყნის ტერიტორიის 54%-ს შეადგენს და მდიდარია ჰიდროგრაფიული ქსელით. ქვეყნის მდინარეთა 90% ღვარცოფულია. ტერიტორიაზე არსებული ინფრასტრუქტურა მდგრადობისა და ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის შემთხვევებით გამუდმებით განიცდის ცვალებადობას. დაცვითი ღონისძიებების დანიშნულებებსა და სახეობებს განსაზღვრავს გარემოსდამცავი ნაგებობის კონსტრუქციული გადაწყვეტები და მასზე მოქმედი ბუნებრივი ანომალიების დასარეგულირებელი მახასიათებლები.

ინფრასტრუქტურაზე მოქმედ ანომალიებს შორის მნიშვნელოვანია ღვარცოფები, მეწყრები, წყალდიდობები, თოვლის ზვავები. ეკოლოგიური წონასწორობის დისბალანსსა და ზარალის მოტანის შედეგებში განსაკუთრებული ზემოქმედების სიხშირით გამოირჩევა ბმული ღვარცოფები, რომელთა გააქტიურება ბოლო 10 წლის მონაცემებით გეომეტრიული პროგრესით არის გაზრდილი.

აღნიშნული მოვლენის გარემოზე ზემოქმედება სატრანზიტო უბანზე სადინარის კალაპოტების დეფორმაციასა და ნაკადის მდგრადობის დარღვევასთან არის დაკავშირებული.

ღვარცოფის გარემოზე ზემოქმედება გლობალური სახითაა წარმოდგენილი და დიდ ზიანს აყენებს ეკოლოგიურ წონასწორობას. ხშირად მოვლენას თან ახლავს ადამიანის მსხვერპლი საქართველოს ტერიტორიის მეოთხედი ღვარცოფების გაძლიერებული ინტენსივობის ზონაშია მოქცეული. მისი ინფრასტრუქტურის მდგრადობის კარგვის რისკები სადინარის კალაპოტისა და მასში გამდინარე ნაკადის ურთიერთქმედებასთან არის დაკავშირებული. როცა იცვლება ნაკადის რეჟიმი, იგი შეიძლება სადინარის მდგრადობის კარგვის მიზეზიც გახდეს ან პირიქით. მოვლენის ასეთნაირად

წარმართვის შემთხვევაში მოსალოდნელია ნაკადის დინამიკური ღერძის ტრასის შეცვლადა წონასწორობის ადგილიდან გადაწევა.

წყალშემკრებ აუზებში ჰიდროგრაფიული ქსელის შესწავლის ანალიზით იკვეთება ღვარცოფული ხასიათის სადინარების მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალი; ფორმირებული ღვარცოფების რეჟიმების ცვლილების განსაკუთრებულობები, ფიქსირებულ ღვარცოფთა ცვლადი კვეთის სადინარებში მოძრაობა და სიმტკიცის თვალსაზრისით სატრანსპორტო მონაკვეთებზე კალაპოტების მდგრადობის რღვევა; ფორმირებულ ღვარცოფებზე შემხვედრი წინააღმდეგობების ზემოქმედება; სატრანზიტო მონაკვეთებში ნაკადის ცვლად კვეთში მოძრაობის შემთხვევებში მოძრავი ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ტალღის ხასიათის ფორმირება; სადინარებში შემხვედრი წინააღმდეგობებით ნაკადის მდგრადობის როგორც ნელცვლადი ისე უეცარი შეცვლის შესაძლებლობები; მდგრადობადაკარგული ნაკადის კალაპოტიდან გადმოღვრის შესაძლებლობები; შემხვედრი წინააღმდეგობებით უკუდინების წარმოქმნისა და კალაპოტიდან ამოშხეფვის ან გადმოდინების შემთხვევები. მოყვანილ საკითხთა ჩამონათვალი ძნელად გადასაწყვეტ ამოცანათა კატეგორიას განეკუთვნება და მათი საანგარიშო მოდელებით აღწერა დიდ სირთულესთან არის დაკავშირებული.

სამუშაოს მიზანი. კვლევის მიზანს წარმოადგენს კერაში ფორმირებული და სადინარში მოძრავი ღვარცოფის საანგარიშო მახასიათებლების, კერძოდ: ენერგეტიკული პოტენციალის, ცვლადი მასით მოძრაობის დაწყების და მდგრადობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების, ფორმირებული ღვარცოფების რეჟიმის ცვლილების, ცვლადი ხარჯით მოძრაობის, მდგრადობის კრიტერიუმის და კრიტიკული მახასიათებლების, გრძივი ტალღის ფორმით მოძრავი ღვარცოფის ტანში ტალღის სიჩქარის შეფასება, ნაკადის საანგარიშო მოდელებისა და საანგარიშების მეთოდოლოგიის დაზუსტება-სრულყოფა და სადინარის კალაპოტის მორფომეტრიასთან საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კერიდან ფორმირებული და სატრან-

ზიტო უბანზე მოძრავი ღვარცოფი ხასიათდება მდგრადობის რღვევითა და მოძრაობის რეჟიმების განსაკუთრებულობით. აღნიშნულიდან გამომდინარე, კვლევის ობიექტს წარმოადგენს კერებში ფორმირებული ღვარცოფის მდგრადობის რღვევის განმსაზღვრელი კრიტერიუმები, ღვარცოფსადინარები, სადინარში მოძრავი ღვარცოფების მდგრადობის, ღვარცოფის მოძრაობის რეჟიმის ცვლილების შესაძლებლობების მახასიათებლები და საანგარიშო ოპერატიული მოდელები.

სადისერტაციო ნაშრომის დაგეგმილი ამოცანების გადაწყვეტის დროს გამოყენებულია სამეცნიერო მიდგომები და კვლევის მეთოდები:

- კერაში ჩამოყალიბებული ღვარცოფული მასის დაძაბული მდგრადობის შეფასება განხორციელებულია გრუნტების მექანიკაში გამოყენებული ანალოგიებით, ხოლო ტალღური მოძრაობის აღწერის მიზნით - მათემატიკური მეთოდები;
- ღვარცოფის სადინარში ქცევის, ენერგეტიკული მახასიათებლების, განსაზღვრის მეთოდოლოგია;
- არაპრიზმულ კალაპოტში მოძრავი ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის შეფასების მეთოდოლოგია;
- მოძრავი ღვარცოფის მდგრადობის განსაზღვრის მეთოდი;
- მდგრადობის კრიტერიუმების განსაზღვრის დროს ტალღის წარმოქმნის, ნაკადის კუმშვის, სადინარის კონფიგურაციაზე გარსემოვლის, დარტყმის ბიძგების განსაზღვრის მეთოდოლოგია.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. ღვარცოფსადინარებში ნაკადის მდგრადობისა და ნაგებობებზე ზემოქმედების კვლევების საფუძველზე, ინოვაციური მოდელების გამოყენებით, ფორმირების, სადინარში მოძრაობისა და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების სრულყოფილად აღწერის მიზნით დაზუსტდა ღვარცოფული პროცესების გაანგარიშების მეთოდოლოგია:

- ზღვრული წარმოშობის მოდელის საფუძველზე და მდგრადობის განმსაზღვრელი ფაქტორების სხვადასხვა ვარიანტების გამოყენებით დადგინდა წონასწორობის რღვევისა და მდგრადობის განმსაზღვრელი

კრიტერიუმები სათანადო უტოლობების შერჩევით;

- გრუნტების მექანიკის კანონებზე დაყრდნობითა და ჰიდრავლიკაში ნაკადის ცვლადი ხარჯის განსაზღვრის მოდელების ანალოგების გამოყენებით მიღებულია კერიდან ღვარცოფის წონასწორობის რღვევის შედეგად ტალღის სახით ფორმირებული ნაკადის თავისუფალი ზედაპირისა და გავრცელების სიგრძეზე ინოვაციური დამოკიდებულებები;
- ღვარცოფსადინარში დაუმყარებელი არათანაბარი მოძრაობის, ქცევის, მდგრადობის ცვლილების, შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ენერგეტიკული ზემოქმედების საანგარიშო პარამეტრების შეფასებისა და საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანის მიზნით, რეოლოგიასთან კავშირში, შედგენილია მოძრაობის მათემატიკური მოდელი დიფერენციალური განტოლების სახით. ზოგიერთი გამარტივებებისა და დაშვების საფუძველზე ცალკეული მდგრადობის ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით გამოყვანილია საანგარიშო დამოკიდებულებები;
- სადინარში ღვარცოფის მოძრაობის შემთხვევისათვის ჰიდრავლიკური რეჟიმის ცვლილებასთან კავშირში, მდგრადობის რღვევისა და ტრანსპორტუნარიანობის გაზრდილი შესაძლებლობების დადგენის დროს, რეჟიმების წონასწორობულ მდგომარეობაზე დაყრდნობით, შეფასებულია მდგრადობის დაკარგვის განმსაზღვრელი კრიტერიუმების უტოლობები.
- შეფასებულია ნაკადის კვეთის ენერჯის ცვლილების შესაძლებლობები კრიტიკულ მდგომარეობასთან კავშირი;
- რეჟიმების ცვლილების კრიტერიალურ უტოლობაზე დაყრდნობითა და ღვარცოფის კინემატიკურობიდან გამომდინარე შეფასებულია ღვარცოფის კრიტიკული მდგომარეობა და გამოყვანილია მდგრადობის განმსაზღვრელი პარამეტრების საანგარიშო დამოკიდებულებები სადინარის კალაპოტის ფორმებთან კავშირში;
- დიფერენციალური განტოლებების ანალიზზე დაყრდნობითა და რეოლოგიის გათვალისწინებით მიღებულია არათანაბარი მოძრაობის ინოვაციური დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა. განტოლების ამოხსნის დროს გამოყენებულია ინტეგრირების მიახლოებითი მეთოდები;

- გადაადგილების დროის ფუნქციასთან კავშირში და განტოლებათა სისტემის დეტერმინანტების მეთოდის გამოყენებით მიღებულია პირდაპირი და უკუ ტალღის დიფერენციალური განტოლებები;
- შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედებით ღვარცოფის შეშფოთების ზონის შეფასება განხორციელებულია მასალათა გაჭიმვა კუმშვის თეორიებზე დაყრდნობით მიღებულია მისი ღვარცოფის მასაში ტალღის გავრცელების სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულება;
- გამოყვანილია მდგრადობადაკარგული ღვარცოფის პარამეტრების სრულიად ახალი საანგარიშო დამოკიდებულებების სახეები რეოლოგიასთან კავშირში ტალღის ფორმით მოძრაობის დროს.

შედეგების გამოყენების სფერო. ღვარცოფთა მდგრადობის შეფასების მეთოდები და ნაგებობებზე ზემოქმედებით ნაკადის სარეგულაციო პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდოლოგია მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს გარემოს დაცვითი ღონისძიებების შერჩევასა და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას.

ცალკეული ამოცანების გადაწყვეტით გამოყენებულ მეთოდოლოგიაზე დაყრდნობით მიღებული შედეგები დახმარებას გაუწევს ჰიდროტექნიკაში, წყალმომარაგებასა და წყალარინებაში, ჰიდრაულიკაში, მშენებლობასა და სხვა მომიჯნავე სფეროებში მოღვაწე მეცნიერებს სამომავლო კვლევების წარმოების დროს.

ნაშრომის აპრობაცია. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 18 პუბლიკაცია.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იყო სამეცნიერო კონფერენციებზე, სემინარებზე. მათ შორის:

- GWMI-80, International Symposium “Floods and modern methods of control measures”. 23-28 September, 2009. Tbilisi, Georgia;
- 4th International scientific and technical conference “Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction”, September 27-30, 2014. Dedicated to the 85 anniversary of the water management institute;

- VII International Scientific and Technical Conference “Modern Problems of Water Management, environmental Protection, Architecture and Construction”, August 25-27, 2017;
- სამეცნიერო-პრაქტიკული ინტერნეტ - კონფერენცია, „საქართველოს აგროსაინჟინრო სექტორის სტაბილიზაციისა და განვითარების პრობლემები კორონავირუსის პანდემიისა და მის შემდგომ პერიოდში“, 17–18 სექტემბერი, 2020 წ., თბილისი.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, რეზიუმე, ცხრილებისა და ნახაზების ნუსხა, 4 თავი, ლიტერატურის მიმოხილვა, შედეგების განსჯა, დასკვნა, გამოყენებული ლიტერატურა. სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 139 ნაბეჭდ გვერდს. მათ შორის 4 ცხრილს, 3 ნახაზს, 8 სურათს და 9 გრაფიკს. გამოყენებულია 107 დასახელების ლიტერატურა

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში –მოყვანილია ღვარცოფთა მდგრადობის შეფასების არსებული მასალების შესწავლის თანამედროვე დონე, ეროზიული კერიდან ღვარცოფული მასის დაძვრის შესაძლებლობების ურთიერთქმედების გავლენა დეფორმაციულობაზე და მოძრაობის სტაბილურობაზე. გამოიკვეთა ღვარცოფთა შესწავლის ისტორიის ეტაპობრივი სახე და ბუნების ანომალიურობა, სხვა ნაკადებისაგან განსხვავებით კერიდან უმნიშვნელო სიმძლავრით მოძრაობის დაწყების შესაძლებლობა, იშვიათ შემთხვევაში, ატმოსფერული ნალექების მოსვლის გარეშეც. მდგრადობის საკითხების განხილვის დროს ღვარცოფული მასა წარმოდგენილია, როგორც ერთგვაროვანი გარემო. მოძრაობის მოდელების ანალიზით დასტურდება მის ტანში შემადგენელი ნაწილაკების ტურბულიზაცია და საგრადიენტო შრითა და გულით მოძრაობა. მყარი ნაწილის წონითი მაქსიმალური შემადგენლობა 80-90%-ის ფარგლებში მერყეობს. კონცენტრაციული შემადგენლობის დიდ დიაპაზონში ცვლილების გამო ბუნებაში ფიქსირებულია მათი მრავალი სახეობით და ბუნებით განსხვავებულობების არსებობა. ღვარცოფთა ფორმირების, მოძრაობის სტაციონარულობის შენარჩუნების პირობები ურთიერთდამოკიდებული განმსაზღვრელი ფაქტორების გათვალისწინებით ასახულია სამეცნიერო შრომებში რომელთა შორის აღსანიშნავია: მ. აიზენბერგის, ა. ველიკანოვის, მ. გაგოშიძის, ი. ხერხეულიძის, ვ. პეტროვის, ვ. ვარგუნინის, ი. ვინოგრადოვის, ვ. მოჩალოვის, ს. რუსტამოვის, ნ. რუხაძის, რ. ხონინის, ე. წერეთლის, გ. ბერუჩაშვილის, ო. ნათიშვილის, ც. მირცხულავას, თ. ვოინიჩ-სიანოჟენცკის, ნ. კერესელიძის, ე. მირზიზადეს, ლ. სულაქველიძის, ბ. ახმედოვის, ზ. იორდანიშვილის, ვ. თევზაძის, გ. ხერხეულიძის, ჟ. ბაინატოვის, ვ. ვორობიოვას, ტ. ტაკაჰამის, რ. ბრინგეტის, ი. შამოვის, ვ. მიასნიკოვის, ბ. სტეფანოვას, დ. ფრუიძის, გ. ხარაიშვილის, მ. მაქარაშვილის, გ. გავარდაშვილის, ე. კუხალაშვილის, ი. ყრუაშვილის, კ. ბეარლის, კ. იანოს, ლ. სილვიოს, ვ. კოუს, ლ. კლიმიაშვილის სამეცნიერო

შრომები.

შესწავლილი ისტორიის აბსტრაქციით იკვეთება მდგრადობის თან-მდევი პროცესების ზემოქმედების სრულყოფილად შესწავლის ნაკლებობა. მდგრადობა ძირითადად შეფასებულია თანაბარი მოძრაობის მოდელებზე დაყრდნობით, ნაკლებადაა გამოკვლეული ღვარცოფული მასის დეფორმაციულობის გავლენა ნაკადის არათანაბარ ან ტალღურ მოძრაობაზე. მოდელების შერჩევის დროს შემხვედრი წინააღმდეგობების როლი და ფუნქცია ნაკადის მოძრაობისა და სტაციონარულობის რღვევაში. სტაციონარულობის თანდათანობითი ან ნახტომისებურად ცვლილების გავლენა ენერგეტიკული მახასიათებლების ფორმირებაში. მორფომეტრიული თეორიიდან გამომდინარე სტანდარტის შეფასება ისეთ პირობებზე დაყრდნობით მიმდინარეობს როცა შექმნილი ჰიდრავლიკური პირობები დინების მთელ მონაკვეთზე არ არის ერთგვაროვანი. ნაკადის ჰიდრავლიკის სირთულიდან გამომდინარე ძალზე გართულებულია სიჩქარის პროგნოზირების შესაძლებლობა.

კვლევის მასალების სიმრავლის მიუხედავად, ღვარცოფთა დამჭრისა და მოძრაობის მდგრადობის შესწავლის დონე საჭიროებს სრულყოფას და ინოვაციური მოდელები უნდა ითვალისწინებდეს მოქმედი ფაქტორების უფრო სრულყოფილად გათვალისწინებას, როგორც მდგრადობის შეფასებაში, ასევე ოპერატიული სახეებით მოვლენის აღწერაში.

მდგრადობაზე და ფორმირებული ნაკადის ძრაობის სტაციონარულობის ფორმირებაში მონაწილეობს ერთმანეთისაგან ურთიერთდამოკიდებული ფაქტორები, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვა სახის-ბუნებით განსხავებული ღვარცოფების არსებობაში.

თანამედროვე წარმოდგენით ღვარცოფთა მოძრაობის საანგარიშო მოდელებით აღწერის დროს წარმოდგენილია როგორც კვაზიერთგვაროვანი გარემოს მქონე სხეულის ანალოგიად. გამომდინარე აქედან, არსებითია, თუ რომელი მათემატიკური მოდელი უნდა იქნეს ადაპტირებული მოძრაობის ასეთ შემთხვევებთან. ამოცანა კიდევ უფრო განსაკუთრებული სირთული-საა ისეთ შემთხვევაში, როცა მოსალოდნელია მათი როგორც

მრავალკომპონენტური, ისე მრავალი სახეობით მოძრაობის შესაძლებლობა. გამომდინარე აქედან, აუცილებელია თითოეული ფაზისათვის გამოყენებულ იქნას დინამიკის, ენერჯის მუდმივობის, უწყვეტობის, სრულყოფილი დიფერენციალური განტოლებები, ხოლო შეკვრის მიზნით დამატებითი კორელაციური ხასიათის განტოლებები.

ნაშრომის მეორე თავში – განხილულია ფორმირებული ღვარცოფის ენერგეტიკული პოტენციალი, ბმულ ღვარცოფთა დაუმყარებელი არათანაბარი მოძრაობა, მოცემულია საანგარიშო სქემა და მოძრაობის განტოლება დიფერენციალური ფორმით. ბუნებრივი კატასტროფული მოვლენების შეფასება და მათი პარამეტრების რაოდენობრივი განსაზღვრა, რომელიც შემდეგ საინჟინრო გადაწყვეტათა განმსაზღვრელ ფაქტორად მოიაზრება, მდგრადი გარემოს დეცენტრალიზირებული ინფრასტრუქტურის ჩამოყალიბებაში განსაკუთრებულ როლს თამაშობს. არსებული სიტუაციიდან გამომდინარე აუცილებელია წყალშემკრები აუზის ბუნებრივი ინფრასტრუქტურის მოწყობისა და გარემოსდაცვითი ღონისძიებების გამოყენების შესაძლებლობის დონის ამაღლება.

წარმოდგენილია საველე სამეცნიერო ექსპედიციური კვლევის შედეგები, რომლებიც განხორციელებულია მცხეთის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე, კერძოდ შიომღვიმის სამონასტრო კომპლექსის მიმდებარე ტერიტორიაზე, მდ. სამონასტრო ხევში.

ღვარცოფების სიმძლავრისა და მათი სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობებზე დინამიკური ზემოქმედებისას ნაკადის დარტყმის ძალის განსაზღვრისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ნატანების საშუალო დიამეტრის დადგენას.

ზემოთ აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით ჩვენს მიერ 2019-2021 წლებში განხორციელდა საველე კვლევები მდინარე სამონასტრო ხევში. მდ. სამონასტრო ხევში შერჩეულ იქნა 3 საანგარიშო კვეთი, საიდანაც კალაპოტიდან აღებულ იქნა ღვარცოფული მასის სინჯები 10-12 კგ. საზღვრებში 2020 წლის 7 მაისს, 1 სურათზე წარმოდგენილია ნიმუშის აღების პროცესი მდ. სამონასტრო ხევში.



სურ. 1 ნიმუშების აღების პროცესი



სურათ 2-ზე ნაჩვენებია პროფესორ გივი გავარდაშვილის რეკომენდაციები
საველე კვლევების ჩატარების შესახებ მდ. სამონასტრო ხევიზე

მდ. სამონასტრო ხევიდან აღებული ნიმუშები ჩამოტანილ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში კვლევისათვის. ლაბორატორიაში შერჩეულ იქნა გრანულომეტრიული საცრები შემდეგი გრადაციით (იხ. ცხრილები 1)

საცრის გამტარობის გრადაცია (მმ)

ცხრილი 1.

#	საცრის დიამეტრი (მმ.)	საშ. დიამეტრი (მმ).
1	>40	40
2	4,0 ÷ 20	30,0
3	20 ÷ 10	15,0
4	10 ÷ 5	7,50
5	5 ÷ 2,5	3,75
6	2,5 ÷ 1,25	1,875
7	1,25 ÷ 0,63	0,94
8	0,63 ÷ 0,315	0,473
9	0,315 ÷ 0,14	0,227
10	0,14	0,02

ღვარცოფული მასის საცრები. გაცრის შემდეგ მიღებულ იქნა შემდეგი მაჩვენებლები, რომელთა რიცხოზრივი სიდიდეები და კვლევის შედეგები მოყვანილია მე-2, მე-3 და მე-4 ცხრილში

ნიმუში №1 ლაბორატორიული კვლევის შედეგები

ცხრილი 2.

#	საცრის ზომები	ნიმუშის წონა (კგ.)	ნიმუშის პროცენტული შემცველობა (%)	გრანულომეტრიის ინტეგრალური მრუდის კოორდინატები
1.	>4,0	3,600	30,00	100
2.	4.0 ÷ 20=30,00 სმ.	4,400	36,66	70,0
3.	20 ÷ 10=15,00 სმ.	2,300	19,17	33,34
4.	10 ÷ 5=7,50 სმ.	0,900	7,50	14,17
5.	5 ÷ 2,5=3,75 სმ.	0,400	3,33	6,67
6.	2,5 ÷ 1,25=1,875 სმ	0,100	1,13	3,34
7.	1,25 ÷ 0,63=0,94 სმ.	0,090	0,75	2,2
8.	0,63 ÷ 0,315=0,473 სმ.	0,070	0,58	1,46
9.	0,315 ÷ 0,14=0,227 სმ.	0,064	0,54	0,87
10.	0,14<	0,040	0,34	0,34
		$\sum = 12,00$ კგ.	$\sum = 100\%$	

ნიმუში №2 ლაბორატორიული კვლევის შედეგები

ცხრილი 3

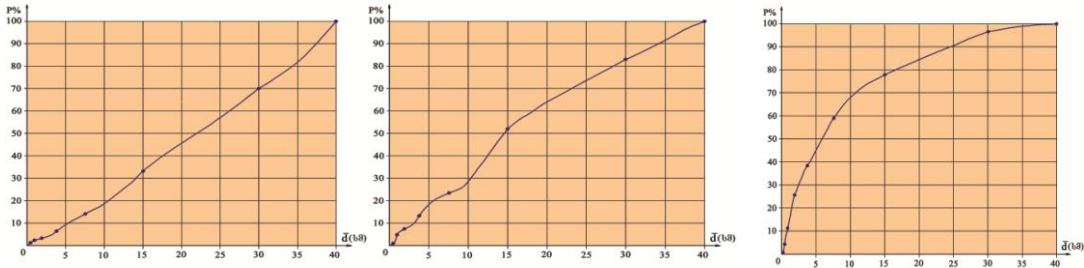
	საცრის ზომები	ნიმუშის წონა (კგ.)	ნიმუშის პროცენტული შემცველობა (%)	გრანულომეტრიის ინტეგრალური მრუდის კოორდინატები
1.	>4,0	2,000	1,6	100
2.	4.0 ÷ 20=30,00 სმ.	4,000	31,3	83,4
3.	20 ÷ 10=15,00 სმ.	3,500	28,3	52,10
4.	10 ÷ 5=7,50 სმ.	1,270	10,5	23,8
5.	5 ÷ 2,5=3,75 სმ.	0,700	5,8	13,3
6.	2,5 ÷ 1,25=1,875 სმ.	0,300	2,5	7,5
7.	1,25 ÷ 0,63=0,94 სმ.	0,050	4,1	5,0
8.	0,63 ÷ 0,315=0,473 სმ.	0,08	0,6	0,9
9.	0,315 ÷ 0,14=0,227 სმ.	0,03	0,2	0,3
10.	0,14<	0,02	0,1	0,1
		∑ =12,00კგ.	∑ =100%	

ნიმუში №3 ლაბორატორიული კვლევის შედეგები

ცხრილი 4.

#	საცრის ზომები	ნიმუშის წონა (კგ.)	ნიმუშის პროცენტული შემცველობა (%)	გრანულომეტრიის ინტეგრალური მრუდის კოორდინატები
1.	>4,0	0,500	3,1	100
2.	4.0 ÷ 20=30,00 სმ.	2,500	18,8	96,9
3.	20 ÷ 10=15,00 სმ.	2,400	19,0	78,1
4.	10 ÷ 5=7,50 სმ.	3,200	20,6	59,1
5.	5 ÷ 2,5=3,75 სმ.	1,770	12,7	38,5
6.	2,5 ÷ 1,25=1,875 სმ.	0,200	14,6	25,8
7.	1,25 ÷ 0,63=0,94 სმ.	0,900	7,0	11,2
8.	0,63 ÷ 0,315=0,473 სმ.	0,500	4,0	4,2
9.	0,315 ÷ 0,14=0,227 სმ.	0,02	0,2	0,2
10.	0,14<	0,01	0	0
		∑ =12,00კგ.	∑ =100%	

ლაბორატორიული კვლევის შედეგად მიღებული სტატისტიკური მაჩვენებლების გამოყენებით (იხ. ცხრ. 2-4) ვაგებთ ღვარცოფული გამონატანის მყარი ფრაქციების გრანულომეტრიის ინტეგრალურ მრუდებს სამივე ნიმუშისათვის, რომელთა გრაფიკები მოვანილია ნახ№ 1-ზე:



გრანულომეტრიის ინტეგრალური მრუდები პირველი, მეორე და მესამე ნიმუშისათვის ნახ№ 1

მიღებული მონაცემების გამოყენებით და ცნობილი ემპირიული დამოკიდებულებით ღვარცოფული გამონატანის საშუალო დიამეტრს ვანგარიშობთ შემდეგი დამოკიდებულებით

$$\text{№ 1 ნიმუშისათვის: } \bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i d_i}{100} \approx 26,5 \text{ მმ} \approx 2,6 \text{ (სმ)}$$

$$\text{№ 2 ნიმუშისათვის: } \bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i d_i}{100} \approx 14,8 \text{ მმ} \approx 1,5 \text{ (სმ)}$$

$$\text{№ 3 ნიმუშისათვის: } \bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i d_i}{100} \approx 11,0 \text{ მმ} \approx 1,1 \text{ (სმ)}$$

ამრიგად საველე კვლევების შედეგად და ლაბორატორიაში განხორციელებული კამერალური დამუშავებით და მათემატიკური გაანგარიშებით დადგინდა, რომ ნიმუშების საშუალო დიამეტრები იცვლება 2,6; 1,5 და 1,1 საზღვრებში, მდ. სამონასტრო ხევში, ხოლო ნაგებობის მოწყობის საანგარიშო კვეთში ღვარცოფული გამონატანის საშუალო დიამეტრი ტოლია:

$$\bar{D} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = \frac{2,6 + 1,5 + 1,1}{3} = \frac{5,2}{3} = 1,73 \text{ (სმ)}$$

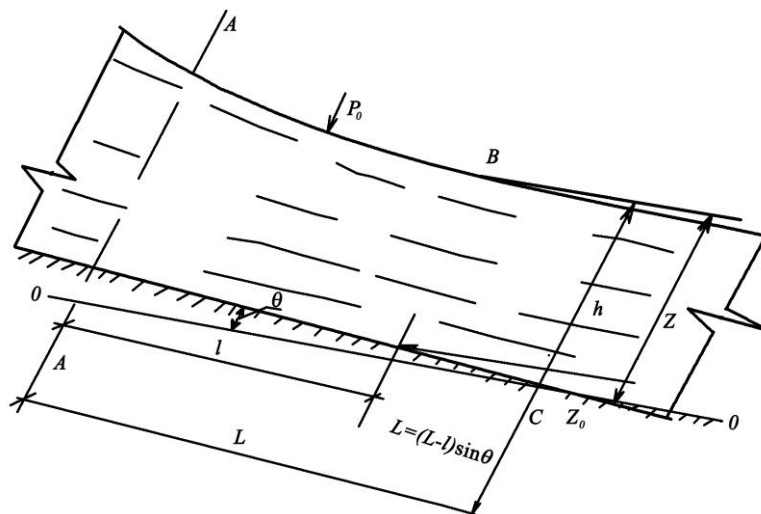
ღვარცოფული გამონატანის საშუალო დიამეტრის მნიშვნელობის გამოყენებით შემდეგ ეტაპზე იანგარიშება ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე და ხარჯი, მყარი ნატანების ტრანსპორტუნარიანობა და ნატანების მყარი

ფრაქციების ხვედრითი ხარჯი, ხოლო შემდეგ ეტაპზე დგინდება ნაგებობის გამჭოლობა, რომლის მნიშვნელობის დადგენაც აუცილებელია ნაგებობის საიმედოობის და რისკის შეფასებისათვის. ამავე თავში განხილულია ბმული ღვარცოფის მოძრაობის დინამიკის საკითხები, რომელთა ჰიდრავლიკური შეფასება მნიშვნელოვანის მათი რეჟიმების დადგენის თვალსაზრისით. წრფივად და არათანაბრად მოძრავი ღვარცოფის დინამიკა შესაძლებელია აღწერილი იქნეს ნახ. 2-ზე მოცემული სქემის საფუძველზე.

ღვარცოფის ენერჯის ცვლილება მოძრაობის მიმართულებით გამოსახება (1) დამოკიდებულებით:

$$\frac{d\left(Z + P_0/\gamma + \frac{\alpha V^2}{2g}\right)}{d\ell} = -I \quad (1)$$

სადაც: P_0 – ღვარცოფის ზედაპირზე მოქმედი წნევაა და ღია კალაპოტის შემთხვევაში იგი ატმოსფერული წნევის ტოლია (ნ/მ^2); h – განსაზღვრულ კვეთში ღვარცოფის სიღრმე (მ); ω – ცოცხალი კვეთის ფართობი (მ^2); Q – ღვარცოფის ხარჯი ($\text{მ}^3/\text{წმ}$); q – ღვარცოფის გრძივი ხვედრითი ხარჯი ($\text{მ}^2/\text{წმ}$); V – ღვარცოფის მოძრაობის სიჩქარე ($\text{მ}/\text{წმ}$); I – ჰიდრავლიკური ქანობი. ზემოთ აღნიშნულის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ წრფივად და არათანაბრად მოძრავი ბმული ღვარცოფი, რომლის საანგარიშო სქემა მოცემულია მე-2 ნახაზზე:



ნახ. 2 ღვარცოფის მოძრაობის სქემა

საანგარიშო სქემიდან გამომდინარე, ღვარცოფისათვის B წერტილის Z

კოორდინატის სრული დაწნევა საფარდ სიბრტყესთან ბმულობითა და შინაგანი ხახუნით შემცირების გამო, საჭიროებს კორექტირებას. Z -ის სიდიდე, როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის ტოლია, მაშინ შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ψ -ს გამოსახება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$Z = h(1 - h_0/h)\psi + Z_0 = kh + Z_0 ; \quad (2)$$

მდინარის სადინარის i ქანობის შემთხვევაში, როცა $(1 - h_0/h)\psi = K$ ტოლია მაშინ მივიღებთ:

$$\frac{dZ}{dl} = K \frac{dh}{dl} - i. \quad (3)$$

რადგან ღვარცოფის თავისუფალ ზედაპირზე წნევის სიდიდე ატმოსფერულის ტოლია, $d(P/\gamma)\psi dl = 0$, მაშინ სიჩქარითი დაწნევის სადინარის სიგრძეზე წარმოებული ტოლია:

$$\frac{d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)}{dl} = -\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3 K^2} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial l} - \frac{\alpha Q^2 B}{g\omega^3 K^2} \frac{dh}{dl}. \quad (4)$$

(3) და(4) ფორმულების გათვალისწინებით (1) დამოკიდებულება სათანადო გარდაქმნების შემდეგ მიიღებს სახეს:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{1}{K} \frac{i - \frac{\alpha Q}{g\omega K^2 h^2} + \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3 K^2} \frac{\partial \omega}{\partial l}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3 K^3} \frac{B}{q}}. \quad (5)$$

სადინარის კალაპოტის პრიზმატულობის შემთხვევაში, ე.ი. $\frac{\partial \omega}{\partial l} = 0$

$$\frac{dh}{dl} = \frac{1}{K} \frac{i - \frac{\alpha Q}{g\omega K^2 h^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3 K^3} \frac{B}{q}}. \quad (6)$$

თანაბარი მოძრაობის შემთხვევაში $dh/dl = 0$ და ღვარცოფის მოძრაობის სიჩქარე ტოლია:

$$V = \frac{gh^2 f(\beta)}{\nu}. \quad (7)$$

მე-(7) საანგარიშო დამოკიდებულებაში $f(\beta)$ -ს მნიშვნელობა, როცა $\beta = h_0/h$ ტოლია:

$$f(\beta) = (1 - \beta)^2 \psi^2 = (1 - \beta)^2 \left(\sqrt{1 + \text{tg}^2 \psi} - \text{tg} \psi \right)^4. \quad (8)$$

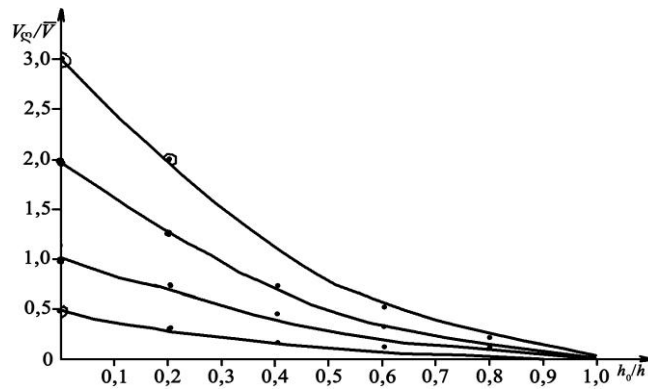
ღვარცოფის მოძრაობის სიჩქარე ნიუტონურ სითხესთან ფარდობაში ტოლია:

$$\frac{V_{\text{ღ}}}{V} = 3(1 - h_0/h)^2 \psi^2. \quad (9)$$

ე.ი. როცა რეოლოგიური მახასიათებლები $h_0 = 0$ და $\psi = 1,0$

$$V_{\text{ღ}} = 3\bar{V}. \quad (10)$$

გრაფიკული დამოკიდებულება $V_{\text{ღ}}/V_6 = 3\left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^2 \psi^2$ შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის მოყვანილია მე-3 ნახაზზე:



ნახ. 3 $V_{\text{ღ}}/\bar{V} = f(h_0/h, \psi)$ გრაფიკული დამოკიდებულება

ღვარცოფთა კერებში მდგრადობის რღვევა და მოძრაობის ტალღის ფორმით ჩამოყალიბება - მისი ტანის წონასწორული მდგომარეობის გარკვეულ ფაზასთან არის დაკავშირებული და გრუნტების მექანიკის ამოცანების ანალოგიურად შეიძლება იქნას განხილული. აქტიური წნევის ეფექტი ღვარცოფულ მასაში გარკვეული სიღრმიდან იწყება და როცა ბმულობა C -ს, შინაგანი ხახუნის კუთხე ψ და მოცულობითი წონა γ -ს ტოლია, მაშინ

$$h_0 = \frac{2c}{\gamma \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (11)$$

ეროზიული კერიდან ღვარცოფული მასის აქტიური ძალით ფორმირებული ხარჯის სიდიდე, როცა კერის სიგანე B -ს, ხოლო კერის სიმაღლე H -ის ტოლია, მივიღებთ:

$$Q = \frac{BH^2}{2t} \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2. \quad (12)$$

ღვარცოფის კერის ერთეული სიგრძისა და სიგანის ფარდობის შემთხვევაში, როცა $Q = q'_{nc}$

$$q't = H \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \psi. \quad (13)$$

(13) განტოლების გადიფერენციალებით მივიღებთ:

$$q'_{nc} dt = (1 - h_0/H) \psi dH. \quad (14)$$

(14) დამოკიდებულების ინტეგრირებითა და სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით გვექნება:

$$\text{და } q'_{nc} = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^3 \psi^2 \frac{\gamma i H^2}{H} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{h_0}{H}\right) \frac{dH}{dx}, \quad (15)$$

$$q'_{nc} = \frac{g i H^2}{\nu} \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \psi f(\beta) \frac{dH}{dx}, \quad (16)$$

სადაც $f(\beta)$ -ს მნიშვნელობა, როცა $\beta = h_0/H$ ტოლია:

$$f(\beta) = (1 - \beta)^2 \left(1 + \frac{1}{2} \beta\right) \psi. \quad (17)$$

როცა ax ღერძი ემთხვევა ღვარცოფის მოძრაობის მიმართულებას კონკრეტული ტალღისათვის, ეროზიული კერის საწყისი სიღრმე H -ის ტოლია, ტალღური ფორმით ფორმირების შემთხვევაში, $x=0$ და $t=0$

$$H^3 = \left[H + \frac{q'_{nc} t}{(1 - h_0/H) \psi} \right]^3 + \frac{q'_{nc} x L}{g i f(\beta) (1 - h_0/H) \psi}. \quad (18)$$

ტალღის გავრცელების სიღრმე იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$t = i_0 + \sqrt[3]{\frac{x \nu \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \psi^2}{q_{nc}^2 g i f(\beta)}}. \quad (19)$$

ღვარცოფული მასის დაძვრის შედეგად H_k -დან h -მდე ცვლილების შემთხვევაში ფარდობითი სიდიდე ტოლია:

$$\frac{h}{H_k} = \frac{4}{\left[2 + \left(1 - \frac{h_0}{H} \right) \psi \right]^2}. \quad (20)$$

ღვარცოფის ხარჯის შესაბამისი მნიშვნელობა, როცა $(1 - h_0 / H) \psi = a$ და კერის L - სიგრძე შემთხვევები იანგარიშება:

$$Q = \frac{g i \left(1 - \frac{h_0}{H} \right) \psi f(\beta) [1 + a]^6 H^3}{L}. \quad (21)$$

ნაშრომის მესამე თავში - მოყვანილია ეროზიულ კერაში ფორმირებული ღვარცოფის მდგრადობის შეფასების მოდელები და გამოყვანილია განმსაზღვრელი კრიტერიუმების საანგარიშო დამოკიდებულებები.

ზღვრული წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე, ფორმირებული ღვარცოფის ზღვრული წონასწორობის პირობა ბმულობის ეკვივალენტური სიღრმის მთლიან სიღრმესთან ფარდობის შემთხვევაში, როცა შინაგანი ხახუნის კუთხე φ -ს ტოლია და ხახუნის კოეფიციენტი $\psi = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ -ს მივიღებთ:

$$\frac{h_0}{H} = \frac{\sin \varphi (1 + \psi) - (1 - \psi)}{(1 - \sin \varphi) \psi - \cos \varphi \sqrt{\psi}}. \quad (22)$$

როცა კერიდან ღვარცოფის მდგრადობის რღვევის კრიტერიუმად B სიგანის, H - სიღრმის ხარჯია მიჩნეული, ν -კინემატიკურობის კოეფიციენტის, ღვარცოფული კერის i -ქანობის, საწყისი τ_0 - ძაბვისა და ρ - სიმკვრივის შემთხვევაში გვექნება:

$$Q = \frac{B g H^3 i}{6 L} \left(2 - \frac{3 \tau_0}{\rho g H i} \right). \quad (23)$$

(23) საანგარიშო დამოკიდებულებების ანალიზით მდგრადობის რღვევას ადგილი ექნება შემდეგი პირობის დაცვით;

$$2 > 3 \frac{\tau_0}{\rho g H i},$$

ბმულობის ეკვივალენტური h_0 სიღრმის შემთხვევაში:

$$h_0 < \frac{2}{3}H. \quad (24)$$

ღვარცოფის მოძრაობის პირობა უზრუნველყოფილია ისეთ პირობებში, როცა ნაკადის H სიღრმის სიდიდე ღვარცოფის განმსაზღვრელი γ მოცულობითი წონის, C ბმულობისა და შინაგანი ხახუნის ψ კოეფიციენტის კომბინაციის შემთხვევაში აკმაყოფილებს შემდეგ პირობას:

$$H > 1,11 \frac{C}{\gamma \sqrt{\psi}}. \quad (25)$$

ღვარცოფთა მდგრადობა გრძივი ტალღის ფორმით მოძრაობის ფორმირების შემთხვევაში, როცა ტალღის გავრცელების სიჩქარე C და ნაკადის საშუალო სიჩქარე V -ს ტოლია, უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

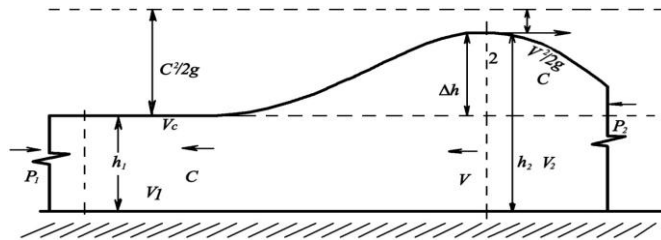
$$V_{\phi} > C + V, \quad (26)$$

როცა ღვარცოფსადინარის ქანობი ტოლია $i > \sin \alpha$ და $a = (1 - h_0 / h)\psi$,

მდგრადობის კრიტერიუმებს ექნება შემდეგი სახე (რეინოლდსის რიცხვი):

$$Re_H > \frac{1}{2 \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \psi}. \quad (27)$$

ღვარცოფთა თანაბარი მოძრაობის მდგრადობის რღვევა, მისი ზედაპირის ტალღური ფორმა, ჰიდრავლიკური პარამეტრების უწყვეტად და საფეხურისებრად ცვლილება მრავალი ფაქტორის ზემოქმედებით ხორციელდება და მოვლენასთან რთული მათემატიკური მოდელების ადაპტირებას საჭიროებს. საანგარიშო მოდელის სქემა მოცემულია მე-4 ნახაზზე.



ნახ. 4 ღვარცოფის ტალღის სახით ფორმირების სქემა

ტალღის სახით ღვარცოფის ფორმირების მოდელის შედგენის დროს გამოიყენება მოძრაობის რაოდენობის განტოლება შერჩეული 1-1 და 2-2 კვეთების მიმართ

$$\frac{\alpha' \gamma Q}{g} (V_1 - V_2) = P_2 - P_1, \quad (28)$$

სადაც α' სიჩქარის შემასწორებელი კოეფიციენტი და იცვლება $1,05 \pm 1,08$ ფარგლებში; γ – ღვარცოფის მოცულობითი წონა (ნ/მ^3); V_1, V_2 – შერჩეულ კვეთებში ღვარცოფის საშუალო სიჩქარეები (მ/წმ); P_1, P_2 – შერჩეულ კვეთებში მოქმედი წნევები (ნ/მ^2); Q – ღვარცოფის ხარჯი ($\text{მ}^3/\text{წმ}$).

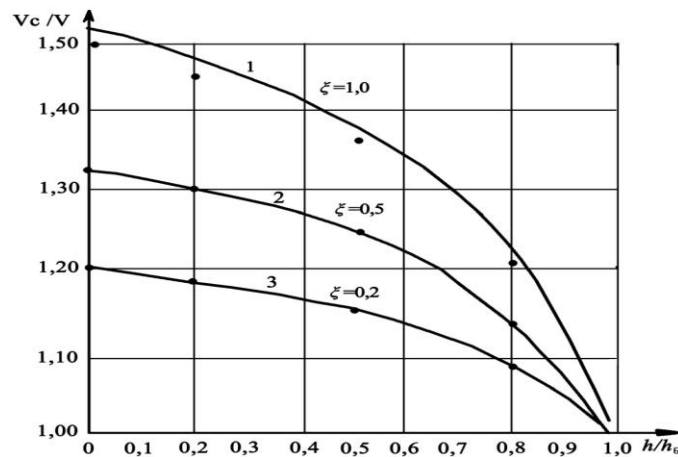
ღვარცოფის მასის დეფორმაციულობის შესაძლებლობის მხედველობაში მიღებით (27) დამოკიდებულების სათანადო გარდაქმნებისა და გამარტივებების საფუძველზე მივიღებთ ტალღის გავრცელების სიჩქარეს

$$C = \alpha V \frac{a^3 + 4\sqrt{a}}{a^3 + 4\sqrt{a} + 4}, \quad (29)$$

მდგრადობის მოდელი ტალღის ფორმით მოძრაობის დროს ტოლია:

$$V_0 \geq V(1 + \alpha') \frac{a^3 + 4\sqrt{a}}{a^3 + 4\sqrt{a} + 4}. \quad (30)$$

ზღვრულ წონასწორულ მდგომარეობაში, როცა $a = (1 - h_0/h)\psi$, სიჩქარის კოეფიციენტი α -თია წარმოდგენილი. ტალღისა და საშუალო სიჩქარის ფარდობითი სიდიდეების დამოკიდებულების გრაფიკი მოცემულია ნახ. 5-ზე ψ სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, როცა $\alpha = 1,0$.



ნახ. 5 $V_c/V = f\left(\frac{h_0}{h}\right)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ღვარცოფთა ტალღური მოძრაობის შემთხვევაში, ნაკადის მდგრადობის რღვევის შესაძლებელი სიჩქარის ვერტიკალზე გადანაწილების ფუნქციას წარმოადგენს და რადგან ტალღის სიჩქარის ფარდობა საშუალო სიჩქარესთან 3,0-ის ტოლია, შეიძლება გამოყენებულ

იქნას უტოლობა

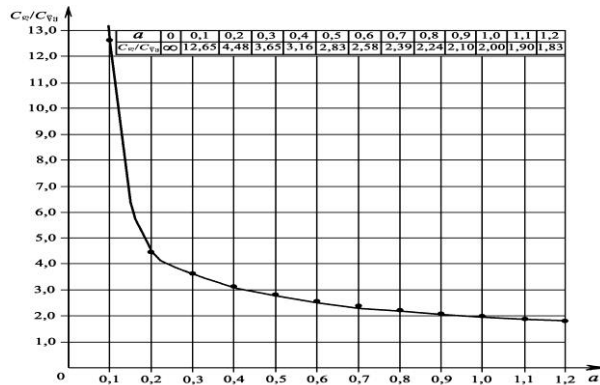
$$\frac{(1 + \alpha')(a^3 + 4\sqrt{a}) + 4}{a^3 + 4\sqrt{a} + 4} \leq 3.$$

ზღვრული მდგომარეობის დროს სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების α კოეფიციენტის სიდიდე ღვარცოფის შემთხვევაში იცვლება 1,95÷2,02-ის ზღვრებში.

ღვარცოფის ტალღური სახით ჩამოყალიბების შემთხვევაში

$$\frac{C_{\text{ღ}}}{C_{\text{წ}}} \geq 2\sqrt{\frac{1}{a}}.$$

გრაფიკული დამოკიდებულება სიჩქარეთა წინააღმდეგობის კოეფიციენტთა ფარდობითი სიდიდის ცვლილების წყლისა და ღვარცოფის შემთხვევაში მოცემულია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 6 $\frac{C_{\text{ღ}}}{C_{\text{წ}}} = f(a)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ღვარცოფთა საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის დროს აუცილებელია შეფასდეს მისი კრიტიკული მდგომარეობა. ენერგიის განტოლებაზე დაყრდნობით შესაბამისი გარდაქმნებისა და გამარტივების საფუძველზე კრიტერიუმები სხვადასხვა ფორმის სადინარის განივი კვეთის შემთხვევაში განხილულია ქვემოთ:

კრიტიკული სიმაღლე:

ა) სწორკუთხა კვეთი
$$h_k = h_0 + \frac{1}{\psi} \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}};$$

ბ) პარაბოლური კვეთი
$$h_k = h_0 + \frac{1}{\psi} \sqrt[4]{\frac{27}{125} \frac{\alpha^2 q}{g}};$$

გ) სამკუთხა კვეთი
$$h_K = h_0 + \frac{1}{\psi} \sqrt[5]{\frac{\alpha q^2}{4gm^2}};$$

კრიტიკული სიჩქარეები:

- სწორკუთხა კვეთი
$$V_K = \psi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \sqrt{\frac{g}{\alpha'} h_K \psi \left(1 - \frac{h_0}{h_K}\right)};$$
- პარაბოლური კვეთი
$$V_K = \Psi \left(1 - \frac{h_0}{h_K}\right) \sqrt{\frac{g}{\alpha'} \frac{2}{3} h_K \left(1 - \frac{h_0}{h_K}\right)};$$
- სამკუთხა კვეთი
$$V_K = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \Psi \sqrt{\frac{g}{\alpha'} \frac{h_K}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h_K}\right) \psi};$$
- ტრაპეციული კვეთი
$$V_K = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi \cdot \sqrt{\frac{g}{\alpha'} \frac{h_K (b + mh_K)}{b + 2mh_K} \left(1 - \frac{h_0}{h_K}\right) \psi};$$

კრიტიკული ქანობი
$$i = \frac{V_K^2}{C_K^2 \psi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^2 h_K}.$$

ნაშრომის **მეთხე თავში** – მოცემულია ღვარცოფის ტალღის ფორმით მოძრაობა კერძოდ შედგენილია გრძივი ტალღის ფორმით მოძრავი ღვარცოფის დიფერენციალური განტოლება, გვერდითი კუმშვის შესაძლებლობები და ღვარცოფულ მასაში ტალღის გავრცელების სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

აჩქარებით ნაკადის საშუალო სიჩქარის შეცვლითა და მოძრაობის წინააღმდეგობის გათვალისწინებით დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} \frac{1}{g} \left(\alpha V \frac{\partial V}{\partial \ell} + \frac{\partial V}{\partial t} \right) - \frac{K}{B} \frac{\partial \omega}{\partial \ell} = i - \frac{V^2}{K^2 C^2 R} \\ V \frac{\partial \omega}{\partial \ell} + \omega \frac{\partial V}{\partial \ell} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (31)$$

სისტემის ამოხსნის დროს ცოცხალი კვეთისა და სიჩქარის დროში ცვლილება მათი სიგრძეზე და დროის ცვლილების ფუნქციებით არის წარმოდგენილი, ე.ი.

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{\partial\omega}{\partial t} + \frac{\partial\omega}{\partial\ell} \frac{d\ell}{dt} \\ \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial\ell} \frac{d\ell}{dt} \end{cases} \quad (32)$$

(32)-ის გათვალისწინებით (31)-ში და სათანადო გამარტივების საფუძველზე მივიღებთ:

$$\begin{cases} \left(\alpha V - \frac{d\ell}{dt} \right) X + \frac{K}{B} g y = \left(1 - \frac{V^2}{K^2 C^2 R} \right) g - \frac{dV}{dt} \\ \omega x + \left(V - \frac{d\ell}{dt} \right) Y = \frac{d\omega}{dt} \end{cases} \quad (33)$$

რადგან (33) განტოლებათა სისტემა წარმოადგენს პირველი ხარისხის ორუცნობიან განტოლებათა სისტემას, კოეფიციენტთა მნიშვნელობები შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგნაირად:

$$\begin{cases} a_1 = \alpha V - \frac{d\ell}{dt}; b_1 = \frac{K}{B} g; C_1 = \left(1 - \frac{V^2}{C^2 K^2 R} \right) g - \frac{dV}{dt}, \\ a_2 = \omega; b_2 = V - \frac{d\ell}{dt}; C_2 = \frac{d\omega}{dt} \end{cases} \quad (34)$$

$$X = \frac{\partial V}{\partial\ell} = \frac{\begin{vmatrix} C_1 & b_1 \\ C_2 & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{D_1}{D} = \frac{C_1 b_2 - b_1 C_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}, \quad (35)$$

$$Y = \frac{\partial\omega}{\partial\ell} = \frac{\begin{vmatrix} a_1 C_1 \\ a_2 C_2 \\ a_1 b_1 \\ a_2 b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 b_1 \\ a_2 b_2 \end{vmatrix}} = \frac{D_1}{D} = \frac{a_1 C_2 - a_2 C_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}. \quad (36)$$

დაუმყარებელი მოძრაობის წრფივ განტოლებათა სისტემა წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\begin{cases} \left(\frac{d\ell}{dt} \right)^2 - 2V \frac{d\ell}{dt} + V^2 - \frac{2\omega K}{B} = 0 \\ \left(\frac{d\ell}{dt} - V \right) \left[\frac{dV}{dt} - g \left(1 - \frac{V^2}{C^2 R K^2} \right) - \frac{kg}{B} \frac{d\omega}{dt} \right] = 0 \end{cases} \quad (37)$$

თუ განტოლებათა სისტემას $d\ell$ -ისა და dV -ს მიმართ ამოვხსნით, მაშინ პირდაპირი და უკუტალღის შემთხვევაში (37) განტოლება მიიღებს

შემდეგ სახეს:

• პირდაპირი ტალღა:
$$\begin{cases} dl = \left(V + \sqrt{\frac{g\omega K}{\alpha B}} \right) dt \\ dV + \sqrt{\frac{Kg}{B\omega}} = g \left(i - \frac{V^2}{c^2 RK^2} \right) dt \end{cases}, \quad (38)$$

• უკუტალღა:
$$\begin{cases} dl = \left(V + \sqrt{\frac{Kg\omega}{\alpha B}} \right) dt; \\ dV - \sqrt{\frac{Kg}{\alpha B\omega}} = g \left(i - \frac{V^2}{K^2 C^2 R} \right) dt \end{cases}, \quad (39)$$

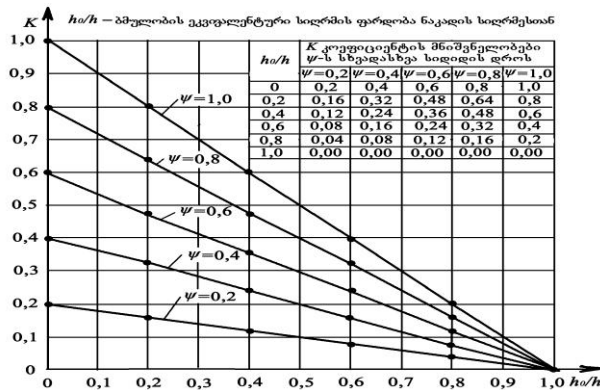
სადაც: l ნაკადის მიერ გავლილი მანძილია (მ); V – ღვარცოვის მოძრაობის სიჩქარე; g – სიმძიმის ძალის აჩქარება (g); ω – ცოცხალი კვეთის ფართობი; α – სიჩქარის შემასწორებელი კოეფიციენტი; B – ღვარცოვსადინარის სიგანე (მ).

(38) და (39) დამოკიდებულებებში K – კოეფიციენტი; რეოლოგიური მახასიათებლების გათვალისწინებით ფუნქციის წარმოებულის გაანგარიშების გამარტივების მიზნით მოცემულია გრაფიკული დამოკიდებულება K კოეფიციენტის რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში (ნახ. 7).

$$C_{ფ} = \sqrt{\varepsilon_1 \frac{E_0}{E} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\sigma}{1-2\sigma}}, \quad (40)$$

რადგან $\sqrt{\varepsilon_1}$ წარმოადგენს წყალში ტალღის გავრცელების სიჩქარეს,

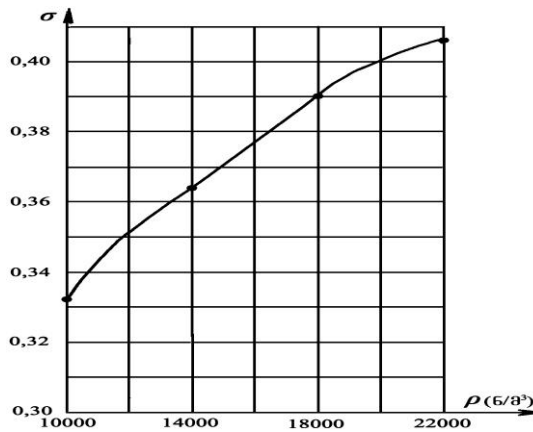
$$\frac{C_{ფ}}{C_{ფ}} = \sqrt{\varepsilon_1 \frac{E_0}{E} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\sigma}{1-2\sigma}}. \quad (41)$$



ნახ. 7. $K = f(h_0/\psi)$ გრაფიკული დამოკიდებულება

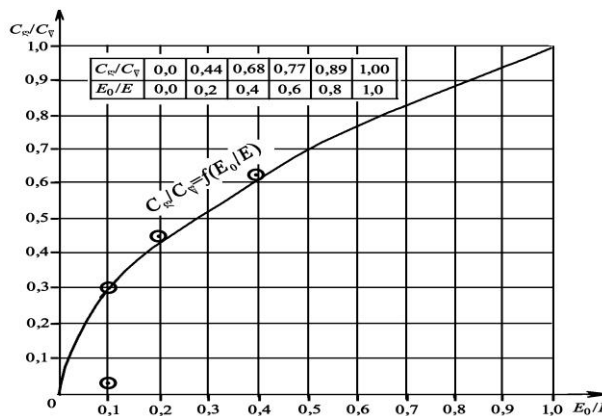
ჩატარებული კვლევის საფუძველზე σ გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტის

დამოკიდებულება ღვარცოფის სიმკვრივესთან გრაფიკის სახით მოცემულია მე-8 ნახაზზე:



ნახ. 8 $\sigma = f(\rho)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ღვარცოფის ტანში ტალღის სიჩქარის გრაფიკულ დამოკიდებულებას დრეკადობის მოდულთან ექნება შემდეგი სახე (ნახ. 9):



ნახ. 9 $C_x/C_y = f(E_0/E)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

შესაბამისად ღვარცოფის ტანში ტალღის სიჩქარის გავრცელების საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$G_{ფ3} = 1400 \sqrt{\frac{E_0}{E}}, \quad (42)$$

სადაც E_0 წყლის დრეკადობის მოდულია; E – ღვარცოფის დრეკადობის მოდული.

მისი სიდიდე წყალთან შედარებით მცირდება. როცა რეოლოგიური მახასიათებლები თანდათან მცირდება ღვარცოფთა სახეების მიხედვით ტალღის გავრცელების სიჩქარე უახლოვდება წყალში მისი გავრცელების სიჩქარეს.

დასკვნები

ღვარცოფული ამოცანების და მაგალითების განხილვით მოყვანილია ის ძირითადი შედეგები, რომლებიც შემოთავაზებულია ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადების დინამიკისა და ტალღური მოძრაობის შესწავლის დარგში;

1. ინოვაციურ მეთოდოლოგიაზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია ღვარცოფების ფიზიკო-მექანიკური და დინამიკური მათემატიკური მოდელების აგების პრინციპები, რომელთა ბუნება მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჩვეულებრივი ბლანტი სითხეების თვისებებისაგან. აღწერილია ღვარცოფების დაძვრისა და მოძრაობის განმსაზღვრელი პარამეტრები, კერძოდ დამყარებული და დაუმყარებელი მოძრაობის დროს;
2. განხორციელებულია თერგის წყალშემკრები აუზის შესწავლა, განსაზღვრულია აღნიშნული ზონისათვის ღვარცოფწარმოქმნელი კერების მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალი, დაზუსტებულია, რომ მდგრადობის განმსაზღვრელ ძირითად ფაქტორს კლიმატური, ტექნოგენური, კერაში განლაგებული ქანების გამოფიტვა წარმოადგენს.
3. ღვარცოფებზე შემხვედრი წინააღმდეგობების მდგრადობის შეფასების მიზნით შემოთავაზებულია დაუმყარებელი არათანაბარი მოძრაობის მოდელი დიფერენციალური განტოლების სახით, რომელიც ითვალისწინებს კალაპოტის, როგორც პრიზმატულობის ისე არაპრიზმატულობის შემთხვევებს ცვლადი და მუდმივი ხარჯის დროს. განხილულია ღვარცოფის მოძრაობის რეჟიმების სხვადასხვა მდგომარეობის საანგარიშო პარამეტრები და ღვარცოფული მასის მოძრაობის რეჟიმების ცვლილების განმსაზღვრელი კრიტერიუმები.
4. ღვარცოფის მრავალკომპონენტურობის გათვალისწინებით შედგენილია ეროზიული კერიდან ტალღის მოძრაობის დაწყების და მდგრადობის რღვევის მათემატიკური მოდელი. მიღებულია ტალღის ზედაპირის და ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულებები. ბმულობის გათვალისწინებით შეფასებულია ეროზიული კერიდან ღვარცოფის

დაძვრის და უძრაობის პირობები. ტალღის ჩამოყალიბების შემთხვევაში დადგენილია, რომ ნაკადის სიჩქარე 3-ჯერ ნაკლებია ტალღის მოძრაობის სიჩქარესთან შედარებით.

5. ღვარცოფის მასის ნაკადად ჩამოყალიბების შეფასების, კრიტერიუმად მიღებულია მოდელი, რომლის საფუძველზეც დაძვრას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე კერის სიღრმის 0,9 ნაწილზე ნაკლებია. დადგენილია, რომ ღვარცოფის რეინოლდსის რიცხვი გაცილებით ჭარბობს ნიუტონური სითხეების ანალოგიურ მაჩვენებლებს და ბმულობისა და შინაგანი ხახუნის შემცირების შემთხვევაში ამ მაჩვენებელს ჰიპერბოლური სახე აქვს.
6. პრიზმატული სადინარებისათვის ნაკადით გამოწვეული დეფორმაციულობის გათვალისწინებით გამოყვანილია სხვადასხვა დინამიკური ზემოქმედების საანგარიშო ფორმულა.
7. ერთგანზომილებიანი დაუმყარებელი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებასა და კვეთის ენერგიაზე დაყრდნობით ნაკადის მოძრაობის რეჟიმებიდან გამომდინარე შეფასებულია ღვარცოფთა კრიტიკული მდგომარეობა. გამოყვანილია კრიტიკული მდგომარეობის განმსაზღვრელი პარამეტრების, კერძოდ სიღრმის, ქანობის, სიჩქარის ხარჯის მოდულის, საანგარიშო დამოკიდებულებები კალაპოტის კონფიგურაციის გათვალისწინებით.
8. დაუმყარებელი მოძრაობის განტოლების გამოყენებით მიღებულია დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, როგორც ტალღის ფრონტის ისე საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობის შემთხვევაში.
9. მიღებულია ღვარცოფის ტალღის გავრცელების სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულება და დადგენილია, რომ ღვარცოფში ტალღის გავრცელების სიჩქარე წყალთან შედარებით მცირდება და მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა 7-ჯერ ნაკლებია.

გამოქვეყნებულ შრომათა სია

1. ცანავა ლ., დადიანი ქ. ბუნებრივი სტიქიები მდ. არაგვის ღვარცოფულ შენაკადებზე. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2007 წ. გვ. 201-207;
2. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И., Дадияни К. Определение высоты обратной волны повышения селевого потока при его воздействии на поперечную глухую преграду. Журн. "Экологические системы и приборы", №9, 2008, стр. 60-62;
3. Диаконидзе Р., Хубулава И., Дадияни К. Кикнадзе Х., Лордкипанидзе Ф.Н., Наврозашвили М.З. Изменение климата планеты и гидроэкологические проблемы окружающей среды. Ж. «Экологические системы и приборы». Москва, 2008, №11, стр. 67-69;
4. T. Katsarava, Sh. Kupreishvili, P. Sichinava, K.Dadiani. Hydromechanical model of catastrophic surface runoff discharge based on rheological parameters. GWMI-80, International Symposium "Floods and modern methods of control measures". 23-28 September, 2009. Tbilisi, Georgia, p.p. 224-232;
5. თევზაძე თ., შავლაყაძე მ., დადიანი ქ. ბუნებრივ-ტექნოგენური კომპლექსების და საინჟინრო ნაგებობების ადაპტაციის პრობლემები გლობალური დათბობის პირობებში. სსიპ ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტომი XVII, 2010 წ.;
6. Потери напора по длине в гиперконцентрированных наносами селевых потоках при абстрактно равномерном режиме. Труды Институт водного хозяйства Грузии, Тбилиси, 2010, стр. 191-192, Натишвили О., Тевзадзе В.
7. Натишвили О., Тевзадзе В., Чарбадзе З. Дадияни К.О. нормативных документах в области селеведения. Труды Институт водного хозяйства Грузии, Тбилиси, 2010, №65; ст.193-198;
8. Дадияни К. Антропогенные причины наводнений. Сборник научных трудов Института водного хозяйства Грузинского технического университета 2012, №67, стр. 40-44;
9. დიაკონიძე რ., ხარაიშვილი ო., ჭარბაძე ზ., დადიანი ქ., ნიბლაძე ნ., სუხიშვილი ნ., ლორთქიფანიძე ფ. ატასტროფებით გამოწვეული მოსალოდნელი ეკოლოგიური პრობლემების სენსიტიურობისა და რისკების შეფასების კრიტერიუმების დამუშავება, მათი გამოყენება აღნიშნული პრობლემების პრევენციისათვის (საქართველო). საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №69, 2014 წ., გვ. 78-83;
10. Natishvili O., Charbadze Z., Dadiani K., Nibladze N. Numerical calculation of uneven traffic flow of hyper-concentrated sediment loaded mudflow with variable expenditures along its traffic. 4th International scientific and technical conference "Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction" September 27-30, 2014. Dedicated to

- the 85 anniversary of the water management institute;
11. Charbadze Z., Dadiani K., Sukhishvili N., Diakonidze B. Formation of conference/subsequent mudflows in erosion spots. VII International Scientific and Technical Conference “Modern Problems of Water Management, environmental Protection, Architecture and Construction”, August 25-27, 2017 p.p.24-26;
 12. ფანჩულიძე ჯ., დიაკონიძე რ., ჭარბაძე ზ., შავლაყაძე მ., დადიანი ქ., ნიბლაძე ნ., დიაკონიძე ბ., ხარაიშვილი ნ. წყლის საანგარიშო უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების განსაზღვრის მეთოდოლოგია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. №73, 2018 წ., გვ. 90-94;
 13. ჭარბაძე ზ., დადიანი ქ., ნიბლაძე ნ., დიაკონიძე ბ. მდ. რიონის ღვარცოფული ხასიათის ძირითადი წყალსადინარები და მათი მთავარი პარამეტრები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №73, 2018 წ. გვ. 103-111;
 14. კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი გ., ირემაშვილი ი., დადიანი ქ., მაისაია ლ., კიკნაძე ხ. მათემატიკური მოდელი ღვარცოფის ენერგეტიკული მახასიათებლების შეფასებისათვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №74, 2019 წ., გვ. 100-107;
 15. Вартанов М.В., Кечхошвили И.М., Бераия Н.П., Дадияни К.З. Шогирадзе М.Х. Количественная оценка влияния орошения на эффективность сельскохозяйственного производства. Wschodnio europejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) №10(50), 2019, pp. 9-13;
 16. კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი გ., ირემაშვილი ი., ბერაია ნ., დადიანი ქ., კიკნაძე ხ., მაისაია ლ. წყალსაცავების კვების წყაროთა ჰიდროლოგიური მახასიათებლები და მათი როლი წყლის ინტეგრირებულ მართვაში. საქართველოს სოფლის მეურნეობის აკადემია, სამეცნიერო-პრაქტიკული ინტერნეტ კონფერენცია, „საქართველოს აგროსაინჟინრო სექტორის სტაბილიზაციისა და განვითარების პრიორიტეტები კორონავირუსის პანდემიისა და მის შემდგომ პერიოდში“, 17-18 სექტემბერი, 2020 წ., თბილისი, გვ. 149-159;
 17. Вартанов М.В., Кечхошвили И.М., Дадияни К.З. Бераия Н.П., Кикнадзе Х.Л., Маисаиа 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, стр. 3-7;
 18. Dadiani K. Determination of Cohesive Mudflow Strength and Expenditure, Znanstvena misel journal Slovenska cesta 8, 1000 Ljubljana, Slovenia p.p. 18-21 2021, #61 <https://en.calameo.com/read/005985138f85fb49ef07e>.

Resume

The impact of the flood on the environment is presented globally and causes great damage to the ecological balance.

The analysis of the hydrographic network in the catchment basins reveals the high energy potential of the channels with debris flow character; Peculiarities of change of formed debris flow regimes, movement of fixed debris flows through the variable cross-section ducts and disruption of bed stability on transport sections in terms of strength; Impact of counter resistance on formed debris flows; Formation of the free-surface wave nature of the moving flow in cases of movement through the variable cross-section in transit sections; Possibilities of both slow and abrupt change of flow stability with counter resistance in ducts.

Based on the studies of flow sustainability and impacts on the constructions, using innovative models, mathematical models were selected to comprehensively describe the formation, movement in the duct and the impact on counter obstacles, the methodology for calculating flood processes was specified, namely:

Based on the marginal origin model and using different variants of sustainability determinants, equilibrium and stability defining criteria were established by selecting appropriate inequalities; Based on the laws of ground mechanics and using analogs of models for the determination of variable flow rates in hydraulics, innovative dependencies on the free surface area and propagation length of the wave formed as a result of the disruption of the debris flow equilibrium from the heart are obtained; In order to evaluate the calculation parameters of the unsteady uneven motion in the debris flow duct, behavior, stability change, energetic impact on the counter resistance, and to derive the calculation dependencies in connection with rheology, a mathematical model of motion in the form of differential equation is compiled. With some simplifications and on the basis of the assumption, computational relationships are derived to address individual sustainability;

In case of debris flow movement in the duct in connection with the change of the hydraulic regime, the inequalities of the criteria for the determination of the

stability loss are estimated based on the regimes equilibrium state in the determination of the potential for sustainability disruption and increased transport capacity. The possibilities of changing the cross-sectional energy of the flow in relation to the critical condition are evaluated;

Based on the criterion inequality of the change of regimes and the kinematics of the debris flow, the critical state of the debris flow is evaluated and the computational relationships of the conditioning parameters in relation to the forms of the canal bed are derived;

Based on the analysis of differential equations, a system of innovative differential equations of unequal motion is obtained by considering rheology. Approximate integration methods used to solve the equation; In relation to the movement time function and using the method of determinants of the system of equations, differential equations of direct and reverse wave are obtained;

Influenced by the oncoming contradictions, the assessment of the debris flow anxiety zone is carried out based on the theories of stretching-compression of the materials. The calculated dependence of the wave propagation velocity through its debris flow mass is obtained;

Completely new types of computational dependence of the unstable debris flow parameters during motion in the form of wave in connection with rheology are related.