

პაატა სიჭინავა

რესურსმზოგი ნაპირდამცავი ნაგებობები

თბილისი
2011

ნაშრომში ლაბორატორიული კვლევების სტანდარტული და მოდიფიცირებული მეთოდების, ნატურული და ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შესწავლილია წყალდენების კალაპოტში მიმდინარე პროცესებზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები. შემოთავაზებულია არაგამრეცი სიჩქარეების საანგარიშო დამოკიდებულებები. წყალდენების ნატანის ტრანსპორტუნარიანობის გათვალისწინებით და კალაპოტის ჰიდრაულიკური და მორფომეტრული მახასიათებლის მხედველობაში მიღებით მოცემულია მდინარეთა ჰიდროტექნიკური კლასიფიკაცია, წყალდიდობებით მოსალოდნელი გართულებების პროგნოზი და გარემოსდაცვითი ღონისძიებების სახეები.

წყალდენების კალაპოტების რეგულირების არსებული ტრადიციული მიდგომების ანალიზის, ბუნებაში მიმდინარე შეუქცევადი პროცესების, არაგანახლებადი ენერგეტიკული და მატერიალური რესურსების ინტენსიური კლებისა და გარემოს ეკოსისტემებზე მზარდი ტექნოგენური ზემოქმედების გათვალისწინებით შექმნილია ჰიდროკვანძების ზედა ბიეფის მარეგულირებელი (მდ. რიონზე, ქ. ფოთთან არსებული ჰიდროკვანძის მაგალითზე), წყალდენების ფსკერისა და ფერდების დეფორმაციების, ხეების ეროზიული პროცესების, სანაპირო ზონების ტალღური ზემოქმედებისაგან დამცავი ახალი ენერგო და რესურსმზოგი, ეკოლოგიურად უსაფრთხო საინჟინრო ნაგებობები და მოწყობილობები, რომელთა სიახლის პრიორიტეტი დაცულია საავტორო მოწოდებით.

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ წარმოდგენილ ნაგებობათა მუშაობის საიმედოობა, მათი გარემოსთან შერწყმის უნარი, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის სიმარტივე და ეკონომიურობა საშუალებას იძლევა შენარჩუნებულ იქნეს წყალდენების მდგრადი კალაპოტები, დაცული იყოს მდინარეების, წყალსაცავების, ზღვის სანაპირო ზოლის რეცხვადი ნაპირები და მიწის რესურსები, მათზე განლაგებული სხვადასხვა დანიშნულების სასიცოცხლო ობიექტები.

ნაშრომი გათვალისწინებულია ჰიდრომელიორატორების, ინჟინერ-ეკოლოგების, ჰიდროტექნიკოსების, ჰიდროლოგების, შესაბამისი და მონათესავე პროფილის პროფესიული სწავლების, ბაკალავრების, მაგისტრების დოქტორანტებისათვის.

რედაქტორი: ედუარდ კუხალაშვილი

რეცენზენტები: გივი გაგარდაშვილი

თეიმურაზ ქაცარავა

ზურაბ ლობჯანიძე

© პ. სიჭინავა 2011

მონოგრაფია იბეჭდება აიპ საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის, აგროსაინჟინრო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს რეკომენდაციით

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

როგორც ცნობილია, ეკოსისტემების წონასწორობის ჰარმონიულობის ღრვევას პირველ რიგში თვით ბუნებაში მიმდინარე სტიქიური ხასიათის მოვლენები განაპირობებს, რომელთა შორის ყურადღებას იპყრობს ტროპიკული წვიმები, წყალდიდობები, წყალმოვარდნები, ციკლონები, მეწყერული, ეროზიული პროცესები, ხანძრები, მიწისძვრები, ცუნამი და სხვ. მათი გავლენა გარემოზე ხშირად კატასტროფულია, ინგრევა მდინარეებისა და წყალსაცავების ნაპირები, იკარგება ათეულ ათასობით მაღალნაყოფიერი მიწის და ტყის მასივები, იტბორება მჭიდროდ დასახლებული ტერიტორიები, სახალხო მეურნეობის სხვადასვა დანიშნულების ობიექტები, რაც ნეგატიურად მოქმედებს წყლის და მიწის არსებულ რესურსებზე იწვევს მის საგრძნობ შემცირებას, დაბინძურებას, ნიადაგის ნაყოფიერი ფენის მწყობრიდან გამოსვლას, ხშირად ადგილი აქვს ადამიანებისა და სხვა ცოცხალი არსებების მსხვერპლს. საკითხი მნიშვნელოვანია იმ თვალსაზრისითაც, რომ ყველაზე ნაყოფიერი მიწების, სარწყავი თუ დამშრობი მელიორაციული სისტემების, სატრანსპორტო კომუნიკაციების და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების უდიდესი ნაწილი განლაგებულია დიდი, საშუალო თუ მცირე მდინარეების, წყალსაცავების ტბების და ზღვის სანაპიროების ზოლში და განიცდის სტიქიური მოვლენების უმძიმეს ზემოქმედებას წყალდიდობებით, წყალმოვარდნებით, ღვარცოფული გამონატანით, თოვლის ზვაკებით და ქარიშხლებით გამოწვეული ტალღური ზემოქმედების სახით.

თავი I.

საკითხის შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა

1.1 მდინარის (წყალდენის) კალაპოტის შემადგენელი ბმული და არაბმული გრუნტების ძირითადი მახასიათებლები

მდინარის წყალშემკრები აუზების, მისი ფერდობების, ხეობებისა და კალაპოტის ეროზიულ-ღვარცოფული მოვლენებისაგან დასაცავად საჭირო ყველა სახეობის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტება და მშენებლობა დამოკიდებულია წყალშემკრები აუზის გეომორფოლოგიურ, ჰიდრო-მორფომეტრულ, ჰიდრაულიკურ და სხვა ისეთ მნიშვნელოვან მახასიათებელთა დადგენაზე, რომლებიც უშუალოდ განაპირობებს ზემოხსენებულ პრობლემებს. მათ რიცხვს, თავისი მნიშვნელობით, განეკუთვნება მდინეთა წყალშემკრები აუზის წყალდენების კალაპოტებში განვითარებული ნიადაგ-გრუნტების ხასიათი, მისი მდგრადობა ეროზიული პროცესების მიმართ, მათი გამრეცხი წყლის ნაკადის სიჩქარის დადგენა და სხვ.

მდინარის კალაპოტის დეფორმაციული პროცესების განვითარებაში დიდ როლს ასრულებს ფხვიერი ნატანი მასალის მოცულობა, რომელიც წარმოიქმნება ბუნებაში მიმდინარე ეროზიული პროცესების შედეგად (გამოფიტვა, დენუდაცია, დაღეკვა და სხვ.) ზოგადი განხილვის შემთხვევაში ზემოაღნიშნული ფხვიერი მასალა შეიძლება დახასიათდეს საერთო სახელით – არაბმული გრუნტი. მხოლოდ სითხესთან შეწონილ (ტენიან) მდგომარეობაში მცირდება ნაწილაკთა ხაზოვანი ზომები და ის იძენს განსაზღვრულ ბმულობას, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მის ტენიანობაზე.

არაბმული გრუნტების ძირითად მექანიკურ მახასიათებლებს, რომლებიც მოქმედებს გარეცხვის პროცესებზე, წარმოადგენს: ნაწილაკის ზომა და ფორმა, მისი მოცულობითი წონა, გრანულომეტრული შემადგენლობა და ფორიანობა.

მინერალური შემადგენლობის მიხედვით ნატანის კუთრი წონა იცვლება 2,45-დან 2,76 ტ/მ³-მდე, საშუალოდ 2,65 ტ/მ³. დიდი კუთრი წონით გამოირჩევა შლამის მარცვლები, ნაკლებით – ქვიშის.

„მსხვილი“ და „წვრილი“ მასალის ნაწილაკთა ზომების ფიზიკური საზღვარი ცვალებადია და დამოკიდებულია ქანების თვისებებზე, ნაწილაკთა წარმოქმნისა და არსებობის პირობებზე.

ქვიშისა და ხრეშის მარცვლების ფორმა, სტატისტიკური გასაშუალებით, ახლოსაა სამღერძიან ელიფსოიდთან მთავარი ღერძების სხვადასხვა თანაფარდობით. ერთი და იგივე გრუნტებში შეიძლება ერთროულად შეგვხვდეს ბრტყელი, ბირთვისებრივი,

ელიფსური ნაწილაკები და სხვა მოცულობითი ფორმები. სრულიად ბრტყელი ფორფიტები და სწორი ბირთვები წარმოადგენს ორ უკიდურეს შემთხვევას.

ფსკერის დეფორმაციული პროცესების შეფასებისას საჭიროა გაანგარიშებულ იქნეს მშრალი ნატანის მოცულობითი წონა. ამისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ფორიანობის კოეფიციენტი „n“ ან მთლიანობის კოეფიციენტი, რომელიც პროცენტებში ტოლია (1-n). ფორიანობის კოეფიციენტი შეიძლება იცვლებოდეს 0,43–1,00 შუალედში.

მთლიანობის კოეფიციენტი, ორტის მონაცემებით სხვადასხვა სახის ნატანი ნალექისათვის ხასიათდება შემდეგი სიდიდეებით:

1. ფხვიერი ლამი, დალექვიდან 5 დღის შემდეგ – 0,007–0,205%
2. გამშრალი ლამი, დალექვიდან 5 დღის შემდეგ – 0,28%
3. დანალექი ქვიშა, დალექვიდან 5 დღის შემდეგ – 0,62%
4. დანალექი ხრეში, დალექვიდან 5 დღის შემდეგ – 0,68%
5. ქვიშა-ხრეშოვანი დანალექი, დალექვიდან 5 დღის შემდეგ – 0,78%

გ. ვ. ოხოტინის მიხედვით ყველა ქვიშოვანი ფრაქციის ფორიანობის სიდიდე რთულ დამოკიდებულებაშია მინერალურ შემადგენლობასთან, ნაწილაკის დისპერსული მდგომარეობის ხარისხთან და ქვიშის სიმკვრივესთან. ყველა მგორავი ფრაქციის ფორიანობა დაახლოებით ერთნაირია და უდრის 0,36–0,38-ს.

ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორი რომელიც გავლენას ახდენს კალაპოტის რეცხვაზე, არის გრუნტის გრანულომეტრული შემადგენლობა. არაბმული გრუნტებისა და ნატანების შემადგენლობა მრავალგვარია. გრანულომეტრული შემადგენლობის ფორმირების პროცესების საკითხებზე ჩატარებული მთელი რიგი კვლევებისა გვიჩვენებს, რომ ძირითადი ფაქტორები: გამოფიტვა, გადატანა და დალექვა, იწვევს თავდაპირველი გრანულომეტრული შემადგენლობის ცვლილებას.

მდინარის ბუნებრივ ნატანების გრანულომეტრული შემადგენლობის დიდი ოდენობით მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე ვ.ნ. გონჩაროვი შემდეგ ტიპებს გამოყოფს:

1. ერთგვაროვან შემადგენლობას წარმოადგენს გრუნტები და ნატანები, რომლებიც შესდგება მხოლოდ ერთი ფრაქციისაგან;
2. სხვადასხვა ფრაქციულ შემადგენლობას წარმოადგენს სხვადასხვა ფრაქციის უწყვეტი ნარევი ყოველი მათგანის თანაბარი წილით;
3. მსხვილფრაქციული შემადგენლობა ხასიათდება ნარევიში შედარებით მსხვილი ფრაქციების სიჭარბით;
4. წვრილფრაქციული შემადგენლობა ხასიათდება წვრილი ფრაქციების

სიჭარბით;

5. საშუალო ფრაქციული შემადგენლობა, რომელშიც მთავარი წილი მოდის საშუალო ფრაქციებზე და მცირე – წვრილზე და მსხვილზე;

ნარეკთა შემადგენლობის სხვა ტიპები შედარებით იშვიათად გვხვდება. რაც უფრო მსხვილია ნაწილაკები, მით უფრო მეტ ხანს იმყოფება ისინი წატაცებისა და გადაგორების მდგომარეობაში, რის გამოც ნაწილაკები ცვდება და ღებულობს უფრო მომრგვალებულ ფორმას, ამასთან, მათი ზომები თანდათანობით მცირდება.

ექსპერიმენტულმა დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ქვიშის ფრაქციის ნაწილაკები ძალიან ნელა იშლება, რადგან მცირე ზომის ნაწილაკთა ერთმანეთთან და ფსკერთან შეჯახება „შეუძლებელი ხდება ზედაპირული დაჭიმულობის განმზიდი ძალის გამო, რომელსაც ქმნის წყლის თხელი გარსი მარცვლის გარშემო...“, ამიტომ მცირე ნაწილაკებს არასწორი ფორმა და ხორკლიანი ზედაპირი აქვს. დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ 0,2 მმ-იანი დიამეტრის კვარცი პრაქტიკულად არ ექვემდებარება მექანიკურ დაქუცმაცებას წყალში.

ნატანის სხვა მნიშვნელოვან ფიზიკურ თვისებას წარმოადგენს მისი ჰიდრაულიკური სიმსხო (ω მმ/წმ), ანუ დაღექვის სიჩქარე მშვიდ წყალში.

კავშირი წვრილი ნაწილაკების „ჰიდრაულიკურ“ და „გეომეტრიულ“ ზომებს შორის დიდი ხანია დადგენილია სტოქსის მიერ, რომელმაც მიიღო სფეროს ვარდნის სიჩქარე, ანუ ნატანის ჰიდრაულიკური სიმსხო შემდეგი განტოლების სახით:

$$\omega = \frac{2}{9} r^2 \frac{(D_1 - D_2)}{\eta} g \quad , \quad (1.1.1)$$

სადაც r – სფეროსებრი ვარდნადი ნაწილაკის რადიუსია (სმ); η – სითხის სიბლანტე; D_1 – ვარდნადი ნაწილაკის კუთრი წონა; D_2 – სითხის კუთრი წონა, რომელშიც წარმოებს ანალიზი.

სტოქსის ფორმულა თეორიულად გამოყენებულია მხოლოდ იმ ნაწილაკებისათვის, რომელთა ზომები განსაზღვრულია 0,02–0,002 მმ – ინტერვალში და ხასიათდება ძალზედ მცირე კუთრი წონით. ფორმულა ასევე მისაღებია ნაწილაკთა მოძრაობისას მეტად ბლანტ სითხეებში.

ფორმულა (1.1.1) სამართლიანია მხოლოდ რეინოლდსის რიცხვის ძალზედ მცირე მნიშვნელობებისათვის ($Re < 20$).

ნატანის ჰიდრაულიკური სიმსხოს განსაზღვრისათვის 1,5 მმ და ზემოთ საჭიროა გამოყენებულ იქნეს ფორმულა:

$$\omega = \sqrt{\frac{2g(\gamma_6 - \gamma_0)K}{1,75\gamma_0}}, \quad (1.12)$$

სადაც K – ნატანის მარცვლების საშუალო სიმსხოა;

γ_6, γ_0 – შესაბამისად, ნაწილაკისა და წყლის კუთრი წონები.

ე.ი. ტურბულენტურ არეში ω პროპორციულია კვადრატული ფეხვისა ნატანის სიმსხოდან.

მარცვლებისათვის დიამეტრით 1,5 მმ-დან 0,15 მმ-დე, ანუ წინააღმდეგობის რეჟიმის გადასვლისას ტურბულენტურიდან ლამინარულისაკენ, ჰიდრაულიკური სიმსხო ტოლია:

$$\omega = \sqrt{\frac{(\gamma_6 - \gamma_0)\beta K}{\rho\mu}} \quad (1.13)$$

სადაც β – წარმოადგენს ემპირიულ ფუნქციას, რომელიც განსაზღვრავს სიბლანტის დამადაბლებელ გავლენას მარცვლების ზომების ზრდისას 0,15 მმ-დან 1,5 მმ-მდე; ρ – სითხის სიმკვრივე; μ – სიბლანტის კოეფიციენტი.

როდესაც $Re \leq 1$, ჰიდრაულიკური სიმსხო განისაზღვრება ფორმულით

$$\omega = \frac{(\gamma_6 - \gamma_0)K^2}{24\mu} \quad (1.14)$$

1.2 არაბმული გრუნტის ნაწილაკების მდგალობის პირობები და არსებული საანგარიშო ფორმულები ნაკადის კალაპოტის კრიტიკული სიჩქარეებისათვის

მყარი ნატანის ნაწილაკები, ნაკადში მოძრაობის ხასიათიდან გამომდინარე, იყოფა შეტივნარებულ (რომელთა მოძრაობის სიჩქარე ტოლია ან ძალიან ახლოა საშუალო სიჩქარესთან) და ფსკერულად ანუ მგორავად. ეს დაყოფა, არსებითად, პირობითად უნდა ჩაითვალოს, რადგან წყლის ნაკადით ტრანსპორტირებადი ნატანი იმყოფება შეტივნარებულ მდგომარეობაში ან გადაადგილდება ფსკერზე, რაც დამოკიდებულია მყარი ნატანის ნაწილაკების სიმსხოზე, ნაკადის სიჩქარეზე [14].

ნაკადის ფსკერულ ზონაში გრივალთა წარმოშობის შედეგად ნაწილაკები შეიძლება მოხვდეს მათი გავლენის ქვეშ, რასაც შეიძლება მოჰყვეს ვერტიკალურად მიმართული იმპულსების წარმოქმნა. ეს გრივალური მოძრაობა, რომელიც განპირობებულია სიჩქარეთა სხვაობით საზღვრისპირა ფენაში, ფსკერზე ნულოვანი სიჩქარიდან, რომელიც ბუნებრივი სიჩქარის მანძილზე, რომელიც იზომება მოსაზღვრე ფენის სისქით და წარმოადგენს კალაპოტის გარეცხვის ძირითად მიზეზს.

ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების რთული სურათის გამო გაძნელებულია ნაკადის ფსკერზე მყარი ნაწილაკების გადაადგილების სიჩქარის თეორიული ანალიზი.

ამოცანის ამოხსნისას განიხილავენ აქტიური და პასიური ძალების ზღვრულ წონასწორობას.

ზოგიერთი მკვლევარის აზრით, საწყის მომენტში ხდება არა ნაწილაკთა შეჯახება, არამედ მათი ამობრუნება და გადაგორება რომელიღაც საყრდენი წერტილის მიმართ. ამოცანის ამოხსნისათვის ადგენენ განტოლებას, რომელიც ეყრდნობა ნაწილაკის რომელიღაც წერტილისათვის ნაკადის ძალით წარმოქმნილი გადამგორებელი მომენტებისა და უკუქმედი გადამგორებელი მომენტების ტოლობას.

დიდი ხნის განმავლობაში ამ საკითხის გადაწყვეტისას ნაწილაკზე მოქმედი ამწევი ძალა იგნორირებული იყო. განიხილავდნენ მხოლოდ ნაკადის მიერ ნაწილაკზე მოქმედ შუბლურ ძალებს.

მე-18 საუკუნის მეორე ნახევრიდან დაწყებული ჩნდება მრავალი დამოკიდებულება ნაკადის „კრიტიკული სიჩქარეების” განსასაზღვრად. მაგრამ ამოცანის სირთულე ისეთი მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა, რომ პირველი დამოკიდებულებები, რომელთაც პრაქტიკული მნიშვნელობა ჰქონდა გაანგარიშებებში, მხოლოდ მე-20 საუკუნის 30–40-იან წლებში გამოჩნდა. დიდი წვლილი ამ სფეროში შეიტანეს მეცნიერებმა: მ.ა. ველიკანოვმა, ი.ი. ლევიმ, ვ.ნ. გონჩაროვმა, ხოლო შემდგომ წლებში – ე.ა. ზამარინმა, ი.ვ. ეგიაზაროვმა, ც. ე. მირცხულავამ, ვ.ს. კნოროზმა, გ.ი. შამოვმა, სუნდბორგმა და სხვ. ზემოაღნიშნულ ავტორთა მიერ შესრულებული ყველა შრომა დაფუძნებულია უზარმაზარ ექსპერიმენტულ მასალაზე და სწორად ასახავს მოვლენის ფიზიკურ არსს.

ქვემოთ მოყვანილია ამ ავტორთა მიერ მიღებული ძირითადი ფორმულები კრიტიკული სიჩქარეების განსაზღვრისათვის:

1. მ.ა. ველიკანოვი

$$V_{სრ} = 3,9 \left(1 + \frac{0,0004}{d} \right)^{1/2} \sqrt{gd} \tag{1.2.1}$$

2. ვ.ნ. გონჩაროვი

$$V_{სრ} = 1,3 \cdot 3R^{0,2} \sqrt{(d + 0,0014)^{0,6}} \tag{1.2.2}$$

$$V_{\text{არ}} = \lg\left(\frac{8,8H}{d}\right) \sqrt{\frac{2g}{3,5\gamma_0}(\gamma_6 - \gamma_0)d_{\text{საშ}}} \quad (1.2.3)$$

3. ი.ი. ლევი

$$V_{\delta} = 1,4\sqrt{gd} \cdot \lg \frac{12R}{d_k}, \text{ როცა } \frac{R}{d_k} > 60 \quad (1.2.4)$$

$$V_{\delta} = 1,3\sqrt{gd} \left(0,8 + \frac{2}{3} \lg \frac{10R}{d_k}\right), \text{ როცა } 10 < \frac{R}{d_k} < 40 \quad (1.2.5)$$

4. ე. ა. ზამარინი

ა) წვრილი ხრეშისათვის (0,5 სმ-ზე ნაკლები ნაწილაკებისათვის)

$$V_{\text{არ}} = 0,95^{2+R} \sqrt{R} \quad (1.2.6)$$

ბ) საშუალო ხრეშისათვის (1 სმ-მდე სიდიდის ნაწილაკებისათვის)

$$(1.2.7)$$

გ) მსხვილი ხრეშისათვის (1,5 სმ-მდე სიდიდის ნაწილაკებისათვის)

$$V_{\text{არ}} = 1,15^{2+R} \sqrt{R} \quad (1.2.8)$$

5. ც. ე. მირცხულავა

$$V_{\text{არ.ფსკ.}} = 1,25 \sqrt{\frac{2gm}{0,44\gamma_0 n} [(\gamma_6 - \gamma_0)d + 2C_{\text{არ}}^{\text{არ}} \cdot k]} \quad (1.2.9)$$

$$V_{\text{არ.ფსკ.}} = \left(\lg \frac{8,8H}{d}\right) \sqrt{\frac{2gm}{0,44\gamma_0 n} [(\gamma_n - \gamma_0)d + 2C_{\text{არ}}^{\text{არ}} \cdot k]} \quad (1.2.10)$$

6. ვ.ს. კნოროზი

ა) კვადრატული არე ($d > 1$ მმ)

$$V_{\text{არ}} = 1,2 \cdot \lg\left(14,7 \frac{R}{d^{0,75}}\right) \sqrt{gd} \quad (1.2.11)$$

ბ) გარდამავალი არე ($1 < d < 0,25$ მმ)

$$V_{\text{არ}} = 2,5d^{0,3} \lg \frac{3,6R}{d^{1,6}} \quad (1.2.12)$$

გ) გლუვი არე ($d < 0,25$ მმ)

$$V_{\text{სწ}} = \frac{2,5d^{0,05}}{\sqrt{0,0008 + \frac{0,0060}{R^{0,25}}}} \quad (1.2.13)$$

7. გ. ნ. შამოვი

$$V_{\text{სწ}} = 1,47\sqrt{gd} \left(\frac{h}{d}\right)^{0,167} \quad (1.2.14)$$

8. ი. ვ. ეგიაზაროვი

$$V_{\text{სწ}} = \sqrt{\frac{f_0}{\lambda_0}} \sqrt{gd \left(\frac{\gamma_6}{\gamma_0} - 1\right)} \quad (1.2.15)$$

9. ბ. ი. სუდბორგი

$$V_{\text{სწ}} = 5,751g \left(\frac{30,2H}{d}\right) \sqrt{\frac{2g\delta_1\delta_2(\gamma_6 - \gamma_0)dtg}{3\gamma_0}} \quad (1.2.16)$$

სადაც δ_1 და δ_2 – კოეფიციენტებია და შესაბამისად 0,35 და 0,30 ტოლია; φ – შიდა ხახუნის კუთხე;

ფსკურისპირა ნაკადის ფენაში ნატანის მოძრაობის საწყისი პირობების განსაზღვრას მრავალი შრომა მიეძღვნა, მაგრამ მიუხედავად მათი დიდი მეცნიერული მნიშვნელობისა, არაგამრეცხი სიჩქარეების განსაზღვრის საკითხები ჯერ კიდევ შორსაა ამ საკითხის სრული გადაწყვეტისაგან.

ჩვენს მიერ ნაშრომში წარმოდგენილ ფორმულებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: $V_{\text{სწ}}$ – წყლის მოძრაობის არაგამრეცხი სიჩქარე; H – წყლის სიღრმე; d – მარცვალოთა (ნაწილაკთა) საშუალო სიმახვი, განსაზღვრული როგორც ტოლი მოცულობის სფეროს დიამეტრი; f_0 – მოძრავი კალაპოტის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი; γ_6, γ_0 – შესაბამისად, ნაწილაკისა და წყლის კუთრი წონა; μ – ჰიდრავლიკური სიმახვი; ν – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი.

მრავალი ავტორის რეკომენდაციებისა და შედეგების ანალიზიდან ჩანს, რომ არაგამრეცხი სიჩქარეების სიდიდეები გვაძლევს სხვადასხვა შედეგებს წყლისა და გრუნტის ერთი და იგივე პარამეტრებისათვის. დღემდე არ არის შემოთავაზებული ისეთი დამოკიდებულებები, რომლებშიც გათვალისწინებული იქნებოდა წვრილმარცვლოვანი ნატანის ბმულობის თვისება, ნატანის არაერთგვაროვნება და მისი

ფორმა.

1.3 წყალდენების კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების ჰიდროლოგიური და მორფომეტრიული კანონზომიერებანი

ნაკადის და კალაპოტის ურთიერთქმედებით მყარდება გარკვეული კავშირი მის ჰიდრაულიკურ და გეომეტრიულ მახასიათებლებს შორის, რამაც ასახვა ჰპოვა მეცნიერ-მკვლევართა შრომებში.

წყალდენების კალაპოტების მდგრადი ფორმების შეფასებისას მეცნიერთა დიდი ნაწილი ეფუძნება მდგრადობის თეორიის ბაზაზე მიღებულ კრიტერიულ განტოლებებს. ცხადია, წყალდენების კალაპოტების მდგრადი ფორმის შეფასების დროს საჭიროა დაცული იყოს ზღვრული წონასწორული მდგომარეობა, როგორც მის განიკვეთში, ისე სატრანზიტო უბნებზე მთლიანად.

ნატურაში კვლევების ანალიზით დადგენილია, რომ კალაპოტის ფორმის მდგრადობის ძირითადი კრიტერიუმი ე.წ. ფორმის პარამეტრითაა წარმოდგენილი და გამოხატავს ნაკადის სიგანისა და სიღრმის ურთიერთთანაფარდობას. პროცესის სირთულის გამო წყალდენების კალაპოტების მდგრადი ფორმის შეფასება თითქმის ვერ ხერხდება მექანიკის კანონებით და მოითხოვს ექსპერიმენტული და საველე-ნატურული კვლევების ჩატარებას. არაბმული გრუნტებისათვის შემოთავაზებულ იქნა მდგრადი კალაპოტების ფორმის პარამეტრის საანგარიშო დამოკიდებულება:

$$\frac{B}{h} = D \left[\frac{Q}{(GI)^{0.5}} \right]^{\frac{2x}{2.5+3x}}, \quad (1.3.1)$$

სადაც B – არის ნაკადის სიგანე მდგრად კალაპოტში; h – ნაკადის საშუალო სიღრმე მდგრად კალაპოტში; D – ჰიდრომორფოლოგიური პარამეტრი, $x = \frac{V_1 - V}{V}$;

V_1, V – საშუალო ზედაპირული და საშუალო სიჩქარეები; Q – ხარჯი, მ³/წმ; I – ფსკერის ქანობი; g – სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ². დინამიურად მდგრადი კალაპოტისათვის $x \geq \frac{1}{8}$. კერძო შემთხვევისათვის, თუ მივიღებთ, რომ , ვღებულობთ

ფ. შატბერაშვილისა და ვ. ანტროპოვსკის მიერ 1972 წელს მიღებულ ანალოგიურ შედეგებს [38].

წარმოდგენილი დამოკიდებულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ კალაპოტის ფორმის პარამეტრის რიცხობრივ სიდიდეზე დიდი გავლენას ახდენს კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის საშუალო დიამეტრი (d).

წყალდენების კალაპოტების მდგრადობის შესახებ კვლევის შემდგომი ეტაპი წარმოადგენდა მცდელობას, მიღებული ყოფილიყო კრიტერიალური განტოლება, რომლის მიხედვით შესაძლებელი იქნებოდა მთლიანი დინამიკური წონასწორობის რღვევის პირობას დადგენა შემდეგი სისტემით: ტურბულენტური ნაკადი – ერთგვაროვანი რეცხვადი კალაპოტი. აღნიშნულის მისაღწევად გამოყენებულ იქნა შედეგები, რომლებიც 1967 წელს იქნა მიღებული თ. ვოინიჩ-სიანოუენცკისა და ნ. კერესელიძის მიერ, ცნობილი მდგრადობის თეორიის დამუშავების საფუძველზე. თ. ვოინიჩ-სიანოუენცკიმ ნაკადიდან გამოყო ორი ფენა. ერთი, რომელიც ასახავდა ფსკერისპირა შრეს და გაჯერებული იყო ნატანით და მეორე, რომელიც შეიცავდა შეტივნარებულ ნატანს. ფსკერისპირა ფენა წარმოდგენილი იყო შევლოვ-ბინგამის მოდელით, რომელიც აღწერილი იყო ხენკი-ილიუშინის განტოლებით. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიღებული იყო კალაპოტის გეგმური არამდგრადობის კრიტერიალური გამოსახულება:

$$\lambda = \frac{ph}{\sqrt{3}} \cdot \frac{CM}{g} \left(1 - K \frac{M}{C}\right)^{0.5} = \lambda_1, \quad (1.3.2)$$

სადაც M – არის ბუსინესკის პარამეტრი; λ – შემფოთების რიცხვითი სიდიდე; λ_1 – შემფოთების კრიტიკული მნიშვნელობა; K – გრძივი სიჩქარის ლოგარითმული განაწილების პარამეტრი; C – შეზის კოეფიციენტი.

როცა $\lambda \leq \lambda_1$, მაშინ ნაკადის დინამიკური ღერძის გამრუდება გეგმაში არ არის მოსალოდნელი და დაცულია წყალდენების კალაპოტის სტაბილურობა, ხოლო როცა $\lambda \approx \lambda_1$ – მოსალოდნელია კალაპოტის გეგმაში რღვევის დაწყება და მეანდრის პირველადი ფორმის ჩამოყალიბება.

ს. ალტუნინის მონაცემებით, თუ $\lambda_1 = (6 \div 8)B$, მაშინ კალაპოტის გამრუდებას გეგმაში ადგილი არა აქვს, ხოლო თუ $B/h = 0,3CM/\sqrt{g}(1 - KM/C)^{0.5}$ და მხედველობაშია მიღებული, რომ $K = \sqrt{g}/XC$, $M = 23 \text{ მ}^{0.5}/\sqrt{\text{მ}}$, $g = 9,81 \text{ მ}/\sqrt{\text{მ}^2}$, $X = 0,667$, კალაპოტის ფორმის პარამეტრის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$\frac{B}{h} = 0,7C \left(1 - \frac{430}{C^2}\right)^{0.5}. \quad (1.3.3)$$

ხელოვნური წყალდენები (არხები), რომელთა კალაპოტები წარმოდგენილია

წერილქვიშოვანი გრუნტებით, როცა $C \geq 40$, მაშინ მდგრადობის ფორმის პარამეტრი $B/h \geq 24$. წარმოდგენილი შედეგი კარგ დამთხვევას იძლევა თ. ვოინიჩ-სიანოჟენცკის და ნ. კერესელიძის თეორიულ გამოკვლევებთან და საშუალებას იძლევა კალაპოტის ფორმის ზღვრული მნიშვნელობის მიხედვით ვიმსჯელოთ კალაპოტური პროცესების განვითარებაზე. გეგმაზე დიდი მიწის არხების კალაპოტის შესანარჩუნებლად, როცა ხარჯი მერყეობს $200 \div 1000$ მ³/წმ-მდე, დაცული უნდა იყოს პირობა $40 \geq B/h \geq 20$. მიღებული შედეგი საშუალებას იძლევა მოხდეს განსხვავება ხელოვნურ წყალდენებში და მდინარეებს შორის. ე. რაბკოვას მიხედვით, კალაპოტის ფორმის მახასიათებელი მდინარეებისათვის არის 40÷50-ის საზღვრებში.

როგორც მრავალი მეცნიერის მიერ შესრულებული კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, კალაპოტის მდგრადობის მახასიათებელი კრიტერიუმები, რომლებიც სხვადასხვა ფორმით ითვლისწინებს ფიზიკურ-მექანიკურ მაჩვენებლებს და აისახება კალაპოტის მორფომეტრული მაჩვენებლებში, შეიძლება გამოყენებული იყოს როგორც დიდი არხების, ისე დინამიურად მდგრადი მდინარეების კალაპოტების საპროექტო პარამეტრების დასადგენად. რეკომენდებულ საანგარიშო პარამეტრებში განმსაზღვრელი ფაქტორებად გვევლინება ნაკადის ხარჯის სიჩქარე, კალაპოტის ფარდობითი სიგანე, სიღრმე, ფიზიკურ-მექანიკურ მაჩვენებელთა კომპლექსი და ხშირად უგულებელყოფილია ადგილობრივი ზონალური ფაქტორები [9, 11]. ამის გამო აუცილებელი ხდება კალაპოტური პროცესების შესწავლა მოქმედი ცვლადი ფაქტორების მაქსიმალური გათვალისწინებით, კვლევის თანამედროვე ფიზიკური და მათემატიკური მეთოდების გამოყენებით.

თავი 2.

წყალდენების კალაპოტებში მიმდინარე პროცესები და მათი კვლევის შედეგები საველე პირობებში ჩატარებული მონიტორინგის საფუძველზე

2. 1 საველე ცდების ჩატარების მეთოდთა და კვლევის ობიექტები

საველე ცდების ჩასატარებლად კვლევის ობიექტად შერჩეულ იქნა ქ. ფოთის წყალგამყოფი კვანძი, რომელიც ექსპლუატაციაში შევიდა 1959 წელს (ნახ. 2.1.1).

წყალგამყოფი კვანძის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია კაშხალი, რომელიც შედგება რკინაბეტონის 10 ბლოკისაგან და კეტავს მდ. რიონის წყალგადამღებ ტრაქტს

ნაბადას მიმართულებით. მას გააჩნია 10 მალი სეგმენტური ტიპის ფარებით (კვეთი 4×14), საერთო სიგრძით 180 მეტრი. კაშხალთან 120° -იანი კუთხით მიერთებულია რეგულატორი, რომელიც შედგება 20 ოთხკუთხა და 4 რკინაბეტონის ბლოკისაგან სწორკუთხა ფარებით და წარმოადგენს ქალაქის არხის სათავეს, საერთო სიგრძით 80 მეტრი. კაშხლის ფლუტბეტის მთლიანი სიგრძე, პონურის ჩაუთვლელად, შეადგენს 80 მეტრს, აქედან კაშხლის ტანს და წყალსაცემს უკავია 40 მ, ხოლო რისბერმას – დანარჩენი 40 მ. წყალსაცემის ბოლოში მოთავსებულია ე.წ. „ჟურინის კონსტრუქციის“ ენერჯის ჩამქრობი, სამკუთხა ფორმის, 1,5 მეტრი სიმაღლის კბილები.

რისბერმა, ძირითადად, შესრულებულია რკინაბეტონის ფილებისაგან, ზომით $2 \times 2 \times 0,4$ მ. რაც შეეხება რეგულატორის ფლუტბეტს, მას არა აქვს ენერჯის ჩამქრობი მოწყობილობა. წყალსაცემი ნაწილიდან 20 მეტრის სიგრძეზე, არხის ფსკერზე დალაგებულია რკინაბეტონის ფილები, ხოლო შემდგომი 20 მეტრი კი დაფარულია ბეტონის ლეიბებით. წყალგამყოფი კვანძის საძირკველის ქვეშ განვითარებული გრუნტები არაერთგვაროვანია. საძირკველის ფსკერი -5,5 მ სიღრმეზე, ქვიშოვან ფენაზე დევს, რომლის საშუალო დიამეტრი $d = 0,4$ მმ, ხოლო შეჭიდულობა $C = 0,04$ კგ/სმ². შემდგომი 20-25 მეტრი უკავია მძიმე თიხნარებს, ამ ფენაში გვხვდება აგრეთვე საშუალო თიხნარები ლინზების სახით. ნაგებობის საძირკველის -11,0 მ ნიშნულზე განფენილია ტორფის 2-2,5 მეტრიანი შრე. ამგვარად, ერთის მხრივ, საძირკველის ქვემოთ მდებარე გრუნტების ნაირსახეობამ და მათმა არაადაპტაციურობამ ფიზიკურმა მახასიათებლებმა, ასევე მდინარის კალაპოტში მოსალოდნელმა რთულმა გეომორფოლოგიურმა და ჰიდროლოგიურმა პროცესებმა, ხოლო მეორე მხრივ, წყალგამყოფი კვანძის ნორმალური ექსპლუატაციისა და მის მიმართ წაყენებული მეტად მნიშვნელოვანი მოთხოვნების უზრუნველყოფამ განაპირობა, რომ წყალგამყოფ ნაგებობათა აღნიშნულ კომპლექსზე დაწესებულიყო მუდმივი მეთვალყურეობა.

დაკვირვების მასალები გვიჩვენებს, რომ კაშხლის და რეგულატორის ბლოკებმა განიცადა თანაბარი ჯდენა. შესამჩნევი გადახრის შემთხვევები არ დაფიქსირებულა. გამონაკლისი იყო კაშხლის პირველი, მე-4 და მე-10 ბლოკები. მაქსიმალურმა ჯდენამ პირველ ბლოკზე შეადგინა 67 მმ, ხოლო მე-10 ბლოკზე – 77 მმ. შემდგომში მდგომარეობა შედარებით სტაბილური გახდა. ჯდენების ძირითადი მიზეზი იყო საძირკველის ქვეშ ქვიშოვანი ფენის შეკუმშვა და ნაწილობრივ ქვიშის მექანიკური სუფოზია. რეგულატორის ბლოკებში ჯდენებმა, მე-5 ბლოკის გარდა, თანაბრად ჩაიარა. ამ ბლოკში ჯდენის სიდიდემ 70 მმ-ს მიაღწია, რაც გამოიწვია კაშხლის პირველი ბლოკსა და რეგულატორის მე-5 ბლოკს შორის სივრცის გრუნტით შევსებამ და

შესაბამისმა დატვირთვებმა. პრინციპში, პირველი 10 წლის განმავლობაში მიმდინარეობდა ნაგებობების ბლოკების თანაბარი ჯდენა. რაც შეეხება ნაგებობის ჰორიზონტალურ დეფორმაციებს, როგორც ეს დაკვირვების ანალიზმა დაადასტურა, ბლოკებს შორის ბზარების სიდიდეები არ აღემატებოდა დასაშვებ 2 მმ-ს.

ყოველივე აღნიშნული საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ნაგებობის მუშაობა, ძირითადად, მიმდინარეობდა მისი მდგრადობის სტაბილიზაციის პროცესით და ნაგებობისათვის წინასწარ დამუშავებული ექსპლუატაციის სქემის პირობების დაცვით. აღნიშნული სტაბილურობა მეტნაკლებად განპირობებული იყო რიგი ფაქტორების დროული გამოვლენით. მხედველობაში გვაქვს კაშხლისა და რეგულატორის ქვედა ბიეფში წარმოქმნილი ადგილობრივი დეფორმაციების (გამორეცხვების) დროული დაფიქსირება და საჭირო ღონისძიებების გატარება.

ჰიდროკვანძის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის თავიდანვე უდიდესი ყურადღება მიექცა მისი ბიეფების მდგომარეობის შესწავლას, როგორც ლაბორატორიული, ისე უშუალოდ ნატურაში სავსელე კვლევების ჩატარების გზით. ამის ძირითადი მიზეზი, პირველ რიგში, იყო მდინარის ფსკერზე განლაგებული, ადვილად რეცხვადი, ალუვიური წვრილი ქვიშოვანი ფრაქციებისაგან შემდგარი ფენები, რითაც ხასიათდება, საერთოდ, მდინარეების კალაპოტები დაბლობ ზონაში. სხვადასხვა რეგიონებში (ანალოგიურ პირობებში) ჩატარებული კვლევები გვიჩვენებს, რომ დაბლობ ზონებში ჰიდროტექნიკური ნაგებობების როგორც ზედა, ისე ქვედა ბიეფებში შესამჩნევი ხდება კალაპოტური პროცესების გააქტიურება ნაგებობის ექსპლუატაციაში გაშვების დღიდან და დიამეტრალურად განსხვავებულ მოვლენებთან არის დაკავშირებული (დალექვისა – ზედა ბიეფში, გამორეცხვისა – ქვედა ბიეფში), რომელთა პროგნოზირების თეორიული და ლაბორატორიული მეთოდებით, უმეტეს შემთხვევაში, არ იძლევა რეალურ სურათს. გათვალისწინებული იქნა რა მოსალოდნელი გართულებები, აღნიშნული ნაგებობის როგორც რეგულატორის, ისე კაშხლის ქვედა ბიეფში და აგრეთვე ნაგებობის ზედა ბიეფში მოსალოდნელი გართულებები, გადაწყდა ჩატარებულიყო ყოველწლიური დაკვირვებები, მდინარის კალაპოტის წინასწარ შერჩეულ მახასიათებელ კვთებში, ჰიდროკვანძის როგორც ქვედა, ისე ზედა ბიეფში, ასევე მდინარის კალაპოტის მთელ სიგრძეზე, ნაგებობის გავლენის და ქალაქის არხის ზონაში. აღნიშნული კვთები შერჩეულ იქნა მუდმივი რეპერების მოწყობით. მდინარეში ყოველი მახასიათებელი ხარჯის გავლისას ხდებოდა აღნიშნული კვთების ექოლოტირება, მათი შედარება საპროექტო და გასული წლის მონაცემებთან და მიღებული ინფორმაციის ანალიზი.

დადგინდა, რომ ჰიდროკვანძის რეგულატორის ქვედა ბიეფში გამორეცხვის

პროცესები დაიწყო ნაგებობის ექსპლუატაციაში გაშვების დღიდან და თანდათანობით ინტენსიური ხასიათი მიიღო. ეს მოვლენა ძირითადად განპირობებული იყო როგორც ადვილად რეცხვადი გრუნტების არსებობით, ისე რეგულატორის ქვედა ბიეფში ენერჯის ჩამქრობი მოწყობილობის გაუთვალისწინებლობით. პროექტის მიხედვით, რეგულატორიდან 20 მ მანძილზე, ფსკერზე დაგებულ იქნა რკინაბეტონის ბლოკები, ხოლო შემდგომ 20 მეტრზე – ბეტონის ლეიბები. პროექტის მიხედვით, რეგულატორი გაანგარიშებულია 400 მ³/წმ ხარჯის მისაღებად, ხოლო მდინარეში, მოსალოდნელი 0,1% უზრუნველყოფის ხარჯის (500 მ³/წმ) გასატარებლად. ამ ხარჯების დროს წყალსაშვის ზღურბლზე წყლის გადაღინების სიღრმე შეადგენს 5,7 მ, ხოლო ქვედა ბიეფში რისბერმაზე -5,75 მეტრს. წყლის გაშვება რეგულატორიდან ქალაქის არხში დაიწყო 1959 წლის ნოემბრიდან. ამ პერიოდში მდინარეში გადიოდა 1700 მ³/წმ წყლის ხარჯი. ქალაქის არხში რეგულატორის 8 ცენტრალური ფარიდან გაშვებულ იქნა 350-400 მ³/წმ ხარჯი, წყლის დონეების სხვაობამ ზედა და ქვედა ბიეფს შორის შეადგინა 0,15 მ. პირველი საანგარიშო წყლის ხარჯის გაშვებამ ქალაქის არხში მთლიანად დაანგრია ბეტონის ლეიბების საფარი. გარეცხვის სიღრმემ ნაგებობიდან 35-50 მეტრის სიგრძეზე შეადგინა 5-7 მ. გარეცხვის მაქსიმალურმა სიღრმემ შეადგინა 8,5 მ. ყველაზე არახელსაყრელი, რეგულატორის ქვედა ბიეფისათვის აღმოჩნდა 1963 წლის 9-12 ივლისი და 1966 წლის 6-7 ივლისი, როდესაც მდინარეში გაიარა დიდმა ხარჯებმა, 3000-3400 მ³/წმ. ამ პერიოდში ქალაქის არხში გატარებულ იქნა 380-415 მ³/წმ ხარჯი. ბიეფებს შორის წყლის დონეების სხვაობამ შეადგინა 0,30-0,50 მ, ხოლო ხვედრითმა ხარჯმა – 17 მ³/წმ. რეგულატორის ქვედა ბიეფში გარეცხვის სიღრმემ -9,70 მ-ს მიაღწია, 1967 წლის ბოლოს (29-30 დეკემბერი) ქვედა ბიეფში მდგომარეობა უფრო გართულდა, გარეცხვის სიღრმე 10 მ-მდე დავიდა და თანდათანობით მიუახლოვდა რეგულატორს. რისბერმის 40% მე-4 და მე-10 ხვრეტებს შორის ჩაინგრა. ამ მომენტისათვის მდინარეში წყლის ხარჯი 3000 მ³/წმ იყო. სწორედ ამ დროს შეიმჩნეოდა რეგულატორისა და კაშხლის ბლოკების ყველაზე დიდი ჯდენები.

პროექტის შესაბამისად, 1982-83 წლებში „კოლხიდმშენის“ მიერ შესრულდა კაშხლის ქვედა ბიეფის გამაგრება ნაყარი, დიდი გაბარიტის ნაფლეთი ქვებით, რომლის ჩაყრა განხორციელდა მეტალის შპუნტების რიგებს შორის. ამ ღონისძიების ჩატარების შედეგად მოხდა ქვედა ბიეფის გარკვეული დროით სტაბილიზაცია, მაგრამ მიგვაჩნია, რომ სასურველი შედეგი მაინც არ იქნა მიღწეული, ისე, როგორც ეს განხორციელდა რეგულატორის ქვედა ბიეფის გამაგრების დროს. ამის მიზეზი იყო მშენებლობის

წარმოების არასწორი ტექნოლოგია. პირველ შემთხვევაში გამაგრების სამუშაოები ჩატარდა რეგულატორის სრული გამოთიშვის პირობებში, სამუშაოს წარმოების დიალექსით, ხოლო მეორე შემთხვევაში – კაშხლის ქვედა ბიეფში წყლის გადინების შეუწყვეტად, მართალია წყალმცირობის დროს, მაგრამ მეტად რთულ ჰიდრაულიკურ პირობებში (3-6 მ სიღრმისა და 0,8-1,0 მ/წ ნაკადის საშუალო სიჩქარეების შემთხვევაში). ყოველივე აღნიშნული არ იძლეოდა საშუალებას გამაგრება ჩატარებული პროექტით გათვალისწინებული პარამეტრების სრული დაცვით. 1984-90 წლების გადაღებებმა და მათ ურთიერთშედარებამ გვიჩვენა, რომ ფსკერის სტაბილიზაცია არ არის მიღწეული სასურველი საიმედოობით. შეიმჩნევა ფსკერის ჩაღრმავება გამაგრების ზონაში და მაქსიმალური სიღრმეების ნელი ტემპით გადაადგილება კაშხლის რისბერმის მიმართულებით. ასე მაგალითად, 1990 წლის მონაცემებით 3-3 მახასიათებელ კვეთში დაფიქსირებულია ფსკერის ნიშნული -5,6 მ სიღრმეზე, 5-5 კვეთში – -6,3 მ სიღრმეზე, ხოლო 8-8 კვეთში კი -6,8 მ ნიშნულამდე. ანალოგიური სურათი იყო მიღებული 1991-92 წლების მონაცემებითაც, რაც იმას მიუთითებდა, რომ გამორეცხვის პროცესმა შეიძლება უფრო ინტენსიური ხასიათი მიიღოს დიდი ხარჯების ქვედა ბიეფში გატარების დროს ან კაშხლის ფარების არასწორი მანევრირების შემთხვევაში.

აღნიშნული საკვებით დადასტურდა ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევებით, რომლებიც ჩატარდა 2009-2011 წლებში, მთელი შეიდწლიანი შესვენების შემდეგ. ექსპლოატირებით მახასიათებელი კვეთების გადაღებამ კაშხლის ქვედა ბიეფში დააფიქსირა მთელი რიგი ცვლილებები. ასე, მაგალითად: მე-4, მე-5, მე-6 და მე-7 ბურჯების გასწვრივ საკმაოდ დაზიანებულია რისბერმა, რის შედეგად მისი საპროექტო სიგრძე 40 მ-დან შემცირებულია 10-20 მ-მდე, ხოლო დაზიანებული ნაწილის შემდეგ ჩამოყალიბებულია გარეცხვის 6-8 მ-ის სიღრმის ორმო. განმეორებითმა საკონტროლო გადაღებებმა, რომელშიც, ჩვენი თხოვნით, მონაწილეობდნენ მოწვეული სპეციალისტებიც, დადასტურა აღნიშნული.

ზონდირებამ გვიჩვენა, რომ რისბერმის დეფორმირებულ ზონაში ფსკერის გარკვეული ნაწილი შედგება მყარი საფარისაგან, რომლის ზედაპირის ზოგიერთი ადგილი დაფარულია მცირე, 0,5-1 მ ქვიშა-ლამით, ნაწილი ქვით, ხოლო ნაწილი საერთოდ დაუცველია. აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ქვედა ბიეფში, რისბერმის განლაგების ზონაში განვითარდა მოსალოდნელი ადგილობრივი გამორეცხვების, რამაც გამოიწვია რისბერმის რკინაბეტონის ფილების ჩაფენა, დეფორმირება და ზოგიერთ ადგილას ერთმანეთისაგან დაშორება. ამაზე მიუთითებს მახასიათებელი განივი კვეთების პარამეტრებიც, რომლებიც გაცილებით

2.2 წყალდენების კალაპოტებში განვითარებული ჰიდროლოგიური და გეომორფოლოგიური პროცესები, მათი გავლენა გარემოზე

მდინარეთა ჰიდროგრაფიული ქსელის ზონაში განლაგებული მიწის რესურსების დაცვას და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას განსაკუთრებული როლი ენიჭება ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკურ აღმავლობაში. პირველად საქართველოს ისტორიაში ამ საკითხმა ასახვა ჰპოვა კანონში წყლის შესახებ, რაც იურიდიული ბაზაა იმ ორგანიზაციებისათვის, რომლებიც წყლით სარგებლობას ეწევიან. ეს კანონი აღსანიშნავია იმითაც, რომ მასში განხილულია წყლის მავნე ზემოქმედების აცილების და ლიკვიდაციის საკითხები.

ჰიდრაულიკური და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ცვლილებების გავლენა კალაპოტურ დეფორმაციებზე და თვით კალაპოტების მდგრადობის საკითხები პროცესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე, ვრცლად არის გაშუქებული სამეცნიერო შრომებში [1, 2].

მდგრადი კალაპოტების გეომეტრიული და ნაკადის ჰიდრაულიკური ელემენტების დასადგენად გამოყენებულია სხვადასხვა მიდგომები და მეთოდები, კერძოდ, წამტაცი ძალების, ჰიდრომორფომეტრული განტოლებების, არაგამრეცი სიჩქარეების და სხვ., რომლებშიც კალაპოტების მდგრადობა სტატიკური და დინამიკური ფორმებით არის წარმოდგენილი.

წამტაცი ძალის მეთოდით წყალდენების ჰიდრაულიკური გაანგარიშებისას დგინდება მაქსიმალურად დასაშვები (არაგამრეცი) სიჩქარეების შესაბამისი მხები ძაბვები, რომელთა განსაზღვრა, ძირითადად, ხდება ემპირიული დამოკიდებულებებით. კალაპოტის ზედაპირზე მოქმედი მხები ძაბვების სიდიდეების დასადგენად გამოყენებულია აგრეთვე მიახლოებითი მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ნაკადის ელემენტარული მონაკვეთის მოცულობის წონასწორობის პირობას, სადაც ხდება ვერტიკალურ სიბრტყეზე მხები მოქმედი ძაბვების უგულველყოფა, რომლითაც შემოსაზღვრულია თვით ეს ელემენტარული მონაკვეთი და ამასთან, შემოდებულია ვერტიკალური და ნორმალური სიღრმეების ცნებები. ასეთი დაშვებები კალაპოტის ცენტრალური ნაწილში იწვევს მხები ძაბვების გადიდებას, ხოლო კალაპოტის ფერდებზე პირიქით, ხდება ამ მახასიათებლის 25-30%-ით შემცირება.

აქედან გამომდინარე, მდგრადი კალაპოტის ფორმა შეიძლება გამოისახოს კოსინუსოიდით, წარმტაცი ძალის განაწილება კალაპოტის ცოცხალ კვეთში შეფასდეს სითხის სიღრმის ცვლადებადობით კვეთის სიგანეზე, ხოლო მდგრადი კალაპოტის

ფორმა დახასიათდეს ფერდობის ბუნებრივი დახრილობის კუთხიდან გამომდინარე. წყალდენების იმ უბნებზე, სადაც შენარჩუნებულია კალაპოტის მდგრადი ფორმა, ნატურული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთგავლენის შედეგად მყარდება გარკვეული კავშირი ჰიდრაულიკურ პარამეტრებსა, წყალდენის კალაპოტის გეომეტრიულ და ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს შორის [40, 41, 42]. აღნიშნული კავშირები ზემოაღნიშნულ მახასიათებლებს შორის ჰიდრომორფომეტრიული დამოკიდებულებებით არის აღწერილი.

ზემოთ დასახელებულ მეთოდებს შორის ყურადღებას იპყრობს გამოკვლევები, რომლებიც ოპტიმალურად მდგრადი ფორმის შეფასების თეორიულ მოსაზრებებს ეყრდნობა [15, 16, 17, 21, 24].

თეორიული ხასიათის შრომები შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად მიმართულებად: პირველი, რომლებიც მიღებულია აგრეგატის (გრუნტის) ნაწილაკის ზღვრული წონასწორობის პირობებიდან გამომდინარე, და მეორე, რომლებიც ვარიაციული მეთოდების გამოყენებასთან არის დაკავშირებული. .

ამჟამად ლიტერატურაში და რეკომენდაციებში დიდი ადგილი უკავია ემპირიულ და ნახევრად ემპირიულ ფორმულებს, რომლებიც ერთმანეთთან ნაკადის ჰიდრაულიკურ მახასიათებლებს და კალაპოტის გრუნტის მახასიათებლებს აკავშირებს.

ჩატარებული კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ არაბმული გრუნტების გარეცხვის საანგარიშოდ არსებობს უამრავი მიდგომა და საანგარიშო ფორმულა, ხოლო ბმული გრუნტებისათვის ანალოგიური კვლევები შედარებით ნაკლებია. პირველი რეკომენდაციები ბმული გრუნტების მდგრადობის შეფასებისათვის დამუშავებული იყო შრომებში, სადაც დადასტურებულია ბმული გრუნტების მექანიკური სიმტკიცე წყლის ეროზიულ ზემოქმედებაზე, მათი ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლების გავლენა გამრეცხ სიჩქარეებზე [19].

ამრიგად, მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების მასალები კიდევ ერთხელ მიგვითითებს იმ ფაქტზე, რომ წყალდენების კალაპოტების მდგრადობის და სტაბილიზაციის ამოცანა მეტად რთული და მრავალფაქტორიანია, პროცესი მიმდინარეობს სხვადასხვა ლითოლოგიურ და კლიმატური პირობების ფონზე და მოვლენების პროგნოზირება თითქმის შეუძლებელია.

აკადემიკოსმა ც. მირცხულავამ თავის თეორიულ, ლაბორატორიულ და ნატურაში ჩატარებული უნიკალური კვლევების საფუძველზე [18] შექმნილი დაემუშავებინა უფრო საიმედო და რეალური მიდგომები აღნიშნული პრობლემების გადასაწყვეტად, დაუკავშირა რა ერთმანეთს ნაწილაკების ზღვრული მდგომარეობა, ბმული და

არაბმული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური და სხვა მახასიათებლები და დაამუშავა მათი განსაზღვრისა და შეფასების მეთოდოლოგია. აღნიშნულმა მეთოდმა მალე მოიპოვა პოპულარობა და მის საფუძველზე შეიქმნა ახალი ერთიანი სამშენებლო ნორმები და რეკომენდაციები.

წყალდენების კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების განვითარებას ერთ-ერთ მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს იმ გრუნტების მახასიათებლები, რომლებიც განაღებენ შედგება მისი ფსკერი და ფერდები. უმეტეს შემთხვევაში წყალდენების კალაპოტები შედგენილია არაბმული გრუნტებისაგან, ე.ი. შეჭიდულობის ძალის გარეშე (ქვიშები, ქვადორღი და ა.შ.), რაც წარმოქმნილია გამოქარვის, დენუდაციის და ამოფრქვეული და დაღეკილი ქანების ეროზიის შედეგად. მათი სიმკვრივე $2500 \div 2800$ კგ/მ³-ის ფარგლებში შეიძლება მერყეობდეს, ფორიანობა კი დამოკიდებულია გრუნტის შემადგენელი ცალკეული ნაწილაკების (მარცვლების) წყობაზე. თუ მივიღებთ, რომ მარცვლებს სფეროს ფორმა აქვს და ისინი იმყოფება ფხვიერ მდგომარეობაში, მაშინ ფორიანობა შეიძლება იცვლებოდეს $47 \div 48\%$ -ის ფარგლებში, ხოლო მკვრივი წყობის შემთხვევაში კი შეადგენს $25,8\%$ -ს. ქვიშის ფორიანობა ბუნებრივ პირობებში მერყეობს 28-დან 35%-მდე.

არაბმული გრუნტების შემადგენელი ნაწილაკების და ნატანის ფორმის დასახასიათებლად ლიტერატურაში ცნობილია სხვადასხვა მორფომეტრული კრიტერიუმები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მარცვლის მორფოლოგიურ მახასიათებლებს დიდი როლი ენიჭება კალაპოტების მდგრადობის ჰიდროდინამიკური პროცესების განვითარებაში [4].

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი, რომელიც განაპირობებს ნაკადის გარეცხვის უნარიანობას, წარმოადგენს არაბმული გრუნტების გრანულომეტრული შემადგენლობა. გრუნტების ერთგვაროვნობის შესაფასებლად ფართოდ იყენებენ ე.წ. არაერთგვაროვნობის კოეფიციენტს $K = d_{95} / d_5 \leq 5$, სადაც d_{95} და d_5 არის იმ ნაწილაკების დიამეტრი, რომლებიც შედის გრუნტის შემადგენლობაში, შესაბამისად, მთლიანი მასის 95 და 5 პროცენტში.

ქვიშიანი შემადგენლობის გრუნტების გარდა, წყალდენების კალაპოტების ფორმირებაში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია თიხიან გრუნტებს, რომლებშიც თიხების ნაწილაკების გარდა გარკვეული ნაწილი უკავია ქვიშიან და მასზე უფრო წვრილფრაქციული შემადგენლობის მტვრისებურ ნაწილაკებს.

მინერალური შემადგენლობით თიხოვანი ქანები უმეტეს შემთხვევაში პოლიმინერალიზებულია. მათი შემადგენლობა სამი სხვადასხვა ჯგუფის მინერალებით ხასიათდება: ა) თიხოვანი – კაოლინური, ჰიდროქსარები, მონტმორინოლიტები; ბ)

ნამსხვრევი მთის ქანები (ქვიშოვან-მტვრისებრი ფრაქციები); გ) აუტოგენური ქანგეულები და ჰიდროქანგეულები რკინის და რკინის მანგანუმის კარბონატის სახით და ა.შ.

თიხოვანი ქანების სიმკვრივე საშუალოდ 2700÷2780 კგ/მ³ ფარგლებში მერყეობს, ხვედრითი წონა – 1350÷1900 კგ/მ³, ტენიანობა – 5-დან 100%-მდე. ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს თიხოვანი ქანებისათვის წარმოადგენს მათი პლასტიკურობა, რომელიც გამოიყენება თიხების გრანულომეტრული კლასიფიკაციისათვის. არსებული სამშენებლო ნორმებით პლასტიკურობის მიხედვით თიხები დაყოფილია ქვიშა-თიხნარად (0,01÷0,07 მმ), თიხნარებად (0,07÷0,17 მმ) და 0,17 მმ-ზე მეტი დიამეტრის ფრაქციებად. თიხოვან გრუნტებში ნაწილაკებს შორის კონტაქტი ხორციელდება ჰიდრატ-კოლოიდური აფსკის მეშვეობით, რომელიც ხასიათდება გარკვეული სიბლანტით და მექანიკური სიმტკიცით.

მრავალწლიანი გამოკვლევებით დამუშავებულია თეორია, რომლითაც ახსნილია თიხოვან ნიადაგებში შეჭიდულობის ფიზიკური არსი [12, 13]. აღნიშნული თეორიის მიხედვით შეჭიდულობა თიხოვან ქანებში ცალკეულ ნაწილაკებს შორის განპირობებულია მათ შორის საკუთარი ძალოვანი ველის არსებობით (ადსორბცია). თიხოვანი გრუნტების შეჭიდულობა განხილულია დიფერენცირებულად, როგორც ჯამი პირველადი და მეორადი შეჭიდულობებისა:

$$C = C_n + C_y, \tag{2.2.1}$$

სადაც პირველადი შეჭიდულობა წარმოადგენს შეჭიდულობის ნაწილს, რომელიც წარმოქმნილია მოლეკულური ძალებისაგან, ხოლო მეორადი შეჭიდულობა მიღებულია გრუნტის ცემენტაციის შედეგად, სხვადასხვა ქიმიური შემადგენლობით. ამრიგად, შეჭიდულობა არსებითად დამოკიდებულია თიხოვანი ქანების შემადგენლობაზე და მათში არსებულ სხვადასხვა ნაერთებზე. დისპერსულობის ზრდასთან ერთად იზრდება შეჭიდულობის ფაქტორი. ამრიგად, გრუნტების ნაწილაკების წინააღმდეგობის უნარი, იყოს მედეგი ყოველგვარი გადაადგილების მიმართ, წარმოადგენს მათი სიმტკიცის ძირითად მახასიათებელ სიდიდეს და უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება ჰიდროტექნიკური თუ სხვა სახის მშენებლობებისათვის. შეჭიდულობის სიდიდე C და გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხე γ ის ძირითადი ფაქტორებია, რომელთა მეშვეობით განისაზღვრება სხვადასხვა სახის ნაგებობის საძირკვლებში მათი სიმტკიცე და დგინდება გრუნტების წინაღობა სითხის ნაკადის გარეცხვის მიმართ.

როდესაც ხდება გრუნტების თიხის სახეობიდან ქვიშნარში გადასვლა, ერთნაირი კონსისტენციის პირობებში, მათი შიდა ხახუნის კუთხე იზრდება, ხოლო შეჭიდულობის

ძალა მცირდება. თიხოვანი გრუნტების შეჭიდულობის სიდიდე, ცდების საფუძველზე, შეიძლება მიახლოებით იქნეს გაანგარიშებულია ერთდერძა შეკუმშვის პირობებისათვის, რომლის დროს მიღებულია, რომ $C = 0,5\sigma_{შკა}$, სადაც $\sigma_{შკა}$ არის ერთდერძა კუმშვის დროს გრუნტის სიმტკიცის ზღვრული მნიშვნელობა.

წყალდენების შემთხვევაში კალაპოტის ნაკადის ბმული გრუნტების აგრეგატებზე დინამიური ზემოქმედების დასადგენად საჭიროა ვიცოდეთ მათი ნორმატიული წინაღობის ზღვრული მნიშვნელობა სიმტკიცეზე, რომელთა დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ შესაბამისი სამშენებლო ნორმებითა და წესებით.

2.3. კალაპოტური პროცესების შეფასება და კლასიფიკაცია საველე-ექსპერიმენტული მონიტორინგის საფუძველზე

ბუნებრივად ჩამოყალიბებული წყალდენების კალაპოტების ნორმალური ფუნქციონირება ძირითადად მდინარის წყალშემკრები აუზის მახასიათებლებზეა დამოკიდებული. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მდინარეების კალაპოტების მიმართ მთავარ მოთხოვნად შეიძლება ჩაითვალოს სატრანზიტო ხარჯების გასატარებლად მათი მზადყოფნა. ცნობილია, რომ ბუნებრივ წყალდენებში ნაკადის დინების მთელი ზონა დაყოფილია მაღალმთიან, მთის, მთისწინა, დაბლობ და ქვედა დინების ზონებად.

ყოველი ცალკეული უბნისათვის დამახასიათებელია კალაპოტური პროცესების განსხვავებული და მათი დინების დინამიკური დერძის გადაადგილების თავისებურებანი. მთისა და მთისწინა ზონებში მდინარეები ხასიათდება ნატანის ტრანსპორტუნარიანობის დიდი შესაძლებლობებით და დინამიკური დერძის სტაბილურობით.

კალაპოტის მდგრადი ფორმის ჩამოყალიბებაში მდინარის შესაძლებლობების გამოვლენის შესასწავლად მიზანშეწონილია განხორციელდეს იმ კალაპოტების კვლევები, რომლებიც თვით მდინარის მიერ ყალიბდება. ზემოაღნიშნული პროცესის სრული სურათი შეესაბამება საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულ კოლხეთის მდინარეებს.

ჰიდრო მორფოლოგიური მიდგომებით კალაპოტების ფორმების დადგენა და კალაპოტური პროცესების შესწავლა გარკვეულ დადებით შედეგს იძლევა კალაპოტების დარეგულირებასთან დაკავშირებული საკითხების გადაწყვეტისას. კალაპოტების განმასხვავებელი ფორმები განსაკუთრებით ალუვიურ ქანებში არსებული წყალდენებისათვის არის დამახასიათებელი.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით ვისარგებლეთ ცნობილ მკვლევართა მიდგომებით, რომლის საფუძველზე გამოვლენილ იქნა სხვადასხვა სახის სპეციფიკურობები და დადგინდა კოლხეთის მდინარეთა შემდეგი ტიპები:

1. მოხეტიალე – რომლისთვისაც დამახასიათებელია დიდი რაოდენობის ფსკერული და შეტივნარებული ნაკადის ტრანსპორტირება, დიდი გრძივი ქანობები და ნაკადის სიჩქარეები, ხასიათდება ცვალებადი ფსკერითა და ნაპირებით, კალაპოტის მრავალტოტიანობით, ნაკადის სიღრმის შეფარდება სიგანესთან 1-ზე ნაკლებია, კალაპოტწარმომქმნელი ნატანის გადაადგილება ძირითადად წარმოებს ქვიშიანი ბარხანული კვლების სახით;

2. მენდრული – რომლისთვისაც დამახასიათებელია ზომიერი რაოდენობის ფსკერული ნატანის ტრანსპორტირება, დაურეგულირებელი წყლის რეჟიმი, გეგმაში წყალდენი ხასიათდება კლაკნილობით, კალაპოტს გააჩნია შედარებით სწორი და დამრეცი ნაპირები, ჭალაში შეიმჩნევა ძველი ნაკალაპოტარი ადგილები.

სხვადასხვა დროს გადაღებული კოლხეთის დაბლობის 1:10000 მასშტაბის რუკების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა დაფიქსირებულიყო დაბლობზე არსებული წყალდენების კალაპოტების მახასიათებელი უბნები და მათში განივი დეფორმაციების დინამიკა მრავალწლიან პერიოდში, კალაპოტების მოხაზულობა, ჭალის რელიეფი, შეზღუდული და მოხეტიალე საზღვრები. დაფიქსირდა, რომ თავისუფალი მენდრირება დამახასიათებელია კოლხეთის დაბლობზე გამდინარე წყალდენების უმეტესობისათვის (მდინარეები: მოქვა, დალიძვა, ენგური, ხობი, სუფსა, რიონი თავისი შენაკადებით, ცივი, ტეხურა, აბაშა, ნოღელა). შედარებით ყველაზე დიდი სიგრძის თავისუფალი მენდრირების უბნები გააჩნია მდ. რიონს სამტრედია-ფოთის მონაკვეთის 80 კმ სიგრძეზე, ხოლო ხობისწყალს და სუფსას – 40 კმ სიგრძეზე. ეს მდინარეები ხასიათდება ძლიერ მენდრირებული კალაპოტით. კლაკნილობის კოეფიციენტი მენდრირებადი კალაპოტების მქონე წყალდენებისათვის შეადგენს: მდ. რიონისათვის – 1,71; მდ. ტეხურისათვის – 1,87; მდ. ხობისათვის – 1,98; მდ. აბაშისათვის – 1,65, ხოლო მდ. ცივისათვის – 1,59. კოლხეთის წყალდენებისათვის დამახასიათებელია თავისუფალი მენდრირების უნარი და გარკვეული კანონზომიერებანი: ა) ნაკადი გამოიმუშავებს ისეთ ფორმებს, რომლებსაც გააჩნია გარკვეული წრიული მოხაზულობა; ბ) კლაკნილობის გადაადგილება ხდება დინების მიმართულებით და ინარჩუნებს თავის წინანდელ ფორმას გეგმაში; ვ) კლაკნილობის მოხვევის კუთხე იზრდება, ხოლო მათი გადაადგილების სიჩქარე (ცოცვა) კლებულობს ან საერთოდ ქრება, ცალკეული კლაკნილი იღებს მარყუჟის ფორმას; გ) მოპირდაპირე ნაპირის გარეცხვის შედეგად

ხდება მარყუჟის ყელის გარღვევა და კალაპოტის ბუნებრივი გასწორხაზოვნება; ჩნდება მდინარის ნაკალაპოტარი უბანი.

გამომდინარე, წყალდენების ჰიდროლოგიური რეჟიმისა, კალაპოტის ფსკერისა და ნაპირების შემადგენელი გრუნტების გრანულომეტრული შემადგენლობიდან, მეანდრების წარმოქმნა და მათი შემდგომი განვითარების პროცესები სხვადასხვანაირად მიმდინარეობს. აღნიშნულ მოვლენაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს როგორც კალაპოტის ქანობი, ისე ჭალის რელიეფის მახასიათებლები. საკვლევ რეგიონში გვხვდება მდინარეები მოხეტიალე კალაპოტით (ნახ. 2.3.1) და სტაბილური დინამიკური ღერძით (ნახ. 2.3.2). სურათები მიღებულია აეროფოტოგადაღებებით.

მოხეტიალე და მრავალტოტიანი კალაპოტები დამახასიათებელია კოლხეთის ყველა მდინარისათვის (კოდორი, ენგური, რიონი). ნატურაში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე 2.3.1 ცხრილში მოყვანილია კოლხეთის ძირითადი წყალდენების კალაპოტური პროცესების განმსაზღვრელი პარამეტრები. აღნიშნული სიდიდეების და ანალოგიურ პირობებში, სხვადასხვა გეოგრაფიულ ზონებში მდებარე წყალდენების მონაცემების საფუძველზე აგებულ იქნა მრუდი (ნახ. 2.3.3), რომელიც ანალიტიკურად ჩაწერილ იქნა შემდეგი სახით:

$$I_{კრ} = \frac{0,003d}{Q_e^{0,30}} \quad (2.3.1)$$

აღნიშნული დამოკიდებულება მიგვითითებს, რომ თუ წყალდენის ქანობი ნაკლებია $I_{კრ}$ -ზე (კრიტიკულ ქანობზე), მაშინ ადგილი აქვს წყალდენის კლაკნილობას (მეანდრირებას), ხოლო როცა იგი აღემატება ზღვრულ კრიტიკულ მნიშვნელობას, შეიმჩნევა დინამიკური ღერძის არაკანონზომიერი ცვალებადობა სატრანსპორტო უბანზე და როცა $I = I_{კრ}$, მოსალოდნელია ორივე სახის კალაპოტური პროცესების განვითარება.

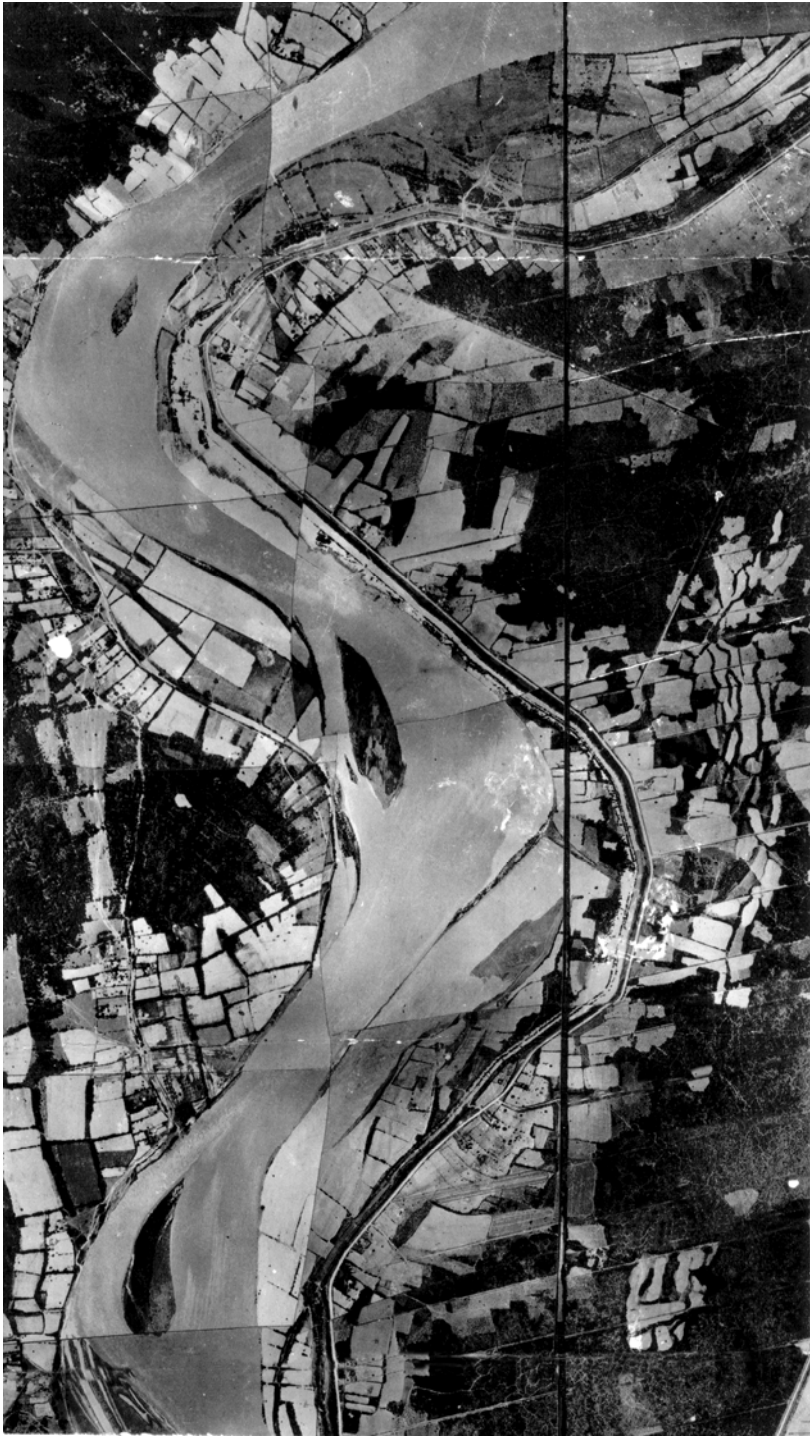
ცხრილი 2.3.1

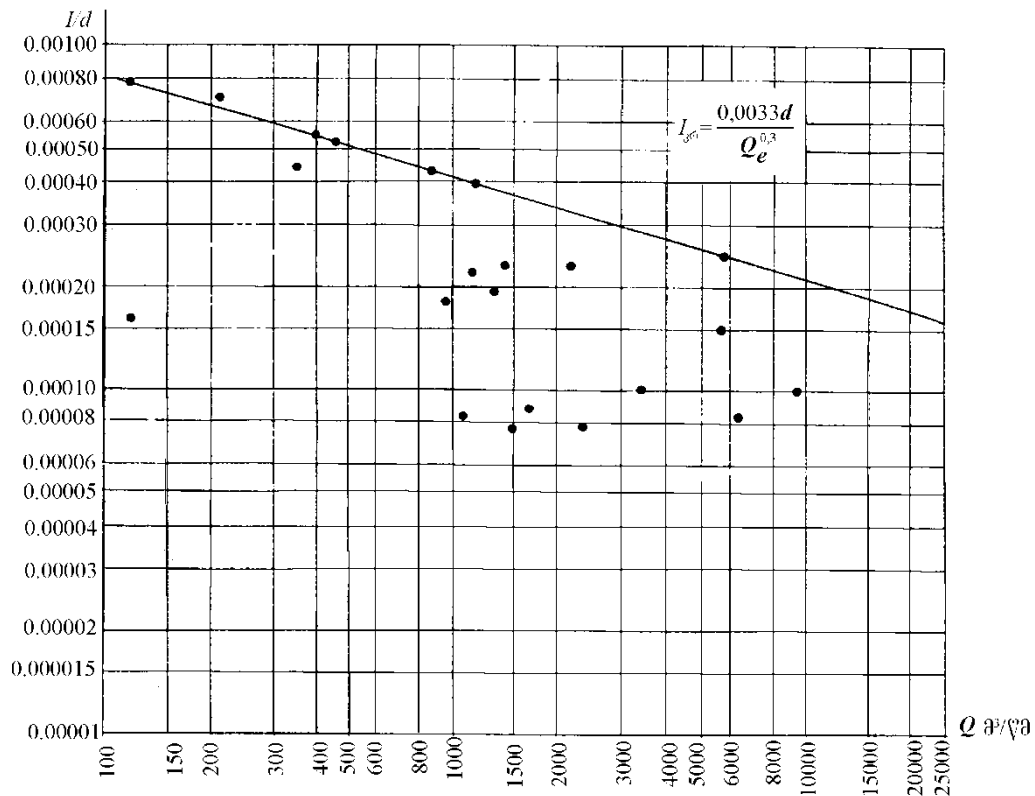
№	წყალდენის და უბნის დასახელება	ნატურის მონაცემები			$\frac{I}{d}$
		ხარჯი მ ³ /წმ	ფსკერული ნატანის საშუალო სიმაღლე \bar{d}	ქანობი I	

1.	ლიონი – საქონაკიძესთან	1200	0,5	0,00020	0,00400
2.	ტეხური – სენაკთან	450	0,9	0,00042	0,00047
3.	ხობი – ხობთან	350	0,8	0,00035	0,00044
4.	აბაშა – აბაშასთან	206	1,1	0,00078	0,00070
5.	ცივი – სენაკთან	118	1,5	0,00106	0,00078
6.	ქალაქის არხი – ქ. ფოთთან	400	0,4	0,00021	0,00052

კალაპოტური პროცესების მორფომეტრული მახასიათებლების შეფასების დროს (რომლის მიხედვითაც უნდა დადგინდეს ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დეფორმაციების სახეები და ინტენსივობა), საჭიროა ისეთი გეომეტრიული პარამეტრების ცოდნაც, როგორცაა კალაპოტის სიგანე და სიმაღლე, მოხვეულობის პარამეტრები, მუხრის ბიჯი და სიგანე. ცნობილია, რომ კალაპოტის ფორმის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებლად ითვლება სიღრმისა და სიგანის ფარდობა H/B , რომლის მნიშვნელობით შეიძლება ვიმსჯელოთ კალაპოტების გეოგრაფიულ მსგავსობაზე. ფარდობითი სიღრმის გადიდება იწვევს ნაკადის ფსკერთან შესების ფართის და სინქარების ვერტიკალური მდგენელების შემცირებას, რაც გარკვეულ გაგლენას ახდენს დეფორმაციების თავისებურებაზე და ადიდებს კალაპოტის მდგრადობის მაჩვენებელს, ხოლო მისი შემცირების შემთხვევაში კი, პირიქით. ფარდობითი სიდიდე H/B არ არის მუდმივი და მისი მნიშვნელობა იზრდება ხარჯის ზრდასთან, ე.ი. ადგილი აქვს კალაპოტის გაშლას. ნახაზზე 2.3.4 წარმოდგენილია კავშირები წყალდენების ნაკადის ჰიდრაულიკურ და მორფომეტრულ მახასიათებლებს შორის.

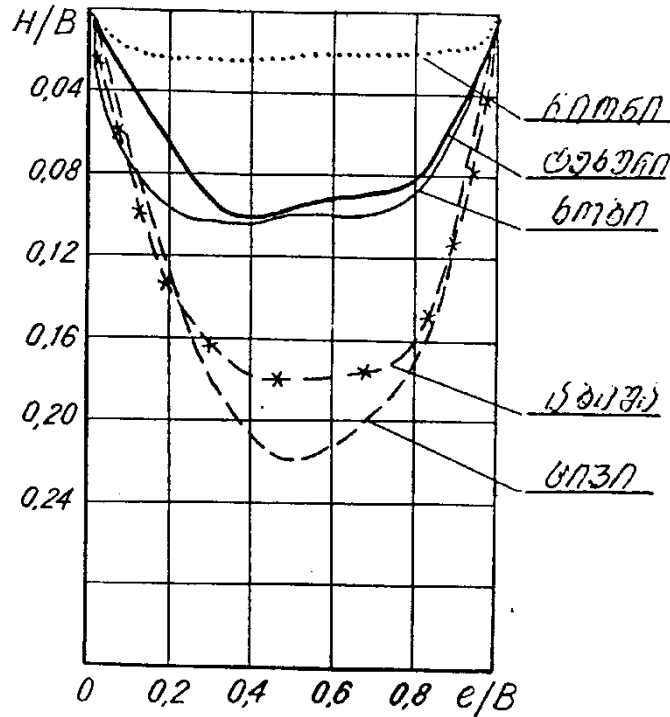






ნახ. 2.3.3. $I/d = f(Q)$

ცნობილია, რომ დაბლობის ტიპის წყალდენებისათვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მორფოლოგიურ მახასიათებელს წარმოადგენს მისი კლაკნილობა გეგმაში, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს სიმრუდის სხვადასხვა მახასიათებლები (სინუსოიდური) ან სხვა, უფრო რთული სახე. კოლხეთის მდინარეების აღნიშნული მახასიათებლის მიხედვით შესწავლამ გვიჩვენა, რომ კლაკნილობები სხვადასხვა მდინარეებისათვის არის მსგავსი და ძირითადად დამოკიდებულია მათ მორფოლოგიურ და ჰიდრაულიკურ პარამეტრებზე.



ნახ. 2.34. $H/H_{ასკ} = f(B)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

კალაპოტის ფერდების და ფსკერის ნაფენი არაბმულ გრუნტებში ფორმირდება სხვადასხვა სახის (ხრეშოვანი) მასალით, რომლისთვისაც პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობებია $K = 0,42$, $X_1 = 0,159$, $X_2 = 0,08$, $X_3 = 0,354$. რაც შეეხება B/H პარამეტრის ზღვრულ მნიშვნელობას, რომლის ზრდის შემთხვევაში კალაპოტში იწყება მისი მდგრადობის (გეგმაში) რღვევა, განისაზღვრება პირობით:

$$\frac{B}{H} \sqrt{\lambda F_z} \leq 0,45. \quad (2.3.2)$$

თავი 3.

წყალდენების კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ეკოლოგიურად უსაფრთხო ენერგო და რესურსმზოგი ღონისძიებები

3.1 კალაპოტური პროცესების მარეგულირებელი ნაგებობების კონსტრუირების პრინციპები

თანამედროვე მელიორაციის ერთ-ერთ ძირითად აქტუალურ საკითხად რჩება წყლისმიერი ეროზიის მოვლენების გაგლენის შესწავლა გარემომცველ სამყაროზე, წყლის აქტიური ზემოქმედების კანონზომიერების ანალიზი და ამ მოქმედების შედეგად

გამოწვეული პროცესების რეგულირება. პრობლემა მოიცავს არა მარტო ცალკეული გეოგრაფიულ რეგიონებს, არამედ გლობალურ ხასიათს ატარებს და ჩვენი პლანეტის მეტად მნიშვნელოვან პრობლემას შეესება.

მდინარეების ნაპირების დაცვის საკითხი კალაპოტური პროცესების რეგულირების გზით ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა უკანასკნელი ათწლეულის განმავლობაში. მეცნიერებისა და ტექნიკის სწრაფი ზრდის შედეგად შეიქმნა პროგრესული მეთოდები და რეკომენდაციები ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტებისა და მშენებლობის შემდგომი სრულყოფისათვის.

პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ წყალსაცავების საშუალებით მდინარეთა ჩამონადენის რეგულირება ყოველთვის არ წარმოადგენს საკითხის ერთადერთ ოპტიმალურ გადაწყვეტას და დღემდე წყალდიდობასთან ბრძოლის ძველ ეფექტურ ღონისძიებად რჩება მდინარეების ნაპირების გასწვრივ ნაპირდამცავი ნაგებობების მოწყობა. ამჟამად არსებული მათემატიკური მეთოდები შესაძლებლობას იძლევა ოპტიმიზაციის ამოცანისა და დინამიკური პროგრამირების გამოყენებით განვავითაროთ და გავაუმჯობესოთ წყალდიდობის საწინააღმდეგო ღონისძიებების დაპროექტების საკითხები (ტრასირება, დამბებს შორის მანძილები, სიმაღლე და გვერდების დაფერდება), მდინარის კალაპოტში მიმდინარე რთული პროცესები არ იძლევა საშუალებას ანალოგიური მიდგომა განვახორციელოთ მათი ნაპირების გამაგრების მათემატიკური მოდელის შედგენაში და ამ მიმართულებით ძიება გრძელდება. უკანასკნელი 20 წლის განმავლობაში უცხოელმა და ქართველმა ინჟინრებმა და მეცნიერებმა (ამერიკა, ბელგია, გერმანია, იაპონია, ინგლისი, რუსეთი, საფრანგეთი) შემოგვთავაზეს 250-ზე მეტი მეთოდი და რეკომენდაცია მდინარეებისა თუ არსების გამრეცხი ნაპირების სტაბილურობის შენარჩუნების მიზნით.

ბოლო წლებში ჩატარებული სავსელე დაკვირვებები [6, 7, 35] ადასტურებს, რომ კალაპოტში მიმდინარე პროცესები ინტენსიურ ხასიათს ღებულობს, რაც გამოწვეულია მათი მრავალსაუკუნოვანი რეჟიმის დარღვევით და ბუნებაში მიმდინარე გლობალური პროცესებით. ბოლო ათწლეულში გახშირებული წვიმებისა და სხვადასხვა დანიშნულებით მდინარეების აქტიური ათვისების შედეგად დაირღვა მათი ჰიდროლოგიური და ჰიდრაულიკური რეჟიმი, ფსკერული და შეტივნარებული ნატანის ტრანსპორტირების უნარი, რამაც გამოიწვია ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, დამბების, ხიდების, ნაპირდამცავი ნაგებობების საძირკვლის და ნაპირების ინტენსიური გამორეცხვა. გაიზარდა წყალდიდობების შედეგად დატბორილი ფართობები. ზემოთ ჩამოთვლილმა პრობლემებმა შექმნა აუცილებლობა, განხორციელდეს წყალდიდობების საწინააღმდეგო დიდმასშტაბიან ღონისძიებათა კომპლექსი. უკანასკნელ დროს

დაპროექტდა და აშენდა სხვადასხვა ტიპის (აქტიური და პასიური) ნაპირდამცავი ნაგებობები.

პირველი მეთოდით ნაპირების გამაგრება მოიცავს ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების ქვაყრილის დეზების, გაბიონის წყობის, ბეტონისა და ბუტო-ბეტონის კუბიკების გამოყენებას. აღნიშნული ნაგებობები აშენებულია საქართველოს მდინარეებზე: რიონზე, მტკვარზე, ენგურზე, ცხენისწყალზე, კოდორზე, ჭოროხზე და სხვ.

მეორე მეთოდით ნაპირების დაცვა ხორციელდება სხვადასხვა ტიპის სარტყლების მოწყობით ხიმინჯოვანი რიგებისაგან, მძიმე ფაშინებისაგან, ნაყარი ქვისაგან, ბეტონის და რკინაბეტონის ფილებისაგან და ა.შ. სხვადასხვა დროს აღნიშნული კონსტრუქციები აშენდა მდინარეებზე: მტკვარზე, რიონზე, ჭოროხზე, სუფსაზე და აღმოსავლეთ საქართველოს თითქმის ყველა მშრალ ხევზე.

ნაპირდამცავი ნაგებობების ექსპლუატაციის მრავალწლიანმა დაკვირვებებმა გვიჩვენა მათი არადამაკმაყოფილებელი მუშაობა. ადვილად რეცხვად გრუნტებში მძიმე ტიპის (ბეტონი, რკინაბეტონი) მონოლითური კონსტრუქციები ხასიათდება დაბალი დეფორმაციულობით, რის გამოც ირღვევა მათი მდგრადობა, ფერდებიდან ჩამოცურების შედეგად შიშვლდება დასაცავი ნაპირი, იხერება მდინარის კალაპოტი, მახინჯდება ლანდშაფტი. ასეთ შემთხვევებში მუშაობის გაცილებით მაღალი ეფექტი მოგვცა ადგილობრივი მასალებისაგან აშენებული ნაგებობების გამოყენებამ (გაბიონების წყობა, მათი საფარი, ქვა-ფიხის ნაკადმიმართველი დეზები და სხვ.).

კლასიფიკაციის შედგენის დროს გამოყენებულ იქნა ტიპური უბნები, სადაც აღწერილია კალაპოტში მიმდინარე პროცესები მის ცალკეულ მონაკვეთებზე. მდინარის ჰიდრაულიკური პარამეტრები, განსაზღვრულია გრძივი ქანობით, საშუალო სიღრმის შეფარდებით ნატანის დიამეტრთან h/d , C კოეფიციენტით, ნაკადის კინემატიკური მახასიათებლით (A), ფრუდის რიცხვით (Fr) მდინარეების კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიების ათვისებით, წყალდიდობებით გამოწვეული გართულებების და გარემოსდაცვითი ღონისძიებების ჩვენებით. თითქმის ყველა სახის ნაპირდამცავი ნაგებობის მოწყობა ძვირადღირებული ღონისძიებაა. ხასიათდება დიდი ხარჯთაღრიცხვით და დიდი შრომატევადობით, რთულია მათი მშენებლობის ტექნოლოგია. უკანასკნელ პერიოდში ტრადიციული სამშენებლო მასალების გვერდით ადგილს იკავებს არატრადიციული, ახალი ტიპის ხელოვნური, სინთეტიკური თუ პლასტიკური სახის მასალები, რომელთა გავლენა გარემოზე ნაკლებადაა შესწავლილი. არანაკლები მნიშვნელობა ენიჭება დამცველი ნაგებობის ფორმას, მის მასიურობას და

განლაგებას დასაცავი ობიექტის ზედაპირზე (კაშხლების და დამბების ფერდობები, მდინარეების ნაპირები და ფსკერი, წყალსაცავების ნაპირები, ირიგაციული და ენერგეტიკული არხების ფერდობები, ფსკერი და სხვ.) [36, 37, 38, 39]. მასიური ტიპის დამცველი ნაგებობები, ნებისმიერი ფორმის და ნებისმიერი მასალისაგან (ბეტონის და რკინაბეტონის ფილები, ნაყარი ქვა და ქვის გაბიონები, ასფალტბეტონი და სხვ.) რომლებიც ერთიანად ფარავს დასაცავი ობიექტის ზედაპირს მის ბუნებრივ მდგომარეობაში, გამანადგურებლად მოქმედებს ბიოლოგიურ გარემოზე, წყალმცენარეების ფოტოსინთეზის პროცესებზე და იხტიოფაუნის გამრავლებაზე. ხშირად მდინარეების კალაპოტებში მიმდინარეობს ინერტული მასალების მოპოვება ყოველგვარი ნორმებისა და კანონზომიერების დაცვის გარეშე.

კარიერების მოწყობა მდინარის კალაპოტში იწვევს უსწორმასწორო ტრანშეების, ორმოების გაჩენას, კალაპოტის ეროზიის ბაზისის დაწევას ბუნებრივთან შედარებით და სხვა კალაპოტური პროცესების გააქტიურებას. ქვაბულების ზედა ზონაში ვითარდება ნაპირების რეგრესული გამორეცხვები, ხოლო ქვედა ზონაში – ადგილობრივი ხასიათის დეფორმაციები, რაც, თავისთავად, გამორეცხვის საფრხეს უქმნის ხიდებს, ნაპირდამცავ ნაგებობებს და სხვა სახის ჰიდროტექნიკურ კვანძებს. განვითარებული პროცესები უარყოფითად მოქმედებს ლანდშაფტზე, ნადგურდება ფლორა და ფაუნა, არსებული ბუნებრივი რეკრაციული პოტენციალი.

ცხრილი 3.3.1

საქართველოს მდინარეების ჰიდროტექნიკური კლასიფიკაცია კალაპოტების
მახასიათებლების
და გარემოსდამცავი ღონისძიებების მიხედვით

№	მდინარეების უბნები	მდინარეების დახასიათება	კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების ძირითადი სახეები, ნატანის მოძრაობის ფორმები	კალაპოტის ჰიდრაულიკური და მდგრადობის მახასიათებლები						მდინარეების კალაპოტების მიმდებარე ტერიტორიების ათვისება	წყალდიდობებით გამოწვეული გართულებები და გარემოს დაცვითი ღონისძიებები
				5	6	7	8	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	მალაღმთიანი	ხდება მდინარის ჩასახვა, ნაკადის ფორმირება, რომლისთვის დამახასიათებელია ზემოაფრი და მთაფრი დინებები, რომლებიც შესაძლებელია ატარებდეს დვარცოფულ ხასიათსაც. მდინარეს გააჩნია ჩანჩქერები და წყალგარდნილები.	კალაპოტის ფორმასამკუთხედი, გვერდები და ფსკერი კლდოვანი, შეზღუდული, რაც ხელს უწყობს ღრმა კანიონის წარმოქმნას. კალაპოტის ფსკერს გააჩნია დიდი ქანობი, ჩახერგილია დიდი გაბარიტის კლდოვანი ლოდებით. ნაკადს მოაქვს დიდი ზომის ნატანი, მათი მოძრაობის ფორმა ძირითადად არის უსტრუქტურო თუმცა სელური მოვლენების დროს შეიძლება გააჩნდეს გარკვეული სტრუქტურა. კალაპოტში ვითარდება ვერტიკალური ეროზიული პროცესები, კალაპოტის მთელ სიგრძეზე.	0,01	1	10	1÷12	0,5	0,75	აღნიშნული უბნები წარმოადგენს ვიწრო ხეობებს, ნაკლებად ათვისებულს, თუ ათვისებულს, მთავრად მივიღებთ მხედველობაში საავტომობილო გზების ტრასებსა და ხეობის ფერდობებს, რომელიც გამოყენებულია საძოვრებად, ვიწრო კანიონი იძლევა საშუალებას მდინარის ენერგეტიკული ათვისებისთვის, კაშხლებისათვის და წყალმიმღები ნაგებობების მშენებლობისათვის	ინტენსიური წვიმებისა და თოვლის დნობის შედეგად მოსალოდნელია დვარცოფების წარმოქმნა, ფერდობებზე ეროზიული პროცესების და გზის სავალი ნაწილის ჩამორეცხვა, საჭიროა ეროზიის საწინააღმდეგო კომპლექსური ღონისძიებების გატარება, რათა შემცირდეს ჩამონადენის სიდიდე, ნაკადის სიჩქარე და ვერტიკალური ეროზიის ინტენსივობა, დასტაბილდეს კალაპოტის ფსკერი განივი სახის სხვადასხვა ტიპის ნაგებობების გამოყენებით.

ცხრილი 4.3.1

(გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.	მოიხანი	მდინარის ნაკადი იღებს ჩამოყალიბებულ ფორმას, მას გააჩნია შენაკადები უფრო დიდი ქანობებით, ვიდრე ძირითადად ნაკადს, რაც ქმნის ყველა პირობას ღვარცოფული ნაკადების წარმოშობისათვის. ძირითადი ნაკადის სიჩქარე მძაფრია ან ახლოს არის კრიტიკულთან, მდინარეს გააჩნია წყალვარდნილები.	კალაპოტი არის კლდოვანი, განსაკუთრებით ფსკერი, ჩახერგილია კლდის ნამტრეკებით, კანიონი არის უფრო გაშლილი ფერდობების დენუდაციის შედეგად. კალაპოტის ფორმები ძირითადად ოთხკუთხედი ან ნახევრად ელიფსურია, შენაკადებს კალაპოტში შემოაქვს დიდი რაოდენობით ეროზირებული მასა-ლა. იქმნება გამონატანის კონუსი უფრო მაღალ ნიშნულებში, რაც იწვევს ძირითადი კალაპოტის ჩახერგვას და ნაკადის გადაგდებას მოპირდაპირე ნაპირისაკენ. ნაკადს მოაქვს მსხვილი და კენჭოვანი საშუალო ზომის ნატანი, მათი მოძრაობის ფორმა ძირითადად უსტრუქტურია, თუმცა სელური მოვლენების განვითარების შედეგად შეიძლება გააჩნდეს სტრუქტურა. კალაპოტში ვითარდება ვერტიკალური ეროზიული პროცესები მთელ სიგრძეზე.	0,01±0,02	1-3	10÷20	1,2±0,8	0,5	0,9	აღნიშნული უბნები წარმოადგენს შედარებით გაშლილ ხეობებს, რაც მდინარის მიმდებარე ტერიტორიების სხვადასხვა დანიშნულებით ათვისების საშუალებას იძლევა. გვხვდება დასახლებული პუნქტები, სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ობიექტები, მშენებლები, საძოვრები, სავარგულები, აქაც კანიონი იძლევა მდინარის ენერგეტიკული ათვისების, კაშხლების და წყალმიმღები ნაგებობების მშენებლობის საშუალებას.	ინტენსიური წვიმებისა და თოვლის დნობის შედეგად მოსალოდნელია ღვარცოფების წარმოქმნა, განსაკუთრებით მდინარის შენაკადებში, რომლებიც დიდი ქანობის შედეგად და ეროზიული მასალის დიდი შემცველობით ხასიათდება და შეუძლია ჩაკეტოს ძირითადი კალაპოტი, რაც იწვევს გზების, ხიდების, მიმდებარე ტერიტორიების დატბორვას, წალეკვას, ნაპირების ჩამონგრევას. აუცილებელი ხდება მდინარის კალაპოტის გაწმენდა ფერდობებიდან ჩამოტანილი ნაშალი მასალისაგან, სელური გამონატანისაგან, საჭირო ხდება მდინარის ნაპირების გამაგრება, ფსკერის ბარაჟირება და ა. შ.

ცხრილი 4.3.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3.	მთის წინა უბანი	დინარე გამოდის ვიწრო ხეობიდან გაშლილზე, მისი ქანობი საგრძნობლად მცირდება, რაც იწვევს ნაკადის სინქარის გადასვლას შედარებით წყნარ მდგომარეობაში და მისი ტრანსპორტირების უნარის შემცირებას.	მდინარის კალაპოტში შეიმჩნევა ალუვიური დანალექები, რიყის ქვები, ხრეში, როგორც კალაპოტის სიგანეზე ასევე მის სიგრძეზე. დარღვეულია კალაპოტის დინამიკური წონასწორობის პირობა, შეიმჩნევა ნაკადის განტოტვა და ხეტილი, როგორც კალაპოტის სიგანეზე ასევე არსებობის პირობებში. ნატანის მოძრაობის ფორმა გარდამავალი კვალის მსგავსია. კალაპოტში ძირითადად ვითარდება ჰორიზონტალური ეროზიული პროცესები, ნაპირების გამორეცხვა, ხოლო ვერტიკალური კი უფრო ადგილობრივი ხასიათს ატარებს სხვადასხვა ნაგებობებთან (ნაპირდამცავი, ხიდის ბურჯები, ქვედა ბიეფი და ა.შ.).	0.02-0.002	3-30	20-25	0.8-0.4	0.9	1.0	მდინარის კალაპოტს გააჩნია გაშლილი ჭალა, ნაყოფიერი მიწებით, რომელიც მაქსიმალურად არის ათვისებული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებით. ამ ზონაში განლაგებულია დასახლებული პუნქტები, სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები, წყალმომარაგების და კანალიზაციის ქსელები, საკომუნიკაციო საშუალებები, რკინიგზის და საავტომობილო გზები, სასამეურნეო დანიშნულების წყალმიმღები სათავე ნაგებობები და ა.შ.	კატასტროფული წყალდიდობების შემთხვევაში აღნიშნული ტერიტორია მთლიანად ექცევა წყლის მავნე ზემოქმედების ზონაში: დატბორვა, დაჭალბება, გაბინძურება სხვადასხვა სახის ნარჩენებით, ნაპირების წარეცხვა, სხვადასხვა სახის ნაგებობების დანგრევა, საპირკვლის გამორეცხვა. აუცილებელია დარეგულირებული კალაპოტის მოწყობა, ნაპირების გამაგრება, როგორც გრძივი ისე განივი ტიპის ნაგებობებით, და ა.შ.

ცხრილი 4.3.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3.	მთის წინა უბანი	დინარე გამოდის ვიწრო ხეობიდან გაშლილზე, მისი ქანობი საგრძნობლად მცირდება, რაც იწვევს ნაკადის სინქარის გადასვლას შედარებით წყნარ მდგომარეობაში და მისი ტრანსპორტირების უნარის შემცირებას.	მდინარის კალაპოტში შეიმჩნევა ალუვიური დანალექები, რიყის ქვები, ხრეში, როგორც კალაპოტის სიგანეზე ასევე მის სიგრძეზე. დარღვეულია კალაპოტის დინამიკური წონასწორობის პირობა, შეიმჩნევა ნაკადის განტოტვა და ხეტიალი, როგორც კალაპოტის სიგანეზე ასევე სიგრძეზე ჭაღის არსებობის პირობებში. ნატანის მოძრაობის ფორმა გარდამავალი კვალის მსგავსია. კალაპოტში ძირითადად ვითარდება ჰორიზონტალური ეროზიული პროცესები, ნაპირების გამორეცხვა, ხოლო ვერტიკალური კი უფრო ადგილობრივი ხასიათს ატარებს სხვადასხვა ნაგებობებთან (ნაპირდამცავი, ხიდის ბურჯები, ქვედა ბიუფი და ა.შ.).	0.02-0.002	3-30	20-25	0.8-0.4	0.9	1.0	მდინარის კალაპოტს გააჩნია გაშლილი ჭაღა, ნაყოფიერი მიწებით, რომელიც მაქსიმალურად არის ათვისებული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებით. ამ ზონაში განლაგებულია დასახლებული პუნქტები, სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები, წყალმომარაგების და კანალიზაციის ქსელები, საკომუნიკაციო საშუალებები, რკინიგზის და საავტომობილო გზები, სასმელ-სამეურნეო დანიშნულების წყალმიღები სათავე ნაგებობები და ა.შ.	კატასტროფული წყალდიდობების შემთხვევაში აღნიშნული ტერიტორია მთლიანად ექცევა წყლის მანვე ზემოქმედების ზონაში: დატბორვა, დაჭაობება, გაბინძურება სხვადასხვა სახის ნარჩენებით, ნაპირების წარეცხვა, სხვადასხვა სახის ნაგებობების დანგრევა, საძირკვლის გამორეცხვა. აუცილებელია დარეგულირებული კალაპოტის მოწყობა, ნაპირების გამაგრება, როგორც გრძივი ისე განივი ტიპის ნაგებობებით, და ა.შ.

ცხრილი 4.3.1 (გაგრძელება)

ცხრილი 43.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.	მდინარე მთითადად მოხარობს დაბლობის (ცაკი) პირობებში, ეპრობი სატრანსპორტული, სინქრონული მდინარე	მდინარის ძირითადი მთლიანად მის ადგილზე დაწესებულია ში, წყროლი ქვიშაში. კალაპოტს განაწილავს თავისუფალი მდინარის საშუალო, ტემპში კლავნილობა, კალაპოტის შედგენა სწორი და მსუდუ უბნებისაგან შესაბამისი რაღმშევედური და თხელ წყლიანი ადგილებით. კალაპოტის ძირითადად განიცდის პოტიონტალურ ეროზიულ პროცესებს ნაპირების ტა მოტეხეთ, ხოლო ცენტრი კალაპოტის დეფორმაციებს განაწილავს თავისი ხარისხით სხვადასხვა ტიპის ნაგებობებთან.	0.001 და ნაკლები	250±1.000	45-60	0.2±0.04	1.15	1.45	მდინარის მიმდებარე ტერიტორიები მთლიანად არის ათვისებული სასოფლო-სამეურნეო სავარსებობით, მჭიდროდ არის დასახლებული, ტანაღებულია სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები, საკომუნიკაციო საშუალებები. დასავლეთ საქართველოს დიდი მდინარეების ზღვასთან მიერთების ადგილას განთავსებულია ქალაქები და ნაგებობები.	წყალდიდობების პერიოდში მდინარის ობიექტებს ემუქრება დატბორვა, საკომუნიკაციო საშუალებების მოშლასთან დაკავშირებით, მჭიდროდ არის დასახლებული, ტანაღებულია სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები, საკომუნიკაციო საშუალებები. დასავლეთ საქართველოს დიდი მდინარეების ზღვასთან მიერთების ადგილას განთავსებულია ქალაქები და ნაგებობები.	წყალდიდობების პერიოდში ობიექტებს ემუქრება დატბორვა, საკომუნიკაციო საშუალებების მოშლასთან დაკავშირებით, მჭიდროდ არის დასახლებული, ტანაღებულია სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები, საკომუნიკაციო საშუალებები. დასავლეთ საქართველოს დიდი მდინარეების ზღვასთან მიერთების ადგილას განთავსებულია ქალაქები და ნაგებობები.

მდინარეებისათვის, რომელთა კალაპოტების ფორმირების პროცესში დიდი როლი ეკუთვნის ფსკერული ნატანის არსებობას, მარეგულირებელი ნაგებობების დაპროექტების საფუძვლები უნდა ითვალისწინებდეს ნაკადის ფსკერული დინებების განსაკუთრებულობას. თანახმად ჰიდროდინამიკის კანონებისა, ნაგებობებზე გარშემოდინების კონტური ძირითადად დამოკიდებულია მის ფორმაზე და ორიენტირებაზე ნაკადის მიმართ, კალაპოტის შევიწროების (შეზღუდვის) ხარისხზე და სხვ. თავისთავად, ნაპირდამცავი და მარეგულირებელი ნაგებობების ოპტიმალური ვარიანტები მოითხოვს მათი ცალკეული ელემენტების სწორ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას. თანამედროვე ნაპირდამცავი ნაგებობების კონსტრუქციები, მათი ფორმები და ელემენტები მრავალფეროვანია. ჰიდროტექნიკური მშენებლობის მასშტაბმა, დედამიწაზე დეფიციტური სამშენებლო მასალების მარაგის და ენერგეტიკული რესურსების კატასტროფულმა კლებამ დღის წესრიგში დააყენა არსებული ტრადიციული მიდგომების სრულყოფა თანამედროვე მოთხოვნების გათვალისწინებით, რაც საშუალებას იძლევა გადაწყდეს ენერგო და მასალატევალობის საკითხები, მუშაობის საიმედოობა, მშენებლობის და ექსპლუატაციის სიმარტივე, გარემოს დაცვის მოთხოვნების მაქსიმალურად დაკმაყოფილება.

მდინარის კალაპოტის და მისი ნაპირის გარეცხვის საწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკური ნაგებობის შექმნის გამარტივებული ტექნოლოგიას წარმოადგენს ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდები: „წყალქვეშა დახრილობის დამცავი საფარის ამოყვანის მეთოდი“ (ს.მ. №1446213, 22.08.1988) და „წყალქვეშა ფერდობების გასამაგრებლად ვაკისების დაწყობის მეთოდი და მისი განხორციელებისათვის საჭირო მოწყობილობა“ (ს.მ. №1416597, 15.04.1988).

ზემოაღნიშნული პრინციპებიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა მდ. რიონზე არსებული, ფოთის რეგიონისათვის ეკონომიკურად და ტექნიკურად მეტად მნიშვნელოვანი ობიექტის, ჰიდროკვანძის დეფორმირებული რისბერმის გამაგრების რამდენიმე ვარიანტი [26, 27, 28, 29], რომელთაგან ზოგიერთს ქვემოთ წარმოგიდგენთ (ნახ. 3.1.1, 3.1.2).

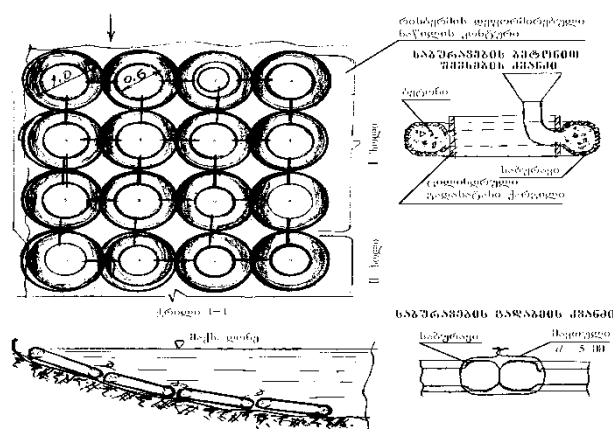
გამაგრება ბეტონით შევსებული ამორტიზირებული საბურავებით

ა) გამაგრება რისბერმის დეფორმირებულ ნაწილში

ქვედა ბიეფში რისბერმის გარეცხილი ნაწილები იფარება ერთმანეთზე გადაბმული ამორტიზირებული საბურავებით, რომლებიც წინასწარ ივსება ბეტონით (ნახ. 3.1.1). ბეტონის მოცულობა ერთ საბურავში – 0.08 მ³, საბურავის წონა – 50 კგ, საბურავის წონა ბეტონით – 230 კგ. საბურავების საერთო რაოდენობა – 2750 ცალი, ბეტონის მოცულობა – 220 მ³.

ბ) გამაგრება რისბერმის მთელ ფართობზე

გასამაგრებელი ფართი 7600 მ². საჭირო საბურავების რაოდენობა – 7 600 ცალი, ბეტონის მოცულობა – 620 მ³.



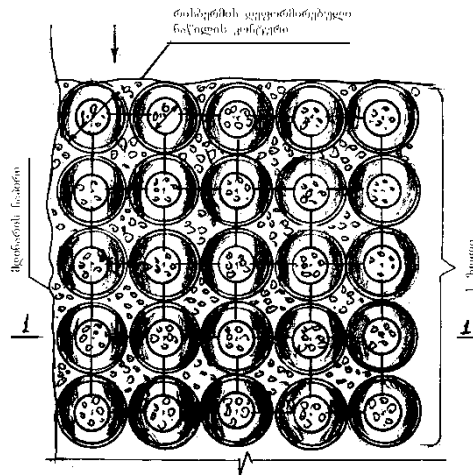
ნახ. 3.1.1. ფსკერის გამაგრება ბეტონით შევსებული ამორტიზირებული საბურავებით

1. ერთ ზოლში საბურავების მაქსიმალური რაოდენობა – 3; 2. საბურავები ბეტონით წინასწარ შეივსება სამშენებლო მოედანზე; 3. საბურავების გადაბმა ხდება მცურავ პლატფორმაზე, საიდანაც ჩაეფინება ფსკერზე. გამაგრება ამორტიზირებული საბურავებით და ქვის ნაყარით

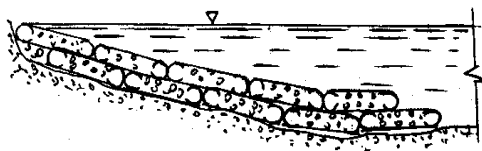
ა) გამაგრება რისბერმის დეფორმირებულ ნაწილში

ქვედა ბიუფში, რისბერმის დეფორმირებულ ნაწილში ლაგდება ერთმანეთზე გადაბმული ამორტიზირებული საბურავები. ერთი შრის დაფენის შემდეგ საბურავების და საბურავებს შორის არსებული სიცარიელები ივსება ნაყარი ქვით ($d = 100$ მმ), შემდეგ ზემოდან კეთდება საბურავების მეორე ფენა და სიცარიელები კვლავ ივსება ნაყარი ქვით (ნახ. 3.1.2), საბურავების საერთო რაოდენობა შეადგენს 5500 ცალს, ნაყარი ქვის მოცულობა ორ შრეში – 550 მ³.

ბ) გამაგრება რისბერმის მთელ ფართობზე



გასამაგრებელი ფართი 7600 მ². საჭირო საბურავების რაოდენობა – 15 200 ცალი, ნაყარი ქვის მოცულობა – 1550 მ³.



ნახ. 3.1.2. ფსკერის გამაგრება ამორტიზირებული საბურავებით და ქვის ნაყარით

ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევებით დადასტურდა, რომ აღნიშნულ მოთხოვნებს

ძირითადად აკმაყოფილებს ცილინდრული ღრუტანიანი ბლოკები ტორისებრი ფორმით (ნახ. 3.1.3). წარმოდგენილი ფორმა ეკუთვნის გარსისებურ სისტემებს, ხასიათდება წყლის და აირის გარშემოდენის საუკეთესო თვისებებით. ასეთი ფორმა საშუალებას იძლევა, რომ კონსტრუქცია იყოს თხელკედლიანი, მიიღოს ნებისმიერი შინაგანი თუ გარეგანი დატვირთვა თანაბრად და უზრუნველყოს სტატიკური

წონასწორობა. მისი ტანის გრუნტით შევსებით შესაძლებელია განხორციელდეს სხვადასხვა დანიშნულების დამცავი ნაგებობების მშენებლობა, მაგალითად: მაღალი სანაპირო კედლები, გადამკეტი ზღუდარები, კაშხლები და ნაპირების ფერდობების დამცავი პლასტიკური საფარი. ბლოკების ტანის გრუნტით შევსების შედეგად ხდება ნაგებობის გადაქცევა გრუნტ-არმირებულ კონსტრუქციად. დიდი მასშტაბით გამოიყენება მეორადი რესურსების ისეთი სახეობები, როგორცაა ამორტიზირებული რეზინის სალტეები (საბურავები), რელსები, მეტალის ბაგირები, არაკონდიციური მეტალის და რკინაბეტონის მილები და სხვ [25]. რეგიონში არსებული ეკოლოგიური წონასწორობის ფონზე, ბუნების სტიქიური თუ ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენის გათვალისწინებით, გარემოსდამცავი ნაგებობების კონსტრუირების მოდელი წარმოდგენილია სქემით 3.1.1.

სქემა 3.1.1

გარემოს დამცავი ნაგებობებისა და ღონისძიებების შერჩევის სქემა ეკოლოგიურ მოთხოვნათა გათვალისწინებით

ბლოკი I	დასაცავი ობიექტის (რეგიონის არსებული ბუნებრივი ეკოლოგიური წონასწორობის საერთო ფონი
ბლოკი II	ანთროპოგენური ფაქტორები (სოფლის მეურნეობა, მრეწველობა, წყალსამეურნეო მშენებლობანი)
ბლოკი III	დასაცავი ობიექტის (რეგიონის) არსებული ბუნებრივი ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის მიზეზები

ბუნებრივი ფაქტორები		უარყოფითი შედეგების საინფორმაციო ბანკი, სადაც მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე დამუშავდება გარემოსდაცვითი ღონისძიებების ვარიანტები	ანთროპოგენური ფაქტორები	
წყალდიდობები, წყალმოვარდნები, ქარისა და წყლისმიერი ეროზია, მეწვერული მოვლენები, ზღვების და ოკეანის მოქცევები, ციკლონები, ქარიშხლები და სხვ.			სოფლის მეურნეობა, ახალი ფართობების ათვისება, წყალსამეურნეო მშენებლობა, კარიერები, მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის მეორადი ნარჩენები	
მოსალოდნელი ეკოლოგიური ცვლილებები			მოსალოდნელი ეკოლოგიური ცვლილებები	
დადებითი	უარყოფითი		უარყოფითი	დადებითი
ფართობების დატბორვა, ბუნებრივი კოლმატაჟი, ტერიტორიის გაწყლოვანება, ფლორისა და ფაუნტის სასიცოცხლო ფუნქციის შენარჩუნება, წყლის აკუმულირება და წყალსაცავებში	მდინარეების, წყალსაცავების ნაპირების ნგრევა, სხვადასხვა ობიექტების, დასახლებული პუნქტების დატბორვა, წალეკვა, დაჭაობება, სხვადასხვა ნაგებობების წყობიდან გამოსვლა	შსამქიმიკატები, ტერიტორიის გაბინძურება, კაშხლების მიერ ფართობების დატბორვა, ქვებულების და კარიერების მოწყობა, გრუნტის წყლების დონეების მომატება	სოფლის მეურნეობის და მრეწველობის ინტენსიფიკაცია, მოსახლეობის სოციალური ეკონომიკური დონის ამაღლება, წყალსაცავებში წყალდიდობის ხარჯების დარეგულირება	

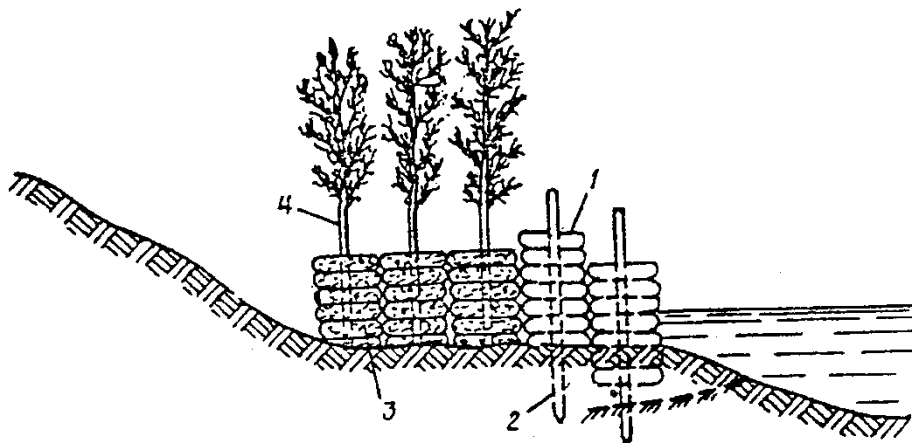
3.2 ახალი ნაპირდამცავი ნაგებობები

სანაპირო ზონების დამცავი ნაგებობები თავისი მუშაობის ხასიათით ურთულეს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს წარმოადგენს და ერთდროულად შეიძლება რამდენიმე ფუნქციასაც ასრულებდეს (მდინარეთა ნაპირების დაცვა, ეროზიული და ტალღური ზემოქმედებისაგან დაცვა და სხვ.).

დანიშნულების შესაბამისად, აღნიშნული ნაგებობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება კონსტრუქციული გადაწყვეტით.

ქვემოთ მოგვყავს ზოგიერთი მათგანის მოკლე აღწერა.

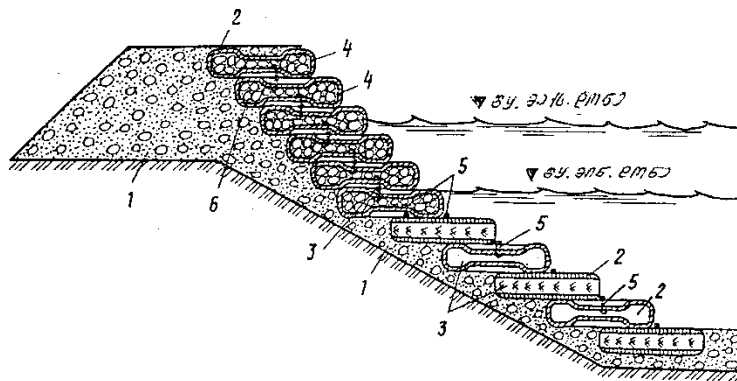
ზემოქმედებისაგან დამცავი ნაგებობა, მხოლოდ მესამე რიგის ვერტიკალურ ღრუტანიან ბლოკებში ხიმინჯები შეიცვალა მრავალწლიანი მცენარეების ნარგავებით და შეესებულება გრუნტით. აღნიშნული ნაგებობის ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტებია: ცილინდრული ან ტორისებრი ბლოკები (1), ხიმინჯები (2), ბლოკები შეესებული გრუნტით (3) და ნარგავები (4).



ნახ. 3.2.1. წყლის ეროზიული და ტალღური ზემოქმედებისაგან დამცავი კომბინირებული ნაგებობა: 1 – ღრუტანიანი ბლოკი, 2 – ხიმინჯი, 3 – ღრუტანიანი ბლოკები შემაჯსებლით, 4 – მწვანე ნარგავები

2. ნაპირდამცველი ნაგებობა

ნაგებობა (ს.მ. №1476040, ნახ. 3.2.4) წარმოადგენს მდინარის, წყალსაცავის, ზღვის, სანაპირო ზოლის დამცველ ნაგებობას. ნაგებობა მიღებულია ღრუტანიანი ცილინდრული ან ტორისებრი ბლოკების (2) კიბისებრი განლაგებით დასაცავი ნაპირის ფერდზე (1). წყლის მინიმალური ჰორიზონტის ქვემოთ ბლოკების რიგი (3) ნაწილობრივ ფარავს ერთმანეთს, რაც თავისთავად ქმნის გარკვეულ სიცარიელეს თევზის ქვირითის დასაყრელად. წყლის მინიმალური ჰორიზონტის ზემოთ ბლოკების რიგი შევსებულია ადგილობრივი გრუნტით (4) და მჭიდროდ ფარავს ერთმანეთს. ბლოკები ერთმანეთთან დაკავშირებულია (5, 7, 8) მოწყობილობებით. ტალღის ზემოქმედების შემთხვევაში გათვალისწინებულია უკუფილტრების მოწყობა.



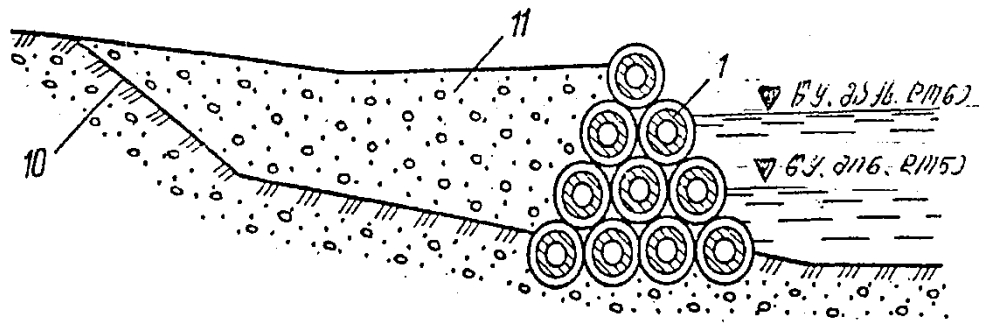
ნახ. 3.2.2. ნაპირდამცავი ნაგებობა

1 – ბლოკების კიბისებრი განლაგებით დასაცავი ნაპირის ფერდი; 2 – ღრუტანიანი ცილინდრული ბლოკები; 3 – ბლოკების რიგი წყლის მინიმალური ჰორიზონტის ქვემოთ; 4 – რიგებს შორის სიცარიელე; 5, 7, 8 – ელასტიკური დამაკავშირებელი; 6 – შემავსებელი გრუნტი.

3. გადამღობი ნაგებობის კონსტრუქცია

ნაგებობა (ს.მ. №1596024; ნახ. 3.2.5) შეიქმნა გამოყენებული იყოს როგორც სანაპირო ზოლის (მდინარეების, ტბების, ზღვის) დასაცავად, ისე სხვადასხვა დანიშნულებით. ნაგებობის ძირითად შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ელასტიკური გარსი (1), რომელიც მიღებულია ტორისებრი ღრუტანიანი ბლოკების (2) წამოგებით გულარზე (3).

ნაგებობის, როგორც ნაპირების სამაგრი კონსტრუქციის აწეობის ტექნოლოგია და საჭირო მოწყობილობები მოცემულია გამოგონების აღწერაში.



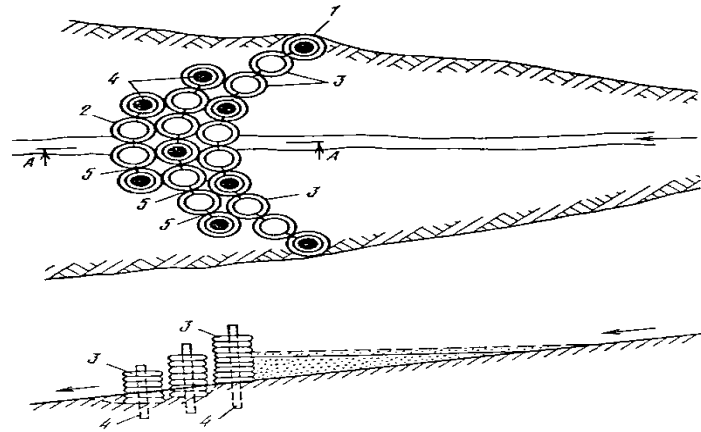
ნახ. 3.2.3. გადამღობი ნაგებობის კონსტრუქცია

1 – ელასტიკური გარსი; 2 – დრუტანიანი ბლოკები; 3 – გულარი.

3.3 ხეების ეროზიული და დვარცოფული მოვლენებისაგან დამცავი ნაგებობები

დასმული პრობლემის სფერო გარკვეულწილად მოიცავს როგორც ხეების, ასევე მდინარეების კალაპოტების მთისა და მთისწინა უბნებს, სადაც ეროზიულ პროცესებს გარკვეული სიმძაფრე გააჩნია და წარმოადგენს დვარცოფული მოვლენების განვითარების ერთ-ერთ განმსაზღვრელ ფაქტორს. ხეებში ეროზიული პროცესების და მდინარეების კალაპოტებში დვარცოფული მოვლენების დარეგულირების და გაუვნებლობის მიზნით შემოთავაზებულია ახალი განივი და გრძივი ტიპის ნაგებობების კონსტრუქციები (რომელთა დამუშავებაში ჩვენც ვმონაწილეობდით). ასეთი სახის ნაგებობების უპირატესობა არსებულთან შედარებით გამოიხატება მათ ელასტიკურობაში, მუშაობის საიმედოობაში, ეკონომიურობაში, გარემოსთან შერწყმაში, ქვედა ბიეფში მოსალოდნელი გართულების თავიდან აცილებაში, სიმაღლის თანდათანობით ტრანსფორმაციაში და მშენებლობის ტექნოლოგიების სიმარტივეში.

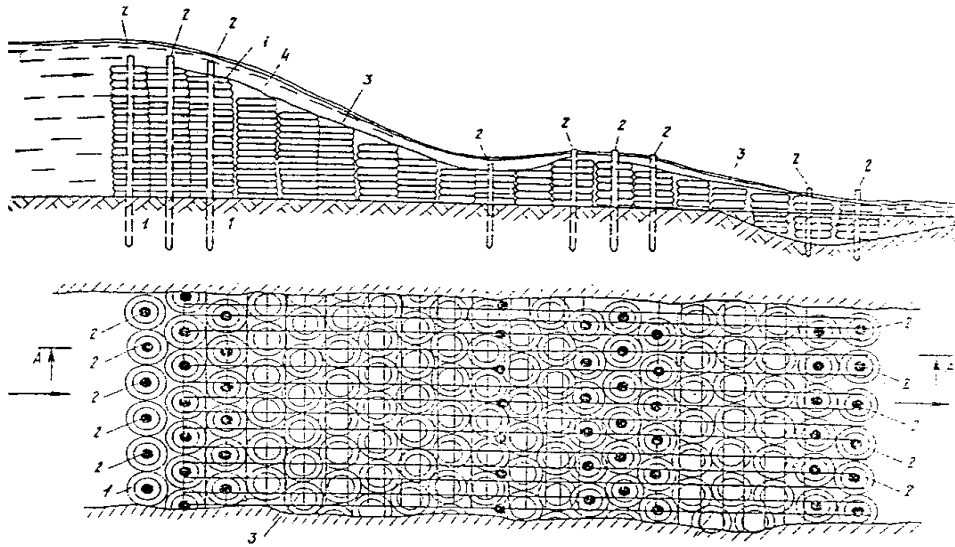
1. ხეის სარეგულაციო ნაგებობა



ნახ. 3.3.1. ხევის სარეგულაციო ნაგებობა: 1 – ელასტიკური კედელი;
2, 3 – ღრუტანიანი ბლოკები; 4 – ხიმინჯი; 6 – ელასტიკური კავშირი

ნაგებობა (ს.მ. №85931, ნახ. 3.3.1), შედგება გეგმაში თაღოვანი მოხაზულობის რამდენიმე ელასტიკური კედლისაგან (1), რომლებიც ნაკადის მოძრაობის მიმართ განლაგებულია შეზნექილი მხრიდან ერთმანეთის მიჯრით, ცვალებადი სიმაღლით ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ. კედელი შესრულებულია ცილინდრული ღრუტანიანი ბლოკებისაგან (2, 3), რომლებიც წამოგებულია ხიმინჯებზე (4), ბლოკები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ელასტიკური კავშირებით (5). კონსტრუქციის ასეთი გადაწყვეტა ნაგებობას აძლევს მდგრადობას, ხოლო მუშაობის პროცესში მაქსიმალურად ახდენს ეროზირებული მასალის კონცენტრირებას ხევის ყველაზე დაბალ კერებში, ჯერ ახდენს მის ლოკალიზაციას, ხოლო შემდგომ სრულ ლიკვიდაციას.

2. წყალსაშვიანი კაშხალი



ნახ. 3.3.2. წყალსაშვიანი კაშხალი. 1 – ღრუტანიანი ბლოკები; 2 – ხიმინჯები; 3 – ბადე; 4 – კაშხლის პროფილი.

ნაგებობა (ს.მ. №829763, ნახ. 3.3.2) შედგება ცილინდრული ღრუტანიანი ბლოკებისაგან (1), რომლებიც წამოგებულია ხიმინჯებზე (2) და ეწყობა როგორც კაშხლის დასაწყისში, ასევე მის შუა და ბოლო ნაწილში, ხოლო მათ შორის სივრცე – კაშხლის ტანი ამოვსებულია იგივე ცილინდრული ღრუტანიანი ბლოკებით, ზედაპირი კი დაფიქსირებულია ბადით (3). კაშხლის პროფილს (4) გააჩნია ქრობადი ტალღის მოხაზულობა, რაც უზრუნველყოფს კაშხლის ზღურბლზე გადადინებული წყლის მოცილებას ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ, ადგილობრივი გარეცხვებისა და ავარიების გარეშე. ასეთი კაშხლები მიზანშეწონილია აშენდეს წყალუხვ ხევებში, როცა საჭიროა როგორც ხევის ფსკერის ამაღლება, ისე ზედმეტი წყლის მოცილება ხევის ზედა ტერიტორიიდან მის ქვედა ნაწილში. ცნობილია, რომ ამ შემთხვევაში ყოველთვის არსებობს ქვედა ბიეფის ინტესიური გამორეცხვის პრობლემა.

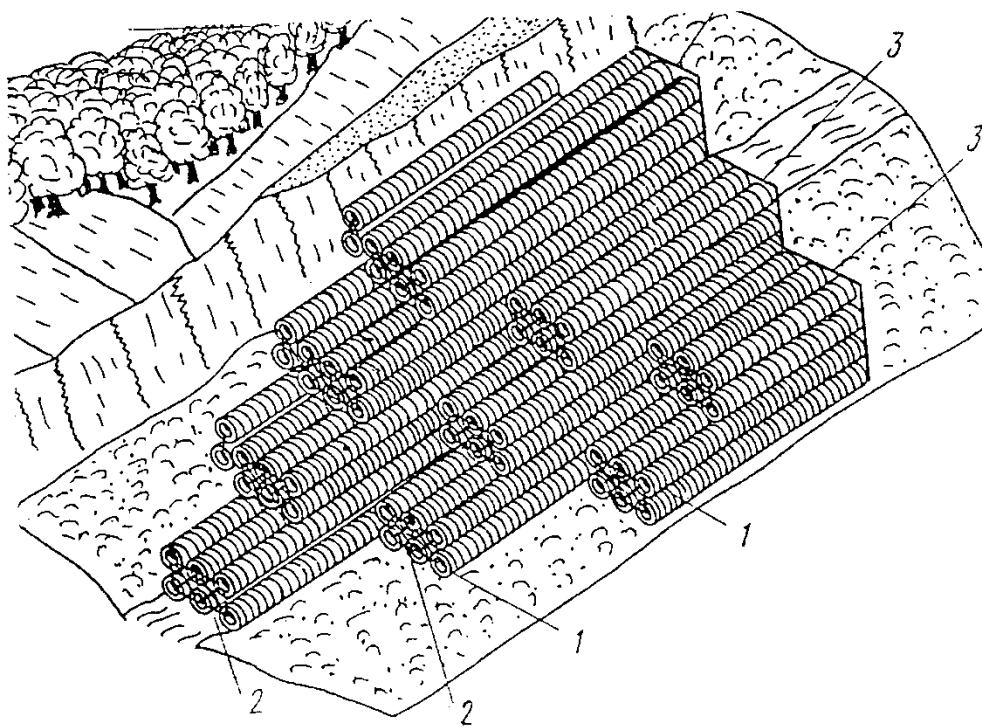
3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ელასტიკური კაშხალი

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა (ს.მ. №11081519, ნახ. 3.3.3) შედგება ცალკეული ღრუტანიანი ელემენტებისაგან (1) ცილინდრული ბლოკების სახით და შეერთებულია მოქნილი კავშირებით (2) ბლოკებად (3). ბლოკები განლაგებულია საფეხურისებრად მდინარის ნაპირებიდან დინების დინამიური ღერძისაკენ და ზედა ბიეფის მხრიდან ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით.

ნაგებობის მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: ღვარცოფული ნაკადის დინამიკური ზემოქმედების დროს ხდება მისი სტრუქტურის შრეობრივად დაყოფა და თანდათანობით დაწნევის ზრდა ნაგებობის საფეხურისებრ პროფილზე, ხოლო ღვარცოფის მასის ნაწილის გატარება ხორციელდება ღრუტანიანი ბლოკების არხებით.

ღვარცოფის მასის შრეობრივი დაყოფა ხდება ნაგებობის ზედაპირზე წყალდენის კალაპოტის ქანობის საწინააღმდეგო მიმართულებით მისი მოძრაობით და კონტაქტით ნაგებობის სხვადასხვა სიბრტყესთან. ამ დროს ნაკადი კარგავს სიჩქარეს, ენერგიას და მასის გარკვეულ ნაწილს. ღვარცოფის ნაწილი, რომელიც აღწევს ნაგებობის ზღურბლის მაქსიმალურ ნიშნულს, გადაედინება ნაგებობის ქვედა ბიეფში, ხოლო ნაწილი ვარდება ნაგებობის ზედაპირზე კალაპოტის განივი მიმართულებით, რაც ნაკადის ენერგიის საბოლოო ჩაქრობას იწვევს.

ამ ნაგებობის გამოყენებით იზრდება ნაკადის ენერგიის ჩაქრობის შესაძლებლობა, რაც ღვარცოფთან მისი საფეხურებრივი კონტაქტითა და ელასტიკურობითაა გამოწვეული, ხოლო ნაგებობის მშენებლობაზე მეორადი რესურსების გამოყენების შესაძლებლობა მნიშვნელოვნად ამცირებს მის სამშენებლო ღირებულებას.



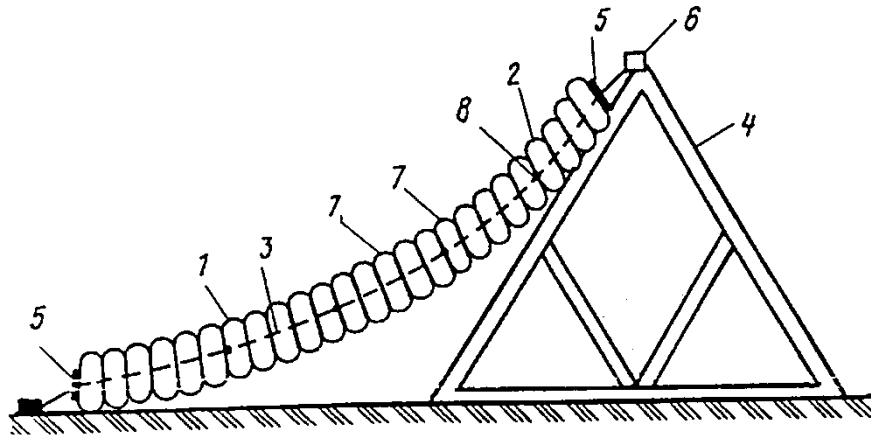
ნახ. 3.3.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ელასტიკური კაშხალი

- 1 – ღრუტანიანი ელემენტები; 2 – მოქნილი შემაერთებელი კავშირები;
3 – ღრუტანიანი ბლოკები.

4. ენერგიის ჩამქრობი ბაგირის ტიპის ზღუდარი

ენერგიის ჩამქრობი ბაგირის ტიპის ზღუდარი (ს.მ. №1335615, ნახ. 3.3.4) განკუთვნილია ხელოვნური და ბუნებრივი წყალსატევების სანაპირო ზოლის დაცვისა და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებისათვის. წარმოდგენილი ნაგებობა შეიძლება გამოყენებული იყოს, როგორც ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. ენერგიის ჩამქრობი ზღუდარი წარმოადგენს ტრამპლინის ტიპის ფარდას, რომელიც შესრულებულია გირლიანდებით (1). გირლიანდები წარმოადგენს დრეკად ელემენტებთან სისტემას (2), რომელიც ჩამოცმულია ბაგირზე.

კონსტრუქციის ეს თავისებურება საშუალებას იძლევა მისი მშენებლობა განხორციელდეს უმოკლეს ვადაში.



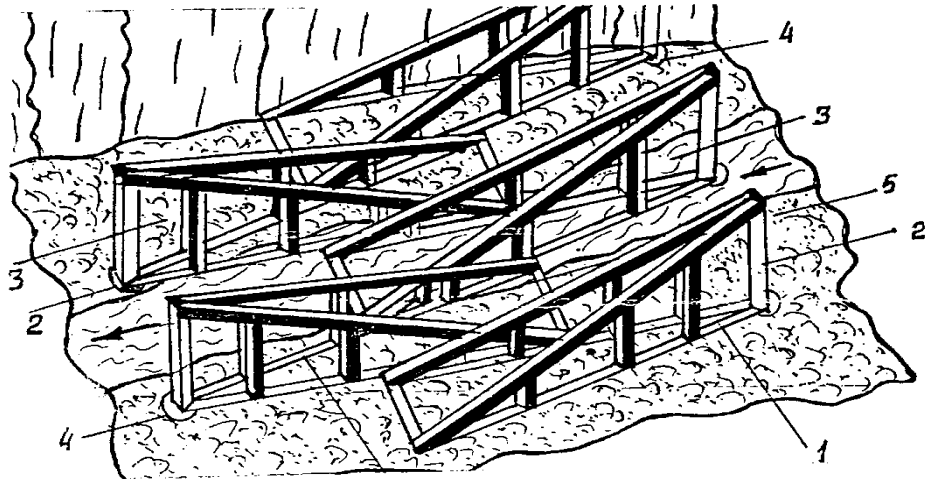
ნახ. 3.3.4. ენერგიის ჩამქრობი ზღუდარი

1 – გირლიანდა; 2 – დრეკადი ელემენტები; 3 – ელასტიკური დერძი; 4 – საყრდენი კონსტრუქცია; 5 – ფიქსატორი; 6 – გირლიანდის ზედა ბოლოს ჩასამაგრებელი ელემენტი; 7 – გირლიანდის ქვედა ბოლოს ჩამაგრების ანკერები; 8 – გირლიანდის დამაკავშირებელი დრეკადი ელემენტები.

5. ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობა

ნაგებობა მუშაობს შემდეგი პრინციპით: ღვარცოფის ან ზგავის გავლის ტრასაზე მოთავსებულია გამჭოლი კონსტრუქცია. ვერტიკალურ ღვარზე (3) ღვარცოფის მოძრავი ტანით დარტყმისას წარმოებს მისი მასის ვერტიკალურ სიბრტყეში დაყოფა, ღვარცოფის მასის ნაწილი შედის სივრცულ სექციაში, რის დროსაც ხდება მისი შრეობრივად

დაყოფა, როგორც ვერტიკალურ სიბრტყეში კოჭზე (3), ისე კოჭებზე (1), (2) სხვადასხვა სიბრტყეში. ღვარცოფის მასის ნაწილი გაედინება უკან წაწეული სექციის მიმართულებით და ხვდება ნაგებობის დამჭერ ჯიბეებში (5). დამჭერი ჯიბეების შევსების შემდეგ ენერჯის ჩაქრობა ხორციელდება დახრილი კოჭებიდან (2) სივრცულ უკუჯიბეებში გადადენით. ღვარცოფის ნაგებობაზე გავლის დროს მისი მრავალჯერადი შრეობრივი დაყოფა და დაყოფილი.



ნახ. 3.3.5. ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობა

1 - ჰორიზონტალური კოჭები; 2 - დახრილი კოჭები; 3. ღვარცოფი; 4 - საყრდენი სამკუთხედის ფეხის საძირკველში ჩასაკერებელი ელემენტი; 5 - სექციების შემაერთებელი ელემენტი; 6 - დამჭერი ჯიბე.

თავი 4.

წყალდენების კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ახალი ნაგებობები

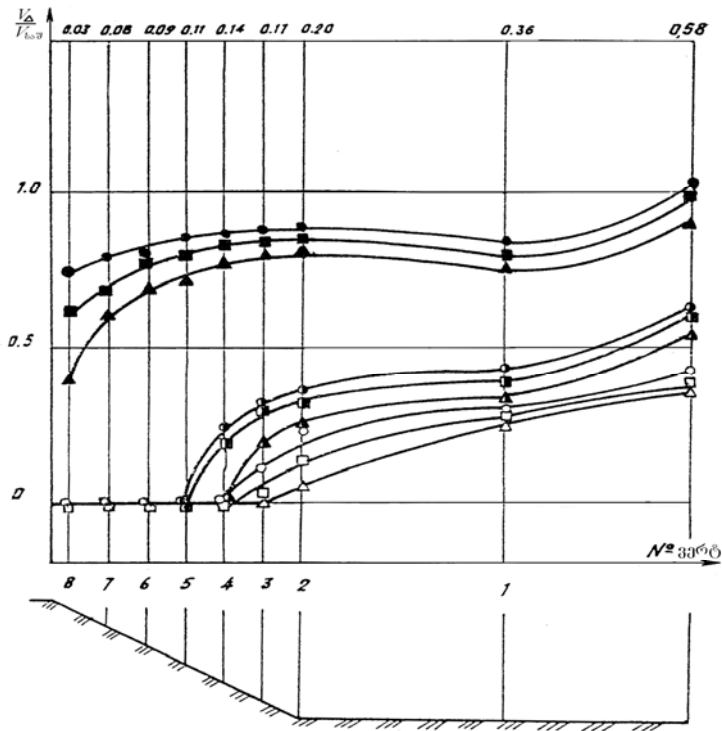
4.1 ნაგებობების ლაბორატორიული კვლევის შედეგები

ახალი კონსტრუქციების (მათ შორის ჩვენს მიერ დამუშავებულის) საპროექტო გადაწყვეტებში, რეალიზების მიზნით, განხორციელდა მათი მიზნობრივი გამოცდა როგორც ლაბორატორიაში, ისე ნატურის პირობებში. გამოცდა ჩატარდა საავტორო

უფლების მქონე კალაპოტის ფერდობისა და ფსკერის დამცავ კონსტრუქციებს. კონსტრუქციების გამოცდა ტარდებოდა, როგორც ტრანზიტული ნაკადის დინამიკურ მახასიათებლების ცვალებადობასთან, ისე ტალღურ ზემოქმედებებთან კავშირში.

ცდების პირველი სერია ჩატარდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალეკოლოგიის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, ტრაპეციული კვეთის მქონე სახსრულ ფერდებიან ღარში, რომლის სიგრძე შეადგენდა 15, ხოლო სიმაღლე 0,5 მეტრს. ღარის სიგანე ფსკერზე ტოლი იყო 0,6 მ-ის. საცდელ მოდელზე ნაგებობის იმიტაცია განხორციელდა რეზინის ტორისებრი ფორმის ელემენტებით, რომლის შიგა და გარე დიამეტრი და სისქე შეესაბამებოდა ავტოსაბურავების ყველაზე გავრცელებული სტანდარტულ ზომებს (300–508P, 260-508P, 260-508P, 240-508P). მოდელის როგორც პორიზონტალური, ისე ვერტიკალური მასშტაბი $\alpha_{\text{ჰორ}} = \alpha_{\text{ვერ}} = 15$. საცდელი მოდელები წარმოდგენილი იყო როგორც ელასტიკური, ისე უჯრედოვანი საფარით. ცდები მიმდინარეობდა სამ ეტაპად. პირველი ეტაპის დროს დამცველი საფარის ეფექტურობის შეფასება წარმოებდა იმ პირობებისათვის, როცა იგი მასიურია და არ ხდებოდა ბლოკების სიცარიელების შევსება შემავსებლით, ხოლო მეორე ეტაპზე, ბლოკები ივსებოდა ინერტული მასალით. ექსპერიმენტის ჩატარების დროს გამოყენებული იყო დაგეგმვის თანამედროვე მეთოდი – ლათინური კვადრატი. ნაგებობის მუშაობის ეფექტურობის დადგენის მიზნით კალაპოტის პერიმეტრის მახასიათებელ წერტილებში მიმდინარეობდა ზედაპირული, საშუალო და ფსკერული სიჩქარეების ფიქსირება “დიზას” ტიპის თერმონომეტრული ხელსაწყოთი. ზემოთ წარმოდგენილ პარამეტრთა ფიქსაცია წარმოებდა როგორც დაუცველი, ისე საფარით დაფარული კალაპოტებისათვის.

შერჩეულ კვეთებში აგებულ იქნა ფსკერული და საშუალო სიჩქარეების თანაფარდობის გრაფიკული დამოკიდებულებები. თვალსაჩინოების მიზნით გრაფიკული დამოკიდებულებები $V_{\Delta} / V_{\text{საშ}} = f(N)$ საილუსტრაციოდ წარმოდგენილია ნახ. 4.1.1-ზე.



ნახ. 4.1.1. $V_A/V_{საშ} = f(N)$ დამოკიდებულების გრაფიკები

ექსპერიმენტით დადასტურდა თეორიული პრინციპებით განსაზღვრული პროგნოზი და დაზუსტდა დამცავი საფარის ოპტიმალური გაბარიტები, რომლის დროსაც კალაპოტის მდგრადობის დარღვევას ადგილი არა აქვს. დადგინდა, რომ წარმოდგენილი საფარის რეცხვად კალაპოტებში გამოყენების დროს შეიძლება სიჩქარის (1,5÷3) მ/წმ-მდე გაზრდა და შესაბამისად, მისი გეომეტრიული ზომების შერჩევა, გამომდინარე ნაკადის ჰიდრაულიკიდან.

ცდების შედეგად დაფიქსირებული მონაცემების საფუძველზე, უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით, შესაბამისი გარდაქმნებისა და გამარტივების საფუძველზე გამოყვანილ იქნა საშუალო დასაშვებ სიჩქარეთა საანგარიშო დამოკიდებულებები.

მასიური საფარისათვის

$$V_{საშ,დ.ს.} = \frac{2,33V_{ფ.დ.ს.}}{[0,256(h/H)^{1,1} + 0,17]} \quad (4.1.1)$$

უჯრედოვანი საფარისათვის

$$V_{\text{საშ.დას.}} = \frac{2,33V_{\text{ფ.დას.}}}{0,325(l/h)^{0,4}[0,256(h/H)^{1,1} + 0,17]} \quad (4.1.2)$$

სადაც $V_{\text{ფ.დას.}}$ – კალაპოტის შემადგენელი გრუნტის დასაშვები არაგამრეცი სიჩქარეა, მ/წმ; h – დამცველი ბლოკის სისქე, მ; H – წყლის სიღრმე წყალდენში, მ; l – ფსკერზე მოთავსებული საფარის უჯრედის სიგრძე, მ;

(4.1.2) დამოკიდებულებიდან შეიძლება განისაზღვროს l/h თანაფარდობა უგანზომილებო სიდიდეებში

$$l/h = \{3,08 V_{\text{ფ.დას.}} [0,256(h/H)^{1,1} + 0,17] V_{\text{გ.დას.}}\}^{2,5} \quad (4.1.3)$$

ცდების შედეგების მიხედვით გამოვლინდა აგრეთვე საინტერესო ფაქტი. იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალდენის კალაპოტში ადგილი არ აქვს ტალღურ მოვლენებს, დამცველი საფარი ინერტული ან სხვა მასალით შევსებას არ საჭიროებს ნაკადსა და ნაგებობას შორის შექმნილი წყლის ბალიშის გამო.

წარმოდგენილი ნაგებობები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე ზღვების, ტბების, წყალსაცავების სანაპირო ზოლების ზედაპირული წარეცხვებისა და ტალღური ზემოქმედებისაგან დაცვის მიზნით. ნაგებობათა მუშაობის ეფექტურობის შეფასების მიზნით ექსპერიმენტი ჩატარებულ იქნა იმავე ლაბორატორიის ტალღის წარმომქნელ ჰიდრაულიკურ ღარებზე (დიდი ღარის სიგრძე 50 მ, სიგანე – 0,8 მ, სიმაღლე – 1,7 მ, მცირე ღარის სიგრძე 9 მ, სიგანე – 0,3 მ, სიმაღლე – 0,5 მ). ღარებში მაქსიმალური ტალღის სიმაღლე დიდში მერყეობდა 0,05–0,45 მ-ის ფარგლებში, მცირეში – 0,02–0,16 მ-ის ფარგლებში. ცდები ჩატარებულ იქნა ადვილად რეცხვად ქვიშის ფრაქციებისათვის ($d_{\text{საშ.}} = 1,0$ მმ), სანაპიროს ფერდობის სხვადასხვა დახრილობების შემთხვევებისათვის $m = 1:2; 1:3; 1:5$ და ტალღის სხვადასხვა მახასიათებლებისათვის.

ექსპერიმენტის დროს დაფიქსირებული ტალღის პარამეტრების სიდიდეები მოცემულია ცხრილში 4.1.1.

ცხრილი 4.1.1

ტალღის რეჟიმი	ტალღის სიმაღლე H მ	ტალღის სიგრძე λ მ	ტალღის პერიოდი t წმ	ტალღის სიმაღლე h სმ	ტალღის სიგრძე λ სმ	ტალღის პერიოდი t წმ
№1	0,75	31,5	4,8	5,0	210,0	1,24
№2	0,98	20,4	4,3	6,5	136,0	1,12
№3	1,13	19,8	3,9	7,5	131,0	1,00
№4	1,28	18,0	1,8	8,5	120,0	0,48
№5	1,43	14,5	1,4	9,5	95,0	0,36

ტალღური პროცესების მოდელირება განხორციელდა მცირე ღარზე, გრავიტა-

ტალღის	ნაპირის დაფერდება $m=1:5$	ნაპირის დაფერდება $m=1:3$
--------	---------------------------	---------------------------

ციული მოდელირების საფუძველზე $\alpha_{პირის} = \alpha_{ვერ} = 15$, ხოლო მიღებული შედეგები, შედარებული მონაცემებთან, რომლებიც დაფიქსირებული იყო ღარზე, რომლის ზომები შეესაბამებოდა ნატურის პირობებს. ექსპერიმენტების შედეგად შესწავლილ იქნა ტალღების ზეგავლენა დამცავი ელასტიკური საფარის მუშაობის ეფექტურობაზე. ჩატარებული ექსპერიმენტების პირველი ეტაპი ითვალისწინებდა დამცველი საფარის მუშაობას ბლოკების სიცარიელეთა შევსების გარეშე, ხოლო მეორე ეტაპზე ბლოკები იტვირთებოდა ადგილობრივი გრუნტით, ხრეშით, ღორღით და უკუფილტრების მოწყობისათვის იყო გათვალისწინებული. დაუცველ ნაპირზე ტალღების ზემოქმედება გრძელდებოდა მანამ, სანამ ფერდების დეფორმაცია მიაღწევდა სრულ სტაბილიზაციას.

ექსპერიმენტების შედეგებმა გვიჩვენა: შექმნილი ნაპირდამცავი კონსტრუქციებით შესაძლებელია შეიქმნას ტალღური ზემოქმედებისაგან ნაპირების (ფერდების) დამცავი საიმედო საფარი (ბარიერი), რომელიც თავისი ელასტიკური უნარიანობის გამო 3–4-ჯერ ამცირებს ტალღის ზემოქმედების ძალას (დარტემის ძალას) და ანაწევრებს შეყურსული ტალღის მასას, მაგრამ დაშლილი ტალღის წყლის ნაკადის ფერდზე უკუდინების დროს ხდება ატივნარებული გრუნტის წვრილი ფრაქციების გამოტანა, რის გამოც ვერ ხერხდება დასაცავი ფერდის სრული სტაბილიზაცია. ნაპირის ფერდის ელასტიკური საფარით ტალღური ზემოქმედებისაგან დაცვის დროს აუცილებელია მისი ტანის სიცარიელის შევსება. ჩატარებული ექსპერიმენტები გახდა ნაშრომში წარმოდგენილი მთელი რიგი ახალი კონსტრუქციების შექმნის, დაპროექტების და წარმოებაში ფართოდ დანერგვის საფუძველი. 4.12 ცხრილში მოცემულია მოკლე ინფორმაცია ელასტიკური საფარის მუშაობის ეფექტურობაზე დასაცავი ობიექტის დაფერდების კოეფიციენტის, ტალღის პარამეტრების და შემავსებლის დიამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.

ცხრილი 4.12.

ელასტიკური საფარის მუშაობის ეფექტურობა დასაცავი ობიექტის დაფერდების კოეფიციენტთან კავშირში

	ნაპირი დაცვის გარეშე $d_{\text{დაც}} = 0,5-0,7$ მმ	ნაპირი დაცულია ელასტიკური საფარით შეფხვების და უკუფილტრის ს გარეშე	ელასტიკური საფარი შეფხვებულია $d = 9$ მმ ღორღით უკუფილტრის ს გარეშე	ელასტიკური საფარი შეფხვებულია $d = 9$ მმ ღორღით უკუფილტრის მოწყობით	ნაპირი დაცვის გარეშე $d_{\text{დაც}} = 0,5-0,7$ მმ	ნაპირი დაცულია ელასტიკურ საფარით შეფხვების და უკუფილტრის ს გარეშე	ელასტიკური საფარი შეფხვებულია $d = 9$ მმ ღორღით უკუფილტრის ს გარეშე	ელასტიკურ საფარი შეფხვებულია სა $d = 9$ მმ ღორღით უკუფილტრის მოწყობით
1	2	3	4	5	6	7	8	9
№1 რეჟიმი 0,75 მ, 31,5 მ, 4,8 წმ, 42	10.10	7.30	4.00	%	21.0	17.50	15.50	2.70/0
№2 რეჟიმი 0,98 მ, 20,4 მ, 4,3 წმ, 20,8	13.80	11.50	8.95	%	25.56	22.00	18.60	5.00/0
№3 რეჟიმი 1,13 მ, 19,8 მ, 3,9 წმ, 17,5	16.20	13.25	10.38	3.20/0	29.50	26.4	20.10	5.8/0
№4 რეჟიმი 1,28 მ, 18,0 მ, 1,8 წმ, 14,1	20.3	18.10	12.1	6.40/0	35.50	30.70	25.25	6.5/0
№5 რეჟიმი 1,43 მ, 14,3 მ, 1,4 მწ, 10.0	26.55	20.55	16.0	6.90/0	43.60	33.80	20.40	7.00/0

4.2 კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ნაგებობების საიმედოობა

კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ნაგებობების მუშაობის საიმედოობაზე გავლენას ახდენს ურთიერთდაკავშირებული მრავალი ფაქტორი, რომელთა რაოდენობრივი შეფასება და პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტა მეტად გართულებულია [8]. გამომდინარე აღნიშნულიდან, საიმედოობის შეფასება ხშირ შემთხვევაში ადვილად ფიქსირებად ფაქტორებს აქვს დათმობილი, ასეთ ფაქტორებად ნაგებობათა და კალაპოტური პროცესების შეფასების დროს მიღებულია მდინარის ჩამონადენი და მისი დონეების ცვალებადობა შერჩეულ კვეთში.

საიმედოობის ძირითადი სტატისტიკური მახასიათებლების, კერძოდ, საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის, საშუალო კვადრატული გადახრის, საშუალო კვადრატული შეცდომის, განაწილების პარამეტრების მნიშვნელობების თეორიული და სტატისტიკური კრიტერიუმების თანხვედრის ხარისხის, სტატისტიკური რიგის განაწილების საწყისი და ცენტრალური მომენტების დადგენა ხორციელდება არსებული

ტრადიციული დამოკიდებულებების საფუძველზე. მარეგულირებელ ნაგებობათა საიმედობის მაჩვენებლები დადგენილ იქნა იმ ფიქსირებადი მტყუნებების საფუძველზე, როგორცაა კალაპოტის ზღვრული წონასწორული ფორმა, ნაგებობასთან ნაკადის მიდინების კუთხე, ნაგებობის ზღურბლზე ნაკადის გადადინება და ნაკადის მიერ ნაგებობის საძირკვლის გამორეცხვა.

ნაგებობის საიმედობა, ნაკადის ზღურბლზე გადადინების დაუშვებლობის გათვალისწინებით, იანგარიშება შემთხვევითი სიდიდეების ფუნქციების განაწილების შესაბამისი დამოკიდებულებებით

$$(4.2.1)$$

სადაც h – არის წყლის სიღრმე მდინარეში ნაგებობის მოწყობის ადგილას ათვლილი წყლის დონის საზომი ლარტყის ნულიდან; H_n – ნაგებობის სიმაღლე; h_0 – ნაგებობის საძირკვლის ნიშნულის შესაბამისი სიმაღლე, ათვლილი იმავე ლარტყიდან.

ნაგებობის საიმედობის საანგარიშოდ საძირკვლის, გამორეცხვის დაუშვებლობის გათვალისწინებით მიღებულია გამოსახულება:

$$\tilde{t} = 1,75 \frac{1}{d} kp^{3/2} \frac{m^2 h_1^{4/3} I}{2g} \quad (4.2.2)$$

სადაც \tilde{t} – არის გარეცხვის სიღრმე d – ფსკერის შემადგენელი გრუნტის საშუალო დიამეტრი; p – ნაგებობის გარშემოდენის კოეფიციენტი; V – ნაკადის საშუალო სიჩქარე ნაგებობის მოწყობამდე; k – კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია საძირკვლის გამორეცხვის ხასიათზე; m – ხორკლიანობის კოეფიციენტი; I –

ნაკადის ზედაპირის ქანობი ნაგებობის მოწყობის ზონაში. $A = 1,75 \frac{1}{d} kp^{3/2} \frac{m^2 I}{2g}$ აღნიშვნის

შემდეგ (4.2.2) გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$\tilde{t} = Ah_1^{4/3}. \quad (4.2.3)$$

იმისათვის, რომ დადგინდეს, გადააჭარბებს თუ არა ნაგებობის საძირკვლის გამორეცხვის სიღრმე მოცემულ \tilde{t} სიღრმეს, საჭიროა გამოითვალოს ალბათობა, რომ მდინარეში წყლის მოსალოდნელი სიღრმე h_i არ გადაამეტებს h_1 სიღრმეს, ე.ი.

$$(4.2.4)$$

ხოლო საძიებელი სიდიდის ალბათობა გამოითვლება დამოკიდებულებით

$$p = \int_0^{h_0+h_i} t_h(\tilde{h}) dh. \quad (4.2.5)$$

ამრიგად, ასეთი მიდგომის დროს კალაპოტის რეგულირების და ნაგებობის საიმედოობის საანგარიშო პარამეტრები წარმოადგენს შემთხვევითი ცვლადი სიდიდეების ფუნქციებს მდინარის ხარჯებისა და ღონეების სახით. მათი განსაზღვრისათვის, პირველ რიგში, დგინდება ხარჯების (\tilde{Q}) და ღონეების (\tilde{h}) მაქსიმუმების განაწილების კანონზომიერებები ნაგებობის მოწყობის კვებებში $f_h(h)$ და $t_0(\tilde{Q})$. ალბათობის სიხშირის განაწილების სიდიდეების დადგენის დროს, მრავალწლიური ჰიდროლოგიური მონაცემების საფუძველზე, გამოიყენება მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები.

ნაპირდამცავ ნაგებობათა საპროექტო პარამეტრების შერჩევა ხშირად ხდება საიმედოობის მაჩვენებლის გათვალისწინების გარეშე. არსებული საანგარიშო დამოკიდებულებები და საპროექტო გადაწყვეტები ხშირად დაფუძნებულია ერთი ცვლადი ფაქტორის განაწილების ფუნქციაზე. აქედან გამომდინარე, ნაგებობათა ოპტიმალური ვარიანტი, შესაბამისი საიმედოობის მაჩვენებელთა და მოქმედი ფაქტორების გათვალისწინებით, წარმოდგენილ იქნა შემდეგი ფუნქციონალური დამოკიდებულებებით:

$$R = f\left(\frac{L}{B}, \frac{H_{აჰ}}{H_6}, \frac{B_{მდ}}{B}, \frac{G}{Q}, \frac{I_{საშ}}{I_{მდ}}, \frac{V_გ}{V_6}\right) \quad (4.2.6)$$

სადაც L – არის კალაპოტის ნაგებობით გადაკეტვის სიგრძე; $B, B_{მდ}$ – კალაპოტის საშუალო და მდგრადი სიგანე; $H_{აჰ}, H_6$ – წყლის მაქსიმალური და ნაგებობის სიმაღლე; G – მდინარის მყარი ხარჯი;

Q – მდინარის მაქსიმალური ხარჯი; $I_{საშ}, I_{მდ}$ – მდინარის საშუალო და მდგრადი ქანობი; $V_გ, V_6$ – გრუნტისა და ნაგებობის მასალის არაგამრეცხი სიჩქარე.

ნაგებობის საიმედოობაზე მოქმედი ფაქტორების მონაცემები აღებულია შესაბამისი გაანგარიშებების საფუძველზე, ხოლო საიმედოობის მაჩვენებელი – მდინარის ხარჯის განაწილების ფუნქციის მეშვეობით.

კორელაციური კავშირების გათანაბრების და ნორმალიზაციის ობიექტური მეთოდი შესაძლებელს ხდის მრუდწირული რეგრესიის განტოლებიდან იმ ფაქტორთა უგულებელყოფას, რომელთა წილი არ აღემატება კორელაციის სრული კოეფიციენტის კვადრატის გაორკეცებულ შეფარდებით საშუალო კვადრატულ ცდომილებას.

მრუდწირული რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

საწყისი მონაცემების ნორმალიზაციის შემდეგ განსაზღვრულ იქნა ნორმალიზებული წყვილის კორელაციის კოეფიციენტი, რის მეშვეობითაც შედგენილ იქნა კორელაციის კოეფიციენტების სიმეტრიული მატრიცა. სიმეტრიული მატრიცის ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე (ეგმ) რეალიზებით დადგენილ იქნა რეგრესიის განტოლების უცნობი კოეფიციენტები. მიღებული კოეფიციენტთა მნიშვნელობების შეტანით რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

$$\begin{aligned} \tilde{U}(R) = & -0,015\tilde{U}\left(\frac{L}{B}\right) + 0,7589\tilde{U}\left(\frac{H_{აქ}}{H_6}\right) - 0,0092\tilde{U}\left(\frac{B_{აქ}}{B}\right) + \\ & + 0,057\tilde{U}\left(\frac{G}{Q}\right) - 0,1273\tilde{U}\left(\frac{I_{საშ}}{I_{მდ}}\right) + 0,1861\tilde{U}\left(\frac{V_{აქ}}{V_6}\right) \end{aligned} \quad (4.2.8)$$

რეგრესიის განტოლებაში შემავალ სიდიდეთა ნამდვილ და ნორმალიზებულ მნიშვნელობებს შორის კავშირი აპროქსიმირებული იქნა დამოკიდებულებებით:

$$\tilde{U}(R) = \ln \frac{(1+R)}{(1-R)} - 2,2, \quad (4.2.9)$$

$$\tilde{U}\left(\frac{L}{B}\right) = 84 \frac{L}{B} - 18,0, \quad (4.2.10)$$

$$\tilde{U}\left(\frac{H_{აქ}}{H}\right) = 94,4 \frac{H_{აქ}}{H} - 2,16, \quad (4.2.11)$$

$$\tilde{U}\left(\frac{B_{აქ}}{B}\right) = 28,5 \frac{B_{აქ}}{B} - 22,4, \quad (4.2.12)$$

$$\tilde{U}\left(\frac{V_{აქ}}{V_6}\right) = 85 \frac{V_{აქ}}{V_6}, \quad (4.2.13)$$

$$\tilde{U}\left(\frac{G}{Q}\right) = 3,8 \frac{G}{Q} - 7,8, \quad (4.2.14)$$

$$\tilde{U}\left(\frac{I_{\text{საშ.}}}{I_{\text{მდ.}}}\right) = 26 \frac{I_{\text{საშ.}}}{I_{\text{მდ.}}} - 29,5, \quad (4.2.15)$$

კორელაციის კოეფიციენტის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა ტოლია 0,83-ის, ხოლო მოქმედ ფაქტორთა საიმედობის მანვენებლების წილს აქვს სახე:

$$\delta(L/B) = 0,15\%, \quad \delta(H_{\text{მაგ.}}/H_6) = 90,9\%, \quad \delta(B_{\text{მდ.}}/B) = 0,1\%,$$

$$\delta(G/Q) = 0,7\%, \quad \delta(V_8/V_6) = 5,3\%, \quad \delta(I_{\text{საშ.}}/I_{\text{მდ.}}) = 2,9\%.$$

(4.2.9÷4.2.15) დამოკიდებულებების გათვალისწინებით (4.2.8) დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$(4.2.16)$$

მიღებული (4.2.16) საანგარიშო დამოკიდებულების საიმედობის მახასიათებლის გათვალისწინებით, კალაპოტის ნაგებობით გადაკეცვის სიგანის ფარდობითი სიდიდის გამოსათვლელი საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს

ა) ფერდობის დამცავი ნაგებობები

ამ ტიპის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის პერიოდში მათი მოწყობის ადგილზე მოსალოდნელია წარმოიშვას ადგილობრივი გარეცხვები შესაბამისი სიღრმეებით. ანგარიში წარმოებს საერთოდ მიღებული სქემით. პირველ რიგში უნდა დადგინდეს მოსალოდნელი ადგილობრივი გარეცხვის სიღრმე $h_{\text{საანგ.}}$ და გამორეცხვის შედეგად ფორმირებული დაფერდების m -ის სიდიდე. განიხილება ანგარიშის ორი ვარიანტი: (ნახ. 4.3.1 და 4.3.2). პირველი ვარიანტის დროს მოსალოდნელია დასაცავი ნაპირის დეფორმაცია მთელ პერიმეტრზე (ნახ. 4.3.1). შესაბამისად, დამცველი საფარის საერთო სიგანე იანგარიშება ფორმულით

$$(4.3.1)$$

b_1 სიდიდე, პრაქტიკული გამოცდილებიდან, რეკომენდებულია პატარა

მდინარეების ნაპირების შემთხვევაში 1 მეტრამდე, ხოლო საშუალო და დიდი მდინარეებისათვის კი 2÷3 მეტრი;

რაც შეეხება b_2 -ის სიდიდეს, ის გამოითვლება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$b_2 = h_{\text{საანგ.}} \sqrt{1+m^2} \quad (4.3.2)$$

ხოლო დამცავი საფარის მთლიანი სიგანე ტოლი იქნება

$$b_{\text{საფ.}} = b_1 + h_{\text{საანგ.}} \sqrt{1+m^2} . \quad (4.3.3)$$

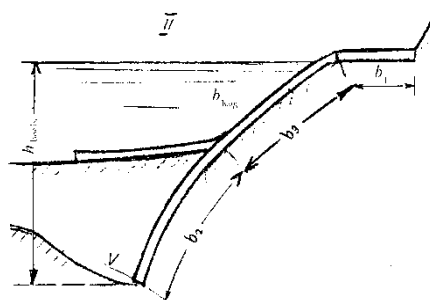
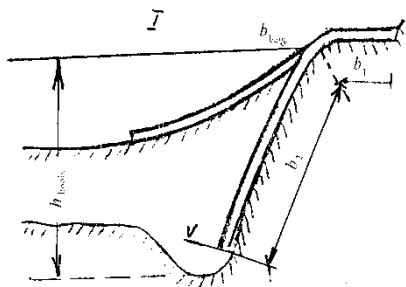
დამცავი საფარის სიგანე მეორე შემთხვევისათვის (ნახ. 4.3.2), როცა მოსალოდნელია ფერდობის პერიმეტრის ნაწილობრივი დეფორმაცია:

$$b_{\text{საფ.}} = b_1 + b_2 + b_3, \quad (4.3.4)$$

სადაც
$$b_3 = h \sqrt{1+m^2},$$

ხოლო
$$b_{\text{საფ.}} = b_1 + (h_{\text{საანგ.}} - h) \sqrt{1+m^2} - h \sqrt{1+m^2},$$

h და m სიდიდეები დგინდება დაპროექტების დროს.



ნახაზი 4.3.1. ნაპირის დამცავი საფარი მთლიანად დეფორმირებად პერიმეტრზე

ნახ. 4.32. ნაპირის დამცავი საფარი ნაწილობრივ დეფორმირებად პერიმეტრზე

ნატურაში გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ ადგილობრივი გარეცხვის სიღრმეების და შესაბამისი ორმოს წარმოშობის გამო დასაცავ ფერდობსა და დამცველ საფარს შორის იწყება გრუნტის გამორეცხვა, რასაც მოსდევს დამცავი საფარის ელემენტებს შორის გამჭიმავი ძალების წარმოშობა და დამცავი საფარის დაცურების საშიშროება.

მოსალოდნელი ავარიის სალიკვიდაციოდ საჭიროა განხორციელდეს აღძრული გამჭიმავი ძალების გაწონასწორება ხახუნის ძალებთან დამცავ საფარსა და დასაცავი ფერდობის ზედაპირს შორის, ან მოხდეს დამცავი საფარის ცალკეული ელემენტების გადაბმა ელასტიკურად და ჩაანკერება დასაცავი ნაპირის გასწვრივ.

გამჭიმავი ძალები, როგორც ცნობილია იანგარიშება დამოკიდებულებით:

$$R = G \sin \alpha + F , \tag{4.3.5}$$

სადაც G – არის საფარის ელემენტების წონა, დამოკიდებული

საფარის მასალაზე (მაგალითად რეზინის სალტე, შეესებული გრუნტით ან ქვით).

როცა საფარი მოთავსებულია წყალქვეშ, 1 მ სიგრძის ფერდობზე, მაშინ მოქმედი გამჭიმავი ძალა იანგარიშება დამოკიდებულებით:

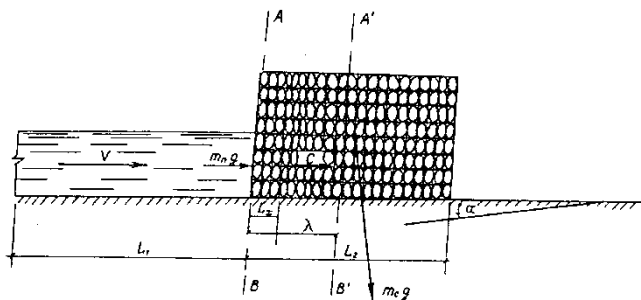
$$R_{მ.ქ.} = db(\gamma_{საფ.} - \gamma_{წყლის})\sqrt{1+f^2} \tag{4.3.6}$$

სადაც b – არის ფერდობის სიგრძე გარეცხვის შემდეგ.

აღნიშნულ $R_{მ.ქ.}$ სიდიდეზე უნდა გაანგარიშდეს დამცავი საფარის ელემენტის გადაბმა და მათი მიერთება დამჭერ საბრჯენებთან.

ბ) ელასტიკური ტიპის კონსტრუქციები

ნაშრომში წარმოდგენილი გამჭოლი ელასტიკური ნაგებობები გათვალისწინებულია სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტის დასაცავად ტალღური და ღვარცოფული ნაკადებისაგან. ასეთ ნაგებობათა ტალღური ზემოქმედების საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 4.3.3-ზე.



ნახ. 4.3.3. ნაგებობაზე ტალღური ზემოქმედების საანგარიშო სქემა

აღნიშნული ტიპის ნაგებობის ნორმალური მუშაობა ბევრად არის დაკავშირებული მათი სტატიკურ მდგრადობასთან, მოსალოდნელი მყისი დატვირთვის პირობებში. საანგარიშო სქემა

გამარტივებული სახით იხილავს ტალღის ზემოქმედებას ნაგებობაზე. ტალღის დარტყმის მომენტში ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე წარმოიშობა ე.წ. დეფორმაციის სიჩქარე C , რომელიც ნაგებობის სიგრძეზე განიცდის ცვალებადობას მის პირველად სიდიდესთან შედარებით და ნაგებობის ბოლოს უტოლდება 0-ს. ამასთან, მისი გაგრძელების სიჩქარე, ნებისმიერ კვეთში ნაგებობის სიგრძეზე, პირველი მიახლოებით შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებით:

$$C_x = (1 - L_x / \ell_2) C, \quad (4.3.7)$$

ხოლო ცოცხალი კვეთი

$$M = \int_0^{L_2} \frac{m_c C_x^2}{2} \cdot \frac{dL_x}{L_2}, \quad (4.3.8)$$

სადაც m_c – არის ნაგებობის მასა.

(4.3.8) გამოსახულებაში C_x -ის მნიშვნელობის შეტანის შემდეგ გვექნება:

$$M = \int_0^{L_2} \frac{m_c C^2}{2L_2} \left(1 - \frac{L_x}{L_2}\right) dL_x = \frac{m_c C^2}{6}. \quad (4.3.9)$$

მოძრაობის რაოდენობის განტოლება მოცემული სქემისათვის შემდეგნაირად შეიძლება ჩაიწეროს:

$$m_n C - \frac{1}{3} m_c C = m_n V, \quad (4.3.10)$$

სადაც m_n არის ნაკადის მასა, რომელიც ახორციელებს დარტყმას ნაგებობაზე, საიდანაც

$$C = \frac{m_n V}{m_n + 1/3 m_c}. \quad (4.3.11)$$

კინეტიკური ენერგია m_n მასისა ნაგებობის მაქსიმალური შეკუმშვის დროს მთლიანად გარდაიქმნება პოტენციურ ენერგიად ე.ი.

$$m_n g i(L_1 + \lambda) = \frac{\lambda^2 i^2 E \omega_2}{2L_2}, \quad (4.3.12)$$

სადაც V – არის ნაკადის სიჩქარე დარტყმის მომენტში; λ – ნაგებობის შეკუმშვის სიდიდე; E – ნაგებობის მასალის დრეკადობის მოდული; $i = \sin \alpha L_1$ – ტალღის გადაადგილების სიგრძე; ω_2 – ნაგებობის განივკვეთის ფართი; L_2 – ნაგებობის განივკვეთის სიგანე.

საანგარიშო სქემიდან და (4.3.10) განტოლებიდან დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$\frac{(m_n + 1/3 m_c) C^2}{2g} + m_n \lambda i = \frac{\lambda^2 i^2 E \omega_2}{2L_2 g}. \quad (4.3.13)$$

თუ (4.3.13) განტოლებაში შევიტანოთ C სიდიდეს და ამოვხსნით λ -ს მიმართ, მივიღებთ:

$$\lambda = \lambda_{\text{ბ}} + \sqrt{\lambda_{\text{ბ}}^2 + 2\lambda_{\text{ბ}} i L_1 \left(1 + \frac{m_c}{3m_n}\right)}, \quad (4.3.14)$$

სადაც

$$\lambda_{\text{ბ}} = \frac{m_n q L_2}{E \omega_2}.$$

შესაბამისად, მაქსიმალური დაძაბულობა

$$\sigma_{\text{მ.ქ.}} = \frac{\lambda E}{L_2}. \quad (4.3.15)$$

თუ (4.3.14)-ის მნიშვნელობას შევიტანოთ (4.3.15) დამოკიდებულებაში, მივიღებთ:

$$\sigma_{\text{მ.ქ.}} = \frac{m_n q}{\omega_2} + \sqrt{\left(\frac{m_n q}{\omega_2}\right)^2 + \frac{2m_n q}{\omega_2} \cdot \frac{L_1}{L_2} \left(1 + \frac{m_c q}{3m_n}\right) i}. \quad (4.3.16)$$

ნაგებობის მასალის სიმტკიცის პირობა შემდეგი სახით ჩაიწერება:

$$\sigma_{\text{მ.ქ.}} \leq R, \quad (4.3.17)$$

სადაც R – არის ნაგებობის მასალის საანგარიშო წინაღობა; L_2 – სიდიდე (თანახმად სქემისა) განისაზღვრება ზღვრული წონასწორობის პირობიდან, როცა (4.3.17) გამოსახულებაში მიღებულია ტოლობის ნიშანი

$$L_2 = \frac{2m_n q E L_1 (1 + m_c / 3m_n) i}{R(R\omega_2 - 2m_n q)}. \quad (4.3.18)$$

ღვარცოფული ნაკადის დარტყმის ძალა ნაგებობაზე იანგარიშება გამოსახულებით

$$P = k \cdot S_1 \cdot \omega_1 \cdot V^2, \quad (4.3.19)$$

სადაც ω_1 – არის ღვარცოფული ნაკადის ცოცხალი კვეთი; S_1 – ღვარცოფული მასის სიმკვრივე; k – ემპირიული კოეფიციენტი, k -ს სიდიდე, ყრუ ნაგებობის დარტყმის შემთხვევაში, მიღებულია 4,5. შესაბამისად, გვექნება

$$P = 4,5 S_1 \omega_1 V^2. \quad (4.3.20)$$

წელის მასა, რომელიც ნაგებობაზე დარტყმით ზემოქმედებას ახდენს, შეიძლება გამოისახოს P ძალის მეშვეობით: $m_n = qP$, რის შემდეგ (4.3.20) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$L_2 = \frac{2qPgEL_1(1 + m_c/3qP)i}{R(R\omega_2 - 2qP)}, \quad (4.3.21)$$

როცა $P \ll m_n q$

$$L_2 = \frac{2KS_1\omega_1 V^2 qEL}{R(R\omega_2 - 2qP)}, \quad (4.3.22)$$

ვინაიდან წარმოდგენილი კონსტრუქცია გამჭოლია, შემასწორებელი კოეფიციენტი

K_1 ტოლია:

$$K_1 = P_{\text{გამჭ.}} / P_{\text{ყრ.}},$$

სადაც $P_{\text{გამჭ.}}$ - არის ტალღის დარტყმის ძალა გამჭოლ ნაგებობაზე; $P_{\text{ყრ.}}$ - იგივე ყრუ ნაგებობაზე.

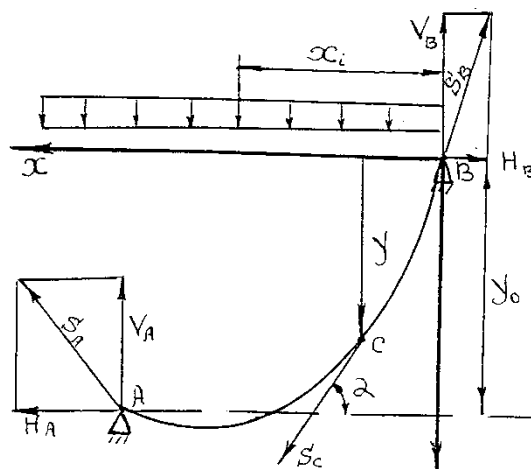
თანახმად საქწყალეკოლოგიის ინსტიტუტის გამოკვლევებისა

$$K_1 = \left[(0.86 d_{\text{მსქ.}} / d_{\text{მინ.}} - 0.16) \right]^{0.55} + 0.04V, \quad (4.3.23)$$

სადაც $d_{\text{მსქ.}}$ - არის ღვარცოფულ მასაში ჩართული ქვების მაქსიმალური დიამეტრი; $d_{\text{მინ.}}$ - ნაგებობის გამჭოლიანობის მინიმალური დიამეტრი. გამჭოლი სელური ნაგებობის ოპტიმალური სიგანე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს $L_{2 \text{ გამ}} = K_1 L_2$

გ) ვანტური ტიპის კონსტრუქციები

მეორე სახის ენერგიის ჩამქრობი კონსტრუქცია წარმოდგენილია ელასტიკური ტიპის ნაგებობის სახით და ცნობილი ვანტური ტიპის კონსტრუქციების მსგავსია (საანგარიშო სქემა ნახ. 4.3.4)



ნახ. 4.3.4. ვანტური ტიპის ელასტიკური ნაგებობის საანგარიშო სქემა

ნაგებობა წარმოადგენს რთულ სივრცობრივ დრეკად (ელასტიკურ) სისტემას. მაქსიმალური დინამიკური და სტატიკური დატვირთვები ნაგებობაზე მოსალოდნელია მოხდეს იმ შემთხვევაში, თუ მას გამოვიყენებთ, როგორც ენერგიის ჩამქრობ ბარიერს, განსაკუთრებით ღვარცოფული ნაკადების ზემოქმედების შემთხვევაში. ნაგებობა

განიხილება, როგორც ცალკეული ვანტებისაგან შემდგარი კონსტრუქცია და მთლიანი სისტემის გასაანგარიშებლად საკმარისია ერთ-ერთი მათგანის ანგარიში. ვიხილავთ შემთხვევას, როდესაც ვანტზე მოქმედებს თავისი სიმძიმის ძალა, რომელიც თანაბრად არის განაწილებული ვანტის მთელ სიგრძეზე, ხოლო დვარცოფული მასით მიღებული დატვირთვა თანაბრად ნაწილდება ვანტის სიგრძეზე. ვსაზღვრავთ ბაგირში წარმოქმნილ ძალებს. რეაქციის ძალებია S_A და S_B , რომლებიც გადაეცემა ბაგირს საყრდენებიდან და მიმართულია მხებად ვანტის მიმართ. ვინაიდან ვანტი არის აბსოლუტურად ელასტიკური, თითოეული რეაქციის ძალა შეიძლება დაიშალოს მდგენელებად V_A , H_B . ვიპოვოთ ისინი ვანტის წონასწორობის პირობიდან. ვახდენთ ყველა ძალის პროექციას ჰორიზონტალურ დერძზე.

$$\sum X = H - H = 0, \quad (4.3.24)$$

სადაც $H_A = H_B = 0$ ე.ი. განმრჯენი ძალები A და B წერტილებში ტოლია. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ვერტიკალური მდგენელები V_A და V_B , ვწერთ წონასწორობის განტოლებას A და B საყრდენების მიმართ

$$\left. \begin{aligned} V_A l + H Y_a &= -q l^2 / 2 \\ V_B l + H Y_a &= q l^2 / 2 \end{aligned} \right\} \quad (4.3.25)$$

სადაც l – არის მანძილი საყრდენებს შორის.

ვინაიდან აღნიშნული განტოლებების სისტემა შეიცავს 3 უცნობს V_A , V_B და H , ვწერთ მესამე განტოლებას შემდეგი სახით, ვანტის მთლიანი სიგრძე ტოლია

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + (Y^1)^2} dx. \quad (4.3.26)$$

Y^1 -ის განსაზღვრისათვის ვიღებთ ყველა ძალის მომენტებს, რომლებიც მოქმედებს C წერტილიდან მარჯვნივ და ვუტოლებთ ნულს, ვინაიდან ვანტი არის აბსოლუტურად ელასტიკური:

$$\sum M_C = q x^2 / 2 + H y - V_B x = 0, \quad (4.3.27)$$

საიდანაც ვღებულობთ დრეკადი წირის განტოლებას შემდეგი სახით:

$$y = \frac{V_B X - q x^2}{H}. \quad (4.3.28)$$

(4.3.28) გამოსახულებიდან ვსაზღვრავთ მხების დახრის კუთხის ტანგენს აღნიშნული წირისათვის:

$$y^1 = \frac{V_B - q x}{H} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.3.29)$$

საბოლოოდ ვღებულობთ

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + \frac{(V_B - qx)^2}{H^2}} dx = \int_0^l \frac{1}{H} \sqrt{H^2 + V_B^2 - 2V_B qx + q^2 x^2} dx. \quad (4.3.30)$$

ამრიგად, ერთობლივად უნდა ამოიხსნას ორი განტოლება (4.3.25) და (4.3.30) სამი უცნობით. რადგან (4.3.30) განტოლება ტრანსცენდენტულია, ანგარიშის გაადვილების მიზნით შედგენილ იქნა პროგრამა ელექტრონული გამოთვლელი მანქანისათვის.

ვანტის დაჭიმვა A და B საყრდენებში ტოლი იქნება:

$$S_A = \sqrt{V_A^2 + H^2}, \quad S_B = \sqrt{V_B^2 + H^2}. \quad (4.3.31)$$

ვანტის მაქსიმალური დაჭიმულობა წარმოიქმნება საყრდენების კვეთებში. ამასთან დაკავშირებით ვირჩევთ მაქსიმალურ S_A და S_B -ს და მის მიხედვით ვადგენთ ბაგირის კვეთს, შემდეგი პირობიდან გამომდინარე:

$$F \geq \frac{S_{\max}}{[R]}, \quad (4.3.32)$$

სადაც F – არის ბაგირის განიკვეთის ფართი; $[R]$ – ბაგირის მასალის ზღვარი გაწვევებაზე.

აღნიშნული მეთოდები შემოწმებულ იქნა კონკრეტული ამოცანების გადაწყვეტის დროს და მიღებულ იქნა დამაკმაყოფილებელი შედეგები.

დ) კალაპოტის მდგრადობის საანგარიშო პარამეტრები

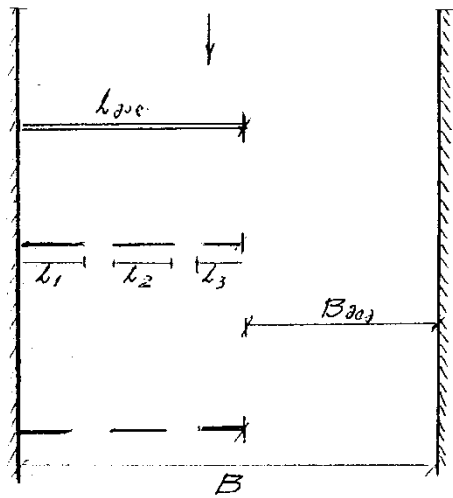
კალაპოტის მდგრადობის შენარჩუნებაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კალაპოტის სიგანის შეზღუდვის კრიტიკული სიდიდის დადგენას, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ნაკადის ჰიდრაულიკურ და კალაპოტის მორფომეტრულ მახასიათებლებზე.

კალაპოტის შეზღუდვის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 4.3.5-ზე.

კალაპოტის შეზღუდვის კრიტიკულ სიდიდედ მიღებულია

$$n = \frac{L_{\text{ნაგ.}}}{B}, \quad (4.3.33)$$

სადაც n – არის კალაპოტის შეზღუდვის კოეფიციენტი; $L_{\text{ნაგ.}}$ – კალაპოტის მარეგულირებელი ნაგებობის სიგრძე; B – კალაპოტის სიგანე.



ნახ. 4.3.5. კალაპოტის შეზღუდვის საანგარიშო სქემა

კვლევებმა გვიჩვენა, რომ როცა $n \geq 0,3$, ნაგებობის სითხით გარშემოედენის პარამეტრები განიცდის მოპირდაპირე ნაპირის გავლენას, ხოლო როცა $n \leq 0,3$ მაშინ გარშემოედენის პარამეტრები მუდმივი რჩება. კალაპოტის მდგრადი განივკვეთის ზღვრული სიდიდე, როცა აქტიური ნაგებობა ყრუ ან გამჭოლი ნაკადის მიმართ მართობულად არის ორიენტებული, შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$B - L_{ნაგ} (1 + K) = B_{მდგ}, \quad (4.3.34)$$

სადაც $L_{ნაგ}(1+K)$ – არის აქტიური მარეგულირებელი ნაგებობის სიგრძე;

K – გამჭოლიანობის კოეფიციენტი ($K = L_{გამ} / L_{ყრ.}$);

B – კალაპოტის მდგრადი სიგანე.

(4.3.34) გამოსახულებიდან ვღებულობთ:

$$1 - \frac{L_{ნაგ} (1 + K)}{B} = \frac{B_{მდგ}}{B}, \quad (4.3.35)$$

ან

$$L_{ნაგ} = \frac{n}{1 - n(1 + K)} \cdot B_{მდგ}. \quad (4.3.36)$$

როგორც (4.3.36) გამოსახულებიდან ჩანს, ნაგებობის ოპტიმალური სიგრძე დამოკიდებულია მდგრადი კალაპოტის სიდიდეზე, რომელიც სწორსაზოვან უბანზე განისაზღვრება დამოკიდებულებებით:

$$B_{\text{მღვ}} = \frac{2,6}{I^{0,2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4} \quad \text{როცა } I \geq 0,005 \quad (4.3.37)$$

$$B_{\text{მღვ}} = \frac{1,1}{I^{0,2}} \sqrt{Q} \quad \text{როცა } I \leq 0,005$$

(4.3.37) გამოსახულების გათვალისწინებით შეიძლება განისაზღვროს

$$L_{\text{ნაგ}} = \frac{1,647n}{[1-n(1+K)]I^{0,2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4} \quad \text{როცა } I \geq 0,005 \quad (4.3.38)$$

$$L_{\text{ნაგ}} = \frac{1,1n}{[1-n(1+K)]I^{0,2}} \sqrt{Q} \quad \text{როცა } I \leq 0,005$$

სადაც Q – არის კალაპოტის მაფორმირებელი ხარჯი;

I – კალაპოტის ქანობი.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გვაქვს ყრუ ნაგებობით კალაპოტის რეგულირება, ე.ი.

$K = 0$, გვექნება:

$$L_{\text{ნაგ}} = \frac{1,647n}{(1-n)I^{0,2}} Q^{0,4} \quad \text{როცა } I \geq 0,005 \quad (4.3.39)$$

$$L_{\text{ნაგ}} = \frac{1,1n}{(1-n)I^{0,2}} Q \quad \text{როცა } I \leq 0,005$$

მდგრადი კალაპოტის ზღვრული მდგომარეობის გათვალისწინებით, როცა $n \geq 0.3$

$$L_{\text{ნაგ}} = \frac{0,705Q^{0,4}}{I^{0,2}} \quad \text{როცა } I \geq 0,005 \quad (4.3.40)$$

$$L_{\text{ნაგ}} = \frac{0,47Q^{0,5}}{I^{0,2}} \quad \text{როცა } I \leq 0,005$$

თუ ნაგებობა არის გამჭოლი ტიპის, მაშინ მისი სიგრძე ტოლი იქნება

$$L_{\text{გამ}} = L_{\text{ნაგ}} \cdot K; \quad (4.3.41)$$

რაც შეეხება მანძილებს ნაგებობებს შორის, ის იანგარიშება ფორმულით

$$L = L_{\text{ნაგ}} \sin \alpha \cot \beta + L_{\text{ნაგ}} \cos \alpha, \quad (4.3.42)$$

სადაც β – ნაკადის მოსვლის კუთხეა;

α – ნაგებობის მიერთების კუთხე ნაპირთან ან

$$L_{6\alpha\beta} = \frac{0,705Q^{0,4}}{I^{0,2}} (\sin \alpha \cot g\beta + \cos \alpha) \quad \text{როცა } I \geq 0,005 \quad (4.3.43)$$

$$L_{6\alpha\beta} = \frac{0,47Q^{0,5}}{I^{0,2}} (\sin \alpha \cot g\beta + \cos \alpha) \quad \text{როცა } I \leq 0,005$$

გამჭოლი ნაგებობის შემთხვევაში:

$$l_{\alpha\beta} = l \cdot K \quad (4.3.44)$$

ანალოგიური მიდგომით, მოხვეული უბნებისათვის:

$$B_{\beta\alpha} = \frac{0,47Q^{0,4}}{I^{0,5}} \quad \text{როცა } I \geq 0,005$$

$$B_{\beta\alpha} = \frac{0,58Q^{0,4}}{I^{0,08}d^{0,5}} \quad \text{როცა } I \leq 0,005 \quad (4.3.45)$$

ხოლო

$$L_{6\alpha\beta} = \frac{0,475n}{1-n(1+K)} \cdot \frac{Q^{0,4}}{I^{0,5}} \quad \text{როცა } I \geq 0,005$$

$$L_{6\alpha\beta} = \frac{0,585n}{1-n(1+K)} \cdot \frac{Q^{0,4}}{I^{0,08}d^{0,5}} \quad \text{როცა } I \leq 0,005 \quad (4.3.46)$$

თუ მივიღებთ, რომ $n = 0,3$; $K = 0$, მაშინ

$$L_{6\alpha\beta} = 0,68Q^{0,4} / I^{0,5} \quad \text{როცა } I \geq 0,005$$

$$L_{6\alpha\beta} = 0,83Q / I^{0,08}d^{0,5} \quad \text{როცა } I \leq 0,005 \quad (4.3.47)$$

სიმრუდის რადიუსი მდგრადი კალაპოტებისათვის მოხვეულობის უბანზე მიღებულია 4B-ს ტოლად.

თავი 5. წყალდენების კალაპოტების გამაგრება-რეაბილიტაციის სამუშაოების

მეთოდების სრულყოფა

ცნობილია, რომ მდინარეების კალაპოტების, მისი ნაპირების, ხეობების ფერდობების, ტბების, ზღვის ფსკერის და მისი ნაპირის, ასევე სხვადასხვა დანიშნულების (კაშხლები, წყალმიმღები, წყალგამყოფი და სხვ.) ჰიდროტექნიკური ნაგებობების გამორეცხვისაგან დაცვა, აგრეთვე გამაგრება-რეაბილიტაციის ღონისძიებები, მოითხოვს წყალქვეშა სამუშაოების შესრულებას, რომელიც ძვირადღირებულ რთულ ტექნოლოგიებთან არის დაკავშირებული და დამოკიდებულია გასამაგრებლად გამოყენებული მასალების სახეობაზე, დასაცავი ობიექტის მდგომარეობაზე და ნაგებობების საძირკვლის ქვეშ მდებარე გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე. რაც შეეხება გასამაგრებლად გამოყენებულ მასალებს, ესენია: ბეტონის და რკინაბეტონის სხვადასხვა ზომის და ფორმის კონსტრუქციები, ქვები, ასფალტ-ბეტონის, გრუნტ-ბეტონის და სხვა მასალებისაგან დამზადებული ლეიბები (ტიუფიაკები) და გაბიონები, ხის, ლითონის, რკინაბეტონის ხიმინჯები და ა.შ. გამოყენებული მასალის მიხედვით, ტრადიციულად არსებობს წყალქვეშა სამუშაოთა ტექნოლოგიური სქემაც. ასე მაგალითად, ქვით, რკინაბეტონის კონსტრუქციებით და ხიმინჯებით წყალქვეშა გამაგრების შემთხვევაში (მდინარეების, წყალსატევების და ზღვების დიდი სიღრმეების დროს) ტექნოლოგიური სქემა ითვალისწინებს ნაპირამდე მასალების მოზიდვას, შემდგომ მის ჩატვირთვას ბარჯაში, ტრანსპორტირებას მცურავ პლატფორმამდე, საიდანაც ამწის საშუალებით ხდება მათი ჩაყრა მონიშნულ ადგილას, ხოლო ხიმინჯების შემთხვევაში მცურავ პლატფორმაზე ამონტაჟებენ სპეციალურ ხიმინჯების ჩამსობ მოწყობილობას. ექსტრემალურ სიტუაციებში ამ მიზნისათვის იყენებენ საჰაერო ტრანსპორტს, ვერტმფრენის სახით. ტექნოლოგია საკმაოდ ძვირად ღირებულება, განსაკუთრებით მაშინ, როცა მდინარის, ტბის, ზღვის ფსკერი შედგება სუსტი გრუნტებისაგან, დიდი სიღრმისაა და ტალღურ ზემოქმედებას აქვს ადგილი.

პრაქტიკიდან შეიძლება მოვიყვანოთ იმის კლასიკური მაგალითები, როცა ასეთი ტექნოლოგიით შესრულებული სამუშაოები, განსაკუთრებით სუსტი გეოლოგიური აღნაგობის ფსკერისათვის საერთოდ შედეგს არ იძლევა, ან ნაკლებად ეფექტურია. ტრიესტის პორტის რეკონსტრუქციის დროს ახლად აშენებული 1 კმ სიგრძის მოლი, რომელიც ამოყვანილი იყო საპროექტო ნიშნულამდე, სამუშაოს მიღებამდე რამდენიმე დღით ადრე ფსკერმა შთანთქა, ანალოგიური სურათი განმეორდა მდ. რიონის წყალგამყოფი კვანძის ქვედა ბიეფის რეკონსტრუქციის დროს, 1979-1982 წლებში. ორივე შემთხვევაში არასწორად იქნა შერჩეული სამუშაოს წარმოების ტექნოლოგია, რომელიც

არ ითვალისწინებდა ფსკერზე განლაგებული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს, მათზე დასაშვებ დატვირთვებს, რის შედეგად მოხდა წყლით გაჯერებული გრუნტის გადინება და ჩაყრილი გასამაგრებელი მასალის – ქვის და ბეტონის კუბიკების შთანთქმა ფაფისებურ მასაში.

რაც შეეხება გამაგრებას, ბეტონის, რკინაბეტონის, ასფალტ-ბეტონის და სხვა სახის ლეიბებით (ტიუფიაკებით) შესრულების ტექნოლოგია ითვალისწინებს სპეციალურ დოლზე (ბარაბანზე) მათ დახვევას რულონების სახით, ხოლო შემდგომ მისი მდინარის კალაპოტის ფერდობზე ან ფსკერზე დაფენას პლატფორმიდან ამწეს საშუალებით. დოლზე (ბარაბანზე) ლეიბის დახვევის და მის ფსკერზე ან ფერდობზე დაფენის პროცესი მეტად რთულია და არც ისე ზუსტი, დასაცავი ფართობის გადაფარვის თვალსაზრისით. იყო მცდელობა ამწეების სპეციალურ ვაკუუმ-ჩარჩოებით აღჭურვისა და მათი მეშვეობით ასფალტბეტონის ლეიბების ფსკერზე და ფერდობზე დალაგების.

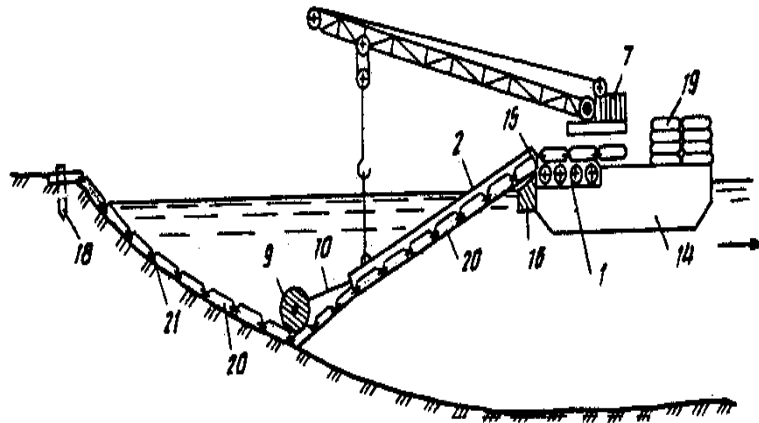
ამრიგად, მდინარეების და წყალსაცავების ფსკერისა და ფერდობების არსებულმა გამაგრების მეთოდებმა და მათი შესრულების ტექნოლოგიებმა კიდევ ერთხელ დაადასტურა, რომ ტრადიციული მიდგომები მეტად შრომატევადია, და დიდ ენერგორესურსების ხარჯვასთან არის დაკავშირებული, ხოლო მიღებული შედეგები ყოველთვის ვერ უზრუნველყოფს სასურველ მიზანს, რადგან არ არსებობს ზუსტი კონტროლი დაზიანებული ზედაპირის დამცველი საფენებით გადაფარვაზე.

გაითვალისწინა რა დასმული ამოცანის სირთულე და, ამასთან, საპროექტო ორგანიზაციების აზრი წყალდენების კალაპოტების ფსკერისა და ფერდობის გამაგრებარეაბილიტაციის სამუშაოების წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების გამარტივების და სრულყოფას შესახებ, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტის გარემოს დაცვის ლაბორატორიაში ამ მიმართულებით ჩვენს მიერ განხორციელდა მთელი რიგი კვლევები და სამუშაოები, როგორც ლაბორატორიულ, ასევე ნატურის პირობებში, შეიქმნა ფსკერის და ფერდობების გამაგრების ახალი მეთოდები, დამუშავდა მათი შესრულების ტექნოლოგიები, როგორც მდინარეების და წყალსაცავების, ასევე ზღვისპირა მიმდებარე ტერიტორიების დასაცავად დატვირთვისა და ტალღური ზემოქმედებისაგან [20, 32, 33, 34].

ქვემოთ, მოცემული შემთხვევისათვის წარმოდგენილია წყალქვეშა სამუშაოს წარმოების ტექნოლოგიის ორი სქემა:

პირველი ითვალისწინებს მდინარის ფერდობის და ფსკერის გამაგრებას უწყვეტ (ლენტური) სისტემით, დამცავი საფარის აწყობა, გადაბმა და დასაცავი ობიექტის ზედაპირზე წყალქვეშ დაფენა ხდება ერთდროულად, მცურავი პლატფორმიდან,

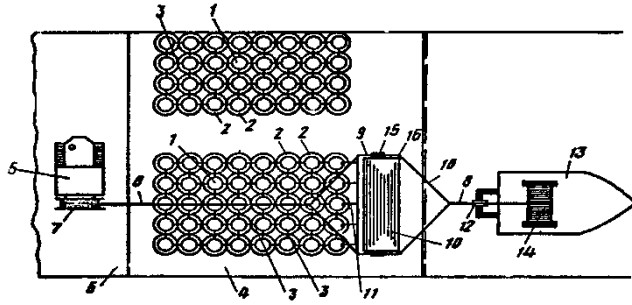
სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით (ნახ. 5.1).



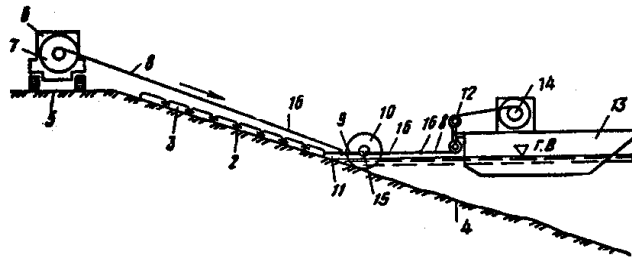
ნახ. 5.1. მდინარის ფერდების და ფსკერის გამაგრება უწყვეტი სისტემით, დამცავი საფარის მცურავ პლატფორმაზე აწყობით

1 – მცურავი პლატფორმა მოძრავი ბაქნით (გორგოლაჭებით), 2 – მიმმართველი ჩარჩო, 3 – მიმმართველი ჩარჩოს საყრდენი, 4 – მიმმართველი ჩარჩოს პერფორირებული ფსკერი, 5 – მიმმართველი ჩარჩოს თავსახური, 6 – მიმმართველი ჩარჩოს საყურეები ამწე მექანიზმის ჩასაბმელად, 7 – ამწე მექანიზმი, 8 – მიმმართველი ჩარჩოს თავსახურის ასახდელად, 9 – საგორავი, 10 – საგორავის მიმმართველი ღერო, 11 – საგორავის დამაგრების მარეგულირებელი ელემენტი, 12 – ბაგირი, საგორავის მუშა სიგრძის დასარეგულირებლად, 13 – ჯალამბარი ბაგირის სიგრძის დასარეგულირებლად, 14 – მცურავი საშუალება, 15 – მიმმართველი ჩარჩოს დამაკავშირებელი სახსარი მცურავ მოწყობილობასთან, 16 – მიმმართველი ჩარჩოს კუთხის შემზღუდავი, 17 – დასაცავი ზედაპირი, 18 – ნაპირზე დამცავი საფარის დასამაგრებელი პალო, 19 – მცურავ პლატფორმაზე დამცავი საფარის დასაწყობი ადგილი, 20 – მიმმართველი ჩარჩოში დამცველი საფარის საფენის ბლოკები, 21 – საფენი-დამცავი ბლოკების გადაბმა.

მეორე სქემა ითვალისწინებს მდინარის ფერდობის და ფსკერის გამაგრებას უწყვეტი (ლენტური) სისტემით, რომლის დროსაც დამცავი საფარის აწყობა და გადაბმა ხდება ნაპირზე, ხოლო დასაცავი ობიექტის ზედაპირზე მისი დაფენა ხორციელდება კატერის მეშვეობით, რომელიც ნაპირზე აწყობილი საფენის ბუქსირებას აწარმოებს წყალქვეშ სპეციალური მოწყობილობების საშუალებით, საჭირო მიმართულებით (ნახ. 5.2, 5.3).



ნახ. 5.2. მდინარის ფერდების და ფსკერის გამაგრება უწყვეტი სისტემით დამცავი საფარის ნაპირზე აწყობით (ზედხედი)



ნახ. 5.3. მდინარის ფერდების და ფსკერის გამაგრება უწყვეტი სისტემით დამცავი საფარის ნაპირზე აწყობით (გვერდხედი)

1 – დამცავი საფარის სექცია, აწყობილი ნაპირზე, 2 – დამცავი საფარის შემადგენელი ბლოკები, 3 – ბლოკების ელასტიკური კავშირები, 4 – დასაცავი ნაპირი, 5 – დასაცავი ნაპირის ბერმა, 6 – ტრაქტორი – თვითმავალი მექანიზმი, 7 – ჯალამბარი, რომელიც მოთავსებულია ტრაქტორზე, 8 – დამჭერი ბაგირი, 9 – საგორავის ჩარჩო, 10 – საგორავი, 11 – საგორავის ჩასაბმელი კაუჭები, 12 – ბაგირის მარეგულირებელი სისტემა, 13 – მცურავი პლატფორმა, 14 – ჯალამბარი მცურავ პლატფორმაზე, 15 – საგორავის ღერძი, 16 – დასამაგრებელი მოწყობილობები.

წარმოდგენილი გამაგრების ტექნოლოგიური პროცესების სქემები საშუალებას იძლევა წყალდენების კალაპოტების ფსკერისა და ფერდების გამაგრება-რეაბილიტაციის სამუშაოები ჩატარდეს წყალქვეშ დიდი სიღრმეების პირობებში, დასაცავი ობიექტის ზუსტი დაფიქსირებით და ამავე დროს დამცავ საშუალებად გამოყენებულ იქნეს როგორც ბეტონის, რკინაბეტონის, ასფალტბეტონის ლეიბები (ტიუფიაკები), გაბიონები, ისე ღრუბანიანი ბლოკები, გათვალისწინებულია აგრეთვე ქვებით გამაგრების შესაძლებლობები. დამუშავებული მეთოდების მუშაობის პრინციპები და სხვა დეტალური აღწერილობა მოცემულია საავტორო მოწმობებში (იხ. ს.მ. №1416597, ს.მ. №1565103) [31, 33].

წყალდენების კალაპოტების ფსკერისა და ფერდების გამაგრების ტექნოლოგიური სქემები საფუძვლად დაედო რეკომენდაციებს მდ. რიონზე წყალგამყოფი სათავე კვანძის კაშხლის ქვედა ბიეფის აღდგენა-რეაბილიტაციის სამუშაოების შესრულებაზე. რეკომენდაცია მოწონებულ იქნა მაშინდელი მელიორაციისა წყალთა მეურნეობის დეპარტამენტის ტექნიკურ-ეკონომიკურმა საბჭოს მიერ (ოქმი №3, 22 ივლისი 1998 წელი) და სარეალიზაციოდ გადაეცა “წყალპროექტს”.

სარჩევი

შესავალი;

თავი I. საკითხის შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა;

1.1 მდინარის (წყალდენის) კალაპოტის შემადგენელი ბმული და არაბმული გრუნტების ძირითადი მახასიათებლები;

1.2 არაბმული გრუნტის ნაწილაკების მდგალობის პირობები და არსებული საანგარიშო ფორმულები ნაკადის კალაპოტის კრიტიკული სიჩქარეებისათვის;

1.3 წყალდენების კალაპოტებში მიმდინარე პროცესების ჰიდროლოგიური და მორფომეტრიული კანონზომიერებანი;

თავი 2. წყალდენების კალაპოტებში მიმდინარე პროცესები და მათი კვლევის შედეგები საველე პირობებში ჩატარებული მონიტორინგის საფუძველზე;

2.1 საველე ცდების ჩატარების მეთოდოლოგია და კვლევის ობიექტები;

2.2 წყალდენების კალაპოტებში განვითარებული ჰიდროლოგიური და გეომორფოლოგიური პროცესები, მათი გავლენა გარემოზე;

2.3 კალაპოტური პროცესების შეფასება და კლასიფიკაცია საველე-ექსპერიმენტული მონიტორინგის საფუძველზე;

თავი 3. წყალდენების კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ეკოლოგიურად უსაფრთხო ენერგო და რესურსშოგი ღონისძიებები;

3.1 კალაპოტური პროცესების მარეგულირებელი ნაგებობების კონსტრუირების პრინციპები;

3.2 ახალი ნაპირდამცავი ნაგებობები;

3.3 ხეების ეროზიული და დვარცოფული მოვლენებისაგან დამცავი ნაგებობები;

თავი 4. წყალდენების კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ახალი ნაგებობები;

4.1 ნაგებობების ლაბორატორიული კვლევის შედეგები;

4.2 კალაპოტების დეფორმაციებისაგან დამცავი ნაგებობების საიმედოობა;

თავი 5. წყალდენების კალაპოტების გამაგრება რეაბილიტაციის სამუშაოების მეთოდების სრულყოფა;

ლიტერატურა

1. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. «Колос», М., 1982, 234 с.
2. Алтунин С.Т. Регулирование русел рек –М.: Сельхозиздат, 1962, 271с.
3. Великанов М.А. Гидрология суши. Изд. Гидрометеиздат, Л., 248 с.
4. Высоцкий Г.Н. Очерки о почвах и режиме грунтовых вод. «Бюллетень почвоведов» №1-2, 1967, с. 27-31; №5-8, с. 37-40
5. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Гидродинамика устьевых участков рек и взморий бесприливных морей.- Труды ЗакНИГИМ, 1972, вып.46 (52). Л.: Гидрометеиздат, 203 с.
6. Гавардашвили Г.В. Новые виды противоселевых сооружений и методика их расчёта. В кн.: Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков (Материалы Международной конференции по селям), Новочеркасск- Пятигорск, 2003, с.79-81.
7. Гавардашвили Г.В., Цулукидзе Л.Н. Противозерозийное сооружение для горных откосов. Патент Грузии №1080И, бюлл.№5(153), Тбилиси, 2004, 18с.
8. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. «Сабчота Сакартвело», Тбилиси, 1970, 380 с.
9. Гиоргадзе С.А., Хараишвили О.И., Одилавадзе Т.В., Купреишвили Ш.З. Определение капиллярного потенциала в почво-грунтах. «Проблемы аграрной науки». Сб. научных трудов, 2004, с. 124-126.
10. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков – М.: Гидрометеиздат, 1962, 374 с.
11. Губеладзе Д.О. Влияние руслового потока на подрусловое фильтрационное течение. АСХН Груз., Тбилиси, 1991, с. 165.
12. Кацарава Т.Е. К вопросу расчета фильтрации через земляные сооружения с учетом начального градиента. Труды ГрузНИИ гидротехники и мелиорации, вып. 25. Т., 1967, с. 194-200.
13. Качинский Н.А. Физика почв. «Высшая школа», М., 1965, 318 с.
14. Костяков А.Н. Основы мелиорации. Сельхозгиз. М., 1960, 622 с.
15. Кухалашвили Э.Г. К оценке гранулометрического состава селевого потока. Респ. научная конференция молодых ученых и аспирантов на тему «Водохозяйственное строительство и мелиорация в Грузии» (тезисы докладов). Тбилиси, 1981, с. 18-19
16. Лыков Л.В. Явления переноса в капиллярных пористых телах. Гос. изд. ТТЛ, М., 1954, 296 с.
17. Маслов Б.С. Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. М.: Колос, 1970, с. 57-62.
18. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений М.: Колос, 1974, 325с.

19. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии – М.: Колос, 1970, 240с.
20. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Гидровлические закономерности связанных селей. Мецниереба, Тбилиси, 1996, с. 1-52.
21. Одилавадзе Т. В., Кацарава Т.Е. Определение высоты капиллярного поднятия в гидрофильных пористых телах. Сборник научных трудов «Проблемы аграрной науки», Тб., 2004, с. 121-123.
22. Одилавадзе Т.В. Кинематика капиллярного передвижения влаги в почво грунтах. Изв. Армянской сельхоз. Академии, 2005, с. 69-71.
23. Одилавадзе Т. В., Купреишвили Ш. З. Определение основных гидромеханических и морфометрических параметров склонового потока. «Известия аграрной науки», т. 3, 2005, с. 101-104
24. Сергеев Е. М. Грунтоведение. Изд-во Московского университета. 1983, 388 с.
25. Сичинава О.А. К вопросу строительства и эксплуатации противозерозийных берегозащитных сооружений рек Колхиды. Научно-тех. Конфер. По проблеме Осушение и с/х освоение земель Колхидской низменности. Госкомитет совмина Груз. ССР по науке и технике, минсельхоз Груз. ССР, Минводхоз Груз. ССР, Главгрузводстрой, академия наук Груз. ССР, Закавказское отделение ВАСХНИЛ. Тезисы докладов, «Мецниереба», Тбилиси, 1981, с.24-25.
26. Сичинава О. А., Сичинава П. О., Кухалашвили Э. Г. Перспективы практической новых энерго иресурсосберегающих гидротехнических и мелиоративных сооружений. Грузинский технических университет, Труды международной конференции, Тбилиси, 2000, с.150-151.
27. Сичинава О. А., Сичинава П. О. Гидрологическая и геоморфологическая классификация русел рек грузии. Академия Наук Грузии, Институт Водного хозяйства и инженерной экологии, труды международной конференции, Тбилиси, 2001, с. 200-207
28. Сичинава П. О. Принципы конструирования ресурсосберегающих сооружений для защиты окружающей среды. Академия Наук Грузии, Институт Водного хозяйства и инженерной экологии, Сб. научных трудов, Тбилиси, 2003, с.145-151
29. Сичинава О. А., Сичинава П. О. Новые энерго-и ресурсосберегающие сооружения для регулирования русел грязекаменных потоков Защита наорднохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков, Материалы Международной конференции по селям. Пятигорск, 2004, с. 78-80
30. Сичинава О. А., Сичинава П. О. Эксплуатационные проблемы вододелительного узла на р. Риони, уг. Поти и мелоприятия по их претупреждению. Академия Наук Грузии, Институт Водного хозяйства и инженерной экологии, , Тбилиси, 2005, 105 с.

31. Сичинава О. А., Сичинава П. О. Способ подводной укладки полотнищ укрепляющих земляные откосы и устройство для его осуществления. Авторское свидетельство №1416597, Заявка № 4125920, 1988.
32. Сичинава Н.О., Сичинава О. А., Сичинава П. О. Устройство для предохранения берегов от размыва Авторское свидетельство №1446213, Заявка № 3863839, 1988.
33. Сичинава О. А., Сичинава П. О. Способ возведения защитного покрытия подводного откоса. Авторское свидетельство №1565103, Заявка № 4459683, 1990 .
34. Тевзадзе В.И. Расчетные модели плотности селовой смеси и объема селевых выносов. Г.Г.А.У. Юбилейный том, 1999,с. 383-386.
35. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Государственное издательство иностранной литературы. М., 1948, 153 с.
36. Черкасов А.А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Сельхозгиз. М., 1958, 376 с.
37. Чугаев Р.Р. Гидравлика. «Энергия» Ленинградское отделение, 1971, 541 с.
38. Шатберашвили П.А., Панчулидзе Д.Н., Мамасахлиси Ж.Г. Методика гидрологического расчета осушительной системы Колхиды на поверхностный сток. Тезисы докладов научно-произв. сессии по проблеме «Осушение и освоение переувлажненных земель Колхидской низменности», Тбилиси-Хоби, 1975, с. 68-70
39. Gavardashvili G., Chakhaia G. The analysis of possible failure of spring-board type mudflow-protective new structures in transport corridor. International Scientific Journal “Problems of Applied Mechanics”. # 4(13), Tbilisi, 2003, pp. 38-42.
40. Gavardashvili G. Analysis of the Onset of Avalanches Motion Using the Theory of Catastrophes Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, Tbilisi. March-April 2006, pp. 396-399.
41. LASEY G. Flow in alluvial Channels with Sand Mobile Beds. Proceeding of the institution of Civil Engineering., London, Vol. 9. 1958.
42. SCIELDS A. Anwendung der Ahnlicheitsmechanik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebewegung., Preussische Versuchanstalt fur wasserbau und Schiffbau, Berlin, 1936, h.26., Seite 245.