

ბ. ჩიკვაშვილი

# ჰიდროგეოქიმიური ნაპეობები

პირველი ნაწილი

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური  
განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სა-  
ხელმძღვანელოდ უმაღლესი სასწავლებლების ჰიდროგე-  
ოლოგიური სპეციალობის სტუდენტებისათვის

გამომცემლობა „ბანათლიზა“

თბილისი — 1979

წინამდებარე სახელმძღვანელო შედგენილია სსრ კავშირის სოფლის მეურნეობის სამინისტროს უმაღლესი და საშუალო სასოფლო-სამეურნეო განათლების სამმართველოს მიერ „ჰიდროტექნიკური ნაგებობების“ კურსისთვის დამტკიცებული პროგრამის მიხედვით და განკუთვნილია ჰიდრომელიორაციის სპეციალობის სტუდენტებისათვის. ის სათანადო დახმარებას გაუწევს აგრეთვე სხვა მონათესავე ფაкультეტების სტუდენტებს, რომლებსაც სპეციალობის მიხედვით ეკითხებათ აღნიშნული საგანი.

სახელმძღვანელოში ფართოდ აისახა უახლოეს პერიოდში ჩატარებული მეცნიერული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ძირითადი კვანძების გაანგარიშების მეთოდების სრულყოფისა და დაპროექტების უნიფიკაციის შესახებ.

## ავტორისაგან

წინამდებარე წიგნი „ჰიდროტექნიკური ნაგებობები“ სახელმძღვანელოს პირველი ნაწილია. იგი შედგენილია საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის ჰიდრომელიორაციული ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის. სახელმძღვანელო სათანადო დახმარებას გაუწევს სხვა სასწავლებლების იმ მსმენელებსაც, რომელთაც სპეციალობის მიხედვით ეკითხებათ აღნიშნული კურსი. ვფიქრობთ, ეს წიგნი ასევე სარგებლობას მოუტანს წყალსამეურნეო ობიექტების პროექტირება-მშენებლობასა და ექსპლუატაციაზე მომუშავე ინჟინერ-ტექნიკურ პერსონალსაც.

ქართულ ენაზე ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სახელმძღვანელოს შექმნა. რომელიც უპასუხებდა ჰიდრომელიორაციის ფაკულტეტის სტუდენტთა სწავლების მოქმედი პროგრამების შესაბამისად საკითხების სრულყოფილად გაშუქებას, ამასთან ერთად ასახავდა მელიორაციული მშენებლობის პრაქტიკაში დაგროვულ გამოცდილებას, გაანგარიშებისა და დაპროექტების ახალი მეთოდების გათვალისწინებით, მიუთითებდა ტრადიციული საშენი მასალების გვერდით ახალი მასალების ფართო ნომენკლატურისა და მათი გამოყენების მრავალმხრივ შესაძლებლობაზე სხვადასხვა კონსტრუქციული ელემენტების შექმნის მიზნით თუ სხვა, წიგნის ნაწილობრივ შეზღუდული მოცულობის გამო ავტორს აყენებდა საკმაოდ რთულ მდგომარეობაში.

ამგვარად, ისეთი სახელმძღვანელოს შექმნა, რომელიც შემაერთებელი ხიდი იქნებოდა რუსულ ენაზე არსებული კლასიკური სახელმძღვანელოებისა და სპეციალურ ლიტერატურაში განზოგადებული უკანასკნელი დროის მეცნიერულ კვლევებს შორის, თავისი სტრუქტურითა და ცალკეული საკითხების მიუყვარძობელი გა-

შუქებით, ვფიქრობთ, დროის მოთხოვნებითაა ნაკარნახევი და, ბუნებრივია, წინამორბედის არარსებობის გამო, არ შეიძლება დაზღვეული იყოს ზოგიერთი ხარვეზისაგან. ავტორი მადლიერებით მიიღებს ყველა სამართლიან შენიშვნას და მათ გაითვალისწინებს შემდეგ გამოცემაში.

ავტორი წინასწარ შენიშნავს, რომ სახელმძღვანელოში გამოყენებულია ტექნიკურ ლიტერატურაში გავრცელებული განზომილებათა სისტემები, ხოლო ახალ C<sup>1</sup> სისტემის ერთეულებსა და მათზე გადამყვან განზომილებათა კოეფიციენტების ნუსხა დანართის სახით მოცემულია წიგნის ბოლოში.

სახელმძღვანელოში საკმაო ადგილი აქვს დათმობილი საქართველოს, და, საერთოდ, ამიერკავკასიის მთიანი რაიონების სპეციფიკურ პირობებში აშენებულ, მშენებარე და დასაპროექტებელ წყალსამეურნეო-ჰიდროტექნიკური ობიექტების განხილვას.

ავტორს მიაჩნია, რომ სახელმძღვანელოში განხილული სასწავლო მასალების საფუძვლიანად ათვისება შეიძლება მიღწეული იქნას თეორიული და პრაქტიკული მეცადინეობების ორგანულად შერწყმის შემთხვევაში. ამასთანავე, ლექციური და პრაქტიკული მეცადინეობების დროს მიღებული ცოდნის გაღრმავებისათვის განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს სასწავლო-სამშენებლო და საექსპლუატაციო პრაქტიკას, სადაც სტუდენტმა უნდა მიიღოს ნათელი წარმოდგენა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ორგანიზაციის სხვადასხვა სპეციფიკურ საკითხებზე.

## პ ი რ ვ ე ლ ი თ ა ვ ი

### ჰიდროტექნიკის, როგორც მეცნიერების განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

#### § 1. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საგანი

ჰიდროტექნიკა არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის წყალსამეურნეო ობიექტების დაპროექტების, მშენებლობის და ექსპლუატაციის ინჟინრულ მეთოდებს, ხოლო თვით ნაგებობებს, რომლებიც დაკავშირებულია წყლის დანიშნულებისამებრ გამოყენებასთან ან კიდევ წყლის მანევრირებასთან ბრძოლის ღონისძიებების დასახელებასთან, ეწოდება ჰიდროტექნიკური ნაგებობები.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ინებისმიერი წყალსამეურნეო ამოცანის შესასრულებლად სჭირად საჭიროება მოითხოვს აშენდეს არა ცალკეული ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, არამედ ნაგებობათა სისტემა (წყალმიღები, წყალსადები, ნატანგადამცემი, თევზგამტარი და ა. შ. ნაგებობათა ერთი მთლიანი კომპლექსი), რომელსაც ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძს ან კიდევ მარტივად ჰიდროკვანძს უწოდებენ.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საგანს მჭიდრო კავშირი აქვს ჰიდროლოგიის, ჰიდრაულიკა-ჰიდროდინამიკის, საინჟინრო გეოლოგიის, სამშენებლო მექანიკის, მშენებლობის წარმოების ორგანიზაციის და სხვა მონათესავე საგნებთან. ასე, მაგალითად, ყოველი წყალსამეურნეო ობიექტის ჰიდროლოგიურად შესწავლა გულისხმობს კვების წყაროს (მდინარის, ტბის, გრუნტის წყლების და ა. შ.) ჰიდროლოგიური რეჟიმის ძირითადი მახასიათებლების დადგენას. ჰიდრაულიკურ და ჰიდროდინამიკურ გაანგარიშებათა საფუძველზე ხდება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ძირითადი გაბარიტების (ზომების) დადგენა, ხოლო სამშენებლო მექანიკის საანგარიშო მეთოდების გამოყენებით კი (საინჟინრო-გეოლოგიურ გამოკვლევათა მონაცემების მხედველობაში მიღებით)—მათი სიმტკიცეზე, მდგრადობასა და დეფორმაციებზე შემოწმება. და, ბოლოს, მშენებლობის წარმოების ორგანიზაციის საგნის მიზანს შეადგენს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის სწორად ორგანიზება.

ათვის მსხვივ, ჰიდროტექნიკა, როგორც მეცნიერება, განიხილავს წყალთა მეურნეობის შემდეგ დარგებს:

ა) მელიორაცია, რომელიც ითვალისწინებს სასოფლო-სამეურნეო მიწების მორწყვას, დაშრობას ან კიდევ დაცვას წყლის მავნე მოქმედებისაგან (დატბორვისაგან, მეწყერების წარმოქმნისაგან, ნიადაგის ეროზიული გამოფიტვისაგან და ა. შ.).

ბ) წყლის ენერჯის გამოყენება ელექტროენერჯის გამომუშავების მიზნით (ჰიდროელექტროსადგურების აშენების გზით).

გ) სასოფლო-სამეურნეო მიწების გაწყლოვანება და სასმელი და ტექნიკური წყლით კოლმეურნეობების, მეურნეობების, მეცხოველეობის ფერმების, სამანქანო-სატრაქტორო სადგურებისა და სხვა ობიექტების წყალმომარაგება.

დ) დასახლებული პუნქტებისა და ქალაქების წყალმომარაგება და კანალიზაცია.

ე) წყლის ტრანსპორტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაოსნობას ზღვებში, ტბებში, მდინარეებში, სპეციალურად აშენებულ სანაოსნო არხებსა და წყლის ტრანსპორტის სხვა ნაგებობებს.

ვ) სათევზე მეურნეობის ჰიდროტექნიკა — ტბორების მოწყობა თევზის ხელოვნურად მოსაშენებლად, თევზსაჭერი, თევზამტარი და თევზგადაწყვანი ნაგებობების მოწყობა კაშხალთან და ა. შ.

ზემო აღნიშნულიდან ნათელია, რომ კომუნისმის მშენებლობის ისეთი საკითხების გადაწყვეტა, რომლებიც ითვალისწინებს ჩვენი ქვეყნის მილიონობით ჰექტარა სასოფლო-სამეურნეო მიწის ფართობების ხელოვნურად მორწყვას, ჰარბტენიანი ნიადაგების დაშრობას, ქვეყნის მთლიან ელექტრიფიკაციას, თევზაშენი მეურნეობებისა და წყლის ტრანსპორტის მაქსიმალურად განვითარებას, მოსახლეობის, საწარმოო და კომუნალური ობიექტების სასმელ-სამეურნეო წყლით უზრუნველყოფას და ა. შ. საბჭოთა ჰიდროტექნიკოსებს აყენებს მეტად საპატიო ამოცანის წინაშე.

## § 1. 2. ჰიდროტექნიკის განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

ჰიდროტექნიკის განვითარებას მეტად ხანგრძლივი ისტორია აქვს. მდინარეებს, ტბებს, მიწისქვეშა წყლებს უძველესი დროიდანვე დიდი მნიშვნელობა ენიჭებოდა ხალხთა ცხოვრებაში. თვლიდა რა ადამიანის არსებობის ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორად წყალს, ხალხმა დასახლება დაიწყო მდინარეებისა და ტბების ნაპირებზე, რაც წყალსაველი გზების განვითარებისა და ამით მეზობელ ხალხებთან სავაჭრო და სხვა კავშირების დამყარების საშუალებას იძლეოდა. მსოფლიო ისტორიიდან ცნობილია, რომ ძველ ჩინეთში კაშხალებისა და არხების მშენებლობას აწარმოებდნენ ჯერ კიდევ სამი ათასი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. შედარებით უფრო მო-

გვიანებით ნილოსზე, ევფრატზე და განგაზე მორწყვის მიზნით მდინარიდან წყლის დანიშნულებისამებრ მისაწოდებლად იყენებდნენ პონტონიან წყლის ბორბლებს, ხოლო მდინარე ტიბრზე კი (დაახლოებით 550 წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე) მოწყობილი იყო პონტონიანი წისქვილები.

ყველაზე ადრინდელი მონაცემები ჩვენი ქვეყნის მდინარეებისა და ტბების წყალსამეურნეო მიზნით გამოყენების შესახებ მიეკუთვნება პირველ ათასწლეულს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. ამ პერიოდში უკვე მიმდინარეობდა შუა აზიის მთელ რიგ მდინარეებზე (ამუდარია, ზერაფშანი და სხვ.) მცირე მოცულობის წყალსამეურნეო ობიექტების მშენებლობა სასოფლო-სამეურნეო მიწების მორწყვის მიზნით.

ცნობილი ქართველი მეცნიერის ვახუშტი ბატონიშვილის ნაშრომში „აღწერა სამეფოსა საქართველოსი“ ნათქვამია: „შოლის პირიდან გაიტანა მეფემან ვახტანგ რუ, რამეთუ იყო მინდორი ესე უწყლო, და ჰყო წისქვილნი, და სმენ პირუტყვი“.

1627 წელს რუსეთში შეადგინეს წიგნი „Книга большому чертежу“, რომელიც წარმოადგენდა მოსკოვის სახელმწიფოს პირველი რუკის დანართს\*. ამ წიგნში აღწერილი იყო მოსკოვის სახელმწიფოს ტერიტორია მთლიანად და მათ შორის ამ ტერიტორიაზე არსებული წყლის ობიექტები.

ღიდი ყურადღება ექცეოდა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობას პეტრე პირველის იმპერატორად ყოფნის დროს, რადგან სწორედ ამ პერიოდში ჰპოვა ფართო განვითარება სახლვაო და სამდინარო ტრანსპორტმა. ასე, მაგალითად, ამ პერიოდში ჩატარდა საკვლეო-საძიებო სამუშაოები ოკაზე, ვოლგაზე და დონის, მდინარე მოსკოვისა და ვოლგის წყალგამყოფებზე, რათა ამ უბნებში წყლის სამომავლო გზების სრულყოფის მიზნით მოეწყობა შემაერთებელი არხები.

XVIII საუკუნეში ურალში გამოჩენილი რუსი მშენებლების პოლზუნოვის, ჩერეპანოვის, ფროლოვისა და სხვათა უშუალო ხელმძღვანელობით აშენდა მრავალი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა და შეიქმნა სხვადასხვა ტიპის ჰიდრაულიკური მანქანები, მიწის კაშხალები (მაგალითისათვის აღვნიშნავთ, რომ 1787 წელს აშენებული ზმენოგორსკის კაშხალი, სიმაღლით 18 მ, ამჟამადაც მოქმედებაშია), წყალგამტარი და სხვა ამგვარი ტიპის ნაგებობები.

XIX საუკუნის ბოლოს და XX საუკუნის პირველ წლებში რუსეთში მდინარე ვოლგაზე, დნეპრზე და სხვა დიდ მდინარეთა აუზებში ჩატარდა არსებული წყლის ტრანსპორტის რეკონსტრუქცია, დაიწყო კაშხალებისა და გემგამშენები რაბების მშენებლობანი, რეკონსტრუირებულ იქნა ძველი და აშენდა ახალი გემთსადგომები შავი, აზოვისა და ბალტიის ზღვებზე.

\* რუკა შედგენილი იყო XVI საუკუნეში ივანე მრისხანის მეფობის პერიოდში.

რევოლუციამდელ რუსეთში არავითარი ან უკეთეს შემთხვევაში მეტად მცირე ყურადღება ექცეოდა ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობას. მაგალითად, 1913 წლისათვის 1000 კვტ-ზე მეტი სიმძლავრის მქონე ჰიდროელექტროსადგური მხოლოდ ორი იყო—სატკინსკისა მდინარე-სატკაზე (ურალში), 1140 კვტ სიმძლავრის და ჰინდიკუმის მდინარე მურ-ლაბზე 1590 კვტ სიმძლავრის.

რევოლუციამდელ საქართველოში უმეტესად არსებობდა მხოლოდ მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურები, მაგალითად: ბორჯომის 211 კვტ სიმძლავრის (აშენდა 1903 წელს), ახალი ათონის—132,5 კვტ (1902—1913 წ.), გაგრის—596 კვტ (1904 წელს), სოხუმის—442 კვტ (1909 წელს), ბიჭვინთის—33 კვტ (1913 წელს), ბოლნისის—44 კვტ (1913 წელს), ახალქალაქის—88 კვტ (1914 წელს) და ა. შ.

ასევე ნაკლები ყურადღება ექცეოდა მეფისდროინდელ რუსეთში მელიორაციული მშენებლობების განვითარებას. იმ დროისათვის რუსეთში აშენებული იყო მხოლოდ სამი, შედარებით მსხვილი სარწყავი სისტემა, სახელდობრ, ერთი შუა აზიაში „მშიერი ველის“ (50000 ჰა), მეორე თურქმენეთში „სამეფო მამული“-ს (40000 ჰა) და მესამე აზერბაიჯანში „მულანის“ (20000 ჰა). თითქმის იგივე მდგომარეობა იყო ამ მხრივ საქართველოშიც. მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოში სარწყავი არხების მშენებლობამ ფართო განვითარება ჰპოვა ჭერ კიდევ XII საუკუნეში (ისტორიულად ცნობილია იმდროინდელი ისეთი არხები, როგორცაა ალაზნის, ტორიფონის, დოგლაურის და სხვა, რომლებიც დღესდღეობითაც შემორჩნენ), შემდგომ პერიოდში იმდენად ჩამორჩა, რომ საქართველოში საბჭოთა ხელისუფლების დამყარებამდე არწყებოდა მხოლოდ 95000 ჰა მიწის ფართობი და ისიც არასაინჟინრო ტიპის არხებით. გამონაკლისს შეადგენდა 1967 წელს აშენებული გარდაბნის სარწყავი სისტემა, რომელიც ემსახურებოდა 12800 ჰექტარ ფართობს.

ოქტომბრის რევოლუციის გამარჯვების პირველი წლებიდან დაწყებული საბჭოთა კავშირში წყალსამეურნეო ობიექტების მშენებლობა არნახული ტემპებით მიმდინარეობდა—აშენდა მრავალი ჰიდრო და თბოელექტროსადგური, წყალსადენისა და კანალიზაციის ობიექტები, გემთსადგომები, მდინარეთა და ზღვათა ნაპირსამაგრი და სხვა დანიშნულების მრავალი ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კომპლექსები; კერძოდ, ვ. ი. ლენინის სახელობის ვოლგა-დონის გემთსავალი არხი, ბალტიისპირეთში ნარევაჰესი, უკრაინაში დნეპრჰესი და კუბიშევჰესი, ციმბირში—ბრატსკისა და კრასნოიარსკის ჰესები, შუა აზიაში ჩარვაკისა და სხვა ჰესები, აზერბაიჯანში—მინგეჩაურჰესი, სომხეთში—სევანის კასკადისა და სხვა ჰიდროენერგეტიკული კომპლექსები, საქართველოში—ზემო ავჭალის (1927 წ.), რიონის



(1933 წ.), ხრამი—I (1947 წ.), სოხუმის (1948 წ.), ჩითახევის (1949 წ.),  
ორთაქალის (1954 წ.), შაორის (1955 წ.), ბაღნარის (1955 წ.), სამგორის.  
პესების კასკადი (1955 წ.), ბუჯის (1956 წ.), გუმათი—II (1956 წ.), ტყი-  
ბულის (1956 წ.), გუმათი I (1958 წ.), ლაჭანურის (1959 წ.), ხრამი—II,  
(1963 წ.), ენგურის (მშენებარე ობიექტი), ვარციხის (მშენებარე ობიექტი).  
და სხვა მრავალი ჰიდროელექტროსადგურები. საბჭოთა ხელისუფლების  
დამყარებისთანავე ასევე ფართო მასშტაბით დაიწყო საინჟინრო სამელო-  
რაციო სამუშაოები უზბეკეთში, ყაზახეთში, ტაჯიკეთში, აზერბაიჯანში,  
სომხეთსა და საქართველოში.

გასაბჭოების პირველ წლებში საქართველოში მრავალი სარწყავი სის-  
ტემის მშენებლობა დაიწყო, როგორც მაგალითად: ალაზნის, ტირიფონის,  
დიღმის და სხვა. შემდგომ წლებში, განსაკუთრებით მეორე მსოფლიო  
ომის დამთავრების შემდეგ, რესპუბლიკის მასშტაბით სწრაფი ტემპით იშ-  
ლება ისეთი მსხვილი წყალსამეურნეო ობიექტების მშენებლობა რთული  
და უნიკალური ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით, როგორცაა სამგორის,  
ტაშისკარის, ტირიფონი-სალთვისის, მუხრანის, ალაზნის, კეხვის, ვანათის,  
კაზრეთის და სხვა სარწყავი სისტემები. ამჟამად მშენებლობის პროცესშია  
ისეთი უნიკალური და რთული წყალსამეურნეო ობიექტები, როგორცაა  
ზედა ალაზნის, მდინარე პატარა ლიახვის წყალსაცავის და სხვა მრავალი  
სარწყავი სისტემები. სარწყავი ობიექტების მშენებლობის ასეთი ტემპების  
შედგად საქართველოში დღეისათვის სარწყავი ფართობები 1920 წელთან  
შედარებით ოთხჯერ გაიზარდა. რესპუბლიკის სარწყავი ფართობები კი-  
დეც უფრო გაიზარდება მომავალში.

ჰიდროტექნიკურ მეცნიერებათა განვითარებას რუსეთში არც თუ  
იხე დიდი ისტორია აქვს. ამ მხრივ ფასდაუდებელი სამუშაო ჩაატარა დიდ-  
მარუსმა მეცნიერმა მ. ლომონოსოვმა (1711—1765 წწ.), მისმა მეცნიერულ-  
მა დასკვნებმა ამ დარგში დიდი გავლენა მოახდინა ჩვენს ქვეყანაში  
წყლის ობიექტების მეცნიერულად შესწავლის მიმდინარეობაზე. თავის  
დროზე ასევე დიდ მეცნიერულ გამოკვლევებს ატარებდა მ. გერსეევანოვი  
(პორტებისა და მელორაციულ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დარგში),  
დ. ნეელოვი, რომელმაც ერთ-ერთმა პირველთაგანმა გამოუშვა კაშხალე-  
ბის კურსის სახელმძღვანელო, ვ. ტიმანოვს ეკუთვნის წყლის გზების თეო-  
რიული და პრაქტიკული საკითხების დამუშავება, ნ. ლელიავსკიმ დაამუ-  
შავა მდინარეთა კალაპოტების რეგულირების საკითხი.

საბჭოთა ქვეყანა სამართლიანად ამაყობს ჩვენი მეცნიერების კორი-  
ფეების შრომებით. ნ. ჟუკოვსკი, რომელმაც ჩამოაყალიბა როგორც დამოუ-  
კიდებელი მეცნიერება, აეროდინამიკა და ამავე დროს განავითარა ჰიდრო-  
ტექნიკის თეორიული საფუძვლები—ჰიდრაულიკა და ჰიდრომექანიკა;  
ნ. პავლოვსკი—ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშე ფილტრაციული ნაკა-  
დების გაანგარიშების თეორიული საფუძვლები და სხვა. ამჟამად, ჰიდრო-

ტექნიკურ მეცნიერებათა საკითხები მუშავდება მრავალი სამეცნიერო-კვლევითი და სასწავლო ინსტიტუტების ლაბორატორიებსა და კათედრებზე. მათ რიცხვს მიეკუთვნებიან: ბ. ვედენევის სახელობის ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი ლენინგრადში (ВНИИГ); ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის საკავშირო (მოსკოვში) და რესპუბლიკური სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტები; წყალმომარაგების, ჰიდროტექნიკისა და ჰიდროგეოლოგიის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი მოსკოვში; მოსკოვის საინჟინრო-სამშენებლო (სასწავლო) ინსტიტუტი; საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი; საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკისა და სანტექნიკის ფაკულტეტი; საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის ჰიდრომელიორაციის ფაკულტეტი და ა. შ.

### შეორე თავი

#### ზოგადი ცნებები ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა შესახებ

##### § 1. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეები, მათი დანიშნულება და კლასიფიკაცია

როგორც შესავალში აღვნიშნეთ, ჰიდროტექნიკა კომპლექსური საინჟინრო მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის წყლის გამოყენების საკითხებს ჰიდროენერგეტიკის, მორწყვის, დაშრობის, წყლის ტრანსპორტის, ხე-ტყის ტრანსპორტირების, წყალმომარაგების, თევზსაშენი მეურნეობის და სხვა წყალსამეურნეო მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილების მიზნით.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ზოგადად შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად: **საერთო და სპეციალური დანიშნულებების** ჰიდროტექნიკური ნაგებობები.

**საერთო დანიშნულებების** ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ჯგუფს მიეკუთვნება:

ა) **ბუნებრივი** (ან კიდევ ხელოვნური) წყალდენების გადამღობი ნაგებობები—**კაშხალები.**

ბ) **წყალგამტარი ნაგებობები** — არხები, მილები, ჰიდროტექნიკური გვირაბები და ა. შ.

გ) **წყალამღები ნაგებობები** — წყლის ასაღებად მდინა-

\* წყალამღები ნაგებობები ამავე დროს შეიძლება მიეკუთვნოს სპეციალური დანიშნულების ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჯგუფსაც. ასე, მაგალითად, იმის გამო, რომ წყლის აღება მდინარიდან ჰიდროელექტროსადგურებისათვის განსხვავდება წყლის აღებისაგან წყალმომარაგების ან საირიგაციო მიზნებისათვის, ამიტომ ის ამავე დროს ასრულებს სპეციალური დანიშნულების ფუნქციასაც.

რეებიდან, ტბებიდან, წყალსაცავებიდან, არტეზიული კვებიდან და ა. შ.

დ) ნაპირსამაგრი და კალაპოტგამასწორებელი ნაგებობები.

სპეციალური დანიშნულების ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ჯგუფს მიეკუთვნება:

ა) ჰიდროენერგეტიკული ნაგებობები — წყალამღები ნაგებობა, ჰიდროელექტროსადგურის შენობა, აენკამერა, სადარწეო აუზი, გამთანაბრებელი კოშკები, შახტები და სხვა.

ბ) მელიორაციული სარწყავი და დამშრობი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები — წყალამღები ნაგებობა, რაბორეგულატორი, სალექარი, სხვადასხვა კონსტრუქციის წყალსაზომები, წყალგამყოფები, კოლექტორები, სადრენაჟო მოწყობილობანი, სარწყავი და დამშრობი ქსელი და სხვა.

გ) წყალმომარაგებისა და საკანალიზაციო ჰიდროტექნიკური ნაგებობები — წყალმიღებები, სატუმბო სადგურები, საკაბაჟო ნაგებობები, ფილტრები, გუბურები, სასხური აუზები, წყალგამწმენდი ნაგებობები, ღვარსაშეებები, სხვადასხვა ტიპის სათვალთვალ კვები და სხვა.

დ) წყლის ტრანსპორტის ჰიდროტექნიკური ნაგებობები — გემთგამტარი, გემთამწვევი და გემთსადგომი ნაგებობები, გემთსარემონტო და გემთმშენებელი მოწყობილობანი, გემების სკლის მაჩვენებელი ხელაწყოები (შუქურები, კეეტების მაჩვენებელი ნიშნები) და სხვა.

ე) სათევზე მეურნეობისათვის აუცილებელი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები — თევზის მოსაშენებელი ტბორები და აუზები, თევზგამტარი და თევზდამცველი ნაგებობები და სხვა.

როგორც საერთო, ასევე სპეციალური დანიშნულების მელიორაციული ჰიდროტექნიკური ნაგებობები წყალღების ხასიათის მიხედვით თავის მხრივ დაყოფილია ორ ძირითად ჯგუფად — სამდინარო და შიგასასისტემო.

სამდინარო ნაგებობათა ჯგუფს ეკუთვნის კაშხალი, სანაპირო დამბები, სათავე რეგულატორი, სალექრები და ნატან-გამრეცხი ნაგებობები, გემთგამტარი რაბები, ჰიდროელექტროსადგურების სათავე კვანძი, ნაპირსამაგრი და კალაპოტგასამართავი ნაგებობები და სხვა.

შიგასასისტემო ნაგებობათა ჯგუფს ეკუთვნის არხები, აკვედუკები, დუქურები, ღარები, მილები, ღვარსაშეებები, გვირაბები, სხვადასხვა ტიპის წყლის ხარჯისა და დონის მაჩვენებელი წყალგამყოფები და რაბორეგულატორები, ზედა და ქვედა ბიუფების შენაშენებელი ნაგებობები (სწრაფდენები, კონსოლური წყალსაგდებები, წყალვარ-

დნილები და ა. შ.). სარწყავ არხებზე აშენებული ხიდები და მილები, ხეტყის დასაცურებელი ღარები და სხვა.

კაპიტალურობის მიხედვით განასხვავებენ ძირითად, მეორეხარისხოვან და დამხმარე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს, ხოლო საექსპლუატაციო მომსახურების ხანგრძლივობის მიხედვით კი მუდმივსა და დროებითს.

ძირითად ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ჯგუფს მიეკუთვნებიან ნაგებობათა ის სისტემები, რომელთა მწყობრიდან გამოსვლამ შეიძლება გამოიწვიოს განსახილველი წყალსამეურნეო ობიექტის ეფექტიანობის მკვეთრად დაცემა, მეორეხარისხოვანს ის ნაგებობები, რომელთა ავარიული მდგომარეობა გაართულებს ძირითად ნაგებობათა ნორმალურ ექსპლუატაციას, ხოლო დამხმარე ნაგებობათა ჯგუფს კი ისეთი ნაგებობები, რომელთა ექსპლუატაცია გათვალისწინებულია მხოლოდ მშენებლობის ან ძირითად, ან მეორეხარისხოვან ნაგებობათა რემონტის ჩატარების პერიოდისათვის.

ГОСТ 3315—46-ის თანახმად ყველა აქ ჩამოთვლილი ძირითადი, მეორეხარისხოვანი, დამხმარე და აგრეთვე მუდმივი და დროებითი სახის ჰიდროტექნიკური ნაგებობები დაყოფილია ხუთ კლასად: I კლასს მიეკუთვნებიან კაპიტალური ნაგებობები, II—ჩვეულებრივზე მეტად კაპიტალური, III—ჩვეულებრივი კაპიტალურობის, IV—შემსუბუქებული და V—მეტად შემსუბუქებული კაპიტალურობის.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტებას, როგორც წესი, წინ უნდა უსწრებდეს ასაშენებელი წყალსამეურნეო ობიექტის კაპიტალურობის კლასის დადგენა, რათა ნაგებობათა გეომეტრიული ზომების დადგენისას წინასწარ დაინიშნოს მათი მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი, საანგარიშო წყლის ხარჯები, გამოსაყენებელი სამშენებლო მასალები, აგრეთვე დადგინდეს საპროექტო და საძიებო სამუშაოთა სახეები და სავარაუდო მოცულობები.

იმ ცალკეულ შემთხვევებში, როდესაც ნაგებობათა ავარიის შეიძლება კატასტროფული შედეგები მოყვეს მოსახლეობისათვის და საერთოდ სახალხო მეურნეობისათვის, აგრეთვე როდესაც ზღედა ახალი (შეუსწავლელი) კონსტრუქციების გამოყენება, ГОСТ 3315—46 უშვებს კაპიტალურობის ერთი კლასით ხელოვნურად გაზრდას, ან პირიქით, როდესაც საქმე გვაქვს საკმარად შესწავლილ ობიექტებთან და მცირე ზომის ისეთ ნაგებობებთან, რომელთა დროებით მწყობრიდან გამოსვლა არც თუ ისე ართულებს ძირითად ნაგებობათა საერთო ექსპლუატაციას, მაშინ ასევე დასაშვებია კაპიტალურობის ერთი კლასით დაქვეითება.

ნაგებობათა კლასის დასადგენად წინასწარ საჭიროა ვიცოდეთ მათი თანრიგი. ამ მიზნით, ყოველი წყალსამეურნეო ობიექტი თავისი საწარმოო ეფექტურობის მიხედვით დაყოფილია ხუთ თანრიგად, როგორც ეს მოცე-

მუღია 2.1 ცხრილში მელიორაცუღი და ჰიდროენერგეტიუღი ობიექტებდაათვის. გეეცოდინება რა წყალსამეურნეო ობიექტის თანრიგი, ცხრილი 2.2-დან ვადგენთ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კლასს.

ცხრილი 2. 1

მიწების მელიორაცია				ჰიდროელექტროსადგური	
სამელიორაციო თარაობი ათას ჰექტარობით				სიმძლავრე ათას კვტ-ობით	ელექტროენერგიის წლიური გამომეშავება კვტს-ობით
თანრიგი	მორწყევა ან დაშობა	გაწყლოვანება	ზეინუღების მოწყობა		
I	250-ზე მეტი	—	—	250-ზე მეტი	≥ 1 მილიარღზე
II	250—50	500-ზე მეტი	250-ზე მეტი	25—250	≥ 100 მილიონზე <
III	50—20	500—50	250—50	1—25	< 1 მილიარღზე
	20—5				50—5
IV	—	5	5	0,1—1	< 100 მილიონზე
	5				< 4 მილიონზე
V	—	—	—	0,1	—

ცხრილი 2. 2

ნაგებობათა მნიშენღობა და საექსპლუატაციო პერიოდის ხანგრძლიეობა	თანრიგი				
	I	II	III	IV	V
	კლასი				
მუღდმევი ნაგებობანი					
1. ძირითადი . . . . .	I	II	III	IV	IV
2. მეორეხარისხოვანი .	III	III	IV	IV	V
დროეობითი ნაგებობანი					
1. ძირითადი 5 წელზე ნაკლებე საექსპლუატაციო ხანგრძლიეობით	III	III	IV	IV	V
2. მეორეხარისხოვანი .	IV	IV	IV	V	V
3. დამხმარე .	IV	IV	IV	V	V

ამზიგად თუ ცნობილი იქნება ნაგებობათა კლასი და მათი საექსპლუატაციო პირობები ГОСТ 3999—48-ის მიხედვით (იხ. ცხრილი 2. 3), შეიძლება დადგინდეს მაქსიმალური ხარჯის საანგარიშო უზრუნველყოფა პროცენტობით. ამ შემთხვევაში, როგორც წესი, უნდა ჩატარდეს ორი გაანგარიშება, მათ შორის პირველი გაანგარიშება უნდა შეესაბამებოდეს ნაგებობათა ექსპლოატაციის ნორმალურ პირობებს, მეორე კი—ექსპლოატაციის განსაკუთრებულ პირობებს, რომლის დროსაც დასაშვებად შეიძლება ჩაითვალოს კაშხლის წინ წყლის დონის ნორმალურ პორიზონტზე მაღლა აწევა, ნაგებობის სიმტკიცის და მდგრადობის კოეფიციენტის სიმცირე და აგრეთვე ნორმალური საექსპლოატაციო პირობების დარღვევა (იმ პირობით, რომ ძირითადი ნაგებობანი ამ დროს არ ზიანდება); ამ ორი პირობიდან ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ზომების შერჩევა ხდება იმ გაანგარიშების მიხედვით, რომელიც უფრო დიდ ზომებს იძლევა.

ცხრილი 2. 3

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კაპიტალურობის კლასი „ГОСТ 3315—46“-ის მიხედვით	წყლის საანგარიშო ხარჯების უზრუნველყოფა %-ით	
	ექსპლოატაციის ნორმალური პირობების შემთხვევაში	ექსპლოატაციის განსაკუთრებული პირობების შენახვაში
I	0,1	0,01
II	1	0,1
III	2	0,5
IV	5	1
V	10	3

საპირთა აქვე აღვნიშნოთ ე. წ. „სამშენებლო ხარჯი“, რომელიც გულისხმობს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის პერიოდში გასატარებელ საანგარიშო ხარჯს. ჰიდროტექნიკურ მშენებლობათა პრაქტიკაში „სამშენებლო ხარჯებს“ ადგენენ მშენებლობის კაპიტალურობის კლასის მიხედვით. პატარა მდინარეებისათვის ჩვეულებრივ ღებულობენ 10—25% უზრუნველყოფას, დიდი მდინარეებისათვის კი 1—10%-მდე.

დაბოლოს, ასევე სპეციალური მითითების საფუძველზე ხდება (იხ. ცხრილი 2. 4) ყრუ კაშხლის ქიმის აღმატება წყალსაცავის წყლის სტატიკურ დონესთან შედარებით ტალღის საანგარიშო სიმაღლის გათვალისწინებით, რათა წყალდიდობების პერიოდის შესაბამისი წყლის ხარჯების ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გატარების დროს ადგილი არ ჰქონდეს წყლის გადაღინებას კაშხალზე.

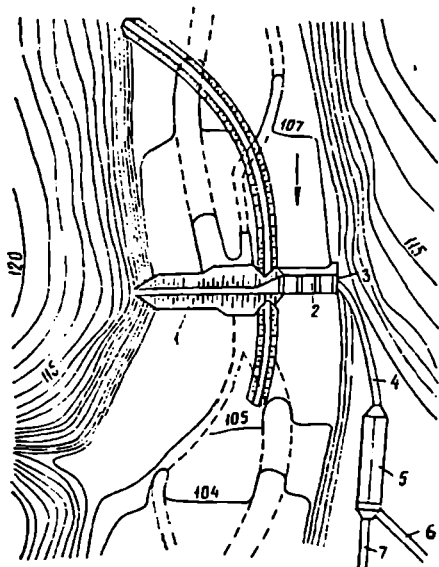
კაშხალის ტიპი	ექსპლოატაციის პირობა	ქიჩის აღმატება მ-ონით							
		სტატეკურ დონეს- ინ წეღარებით				ტალღის სანგარო- ნო ღონესთონ შე- ღარებოთ			
		კაშხალის კლასი							
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
მიწის ნაყარი ქვის და ქვის მშრალად წყობა	ნორმალური განსაყუთრებული	2,0 1,5	1,5 1,0	1,0 0,7	0,7 0,5	1,0 0,7	0,7 0,5	0,5 0,4	0,4 0,3
ბეტონის, რკინა-ბეტონის, ქვის და ხის	ნორმალური განსაყუთრებული	1,5 1,0	1,0 0,7	0,7 0,5	0,4 0,3	0,7 0,5	0,5 0,4	0,4 0,3	0,2 0,2

§ 2. 2. ჰიდროკანქანი და ჰიდროსისტემები

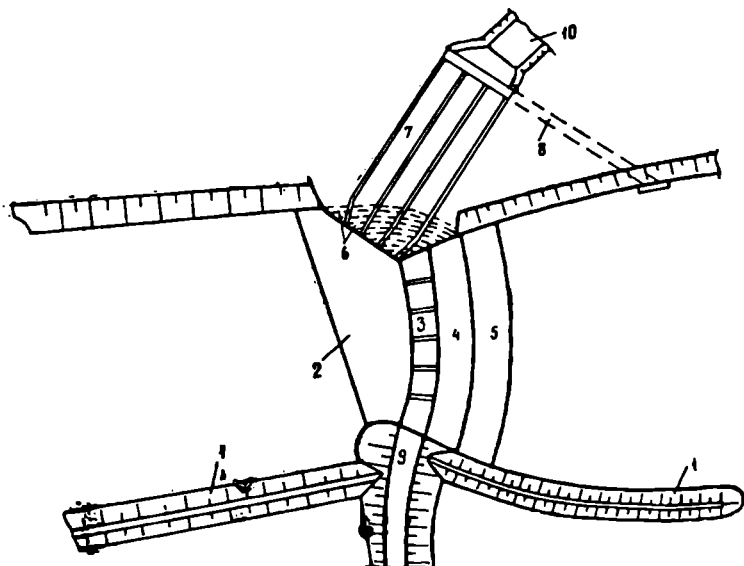
მდინარის ერთ გარკვეულ, წინასწარ შერჩეულ უბანზე აშენებულ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კომპლექსს, რომლებიც ურთიერთშორის დაკავშირებულია როგორც დანიშნულებით. ასევე მუშაობის პრინციპით. უწოდებენ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძს ან კიდევ, შემოკლებით, ჰიდროკვანძს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჰიდროკვანძი შეიძლება შეიცავდეს (ნახ. 2.1 — ნახ. 2.6): კაშხალს, გემთსავალს, თევზგამტარ, წყალამღებ, წყალსაგდებ და სხვა სახის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს.

ჰიდროკვანძის ცნებისაგან განსხვავებით ჰიდროსისტემა ეწოდება წყალსამურნეო ობიექტების მთელ ტერიტორიაზე განლაგებულ ყველა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა და არხთა სისტემას (ნახ. 2.7—ნახ. 2.13). როგორც მაგალითად ჰიდროსისტემას მიეკუთვნება: სარწყავ და დამშრობ არხთა და მათზე განლაგებულ ნაგებობათა სისტემა, ჰიდროელექტროსადგურები, გემთსავალი, წყლის ტრანსპორტის სისტემა.

ყოველი ჰიდროსისტემა მელიორაციულ ქსელში უზრუნველყოფს წინასწარ დასახულ საექსპლოატაციო რეჟიმს—წყლის განაწილებას ჰიდროსისტემათა ცალკეულ უბანზე (წინასწარ შედგენილი წყლის გამოყენების ჯგემის საფუძველზე). ამ მხრივ, ჰიდროტექნიკური ნაგებობების კონსტრუქციული გადაწყვეტა და მათი საიმედოობა, უპირველეს ყოვლისა, დამოკიდებულია ადგილმდებარეობის რელიეფსა და გეოლოგიურ პირობებზე, მელიორაციული ქსელის მოწყობის ტიპზე და მშენებლობის წარმოების ორგანიზაციაზე.

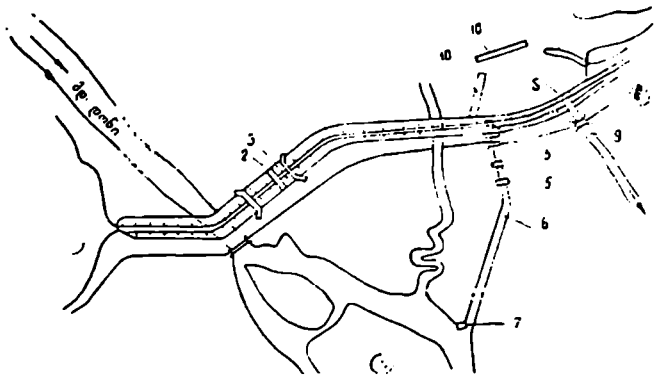


ნახ. 2. 1. — დაბალდაწნევიანი ჰიდროკვანძის ზოგადი სქემა (1 შესაძლო ვარიანტი), 1—ყრუ კაშხალი; 2—წყალსაშვიანი ტიპის ფარებიანი კაშხალი; 3—წყალმიმღები; 4—წყალმიმყვანი არხი; 5—სალექარი; 6—სალექივაციო არხი; 7—ნატანგადამღები (ნატანგამტარი) არხი.

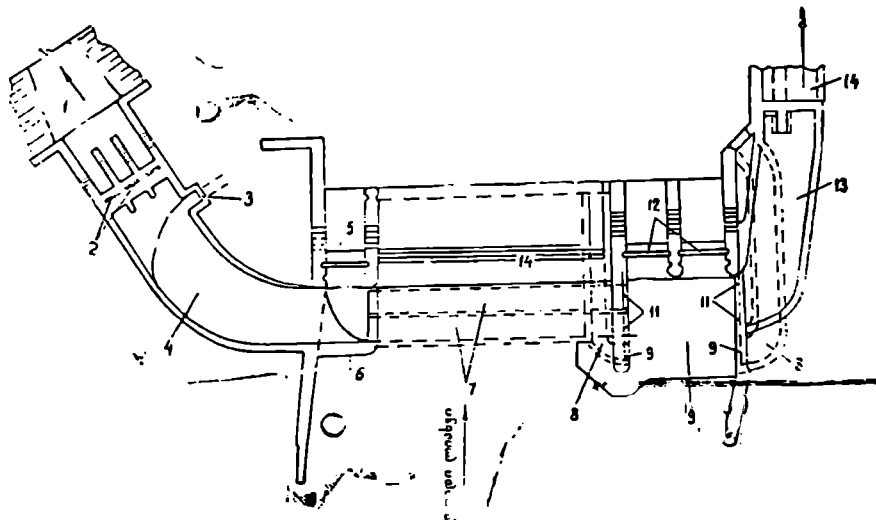


ნახ. 2. 2—დაბალდაწნევიანი ჰიდროკვანძის ზოგადი სქემა (11 შესაძლო ვარიანტი). 1—წყლის ნაკადის მიმართული დამბები; 2—ძირული; 3—ფარებიანი კაშხალი; 4—წყალსაცემი; 5—რისბერმა; 6—სალექარისწინა გამრეცხი გალერეები; 7—სალექარი; 8—სალექარის გამრეცხი ხერტი; 9—მიწის ყრუ კაშხალი; 10—მაგისტრალური არხი.

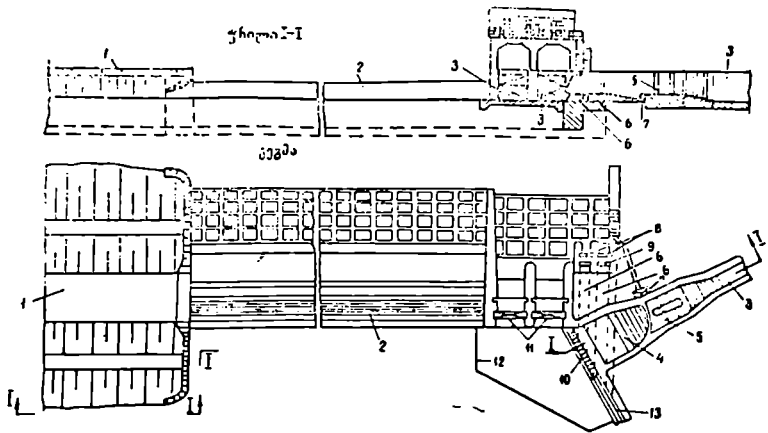




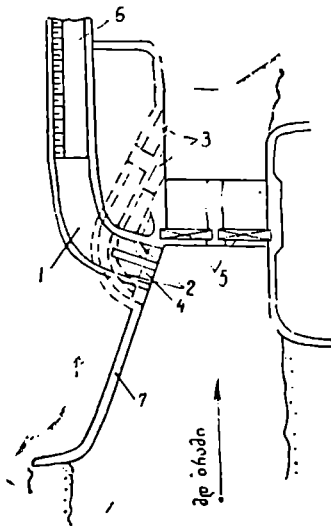
ნ.ხ. 2.3 — ციმლიანის ქიროკევანის სქემა. 1—წყალსამუიანი კამხალი; 2—თევზამტარი ნაგებობა; 3—ქიროკლექტროსადგურის ხალღანი კვანძი; 4—მიწის ყრვ კახალი; 5—გემთსაული რაბები; 6—გემთსაული არხი; 7—მთაიკი; 8—წყალმიმღები (წყალამღები) სათავე ნაგებობა; 9—მაგისტრალური არხი; 10—დამბები; 11—გეგმითა მინაღობი ადგილი.



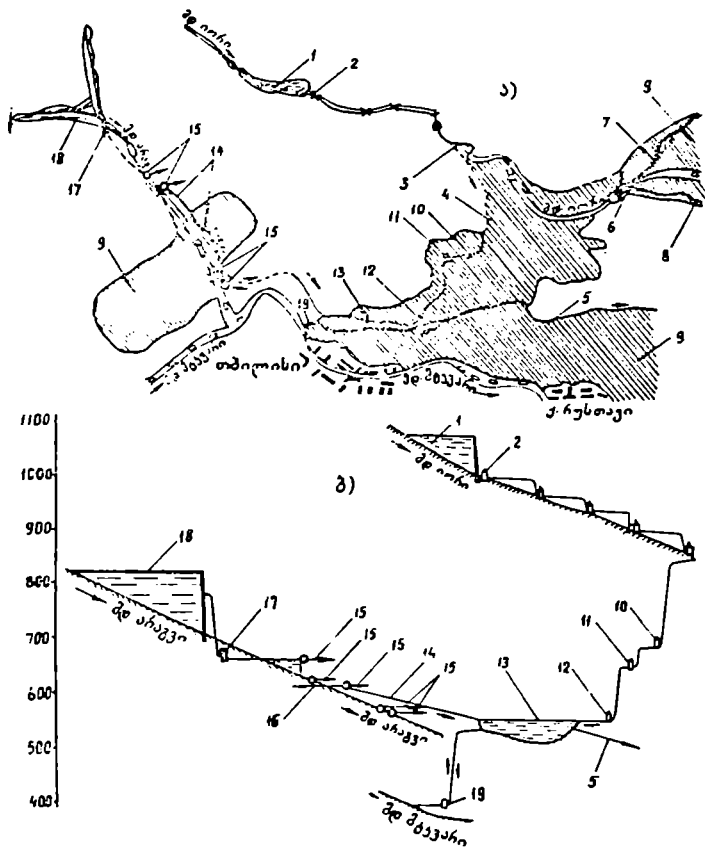
ნ.ხ. 2.4—ტირიფონი—სალთისის სარწყავი სისტემის სათავე ნაგებობათა ქიროკევანში (მღ. დიდი-ლიახზე, ქ. ცხინვალთან): 1—ტირიფონის სარწყავი სისტემის მაგისტრალური არხი; 2—იმავე არხის წყალმიმღები რაბი; 3—იმავე არხის ნატანგამტარი რაბი; 4—იმავე არხის შრუდხაზოვანი (დასაწყისი) უბანი; 5—ტირიფონის სარწყავი არხის სისტემის მაგისტრალური არხში წყალგამყვანი გალერეების გამრეცხი ხერეებები; 6—წყალგამყვანი გალერეების კა; 7—წყალგამყვანი გალერეები; 8—სადასაგდები გალერეები; 9—იმავე გალერეების მარეგულირებელი ფარები; 10—სალთისის სარწყავი სისტემის წყალმიმღები რაბი; 11 და 12—წყალსაგდები და წყალმიმღების მარეგულირებელი ფარები; 13 და 14—სალთისის სარწყავი სისტემის წყალმიმღები (13) და მაგისტრალური არხი (14). 2. ბ. ჩიკვაშვილი.



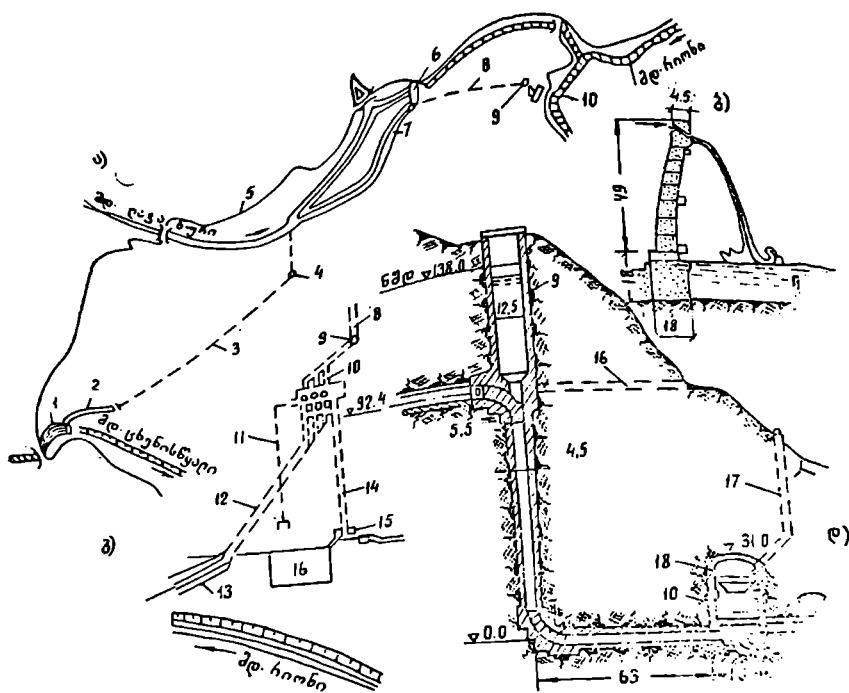
ნახ. 2.5—მდინარე პატარა ლიხეზე აშენებული ვანათის სათავე ჰიდროკვანძის სქემა: 1—მიწის ყრუ კაშხალი; 2—ბეტონის წყალსაშვიანი კაშხალი; 3—ფარებიანი წყალსაგდები ხერტები; 4—წყალმიმღები; 5—მაგისტრალური არხის მარეგულირებელი ფარები; 6—ნატანდამკერი გალერეები; 7—წყალმიმღების გამრეცი ხერტი; 8—ნატანდამკერდ-გალერეის ბოლოში გათვალისწინებული გამრეცი ხერტი; 9—ნატანდამკერი გალერეის სათვალთვალო კეები; 10—ასაწყობი უხეში გისოსი; 11—გამრეცი წყალსაგდები ხერტების ფარები; 12—ბეტონის ძირული; 13—წყლის ნაკადის მიმმართველი კედელი.



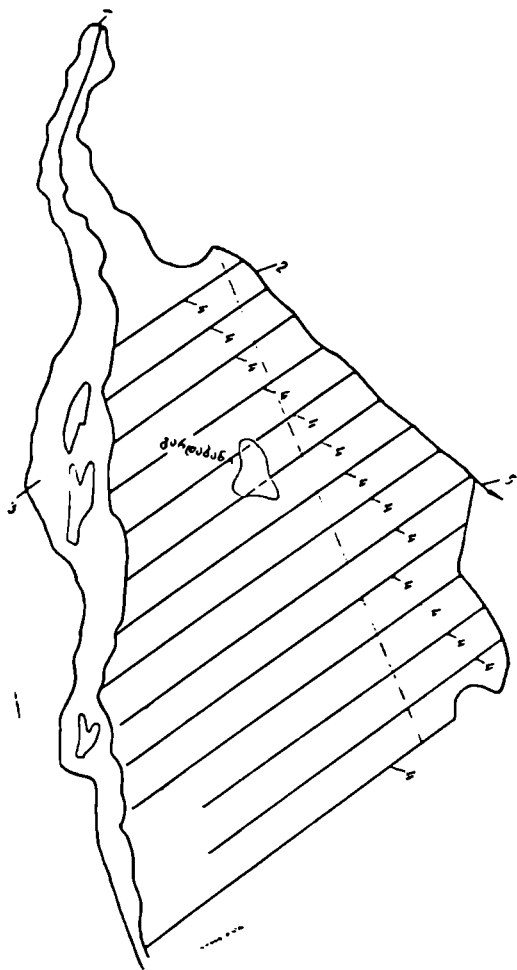
ნახ. 2.6 — მდინარე ხრამზე აშენებული ხრამ-არხის სათავე ჰიდროკვანძის სქემა: 1—წყალმიმღები; 2—წყალმიმღების მარეგულირებელი ფარები; 3—ნატანდამკერი გალერეები; 4—ასაწყობი უხეში გისოსი; 5—წყალსაგდები ხერტები; 6—ხრამ-არხი (მაგისტრალური არხი).



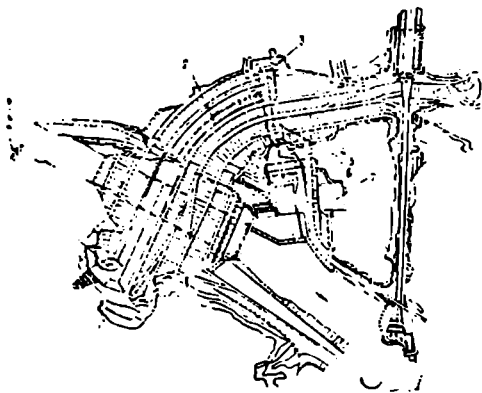
ნახ. 2.7 — სამგორის და ჟინვალის ერთობლივი ჰიდროსისტემის კომპლექსის ზოგადი სქემა: ა—გეგმა; ბ—კასკადის გრძივი კრილი. 1—სიონის წყალსაცავი; 2—სიონწყესი, 3—ზემო მაგისტრალური არხის სათავე ნაგებობა; 4—ზემო მაგისტრალური არხი; 5—ქვემო მაგისტრალური არხი; 6—ქვემო სამგორის სათავე ნაგებობა; 7—მდ. იორის მარცხენა ნაპირის არხი; 8—მდ. იორის მარჯვენა ნაპირის არხი; 9—სარწყავი ღართობი; 10—სახეხეწესი; 11—მარტყოფესი; 12—თეთრიხევესი; 13—თბილისის წყალსაცავი; 14—მდინარე არაგვის წყლის მიყვანა თბილისის წყალსაცავთან; 15—წყალსადენის წყალმიმღები; 16—სარწყავი სისტემის წყალმიმღებები; 17—ჟინვალის; 18—ჟინვალის წყალსაცავი; 19—ღრმალის ტუმბო-ტურბინული ჰესი.



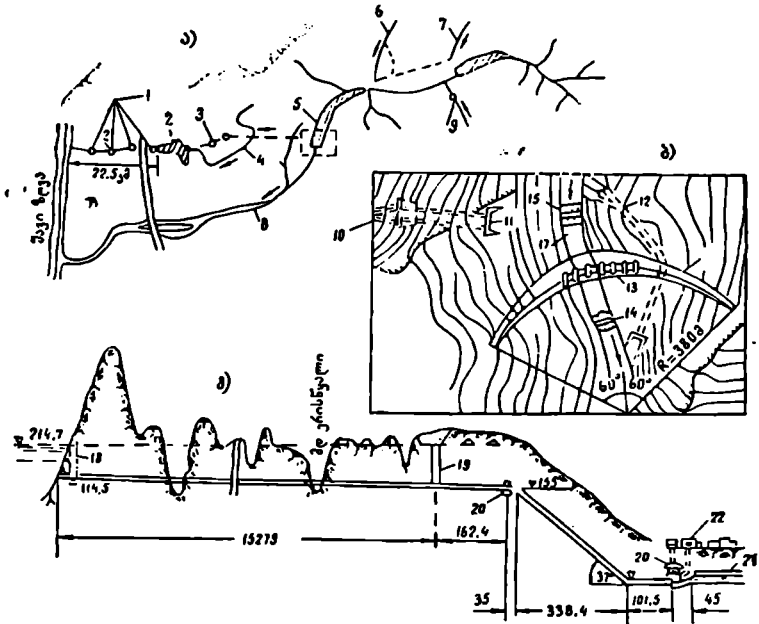
ნახ. 2.8. — ლაჩანურქესი, ა—გეგმა; ბ—თაღოვანი კაშხალი; გ—ძაღოვანი კვანძის გეგმა; დ—კრილი სადაწნეო მილსადენებისა და ჰესის შენობის კვეთებში; 1—სათავე ნაგებობა; 2—ღვრეცხვილი არხი; 3—უდაწნეო გვირაბი; 4—სამშენებლო შახტა; 5—გზა; 6—თაღოვანი კაშხალი; 7—წყალმიმღები; 8—სადაწნეო გვირაბი; 9—გამთანაბრებელი კოშკი; 10—მიწისქვეშა ჰესის შენობა; 11—სავენტილაციო გვირაბი; 12—გამყვანი გვირაბი; 13—გამყვანი არხი; 14—სასალტე-სატუიროთო გვირაბი; 15—პორტალი; 16—სამშენებლო შტრეკი; 17—სავენტილაციო შახტა; 18—დახურული გამანაწილებელი დანადგარი; 19—სარემონტო გადაღობათა განსახორციელებელი გალერეა.



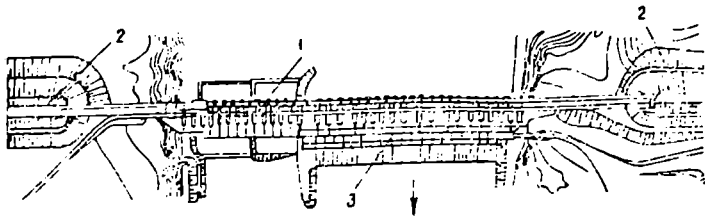
ნახ. 2.9 — გარდაბნის სარწყავი სისტემის საერთო გეგმა: 1—სათავე ნაგებობა მდინარე შტკეარზე; 2—მაგისტრალური არხი; 3—მდინარე შტკეარი; 4—გამანაწილებელი სარწყავი არხი; 5—წყალსაგდები არხი.



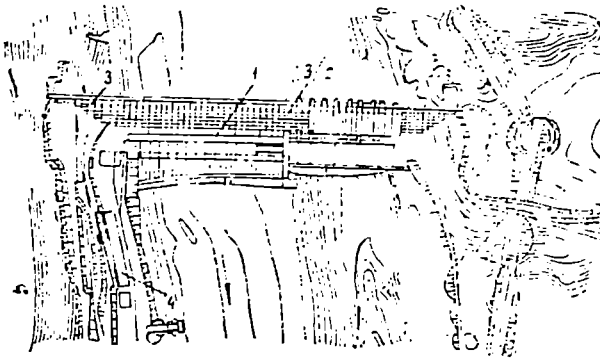
ნახ. 2.10—მინვითურქესის საერთო გეგმა და პირილი წყალგამტარ ნაგებობაზე. 1—წყალსაშვიანი წყალსადგები ნაგებობა; 2—მიწის მონალექი კაშხალი; 3 — წყალმიღები ჰესისათვის; 4—წყალმიმუქვანი (წყალმიღებიდან გამოსაბრუნებელ კოშკამდე) მილსადენი; 5—სადაწნეო მილსადენები; 6 — ჰიდროელექტროსადგურის შენობა; 7—ლია ქვესადგური; 8—ზედაპირული მილსადენი; 9—საირიგაციო წყალმიღები.



ნახ. 2.11.—მდინარე ენგურის ჰიდროელექტროსადგურების კასკადთა ჰიდროსტრუქტმა. ა—კასკადის საერთო სქემა; ბ—ენგურქესის სათავე კვანძი; გ—პირილი ენგურქესის მილსადენებისა და ძალოვან კვანძზე. 1—წყალგარდნილი ჰესები № 1, № 2 № 3, № 4; 2—გალის წყალსაცავი; 3—ენგურქესი; 4—მდ. ერისწყალი; 5—ჭვარის წყალსაცავი; 6—მდ. ნენსკრა; 7—მდ. ნაკრა; 8—მდ. ენგური; 9—მდ. რუმპრეა; 10—ენგურის ჰესის სათავე კვანძი; 11—სიღრმითი წყალმიღები; 12—სამშენებლო გვირაბი; 13—ზედაპირული წყალსადგები; 14—ქვედა ზღუდარი მდ. ენგურზე; 15—ზედა ზღუდარი მდ. ენგურზე; 16—თალოვანი კაშხალი; 17—მდ. ენგური; 18—ფარების მანვერირების შანტა; 19—გამთანაბრებელი კოშკი; 20—ჰესის შენობა; 21—გამყვანი გვირაბი.



ნახ. 2.12 — ბრატსკის პიროელექტროსადგურის ნაგებობათა კომპლექსის საერთო გეგმა: 1—ბეტონის კაშხალი; 2—მიწის ყრუ კაშხალი; 3—ქეს-ის შენობა.



ნახ. 2.13—კარსნოიარსკის პიროელექტროსადგურის ზოგადი სქემა: 1—ქეს-ის შენობა; 2—წყალსაშვიანი კაშხალი; 3—ყრუ კაშხალი; 4—ღია ქვესადგური.

**§ 2. ა. ზოგადი მოსაზრებანი წყალშემგროვრავ ნაგებობებზე (კაშხალაზე) და მათი კლასიფიკაცია**

მდინარის ან კიდევ სხვა სახის ხელოვნური წყალდენის გადამლობ პიროტექნიკურ ნაგებობას, რომელიც უფრო მაღლა სწევს წყლის დონეს, ბუნებრივ პირობებში წყლის დინების არსებულ დონესთან შედარებით, წყალშემგროვრავ ნაგებობას ან კიდევ კაშხალს უწოდებენ. კაშხალის ზედა მხარეს მოთავსებულ მდინარის შეტბორილ უბანს ზედა ბიეფს უწოდებენ (შემოკლებულად ზ. ბ.). ხოლო მის ქვედა მხარეს მოთავსებულ უბანს კი ქვედა ბიეფს (ქ. ბ.), ზედა ბიეფსის შესაბამის დონეს ეწოდება ზედა ბიეფის დონე (ზ. ბ. დ.), ხოლო ქვედა ბიეფისას კი ქვედა ბიეფის დონე (ქ. ბ. დ.). ზედა და ქვედა ბიეფების დონეებს შორის სხვაობის სიდიდეს დაწნევა ეწოდება (იმ შემთხვევაში, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არ არის, მაშინ დაწნევის სიდიდე ტოლი იქნება თვით ზედა ბიეფის წყლის სიღრმის). კაშხალის ზედა მხარეს დაწნევიანი მხარე ეწოდება, ხოლო ქვედას (როდესაც კაშხალზე წყლის გა-

დადინება არ ხდება) — უდაწნეო მხარე; კაშხალის ზემო ნაწილს ქიმი ეწოდება, ხოლო კაშხალის იმ ნაწილს, რომლითაც ის ეყრდნობა ფუძის ზედაპირს, კაშხალის ძირს ან კიდევ საკონტაქტო სიბრტყეს უწოდებენ.

ზოგადად ყველა საბნის კაშხალი შეიძლება კლასიფიცირებული იქნას; ა) წყალსამეურნეო დანიშნულებს; ბ) ზედა ბიეფში წყლის ხარჯის გატარების წესის; დ) კაშხალის ასაშენებლად გამოყენებული სამშენებლო მასალის და ე) კონსტრუქციული მონაცემების მიხედვით.

განვიხილოთ ყველა ეს მონაცემი ცალ-ცალკე.

„ა“ და „ბ“ პუნქტებში აღნიშნული მონაცემების მიხედვით კაშხალები ერთსა და იმავე დროს შეიძლება ასრულებდეს როგორც მდინარეთა წყლის ჩამონადენის რეგულირების, ასევე ზედა ბიეფის დონის აწევისა და დაწევის ფუნქციებსაც. ამგვარად, წყალსაცავში დაგროვილ წყლის იმ მოცულობას, რომელიც მოთავსებულია ნორმალური შეტბორვისა და მკვდარი მოცულობის დონეთა ნიშნულებს შორის, ეწოდება სასარგებლო მოცულობა ან კიდევ დაცლის პრიზმა. მის შესაბამის სიღრმეს კი სასარგებლო მოცულობის დაცლის სიღრმე, ხოლო თვით კაშხალს კი — წყალსაცავიანი კაშხალი.

წყალსაცავიანი კაშხალები ჩვეულებრივ დიდი სიმაღლისაა. მაგალითად, მშენებარე ენგურჰესის წყალსაცავიანი თალური კაშხალის სიმაღლე 265 მეტრია, ენეალჰესის — 120 მეტრი, პატარა ლიხვის სარწყავი სისტემის — 80 მეტრი და ა. შ. ამ ტიპის ჰიდროკვანძებში წყალსადგები და წყალმიმღები ნაგებობები უმეტესად ეწყობა თვით კაშხალის ტანში ე. წ. სიღრმითი გალერეების ან კიდევ ზედაპირული წყალსამეგებების სახით (ზოგჯერ კაშხალისაგან დამოუკიდებლადაც წყალსაცავის რომელიმე ნაპირზე).

წყალსაცავიანი კაშხალების ჰიდროკვანძებისაგან განსხვავებით, დაბალდაწნევიანი კაშხალების ჰიდროკვანძებში წყლის მიწოდება წყალმიმღებებში ხორციელდება მდინარის ფსკერიდან გარკვეულ სიმაღლეზე — იმის მიხედვით, თუ რა ნიშნულებზე ხდება წყლის მიწოდება სადერივაციო (სარწყავ) არხში.

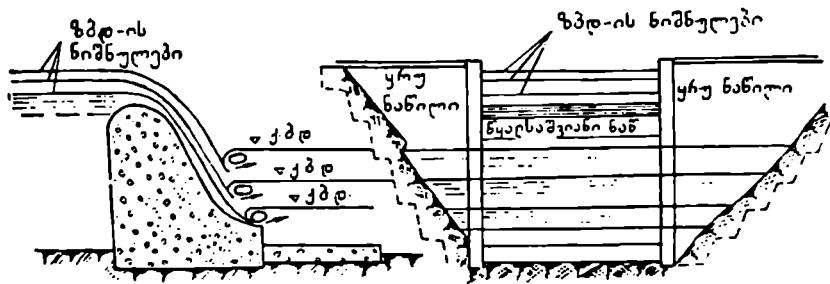
ზედა ბიეფში წყლის სიღრმის მიხედვით კაშხალები კლასიფიცირებულია დაბალ, საშუალო, და მაღალ დაწნევიანი კაშხალებად. თუ კაშხალის წინ წყლის საპროექტო მაქსიმალური სიღრმე 20 მეტრს არ აღემატება, მაშინ ასეთი კაშხალი პირობითად დაბალდაწნევიანი კაშხალების ჯგუფს მიეკუთვნება, 20—80 მეტრის ფარგლებში — საშუალოს, ხოლო 80 მეტრზე მეტი სიღრმის შემთხვევაში კი — მაღალდაწნევიანი კაშხალების ჯგუფს (ეს ციფრები, ძირითადად, ბეტონისა და რკინაბეტონის კაშხალებს ეკუთვნის; მიწის კაშხალებისათვის ისინი შესაბამისად ეტოლება 10 მეტრს, 10—25 მეტრს და 25 მეტრზე მეტს).

ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში წყლის ხარჯის გატარების მიხედვით განასხვავებენ ყრუ, წყალსაშვიანი და კომბინირებულ

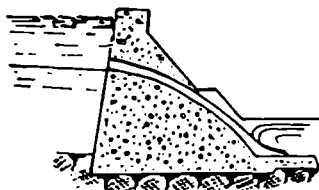


ტიპის კაშხალეებს. კაშხალს ყრუ ეწოდება. თუ მასზე წყლის გადადინებას არა აქვს ადგილი, პირიქით შემთხვევაში კი მას წყალსაშვიანი (ნახ. 2.14. ა) ან კიდევ წყალგამომშვებიანი (ნახ. 2.14 ბ, გ) კაშხალი ეწოდება. ხოლო ორივე მათგანის—ყრუ და წყალსაშვიანის—საერთო კომპლექსი კი

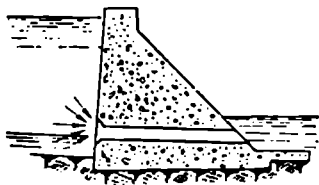
ა)



ბ)



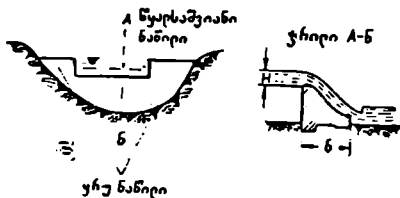
გ)



ნახ. 2. 14.

კომბანირებული ტიპის კაშხალის სახელწოდებითაა ცნობილი. თავის მხრივ, წყალსაშვიანი კაშხალები დაყოფილია ფარებიან და უფარო კაშხალებად და ამავე დროს მაღალ ფლუტბეტიან (ნახ. 2.15) და ბაღალ ფლუტბეტიან კაშხალებად. პირველ შემთხ-

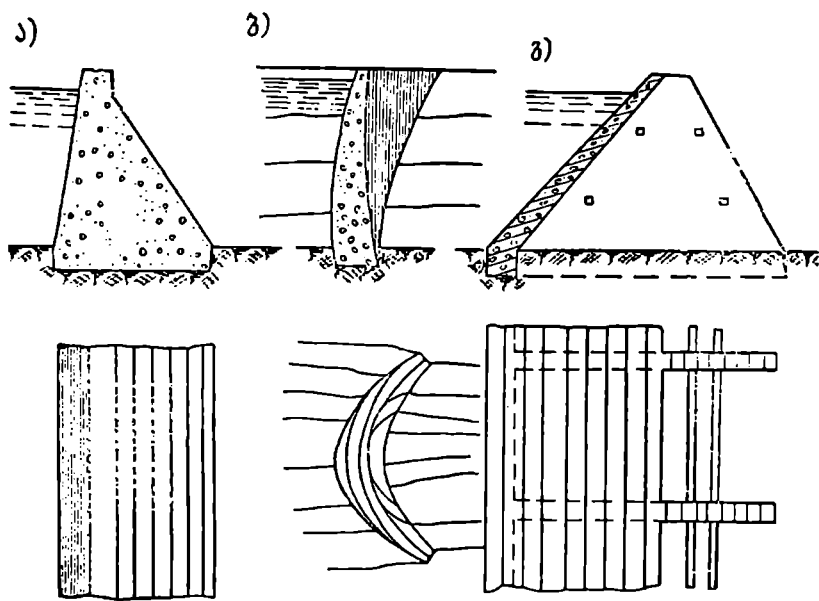
ვევაში საანგარიშო დაწევა შენარჩუნებულია როგორც ფლიუდბეტი, ასევე ფარით, მეორე შემთხვევაში კი (ძირითადად) მხოლოდ ფარებით; ასეთი ტიპის კაშხალები ჰიდროტექნიკურ პრაქტიკაში ცნობილია ფართო ზღვრბლიანი-დაძირული ან დაუძირავე-წყალსაშვის სახელწოდებით.



ნახ. 2. 15.

ასაშენებლად გამოყენებული ძირითადი საშენებლო მასალის მიხედვით კაშხალების შემდეგ ტიპებს განასხვავებენ: მიწის, ნაყარი ქვის, ქვის ან კიდევ შერეული ტიპის (მიწა და ქვა), ბეტონის, რკინა-ბეტონის, ხის, ლითონის, მსუბუქი კონსტრუქციის და ა. შ.

კონსტრუქციული თვალსაზრისით განიხილავენ კაშხალების სამ სახეობას—გრავეიტაციული (ნახ. 2. 16, ა), თაღოვანი (ნახ. 2. 16 ბ) და კონტრფორსული (ნახ. 2. 16, გ).



ნახ. 2.16—კაშხალის ტიპები: ა—გრავეიტაციული; ბ—თაღოვანი; გ—კონტრფორსული.

გრავეიტაციულ კაშხალებში წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის გაბათილება დაძვრაზე ხდება თვით კაშხალის წონის ხარჯზე, რის გამოც ასეთი ტიპის კაშხალები საკმაოდ დიდი წონით ხასიათდებიან. გრავეიტაციულ კაშხალებს აშენებენ მიწისაგან, ქვისაგან, ბეტონისაგან (ზოგჯერ ხის კარკასში დატვირთული ქვებით). უფრო ვიწრო გაგებით, საიი-ჟინრო პრაქტიკაში გრავეიტაციული კაშხალების განმარტებაში იგულისხმება ბეტონისა და ქვის მასიური კაშხალები.

თაღოვან კაშხალებში წყლის ჰიდროსტატიკური დაწნევის გადაცემა ხდება უშუალოდ ხეობის კლდოვან ნაპირებზე თვით თაღის ქუსლების მეშვეობით. ამ ტიპის კაშხალებს, ძირითადად, აშენებენ ბეტონისაგან, რკინა-ბეტონისაგან, ქვისაგან და ზოგჯერ ლითონისაგანაც კი.

კონტროლის უკუხეობები შედგება ბრტყელი, თალისე-  
ბური ან გუმბათისებრი (ცილინდრული) გადამლობი ნაგებობებისაგან,  
რომლებიც ღებულობენ რა წყლის დაწნევის თავის ტანზე, გადასცემენ მას  
ცალკეული საბრტყენით—კონტროლისით—უშუალოდ ფუქეს. ასეთი ტიპის  
კაშხალები, უმთავრესად, შენდება რკინა-ბეტონისაგან, ზოგჯერ კი ბეტო-  
ნისაგან, ლითონისაგან და ხისაგან.

## § 2. 4. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე მოქმედი ძალები და დატვირთვები

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე მოქმედი ძალები და დატვირთვები  
შეიძლება განვასხვავოთ მათი წარმოქმნის, ზემოქმედების  
ხასიათის, ხანგრძლივობისა და განმეორების მხე-  
დველობაში მიღებით. განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე.

1) წარმოქმნის მიხედვით განიხილება შემდეგი ძალები და  
დატვირთვები:

ა) ნაგებობის და აგრეთვე მასზე განლაგებულ მოწყობილობათა (ფა-  
რები, ამწე მექანიზმები და ა. შ.) საკუთარი წონა, რომელიც გამოითვლება  
საპროექტო ნახაზებზე მოცემული ზომების მიხედვით ან კიდეც (წინასწარი  
განგარიშებისათვის) ამ მიზნისათვის ლიტერატურაში არსებული ემპირი-  
ული ფორმულებით;

ბ) წყლის წნევა (სტატიკური, დინამიკური, ტალღისაგან გამოწვეული  
და ფილტრაციული);

გ) ყინულის წნევა (სტატიკური და დინამიკური);

დ) ზედა ბიფში დალექილი ნატანი მასალის წნევა;

ე) ქარის წნევა;

ვ) თოვლის წნევა;

ზ) ტემპერატურის ცვლებადობის, სამშენებლო მასალის ტენიანობის  
ან ბეტონის ჯდომის შედეგად წარმოქმნილი დამატებითი ძალები;

თ) სეისმური ძალები, რომლებიც შეიძლება წარმოიქმნას მიწისძვრის  
შემთხვევაში;

ი) მოძრაობაში მყოფი ტრანსპორტის, ტვირთამწვევი მექანიზმების და  
სხვა დროებითი დატვირთვებისაგან წარმოქმნილი ძალები;

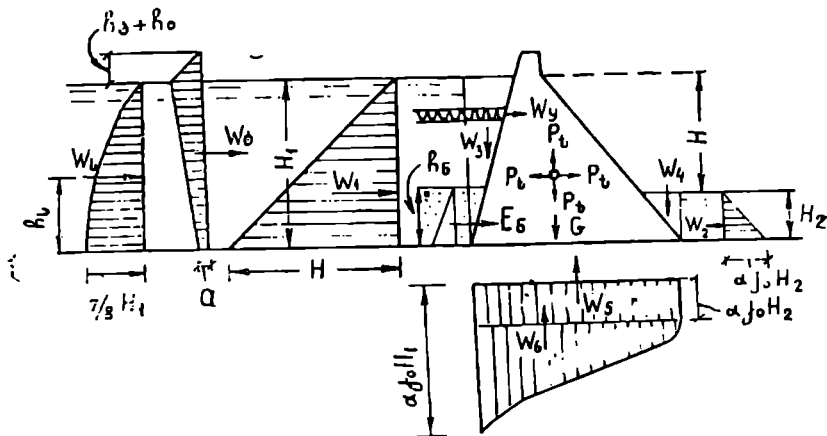
კ) ნაგებობის ძირში წარმოქმნილი ხაუნის, შეჭიდულობის და სხვა  
ძალები.

2) ზემოქმედების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ  
სტატიკურ და დინამიკურ ძალებს.

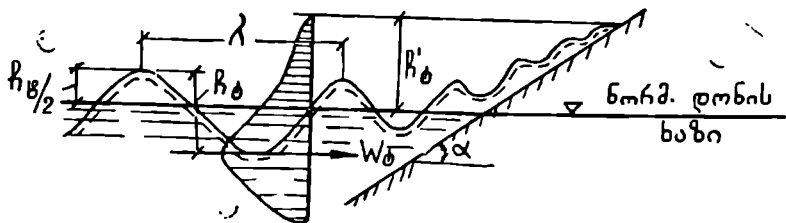
3) ხანგრძლივობისა და განმეორების მიხედვით ძალები და დატვირთ-  
ვები დაყოფილია მუდმივად, დროებითად (დამატებითი და  
შემთხვევითი) და იშვიათად (კატასტროფული ხასიათის) მოქმედ ძალებად.

CH II II — II. 1—62-ის თანახმად, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაპროექტების დროს, როგორც წესი, ჯანიხილავენ გაანგარიშების ძირითად და განსაკუთრებულ შემთხვევებს; პირველ შემთხვევაში გაანგარიშებები უნდა ჩატარდეს „ა“—„თ“ პუნქტებში ჩამოთვლილი ძალებისა და დატვირთვებისათვის, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი—ყველა შემთხვევაში ჩამოთვლილი ძალის მხედველობაში მიღებით (რა თქმა უნდა, წინასწარ დადგენილი უნდა იქნეს დასაპროექტებელი ნაგებობის კლასი და თანრიგი; იხ. § 2. 1).

ქვემოთ განვიხილავთ ყველა შემთხვევაში ჩამოთვლილი ძალებისა და დატვირთვების განსაზღვრის მეთოდებს (ნახ. 2. 17 და ნახ. 2. 18).



ნახ. 2.17 — ჰიდროტექნიკურ (შემტბორავ) ნაგებობაზე სხვადასხვა ძალების გავლენის საანგარიშო სქემა.



ნახ. 2.18 — ტალღების საანგარიშო სქემა.

1. წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის ძალა ნებისმიერ შემტბორავ ნაგებობაზე გამოითვლება ჰიდრავლიკის კურსში მოყვანილი მეთოდებით, ხოლო მათი მეშვეობით აგებული ჰიდროსტატიკური წნე-

ვების პორიზონტალური და ვერტიკალური შემდგენლების —  $W_1, W_2, W_3, W_4$  — ეპიურები მოცემულია ნახ. 2. 17-ზე. იმავე ჰიდრაულიკის ფორმულებით გამოითვლება წყლის ჰიდროდინამიკური წნევის ძალაც; ასე მაგალითად, ზოგადად, წყლის ჰიდროდინამიკური წნევის ძალა  $W_6$  სიბრტყეზე გამოითვლება ასეთი გამოსახულებით

$$W_6 = K\gamma \frac{Q}{g} V (1 - \cos\alpha), \quad (2. 1)$$

სადაც  $K$  არის გარშემოდენის კოეფიციენტი,  $Q$  — წყლის მოცულობითი წონა,  $g$  — სიმძიმის ძალის აჩქარება,  $V$  — წყლის დინების სიჩქარე,  $\alpha$  — წყლის ქველსა და იმ სიბრტყეს შორის კუთხე, რომელზედაც ადგილი აქვს წყლის ნაკადის დარტყმას; კერძო შემთხვევაში, როდესაც  $\alpha = 90^\circ$  — ს.

$$W_6 = K\gamma \frac{Q}{g} V = 2K\gamma w \frac{V^2}{2g}. \quad (2. 2)$$

2. წყალსაცავის ზედაპირზე მოქმედი ქარის აგან წარმოქმნილი ტალღების გაანგარიშება. ქარის გავლენით წყალსაცავის ზედაპირზე ჩნდება ტალღები, რომელთა სიმაღლე და სიგრძე დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე და მის მიმართულებაზე, წყალსაცავის სიღრმეზე, კონფიგურაციასა და ფსკერის ხორკლიანობაზე.

პატარა წყალსაცავებში ტალღის სიმაღლე 50—60 სანტიმეტრს არ აღემატება. დიდ წყალსაცავებში კი ზოგჯერ 5—6 მეტრსაც აღწევს.

განახსევებენ ტალღის შემდეგ ელემენტებს (ნახ. 2. 18): ტალღის სიმაღლე  $h_0$  — ვერტიკალურ სიბრტყეში აღებული მანძილი ტალღის უმაღლეს და უდაბლეს წერტილებს შორის. ტალღის სიმაღლის გამოსახულებად მრავალი ემპირიული ფორმულა არსებობს. მაგრამ დაკვირვებებმა უჩვენა, რომ დიდი წყალსაცავების პირობებში ზუსტ შედეგს იძლევა ე. ანდრიანოვის ფორმულა

$$h_0 = 0,0208 V^{5/4} L^{1/3}, \quad (2. 3)$$

სადაც  $V$  არის ქარის სიჩქარე მ/წმ-ობით, ხოლო  $L$  — ტალღის შეგორების სიგრძე კმ-ობით.

ტალღის სიგრძე  $\lambda$  — ორ მეზობელ ტალღის თხემებს შორის გაზომილი პორიზონტალური მანძილი.

$$\lambda = 0,304 V\sqrt{L}; \quad (2. 4)$$

ნაგებობის კედელზე მოქმედი ტალღის დაწნევა

$$W_{\delta} = \gamma \left[ \frac{(H_1 + h_{\delta} + h_0)(H_1 + a)}{2} - \frac{H_1^2}{2} \right], \quad (2.5)$$

სადაც  $H_1$  არის წყალსაცავში წყლის მაქსიმალური სიღრმე,  $h_0$  — გასაშუალებელი ტალღური ხაზის აღმატება წყალსაცავის წყნარი ზედაპირის მიმართ და გამოითვლება გამოსახულებებით:

$$h_0 = \frac{\pi \cdot h^2 \delta}{\lambda} \operatorname{cth} \frac{2\pi H_1}{\lambda}; \quad (2.6)$$

$$a = \frac{h_{\delta}}{\operatorname{ch} \frac{2\pi H_1}{\lambda}}. \quad (2.7)$$

როდესაც  $H_1 \geq \frac{\lambda}{2}$ , მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ, რომ

$$h_0 \approx \frac{\pi h^2 \delta}{\lambda} \text{ და } a = 0.$$

რაც შეეხება ტალღის აგორების მაქსიმალურ სიმაღლეს  $h'_{\delta}$ . მის გამოსათვლელად შეიძლება გამოვიყენოთ პროფესორ ნ. ჯუნკოვსკის ფორმულა

$$h'_{\delta} = 3,2 K_1 h_{\delta} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.8)$$

სადაც  $K_1$  არის იმ სიბრტყის ხორკლიანობის მახასიათებელი კოეფიციენტი, რომელზედაც ხდება ტალღის ზემოქმედება (გლუვი ზედაპირის მქონე ნაგებობისათვის  $K_1 = 1.0$ , ხოლო ფლეთილი ქვისაგან განხორციელებული ნაგებობის ზედაპირისათვის კი  $K_1 = 0,77$ );  $\alpha$  — პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ დახრილობის კუთხე.

როგორც ავტორი მიუთითებს. (2.8) ფორმულა გამოიყენება  $14^{\circ} \leq \alpha \leq 45^{\circ}$ -ის ფარგლებში.  $h'_{\delta}$ -ის სიდიდე, მიაღწევს რა თავის მაქსიმუმს  $\alpha = 45^{\circ}$ -ის დროს, შემდგომ  $\alpha$ -ს გაზრდით  $h'_{\delta}$  სიდიდე იწყებს შემცირებას.

3. წყლის ფილტრაციული წნევის სიდიდეების ( $W_{\lambda}$  და  $W_{\delta}$  ნახ. 2. 17-ზე) გამოთვლის მეთოდი განხილულია წინამდებარე სახელმძღვანელოს მესამე თავში.

4. წყალსაცავში კაშხალის წინ დაღეჭილი ნატანი მასალის წნევის სიდიდე დამოკიდებულია თვით ნატანო

მასალის სახეობაზე. ასე, მაგალითად, თუ დალექილი ნატანი მასალა მსხვილმარცვლოვანია, მაშინ მისი წნევა ნაგებობაზე გამოითვლება ფხვიერი მასალების შემთხვევაში გამოყენებული ფორმულების საფუძველზე და წყალში გრუნტის შემცველი ნაწილაკების შეწონილობის გათვალისწინებით; თუმცა აქვე აღვნიშნავთ, რომ მსხვილმარცვლოვანი ნატანი მასალის დალექვას ადგილი აქვს მხოლოდ მცირე სიმაღლის მქონე კაშხალების წინ და ისიც მთის მდინარეების პირობებში. დიდი სიღრმის მქონე წყალსაცავებში კი კაშხალის წინ ილექება მხოლოდ შლამი და თიხის უმნიშვნელო ზომის ნაწილაკები, რომელთა შიგა ხახუნის კუთხე  $\varphi$  თითქმის ნულის ტოლია და თავისი მექანიკური თვისებებით უახლოვდება წყალს. შესაბამისად, ამაღვარი დანალექი მასისაგან გამოწვეული მაქსიმალური წნევა  $E_6$  ნაგებობაზე შეიძლება გამოთვლილ იქნას გამოსახულებით (ე. ი. როცა  $\varphi = 0$ )

$$E_6 = \gamma_6 h_6, \quad (2.9)$$

სადაც  $h_6$  არის კაშხალის წინ დანალექი მასალის სისქე, ხოლო  $\gamma_6$  კი მისი მოცულობითი წონა წყალში.

ასეთივე მიდგომით, თუ წყალსაცავის სიღრმე კაშხალის წინ  $H_1$  -ია (იხ. ნახ. 2. 17), ხოლო დალექილი ნატანი მასალის სისქე  $h_6$ , მაშინ წყლისა და ნატანი მასალისაგან გამოწვეული მაქსიმალური ხვედრითი დაწნევა  $E_6$  ნაგებობის (კაშხალის) ძირთან ტოლი იქნება

$$E_6 = \gamma H_1 + \gamma_6 h_6 = \gamma H_1 + [\gamma_1 - \gamma(1-n)] h_6, \quad (2.10)$$

სადაც  $\gamma_6 = \gamma_1 - \gamma(1-n)$ ;  $\gamma_1$  — მშრალ მდგომარეობაში გაზომილი დანალექი მასალის მოცულობითი წონაა,  $n$  მისი მოცულობითი ფორიანობა;  $\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა. საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მონაცემების მიხედვით  $\gamma_6$  სიდიდე დაახლოებით 1.3—1.4 ტ/მ<sup>3</sup>-მდე აღწევს

5. ყინულის წნევა. ისე როგორც წყლის წნევისას, ამ შემთხვევაშიც განასხვავებენ ყინულისაგან გამოწვეულ სტატიკურ და დინამიკურ წნევებს, რომელთაგანაც პირველს (სტატიკურს) ძირითადად ადგილი აქვს ჰაერის ტემპერატურის სწრაფად მომატების შემთხვევაში, ხოლო მეორეს (დინამიკურს) ყინულსვლის პერიოდში.

6. ჰაერის ტემპერატურის სწრაფად მომატების შედეგად გამოწვეული ყინულის სტატიკური წნევა ნაგებობაზე შეიძლება გამოთვლილ იქნას (ტ/გრძ. მ-ობით) გამოსახულებით

$$(W_y)_{\text{ტ}} = 0,95(t_0 + 1) \left[ \frac{t_0}{S} (t_0 + 1)^2 \right]^{1/3}, \quad (2.11)$$

სადაც  $\rho$  არის ყინულის სისქე მეტრობით, რომლის სიდიდეს მიიღება მრავალწლიურ პერიოდში ჩატარებულ დაკვირვებათა მონაცემების მაქსიმალური მნიშვნელობა;  $t_0$  — ყინულოვანი საფარის ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობა (გრადუსობით) რაღაც  $S$  საათის განმავლობაში, რომლის სიდიდე დაახლოებით უდრის  $0,35 t$  ( $t$  არის ჰაერის ტემპერატურის მომატების სიდიდე დროის იმავე პერიოდში); როდესაც მეტეოროლოგიური მონაცემები არ მოგვეპოვება  $S$  სიდიდესზე, მაშინ მისი მიახლოებით გამოთვლა შეიძლება მოვახდინოთ ასეთი გამოსახულებიდან  $\frac{t_0}{S} = \frac{6}{t}$ .

აქვე აღვნიშნავთ, რომ თუ საერთოდ არ მოგვეპოვება მეტეოროლოგიური მონაცემები განსახილველ საკითხზე, მაშინ მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ ( $W_{y,6}$ -ის შემდეგი მნიშვნელობანი:

საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის სამხრეთი ზოლისათვის 20—30 ტონა 1 გრძივ მეტრზე, მისი შუალედი ზოლისათვის 40—50, ხოლო ჩრდილოეთისა და ციმბირისათვის კი 50—70 ტონა 1 გრძივ მეტრზე. თუ ნაგებობათა ექსპლოატაციის პერიოდში შესაძლებელია ყინულის ფენის ჩამოშორება ნაგებობის გასწვრივ, მაშინ ყინულის სტატიკური ზემოქმედება ნაგებობაზე საერთოდ გამორიცხულია და ამიტომ ასეთი სახის განვარიშების ჩატარებაც აღარ არის საჭირო.

ყინულის დინამიკური დაწნევა ( $W_y$ )<sub>დ</sub> ტონობით 1 გრძივ მეტრზე, გამოწვეული მცურავი ყინულის ნაჭრების დაჭახებით ნაგებობაზე, შეიძლება გამოვთვალოთ პ. კუზნეცოვის ფორმულებით, სახელდობრ, როდესაც ნაგებობის მიმართ ყინულის ნაჭრები მოძრაობენ  $\varphi = 80^\circ - 90^\circ$  კუთხით,

$$(W_y)_{\text{დ}} = KV^2 \sqrt{lb}, \quad \text{ტონობით.} \quad (2.12)$$

ხოლო, როდესაც  $\varphi < 80^\circ$ -ზე,

$$(W_y)_{\text{დ}} = CV^2 \sqrt{\frac{lb}{\mu lb + \lambda \delta^2}}, \quad (2.13)$$

სადაც  $V$  არის ყინულის ნაჭრების მოძრაობის სიჩქარე მ/წმ-ობით,  $l$  და  $b$  შესაბამისად ყინულის ცალკეული ნაჭრის საშუალო სიგრძე (ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით) და სიგანე მეტრობით, რომელთა სიდიდეები აიღება განსახილველი რაიონის ადგილმდებარეობის პირობების გათვალის-

წინებით;  $K$ ,  $C$  და  $\lambda$  ემპირიული კოეფიციენტებია, ხოლო  $\mu = \frac{\text{Cos}^2 \varphi}{t \varphi^2}$ .

$K$ ,  $C$ ,  $\lambda$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობანი მოცემულია 2.5 ცხრილში, ხოლო  $\mu$  სიდიდის კი — 2.6 ცხრილში.



K, C და L კოეფიციენტების ხილილები

მტანარწყულიანი ყინულისათვის	K	C	L
	წმ ტ/წმ-ობით		
ყინულსვლის დაწყებისას, როდესაც ჰაერის ტემპერატურის დათბობის პერიოდი ხანმოკლეა	6	136	500
ყინულსვლის დაწყებისას, როდესაც ჰაერის ტემპერატურის დათბობის პერიოდი საკმაოდ ხანგრძლივია	4,3	136	1000

ცხრილი 2. 6

ფ	80	75	70	65	60	55	45	30	20
გრადუსობით									
μ	0,001	0,005	0,009	0,04	0,08	0,16	0,5	2,25	6,7

6. ნაგებობაზე დამატებით მოქმედი ქარისა და თოვლის დატვირთვების სიდიდეთა დადგენა ხდება СН и П II—А 11—62-ში განხილული მეთოდების საფუძველზე.

7. სეისმური ძალების სიდიდე დამოკიდებულია მიწისძვრის ძალაზე და ხასიათდება დედამიწის ქერქის რხევის T პერიოდით (ეს სიდიდე მიღებულია 1 წამის ტოლად) და τ სეისმური აჩქარებით (იხ. ცხრ. 2. 7). ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის რაიონში მიწისძვრის ძალის შეფასებას ახდენენ ბალებით ГОСТ 6249—52-ის მონაცემების საფუძველზე.

ცხრილი 2. 7

ნაგებობის თანრიგი	მიწისძვრის ძალა, ბალებით	სეისმური აჩქარება τ, შმ/წმ <sup>2</sup>	მიწისძვრის ხასიათი
I	1—0	2,5—100	უმნიშვნელო ძალის; ნაგებობა საფრთხეს არ განიცდის (გარდა მალლივი კოშკებისა)
II	7—8	100—500	ძლიერი ხასიათის, ნაგებობას დანგრევა ემუქრება
III	9	500—1000	დამანგრეველი ხასიათის მიწისძვრა
IV	10—12	1000—5000	გამანადგურებელი-კატასტროფული ხასიათის მიწისძვრა

როგორც ცხრილიდან ჩანს, პირველი თანრიგის ნაგებობისათვის სეის-  
მური აჩქარების  $\tau$  სიდიდე საგრძნობლად მცირეა სიმძიმის ძალის აჩქარე-  
ბასთან შედარებით და ამიტომ ასეთ შემთხვევაში სეისმური გაანგარიშე-  
ბის ჩატარება არ არის საჭირო (გარდა მაღლივი კოშკებისა). თავის მხრივ,  
მშენებლობის რაიონის სეისმურობის დადგენას ახდენენ ლიტერატურაში  
არსებული ცალკეული მიკრორაიონის სეისმური რუკების საფუძველზე.  
მშენებლობის ტერიტორიის სეისმურობის დაზუსტება ხდება მისი შემცვე-  
ლი გრუნტის, ფიზიკურ-მექანიკური, გეოლოგიურ-ჰიდროგეოლოგიური  
პირობებისა და ადგილმდებარეობის რელიეფის გათვალისწინებით, ხოლო  
თვით ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სეისმურობის საანგარიშო მონაცემები  
კი აიღება ამ უკანასკნელის კლასის გათვალისწინებით (ცხრილი 2. 8).

ცხრილი 2. 8

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კლასი	ნაგებობის საანგარიშო სეისმურობა, როდესაც მშენე- ბლობის ტერიტორიის სეისმურობა (ბალობი) ტოლია			
	6	7	8	9
I	7	8	9	—
II და III	6	7	8	9
IV	6	6	6	6
V	6	6	6	6

სეისმურ რაიონებში ასაშენებლად გათვალისწინებულ ჰიდროტექ-  
ნიკურ ნაგებობათა მდგრადობის საანგარიშოდ, გარდა ზემოთ ჩამოთვლი-  
ლი ძალებისა და დატვირთვებისა, განხილულ უნდა იქნას აგრეთვე სეისმუ-  
რი მოვლენებისაგან ნაგებობის ძირში წარმოქმნილი  $P_n$  ინერციული ძა-  
ლები, რომელთა სიდიდე პროპორციულია ნაგებობის  $\frac{G}{g}$  მასისა და  $\tau$   
სეისმური აჩქარების სიდიდისა.

$$P_n = \frac{G}{g} \frac{\tau}{1000} = \alpha K_n G, \quad (2. 14)$$

სადაც  $G$  არის ნაგებობის წონა,  $g$  — სიმძიმის ძალის აჩქარება მ/წმ<sup>2</sup>-ობით,  
 $\tau$  — სეისმური აჩქარება მმ/წმ<sup>2</sup>-ობით,  $K_n$  — სეისმურობის კოეფიციენტი  
( $K_n = \frac{\tau}{1000g}$ );  $\alpha$  — შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომლის რიცხვი-

თი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნაგებობის დინამიკურ მახასიათებლებზე, სეისმური ზემოქმედების ხასიათზე და აიღება 2.9 ცხრილიდან.

ცხრილი 2.9

განსახილველ ნაგებობათა ან კიდევ მათი ცალკეილი ელემენტების დახასიათება	α
ნაგებობები და მათი შემადგენელი ელემენტები, გარდა ქვემოთ, ცხრილში ნაჩვენებებისა მალევი ნაგებობები, როგორც მაგალითად სადანეო კოშკები, ხიდე-ბის საემაოდ მალაი საყრდენები. დიდი სიმაღლის საყრდენი კედლები, მალაი რკინაბეტონის, ბეტონისა და ქვის კაშხალები:	1
ა) ნაგებობის ქიშთან, რომლის სიმაღლეა H ბ) ნაგებობის საძირკვლის დონეზე	2 1
გ) ნაგებობის შუაღედ h სიმაღლეზე	$1 + \frac{h}{H}$
დ) თაღებსა და გუმბათებში	2

$P_6$  ინერციული ძალა ყოველთვის მოდებულია ნაგებობის ს-შემომის ცენტრში, ხოლო რაც შეეხება მის მიმართულებას, ის გაანგავრუებებში შეიძლება მივიღოთ როგორც პორიზონტალურად—ზედა ან ქვედა აგუვის მხარეს (იხ. ნახ. 2,17), ასევე ვერტიკალურად—ზევით ან ქვევით, იმის მიხედვით, თუ რომელი მიმართულებით უფრო არახელსაყრელი პარობები მიიღება ნაგებობის სიმტკიცისა და მდგრადობის უზრუნველსაყოფად.

როდესაც კაშხალებს და სხვა ისეთ პიდროტექნიკურ ნაგებობებს ვანგარიშობთ, რომლებიც წყლის ზემოქმედებას განიცდიან, საჭიროა აგრეთვე გავითვალისწინოთ მიწისძვრის დროს წყლისაგან გამოწვეული დამატებითი ინერციული ზემოქმედება ნაგებობაზე; ეს სიდიდე გამოითვლება გამოსახულებით

$$W_6 = 0,55 K_6 A^2, \quad (2.15)$$

სადაც  $K_6 = \frac{\tau}{1000g}$  ინერციულობის კოეფიციენტი,  $\tau$  —სეისმური აჩქარების კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე აიღება 2.7 ცხრილიდან,  $h$  —წყლის სიღრმე ნაგებობის წინ (მეტრობით).

ასეთი გაანგარიშების ჩატარების დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს აგრეთვე რეზონანსული მოვლენის შესწავლას, რომელსაც ადგილი შეიძლება ექნეს იმ შემთხვევაში, თუ ურთიერთდამოხვევა მოხდება სეისმისა  $T$  და ნაგებობის საკუთრივ რხევადობის  $T_0$  პერიოდების; ამ შემთხვევაში ძალებმა შეიძლება რამდენიმეჯერ გადააჯარბოს 2.14 ფორმულის საფუძველზე გამოთვლილ მათ მნიშვნელობებს და ამან შეიძლება გამოიწვიოს ნაგებობის კატასტროფა. აქვე შევნიშნავთ რადგან

სეისმური რხევადობის პერიოდი  $T \approx 1$  წამს, ამიტომ ბეტონისა და რკინა-ბეტონის მასიური ნაგებობები, რომელთათვისაც  $T_0 > 2$  წამზე ან კიდევ  $T_0 < 0,5$  წამზე, შეიძლება ჩავთვალოთ უსაფრთხოდ რეზონანსული მოვლენების თვალსაზრისით. ყველა დანარჩენ შემთხვევებში (მცირე მიწისძვრის დროსაც კი) ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, როგორც წესი, უნდა შემოწმდეს რეზონანსზე; ამ მხრივ უმთავრესად საყურადღებოა მაღლივი და შეღარებით თხელკედლიანი ნაგებობები, როგორც მაგალითად კოშკები, მიწები და ა. შ.

საბოლოოდ, გვეცოდინება რა ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ძალისა და დატვირთვების რიცხვითი მონაცემები, შეგვეძლება დავადგინოთ ნაგებობათა მდგრადობის მახასიათებელი პარამეტრები (მდგრადობის კოეფიციენტები) ნაგებობის ფუძის ჰორიზონტალური სიბრტყის გასწვრივ დაძვრაზე, გადაბრუნებაზე და ა. შ. ამ საკითხის კონკრეტულ მაგალითზე განხილვა იხილეთ ქვემოთ, მეხუთე თავში. აქ კი აღვნიშნავთ, რომ ნაგებობის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად საჭირო მარაგის კოეფიციენტის შერჩევა უნდა მოხდეს იმის მიხედვით, თუ რამდენად ზუსტი მეთოდით გვაქვს გამოთვლილი საანგარიშო ძალები და რამდენად საიმედო მონაცემები მოგვეპოვება ნაგებობის აშენების ტერიტორიის შემცველ ძირითად გრუნტებზე. ამასთანავე, აღსანიშნავია ისიც, რომ ნაგებობათა მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტები გამოთვლილ უნდა იქნეს ნაგებობათა მშენებლობის, ექსპლუატაციის ყველაზე არახელსაყრელი პირობებისათვის. მაგალითისათვის, 2.10 ცხრილში მოცემულია მდგრადობის დანაშევები კოეფიციენტების სივლიდეები (ამ სიდიდეთა დადგენა უნდა ხდებოდეს ტექნიკური პროექტის შედგენის დროს)\*.

ცხრილი 2. 10

დასაპროექტებელ ნაგებობათა კლასი	მდგრადობის დანაშევები კოეფიციენტი
I	1,5
II	1,4
III	1,3

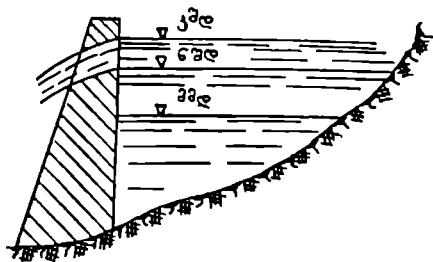
\* საპროექტო მოცემულობაში ამ სიდიდეთა რიცხვითი მნიშვნელობათა დადგენა ხდება სპეციალური მითითებების საფუძველზე. თუ ასეთი მითითებანი არ არსებობენ, მაშინ რეკომენდებულია მათი რიცხვითი მნიშვნელობანი გავზარდოთ 10%-ით.

1. ზოგადი ცნობები. კაშხალიანი წყალსაცავები, ძირითადად, ეწყობა ირიგაციულ და ჰიდროენერგეტიკულ ობიექტებზე. იმის მიხედვით, თუ რა ძირითად ფუნქციას ასრულებს კაშხალი, განიხილავენ (როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ) წყლის დონის ამწევ და წყლის დამგრავებელ კაშხალიან წყალსაცავებს; უმეტეს შემთხვევაში წყალსაცავებზე აშენებული ყოველი კაშხალი ერთდროულად ასრულებს ორივე ამ ფუნქციას.

ყოველ წყალსაცავიან ჰიდროკვანძში მომხმარებელზე წყლის მისაწოდებლად გათვალისწინებულია ე. წ. წყალმიღები ნაგებობა, ხოლო რეკულირებით გათვალისწინებული ზედმეტი წყლის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გასატარებლად ეწყობა წყალსაგდები ნაგებობა. ეს უკანასკნელი შეიძლება მოეწყოს წყალსაცავის რომელიმე ფერდოზე (კაშხალის მოვლით) გვირაბის ან კიდევ ღია ტრანშეისებური არხის სახით, თვით კაშხალის ტანში ე. წ. სიღრმითი წყალსაგდების ან კიდევ მის ზედა ნაწილში ზედაპირული ტიპის წყალსაშვების სახით.

2. წყალსაცავის მახასიათებელი დონეები და სხვა ძირითადი პარამეტრები. ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ წყალმიღებ და წყალსაგდებ ნაგებობათა წყალგამტარუნარიანობის დადგენა წარმოებს ჰიდრაულიკის ფორმულების საფუძველზე, რისთვისაც წინასწარ საჭიროა ვიცოდეთ წყალსაცავის სარეგულაციო წყლის დონეები (ნახ. 2. 19), სახელდობრ, ეგრეთ წოდებული მკვდარი მოცულობის, ნორმალური შეტბორვის და კატასტროფული შეტბორვის დონეები.

წყლის იმ მოცულობას, რომელიც მოთავსებულია წყალსაცავში ყველაზე დაბალ, წინასწარ დადგენულ წყლის ზედაპირს ქვემოთ, პირობითად ეწოდება მკვდარი მოცულობა (მმ), ხოლო მის შესაბამის წყლის ზედაპირს კი — მკვდარი მოცულობის დონე (მმდ).



ნახ. 2.19 — წყალსაცავის მახასიათებელი დონეების ზოგადი სქემა.

მმდ-ის ზემოთ წყალსაცავში მდებარეობს წყლის ის სასარგებლო მოცულობა, რომლის ხარჯზედაც ხდება მომხმარებელთა დაკმაყოფილება და ამავე დროს წყლის სხვადასხვა სახის დანაკარგების გათვალისწინება. ამგვარად, მიღებულ სასარგებლო მოცულობის შესაბამის ზედაპირს ეწოდება

წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონე (წმდ). ამ დონის შესაბამის ნიშნულზე ეწყობა წყალსაგდები ნაგებობის ზერეტი წინასწარ შედგენილი უზრუნველყოფის შესაბამისი მაქსიმალური (კატასტროფული) ხარჯების გასატარებლად. წყლის იმ ყველაზე მაღალ დონეს, რომლის ფარგლებშიც წყლის დონემ შეიძლება აიწიოს წყალსაცავში, უწოდებენ კატასტროფული შეტბორვის დონეს (კმდ). შესაბამისად, კაშხლის ზედა ქიმის და მასთან დაკავშირებული სხვა ნაგებობის ნიშნული აიღება კმდ-ის შესაბამის ნიშნულზე მაღლა გარკვეული მარაგით წყალსაცავში მოსალოდნელი ტალღების სიმაღლის მხედველობაში მიღებით.

წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა, მართალია, არ ღებულობს უშუალო მონაწილეობას ჩამონადენის დანიშნულებისამებრ გადანაწილებაში, მაგრამ მას ერთ-ერთი გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება წყალსაცავის ზომების დადგენაში. სახელდობრ, მკვდარი მოცულობისა და მისი შესაბამისი მმდ-ის დანიშნვისას მხედველობაში უნდა მიიღონ წყალსაცავის შესაძლებელი დაღეჟვა მდინარის მყარი ნატანით, წყლის მიწოდება სარწყავი ფართობების ნებისმიერ საპროექტო ნიშნულზე, ჰიდროელექტროსადგურებს-ს საღვრივაციო სისტემისათვის მინიმალური საანგარიშო დაწნევის უზრუნველყოფა, ნაოსნობისათვის აუცილებელი წყლის მინიმალური სიღრმეების შენარჩუნება, თევზის მეურნეობის მოთხოვნების დაკმაყოფილება, საპროექტო მიკრორაიონის სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების გათვალისწინება და ა. შ.

განვიხილოთ ყველა ეს პირობები ცალ-ცალკე.

ა) დაღეჟვის პირობა. როდესაც ექსპლუატაციის სპეციფიკური პირობების გამო შეუძლებელია წყალსაცავის გარეცხვა მდინარის მყარი ჩამონადენისაგან, მაშინ წყალსაცავის საექსპლუატაციო პერიოდის გაზრდის ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა მკვდარი მოცულობის გაზრდა. ასეთნაირად, რომ მასში მოთავსდეს მთელ საექსპლუატაციო პერიოდში მოსალოდნელი მყარი ჩამონადენის მოცულობა.

ბ) სარწყავი ფართობის ნებისმიერ ნიშნულზე წყლის მიწოდება პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მმდ-თან; რაც მაღლაა მმდ-ის შესაბამისი ნიშნული, უფრო მეტ ფართობზე შეიძლება შეეწოდოს სარწყავი წყალი.

გ) თუ ჰიდროელექტროსადგურებს ში მინიმალური საანგარიშო დაწნევის უზრუნველყოფას მმდ განსაზღვრავს, მაშინ საჭიროა ასეთი დონე რაც შეიძლება უფრო მაღალ ნიშნულზე დაინიშნოს.

დ) ნაოსნობისათვის აუცილებელი წყლის მინიმალური სიღრმეების უზრუნველყოფა. როდესაც წყალსაცავს სხვა დანიშნულებასთან ერთად სანაოსნო დანიშნულებაც

აქვს, მაშინ წყალსაცავის ზემოთ—წყლის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით—მდინარეში ნაოსნობისათვის დანიშნული მინიმალური სიღრმეები უშუალოდ განსაზღვრავენ მმდ-ს.

ე) თევეზის მეურნეობის მოთხოვნილებების დაკმაყოფილება. თითქმის ყველა საირიგაციო და ჰიდროენერგეტიკულ წყალსაცავში ადგილი აქვს თევეზის წარმოებას, რის გამოც წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა ისეთნაირად უნდა იყოს განსაზღვრული, რომ მისი შესაბამისი დაბალი დონეების შემთხვევაში თევეზებს ჰქონდეთ საარსებოდ საჭირო წყლის სიღრმე და მოცულობა, ჰაერი, კვების პროდუქტები და ა. შ.

ვ) სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების დაცვის თვალსაზრისით, პროექტით დანიშნული მმდ-ის შესაბამისი წყლის სიღრმეების ფარგლებში ადგილი არ უნდა ექნეს დაბალწყლიან დატბორვებს.

გარდა ზემოთ განხილული საანგარიშო დონეებისა, წყალსაცავის მახასიათებელ ძირითად პარამეტრებს მიეკუთვნება\* წყალსაცავის დარეგულირების, გამოყენების, ტევადობისა და წყლის ჯამური დანაკარგების კოეფიციენტები. წყალსაცავების ვარიანტთა ურთიერთშედარებისათვის (ეკონომიკური თვალსაზრისით) ხშირად აგებენ აგრეთვე სხვა სახის დამხმარე მრუდელებსაც.

ზ) წყალსაცავებიდან წყლის დანაკარგებს შეიძლება ადგილი ექნას აორთქლების, ფილტრაციის ან კიდევ ყინულწარმოქმნის ხარჯზე. განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე.

თ) წყალსაცავებიდან წყლის დანაკარგი აორთქლებაზე ( $W_{აორ}$ ) გამოითვლება წყლის ბალანსის განტოლების საფუძველზე.

$$W_{აორ} = (X - Z) \cdot (\alpha_{წყ} - \alpha_{აღ}) \cdot 1000 \text{ მ}^3, \quad (2.16)$$

სადაც  $W_{აორ}$  არის მოცემულ პერიოდში (თვე, კვარტალი, წელი) აორთქლებაზე დაკარგული წყლის მოცულობა;  $X$  და  $Z$  — წყლის ზედაპირიდან და ხმელეთის ზედაპირიდან აორთქლებული წყლის ფენის სიმაღლეები, მმ-ობით;  $\alpha_{წყ}$  — წყალსაცავის სარკის ზედაპირის ფართობი, კმ<sup>2</sup>-ობით,  $\alpha_{აღ}$  — მდინარის წყლის ზედაპირის ფართობი წყალსაცავის მოწყობამდე, კმ<sup>2</sup>-ობით.

თუ (2.16) ფორმულაში შევიტანთ აორთქლებას სიღრმეების წლიურ მონაცემებს, მაშინ შეგვიძლია გამოვითვალოთ აორთქლების შედეგად წლის

\* მათი უფრო ფართოდ განხილვა იხილეთ ჩვენ მიერ გამოშვებულ სახელმძღვანელოში „ჰიდროლოგია, ჰიდრომეტრია, ჩამონადენის რეგულირება“, გამოცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1976 წ.

განმავლობაში დაკარგული წყლის საერთო მოცულობა; ამ შემთხვევაში წყლის კარგვის ხარჯი გამოიანგარიშება გამოსახულებით

$$Q_{\text{არბ}} = \frac{W_{\text{არბ}}}{86400 T}, \quad (2.17)$$

სადაც  $T$  არის დღეების რიცხვი განსახილველ პერიოდში.

ბ) წყლის დანაკარგებს ყინულ წარმოქმნაზე ძირითადად, ადგილი აქვს ზამთრის პერიოდში, როდესაც წყალსაცავის სარკის ზედაპირი მცირდება და მის ფერდობებზე დარჩენილი ყინულოვანი ფენა გაზაფხულამდე გამოუყენებელი რჩება, ხოლო რაც შეეხება უშუალოდ წყლის ზედაპირზე მდებარე ყინულის ფენას, ის დანაკარგად არ ჩაითვლება, რადგან მისი კომპენსირება ხდება მის მიერ წყალსაცავის „მკვდარი“ მოცულობიდან გამოდენილი წყლის ეკვივალენტური მოცულობით.

ზამთრის პერიოდისათვის ყინულწარმოქმნაზე წყლის დანაკარგის საერთო მოცულობა  $W_y$  (მ<sup>3</sup>-ობით) გაიანგარიშება ფორმულით

$$W_y = 0.9 \cdot 10^4 (\omega_1 - \omega_2) \cdot a, \quad (2.18)$$

სადაც  $\omega_1$  და  $\omega_2$  არის წყალსაცავის სარკის ზედაპირის ფართობები შესაბამისად საანგარიშო პერიოდის დასაწყისისა და დასასრულისათვის;  $a$  — ყინულის საშუალო სისქე სმ-ობით; მისი სიდიდე მიახლოებით შეიძლება გამოთვლილი იქნას ასეთი სახის ემპირიული ფორმულით

$$a = 1,33 \cdot a_1, \quad (2.19)$$

სადაც  $a_1$  არის რომელიმე ახლომდებარე მდინარეში ჩატარებულ დაკვირვებათა საფუძველზე გამოთვლილი ყინულის ფენის სისქე, სანტიმეტრებით.

კ) წყლის დანაკარგები ფილტრაციისაზე. წყალსაცავებიდან ფილტრაციით გამოწვეული წყლის დანაკარგების სიდიდე დამოკიდებულია იმ ქანების მახასიათებლებზე, რომლებიც განლაგებულია წყალსაცავის ფსკერსა და ნაპირებზე (აქ ჩვენ არ შევხებით შესაძლო ფილტრაციას თვით კაშხალის ტანში და მის ირგვლივ). ასე, მაგალითად, წყალსაცავისაოვის განსაკუთრებით არახელსაყრელია ფხვიერი გრუნტები და დანაპრალეული ქანები. სრულიად დაუშვებელია წყალსაცავების მოწყობა-კარსტულ ქანებზე.

იმისდა მიხედვით, თუ როგორი ჰიდროგეოლოგიური პირობებით ხასიათდება წყალსაცავის ფსკერი და ნაპირები, ფილტრაციიდან გამოწვეული წყლის დანაკარგები შეიძლება მიახლოებით განისაზღვროს ე. ლემედვის მონაცემებით (ცხრ. 2. 11).



№№ რიგ.	ჰიდროგეოლოგიური პირობები	წყლის კარგვა ფილტრაციაზე			
		წყლიწალში		თვის განმავლო- ბაში	
		ფენა სმ-ობით	წყალსაცა- ვის მოცუ- ლობის % -ლი რაო- დენობა	ფენა სმ-ობ- ით	წყალსაცა- ვის მოცუ- ლობის %/წლი რა- ოდენობა
1	კარგი ჰიდროგეოლოგიური პირობებისათვის (წყალგეონტარი გონეტენ-გრაბიტი, თიხენი)	50	5—10	4	0,5—1
2	საშუალო ჰიდროგეოლოგიური პირობებისათვის (თიხამიწა)	50—100	10—20	4—8	1—1,5
3	არახელსაყრელი ჰიდროგეოლოგიური პირობებისათვის (წყალგამტარი გრუნტები)	100—200	20—40	8—16	1,5—3,0

ლ) წყალსაცავის წყლით ავსების ხანგრძლივობის საანგარიშო ფორმულას ასეთი სახე აქვს:

$$t = \frac{W_{წყ}}{\Sigma Q_{ფენ} - W_{კარგ}} \text{ დღე-ღამე,} \quad (2.20).$$

სადაც  $W_{წყ}$  არის წყალსაცავის მოცულობა (მ<sup>3</sup>-ობით);  $Q_{ფენ}$  — წყლის მოდინების საშუალო დღელამური ხარჯები (მ<sup>3</sup>/წმ-ობით);  $W_{კარგ}$  — წყალსაცავიდან წყლის დღელამური კარგვების ჯამი აორთქლებზე ( $W_{აორ}$ ) და ფილტრაციაზე ( $W_{ფ}$ ).

მ) წყალსაცავის დაღექვის ანგარიში. წინასწარ მოცემულ  $T$  პერიოდში წყალსაცავში ჩასული ნატანი მასალის მოცულობა გამოითვლება ფორმულით

$$W_{6} = \frac{Q_{საშ} \cdot W_{6} T}{1000 \cdot \gamma_{6}} \text{ მ}^3, \quad (2.21).$$

სადაც  $Q_{საშ}$  არის წყალსაცავის საანგარიშო კვეთში დაკვირვებათა მასალების საფუძველზე გამოთვლილი საშუალო წლიური სიმღვრიე გ/მ<sup>3</sup>-ობით,  $W_{6}$  — წყლის ჩამონადენის საშუალო წლიური ნორმა მ<sup>3</sup>-ობით,  $T$  — წყალსაცავის საექსპლუატაციო მომსახურების პერიოდი (წლებით),  $\gamma_{6}$  — წყალსაცავში ჩასული ნატანი მასალის მოცულობითი წონა კგ/მ<sup>3</sup>-ობით.

აღნიშნული მიზნისათვის ლიტერატურაში არსებული ფორმულებიდან, პირველ რიგში, შეიძლება დავასახელოთ ბ. პოლიაკოვის ფორმულა, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოვითვალოთ წყალსაცავში ერთი წლის.

ვანმავლობაში ჩასული ტივტივა და ფსკერული ნატანი მასალის საერთო მოცულობა; ფორმულას ასეთი სახე აქვს:

$$W'_6 = W_6 \left( 1 + \frac{\beta}{\gamma_{ფსკ}} \right), \quad (2.22)$$

სადაც  $W_6 = \frac{P}{\gamma_6}$  არის ტივტივა ნატანი მასალის მოცულობა მ<sup>3</sup>/წელიწადში;

$P$  — ნატანი მასალის წონა ტონობით;

$\gamma_6$  — ნატანი მასალის პირობითი მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;

$\beta$  — ფარდობა ფსკერული და ტივტივა ნატანი მასალის წონებისა (მთისა და მთისწინა მდინარეებისათვის  $\beta$  იცვლება 0,1-დან 1,0-მდე ფარგლებში, ვაკის მდინარეებისათვის კი 0,001-დან 0,1-მდე ფარგლებში);

$\gamma_{ფსკ}$  — ფსკერული ნატანი მასალის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>-ობით.

ამგვარად, თუ გვეცოდინება წყალსაცავის მოცულობა ( $W_{ფსკ}$ ) და აგრეთვე წყალსაცავის ნაპირების ჩამონგრევის ( $W_{ნაგ}$ ) და მდინარის ნატანი მასალის ჩამონადენის ( $W_{ნაგ}$ ) მოცულობების საშუალო წლიური მონაცემები, მაშინ წყალსაცავის დალამვის საორიენტაციო დრო (წლობით)  $n$  გამოითვლება ფორმულით

$$n = \frac{W_{ფსკ}}{W_6 + W_{ნაგ}}. \quad (2.23)$$

#### § 2. 6. ცალკეული წყალსამაგრი ნაპირების დაპროექტებისა და საშიგო-კვლავითი საშუაოების ჩატარების სადღივი და სახეები

წყალსამაგრი ნაპირების ტექნიკურ-ეკონომიკური დოკუმენტაციის შედგენის თვალსაზრისით განასხვავებენ პროექტირების ოთხ სტადიას:

ა) ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება, რომლის მიზანს შეადგენს დასაპროექტებელი ნაპირის აშენების ტექნიკური იდეის ჩამოყალიბება და მისი ეკონომიკურად დასაბუთების მიხსლოებითი გაანგარიშება;

ბ) საპროექტო მოცემულობა, რომლის დამუშავების შედეგად ხდება განსახილველი ნაპირის აშენების ტექნიკურად შესაძლებლობისა და ეკონომიკურად მისი მიზანშეწონილობის დადგენა;

გ) ტექნიკური პროექტის შედგენის მიზანია ნაგებობათა

ტექნიკური დოკუმენტაციის დეტალურად დამუშავება და მათი ღირებულების ზუსტად დადგენა;

დ) მუშა ნახაზების შედგენის (მუშა დაპროექტების) ძირითადი მიზანია ტექნიკური პროექტის დაზუსტება-დამატება სამუშაოთა წარმოების ორგანიზაციის სრულყოფისა და ცალკეულ ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების დეტალიზაციის მიზნით.

თავის მხრივ, დაპროექტების აქ ჩამოთვლილ სტადიებს შეესაბამება საძიებო-კვლევითი სამუშაოების შემდეგი სტადიები:

ა) დაზვერვითი ძიება — ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებისათვის საჭირო დოკუმენტაციის შესადგენად;

ბ) წინასწარი ძიება — საპროექტო მოცულობის შედგენისათვის;

გ) დეტალური ძიება — ტექნიკური პროექტის შედგენისათვის;

დ) წინასამშენებლო ძიება — მუშა პროექტის შედგენისათვის.

უქანასკნელ წლებში, პროექტირების დაჩქარების მიზნით (განსაკუთრებით სამელიორაციო ობიექტების მშენებლობისას), კმაყოფილდებიან ორსტადიანი დაპროექტებით; საპროექტო მოცემულობა (ხარჯთაღრიცხვის შედგენით) და მუშა დაპროექტება, ან ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთება და ტექნიკური პროექტი (ხარჯთაღრიცხვის შედგენით).

ამასთანავე, ყოველი საძიებო-კვლევით სამუშაოთა შესრულება ითვალისწინებს:

ა) განსახილველი ობიექტის ირგვლივ არსებული სხვადასხვა მონაცემისა და მასალების შეგროვებას და მათ წინასწარ კამერალურ დამუშავებას;

ბ) საველე, ტოპოგრაფიული და ჰიდრომეტრიული (ასაშენებელი ობიექტის ადგილმდებარეობის ტოპოგრაფიული აგეგმვა, არხების ტრასების ნიველირება, მდინარეში წყლის სიღრმეებისა და თხევადი და მყარი ჩამონადენის ხარჯების გაზომვა სხვადასხვა ჰიდრომეტრიული ხელსაწყოებით და ა. შ.), გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ სამუშაოთა ჩატარება და მათი კამერალურად დამუშავება;

გ) სპეციალური ლაბორატორიული გამოკვლევების ჩატარება ასაშენებელი წყალსამურნეო ობიექტის ცალკეული ჰიდროკვანძებისა და ნაგებობების მოდელზე გამოცდის მიზნით. ამ მხრივ საგულისხმოა ვიცოდეთ, რომ ზაბჰოთა კავშირში ამჟამად აშენებული ყველა მსხვილი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა წინასწარ გამოცდილი იყო ჰიდრაულიკურ (ჰიდროტექნიკურ) ლაბორატორიებში;

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მოდელირების საკითხზე არსებობს შრავალი სპეციალური ლიტერატურა, სადაც საკმარის დეტალურად არის

განხილული მოდელირების ყველა ასპექტი—ჰიდრაველიკური, სტატიკური-სეისმოლოგიური, ტემპერატურული და ნაგებობის უავარიოდ მუშაობასთან დაკავშირებული სხვა მრავალი საკითხი.

**§ 2. 7. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ჰიდრაველიკური (ლაბორატორიული) მოდელირების ძირითადი საფუძვლები**

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჰიდრაველიკური მოდელირების არსი გულისხმობს, რომ განსახილველ ჰიდროკვანძში წყლის დინების ყველა ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრი შეისწავლება ლაბორატორიულ პირობებში წინასწარ შერჩეულ (შემციობებულ) მასშტაბში აგებულ მოდელზე, რომელსაც საფუძვლად უდევს მექანიკური მსგავსების საერთო კანონები. ასე, მაგალითად, წყლის ნაკადების მოდელირების დროს, მათი ჰიდროდინამიკური მსგავსებისათვის აუცილებელია ისინი მსგავსნი იყვნენ გეომეტრიულად, კინემატიკურად და დინამიკურად. თავის მხრივ, გეომეტრიული მსგავსება საფუძველია კინემატიკური და დინამიკური მსგავსებისათვის.

ორი ნაკადი (ნატურა და მოდელი) გეომეტრიულად მსგავსად ჩაითვლება, თუ მათ შესაბამის ხაზობრივ სიდიდეებს შორის არსებობს ასეთი მუდმივი ფარდობა

$$\frac{l_6}{l_9} = \delta, \quad (2.24)$$

სადაც  $l_6$  არის ნატურისა, ხოლო  $(l_9)$  მოდელის მაჩვენებელი ხაზობრივი სიდიდეები,  $\delta$  — მოდელის გეომეტრიული ხაზობრივი მასშტაბის გამომსახველი კოეფიციენტი, რომელიც უჩვენებს, თუ რამდენჯერაა შემციობებული მოდელი ნატურასთან შედარებით.

ნატურისა და მოდელის ფართობებისათვის შესაბამისად შეიძლება დავწეროთ

$$\frac{w_6}{w_9} = \delta^2. \quad (2.25)$$

და მოცულობებისათვის

$$\frac{W_6}{W_9} = \delta^3. \quad (2.26)$$

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ყოველი კალაპოტის გეომეტრიულად მსგავს მოდელზე ხორკლიანობის მაჩვენებელი შვერილების სიმაღლე  $\Delta$  (ისევე, როგორც ყველა დანარჩენი ზომა)  $\delta$ -ჯერ ნაკლები უნდა იყოს ნატურასთან

შედარებით; შესაბამისად, ასეთ ნაკადებში ფარდობითი ხორკლიანობა მოდელზე იგივეა, რაც ნატურაში.

ორი ნაკადი კინემატიკურად მსგავსი იქნება, თუ მათში აღებული ორი მსგავსი ნაწილაკის მიერ შემოწერილი ტრაექტორიები გეომეტრიულად მსგავსი იქნება; ამ შემთხვევაში ასევე მსგავსი იქნება ის დენის წირებიც, რომლებიც გაივლის ორივე ნაკადის (ნატურა-მოდელი) სივრცეების შესაბამის მსგავს წერტილებში. აღნიშნულის მხედველობაში შილებით ნატურაში და მოდელზე შესაბამისი ნაწილაკების გადაადგილების დროის მონაკვეთების ფარდობა ასეთნაირად გამოისახება

$$\frac{T_{\varepsilon}}{T_a} = \delta_1, \quad (2.27)$$

სადაც  $T_{\varepsilon}$  და  $T_a$  დროის ის მონაკვეთებია ნატურასა  $T_{\varepsilon}$  და მოდელზე  $T_a$ , რომელთა განმავლობაშიც წყლის ნაკადის ორი მსგავსი ნაწილაკი სივრცეში მოხაზავს ურთიერთმსგავს ტრაექტორიებს, ხოლო  $\delta_1$  — დროის მასშტაბია. შესაბამისად ნატურასა და მოდელზე აღებულ კინემატიკურად მსგავს წყლის ნაკადებში ორი ურთიერთმსგავსი ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარეები დაკავშირებულია გამოსახულებით

$$\frac{V_{\varepsilon}}{V_a} = \delta_2, \quad (2.28)$$

ხოლო მათი აჩქარებები — გამოსახულებით

$$\frac{g_{\varepsilon}}{g_a} = \delta_3, \quad (2.29)$$

სადაც  $\delta_2$  და  $\delta_3$  შესაბამისად არის სიჩქარისა და აჩქარების მასშტაბების გამომსახველი კოეფიციენტები, რომლებიც ერთნაირია ნებისმიერად აღებული ორი ურთიერთმსგავსი წერტილისათვის.

ნატურაში და მოდელზე შესასწავლი ნაკადების დინამიკური მსგავსობისათვის აუცილებელია, რომ ნებისმიერ ორ მსგავს წერტილზე მოქმედი ძალები—ნატურაში ( $P_{\varepsilon}$ ) და მოდელზე ( $F_a$ ) განსხვავდებოდნენ ურთიერთისაგან მხოლოდ მასშტაბის გამომსახველი სიდიდით, ე. ი.

$$\frac{P_{\varepsilon}}{P_a} = \delta_p, \quad (2.30)$$

სადაც  $\delta_p$  არის ძალების მასშტაბის გამომსახველი კოეფიციენტი; ის ერთნაირია ნებისმიერად აღებული (ნატურაში და მოდელზე) ორი ურთიერთმსგავსი წერტილისათვის.

როგორც ქვემოთ დავინახავთ, ზემოთ განხილულ ყველა მასშტაბურ კოეფიციენტს ( $\delta$ ,  $\delta_r$ ,  $\delta_v$ ,  $\delta_g$  და  $\delta_p$ ) შორის არსებობს გარკვეული ფუნქციონალური კავშირი. აღნიშნულის დასამტკიცებლად წყლის ნაკადში ნებისმიერად აღებულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი  $P$  გამოვსახოთ ასეთნაირად

$$P = m \cdot g = \rho \cdot W \cdot g, \quad (2.31)$$

სადაც  $m$  არის ნაწილაკის მასა,  $g$  — მისი აჩქარება,  $\rho$  — სიმკვრივე,  $W$  — მოცულობა. შესაბამისად ნატურისა და მოდელისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} P_\xi &= \rho_\xi \cdot W_\xi \cdot g_\xi \\ P_a &= \rho_a \cdot W_a \cdot g_a \end{aligned} \right\}, \quad (2.32)$$

ხოლო მათი ფარდობა, თანახმად (2.30)-ისა, ტოლია

$$\delta_p = \frac{P_\xi}{P_a} = \frac{\rho_\xi}{\rho_a} \cdot \frac{W_\xi}{W_a} \cdot \frac{g_\xi}{g_a} = \delta_\rho \cdot \delta_v \cdot \delta_g. \quad (2.33)$$

თავის მხრივ, აჩქარების მასშტაბის გამომსახველი კოეფიციენტი

$$\delta_g = \frac{\delta}{\delta_r^2}, \quad (2.34)$$

ხოლო სიჩქარის კი

$$\delta_v = \frac{\delta}{\delta_r}. \quad (2.35)$$

(2.34) და (2.35)-ის მხედველობაში მიღებით გამოსახულება (2.33) შემოდგნაირად გადაიწერება

$$\delta_p = \delta_\rho \cdot \delta_v^2 \cdot \delta_v^2 \quad (2.36)$$

ან კიდევ

$$\frac{\delta_p}{\delta_\rho \cdot \delta_v^2 \cdot \delta_v^2} = 1. \quad (2.37)$$

(2.37) ფორმულაში მასშტაბურ კოეფიციენტებს შევცვლით რა შესაბამისად შემოვიღებთ

$$\frac{P_\xi}{\rho_\xi l_\xi^2 V_\xi^2} = \frac{P_a}{\rho_a l_a^2 V_a^2} \quad (2.38)$$

$$N_e = \frac{P}{\rho l^2 V^2} = \text{idem.} \quad (2.39).$$

გამოსახულება  $N_e = \frac{P}{\rho l^2 V^2}$  ჰიდროდინამიკაში ცნობილია ნიუტონის კრიტერიუმის სახელწოდებით, რომელიც მიუთითებს, რომ ნაკადების ჰიდროდინამიკური მსგავსობა მოითხოვს ნატურისა და მოდელისათვის ცალ-ცალკე გამოთვლილი ნიუტონის კრიტერიუმების ურთიერთტოლობას.

შესაბამისად (2.37) განტოლების საფუძველზე განვსაზღვრავთ რა განსახილველ ნაკადებზე მოქმედ ძალებს შორის ფარდობის სიდიდეს, შეგვეძლება დაეადგინოთ (წინასწარ შერჩეული მოდელირების მასშტაბისა და მოდელზე ცდების ჩასატარებლად გამოყენებული სითხის სიმკვრივის მიხედვით)  $\delta_p$ ,  $\delta_\rho$ ,  $\delta_g$  და სხვა სახის მასშტაბური კოეფიციენტები.

სითხის მოძრაობა ზოგადად, მართალია, გაპირობებულია მასზედ ერთდროულად რამდენიმე ძალის (სიმძიმის, დაწნევის, ხახუნის, ზედაპირული დაჭიმულობის და დრეკადობის) ზეგავლენით, მაგრამ ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში თითოეული მათგანის როლი სითხის მოძრაობაში მეტ-ნაკლებად ცვალებადია. ერთ შემთხვევაში სითხის მოძრაობას ძირითადად შეიძლება ადგილი ექნეს სიმძიმისა და ხახუნის ძალების ზემოქმედებით, მეორე შემთხვევაში—სიმძიმის, ხახუნის და ზედაპირული დაჭიმულობის: ან კიდევ მხოლოდ სიმძიმისა და ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების გავლენით და ა. შ. შესაბამისად, ჰიდროდინამიკური მსგავსობის პირობა მოითხოვს ნატურასა და მოდელზე მოქმედი ყველა ძალის ფარდობათა ურთიერთტოლობას. მაგრამ აქვე აღვნიშნავთ, რომ ნაკადზე მოქმედი ძალების ფიზიკურ თავისებურებათა გამო ჰიდროდინამიკური მსგავსობის აღნიშნული პირობის შესრულება პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ, მოდელირების ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ცდილობენ მსგავსობის პირობა დაცული იქნეს რომელიმე იმ ძალის მიმართ, რომელიც ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს სითხის მოძრაობაზე. ასე, მაგალითად, მთელი რიგი ჰიდრაულიკური მოვლენების განხილვის დროს შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სითხის მოძრაობაზე ერთ-ერთ ძირითად გავლენას ახდენს სიმძიმის ძალა (წყალსაშუშე წყლის გატარება, კაშხალზე წყლის გადაღინება, დიუქერში წყლის გატარება, როდესაც მისი ზედა და ქვედა ბიეფები დაკავშირებულია ატმოსფეროსთან და ა. შ.).

თუ ეს ასეა, მაშინ წყლის ნაკადზე ნატურაში და მოდელზე მოქმედი სიმძიმის ძალების ფარდობა ტოლი იქნება

$$\delta_p = \frac{P_g}{P_a} \delta_\rho \cdot \delta_g \cdot \delta^3, \quad (2.40).$$

რომელიც, (2.36) გამოსახულების მხედველობაში მიღებით, გადაიწერება შემდეგნაირად

$$\frac{\delta_v^3}{\delta_g \delta} = 1 \quad (2.41)$$

ან კიდევ, თუ მასშტაბურ კოეფიციენტებს შევცვლით მათი გამომსახველი სიდიდებით, ასეთნაირად

$$\frac{V_6^3}{g \cdot l_6} = \frac{V_3^3}{g \cdot l_3} \quad (2.42)$$

უგანზომილებო კომპლექსი  $\frac{V^2}{gl}$ , რომელიც ჰიდრაულიკაში ცნობილია

ფრუდის რიცხვის სახელწოდებით და აღინიშნება  $F_r = \frac{V^2}{gl}$ , ითვლება გრავიტაციული მსგავსობის კრიტერიუმად. აქედან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ გეომეტრიულად მსგავსი ნაკადები, რომლებშიაც სჭარბობს სიმძიმის ძალის მოქმედება, შეიძლება ჩაითვალოს დინამიკურად მსგავს ნაკადებად, თუ ორივე ნაკადის მსგავსი კვეთებისათვის გამოთვლილი ფრუდის რიცხვები ურთიერთტოლი იქნება

$$(F_r)_6 = (F_r)_3 = \text{idem} \quad (2.43)$$

თავის მხრივ, აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით, (2.41) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ, როცა  $g_6 = g_3$  (ე. ი. როცა  $\delta_g = 1$ ), ნატურისა და მოდელის შესაბამისი წყლის ნაკადის სიჩქარეების გამომსახველ მასშტაბურ კოეფიციენტებს შორის ასეთი სახის ფუნქციონალური კავშირი არსებობს

$$\delta_v = \sqrt{\delta} \quad (2.44)$$

და

$$\frac{V_6}{V_3} = \sqrt{\delta} \quad (2.45)$$

ხოლო წყლის ხარჯებს შორის კი ასეთი

$$\frac{Q_6}{Q_3} = \frac{\omega_6 V_6}{\omega_3 V_3} = \delta^2 \cdot \delta^{0,5} = \delta^{2,5} \quad (2.46)$$

ასეთივე მიმდევრობით შეიძლება დავადგინოთ მოდელირების სხვა მასშტაბური კოეფიციენტებიც (დროის, ძალის, წნევის, მუშაობის, ჰიდრაულიკური ქანობის და ა. შ.) როგორც ზემოთ განხილული შემთხვევისათ-



ვის\*, ასევე წინალობის ან კიდევ ერთდროულად წინალობისა და სიმძიმის ძალის მხედველობაში მიღებით.

2. 12 ცხრილში მოგვყავს მათი საბოლოო მაჩვენებლები.

ცხრილი 2. 12

იმ სიდიდეთა დასახელება, რომელთათვისაც მოგვყავს მასშტაბური კოეფიციენტები	გამოყენების სფერო			
	ტურბულენტური რეჟიმი წინალობის კვადრატულ ზონაში	ტურბულენტური რეჟიმი წინალობის გარდამავალ ზონაში	ლაზინალური ან ტურბულენტური რეჟიმი წინალობის „გლუვი“ ზონაში	
	შსკაუსაის კრიტერიუმები			
	$F_r = idem$	$F_r = idem$ $R_r = idem$ ( $\delta_v = \delta^{1.5}$ )	$R_r = idem$ ( $\delta_v = 1$ )	$R_r = idem$ ( $\delta_v \neq 1$ )
სიგრძე (სიგანე)	$\delta$	$\delta$	$\delta$	$\delta$
შეზის კოეფიციენტი	1	1	1	1
დასის კოეფიციენტი	1	1	1	1
სიჩქარე	$\sqrt{\delta}$	$\sqrt{\delta}$	$\delta^{-1}$	$\delta_v \delta^{-1}$
ბარჯი	$\delta^{1.5}$	$\delta^{1.5}$	$\delta$	$\delta_v \delta$
დრო	$\sqrt{\delta}$	$\sqrt{\delta}$	$\delta^2$	$\delta_v^{-1} \delta^2$
პილარული კურიკანობი	1	1	$\delta^{-3}$	$\delta_v \delta^{-3}$
აჩქარება	1	1	$\delta^{-3}$	$\delta_v \delta^{-3}$
ძალა	$\delta^3$	$\delta^3$	1	$\delta_v^2$
დაწნევა, წნევა	$\delta$	$\delta$	$\delta^{-2}$	$\delta_v \delta^{-2}$
მუშაობა	$\delta^4$	$\delta^4$	$\delta$	$\delta_v^2 \delta$
სიმძლავრე	$\delta^{1.5}$	$\delta^{1.5}$	$\delta^{-1}$	$\delta_v \delta^{-1}$

\* ე. ი. იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სითხის მოძრაობა ძირითადად მიმდინარეობს სიმძიმის ძალის ზეგავლენით.

4. ბ. ჩიკვაშვილი.

**წყლის ფილტრაცია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვლევა და მათი  
გარემომოვლით**

**§ 3. 1. ფილტრაციის სწავლა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფილტრაციული  
განაგარიშების აღმოსაწავი**

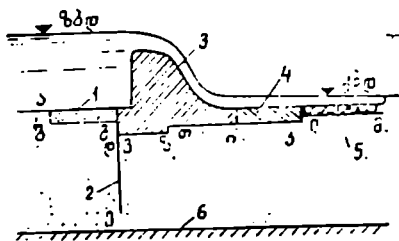
მდინარის კალაპოტში აშენებული წყალგადასვლი ნაგებობით შექმნილი დაწნევის შედეგად ნაგებობის ქვეშ და მის გარემომოვლით უბნებში ხდება წყლის გაჟონვა (ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ) ანუ, როგორც მას პრაქტიკაში უწოდებენ, წყლის ფილტრაციას. ძირითადად განიხილავენ ორი სახის ფილტრაციას — დაწნევიანს და უდაწნეოს. დაწნევიან ფილტრაციას ადგილი აქვს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშ, უდაწნეოს კი—ძირითადად ნაგებობათა გვერდების გარემოვლით.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფილტრაციული განაგარიშების ძირითად მიზანს შეადგენს: ნაგებობაზე მოქმედი ფილტრაციული წყლის დაწნევის, სიჩქარეების და გრადიენტების (ჰიდრაულიკური ქანობების) განსაზღვრა, დეპრესიის მრუდის (თავისუფალი ზედაპირის) აგება და ფილტრაციული წყლის ხარჯის დადგენა. სახელდობრ, ფილტრაციული წყლის დაწნევის სიდიდის დადგენით საშუალება გვეძლევა გავიგოთ (თუ გვეცოდინება სხვა ძალეებიც) განსახილველი ნაგებობის მდგრადობა და საჭიროების შემთხვევაში გავითვალისწინოთ შესაბამისი ღონისძიებანი მის შესამცირებლად; ფილტრაციული წყლის ნაკადის სიჩქარეებისა და გრადიენტების სიდიდეთა ცოდნა აუცილებელია მიწის კაშხალის შემცველი გრუნტების ფილტრაციულად მდგრადობის დასადგენად, რათა კაშხალის ქვედა ფერადონზე და მის ძირში ადგილი არ ექნეს გრუნტის გამობურცვას და გამორეცხვას (სუფოზიურ მოვლენებს); ფილტრაციული წყლის ხარჯის ცოდნა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ წყლის დანაკარგები განსახილველი წყალსაცავიდან და ამავე დროს, საჭიროების შემთხვევაში, გავითვალისწინოთ სათანადო ღონისძიებანი მათ შესამცირებლად.

თავის მხრივ, ყოველი ფილტრაციული განაგარიშების ჩატარებას წინ უსწრებს სამშენებლო უბნის (ნაგებობის აშენების კვეთში) ჰიდროგეოლოგიური პირობების სრულყოფილად შესწავლა; სახელდობრ, აუცილებელია განსახილველ ჰიდროგეოლოგიურ კვეთში ზუსტად ვიცოდეთ ნიადაგის შემცველი გრუნტის აღნაგობა, წყალგამტარობა და გრუნტის წყლების რეჟიმი ბუნებრივ პირობებში (ნაგებობის აშენებამდე); აუცილებელია აგრეთვე წინასწარ დადგინდეს პროექტით გათვალისწინებული ფილტრაციის

საწინააღმდეგო მოწყობილობათა მუშაობის პირობები, პირველ რიგში წყალგამტარობა.

ზემოთ აღნიშნულის გასათვალისწინებლად, საპროექტო პრაქტიკაში ფილტრაციული წყლის დინების გამომსახველი საანგარიშო კონტურების დადგენას ახდენენ ამ მიზნით წინასწარ ჩატარებული საინჟინრო-ჰიდროგეოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე. ამავე მიზანს ემსახურება აგრეთვე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფლუტბეტების\* მიწისქვეშა ანუ ფილტრაციული კონტურების (ნახ. 3.1) ზუსტად დანიშვნა. მაგალითისათვის 3.1 ნახ-ზე ზოგადად მოცემულია არაკლდოვან გრუნტებზე აშენებული წყალსაშვიანი კაშხლის ფლუტბეტის ფილტრაციული კონტურის საანგარიშო სქემა, რომელშიც შედის: ძირული 1 (ხაზი „აბგ“, ნარანდი 2 (ხაზი „გდეგ“), კაშხლის ფსკერი 3 (ხაზი „ვზთი“), წყალსაცემი ფილა 4 (ხაზი „იკ“) და რისბერმა 5 (ხაზი „ლძ“). \*\* ჩვეულებრივად, ძირულის დასაწყისიდან წყალსაცემი ფილის ბოლომდე მიწისქვეშა კონტური წყალგამტარია, ხოლო რისბერმის „ლძ“ უბანი კი (ისე, როგორც კონსტრუქციულად თვით რისბერმა)—წყალგამტარი.



ნახ. 3.1—წყალსაშვიანი კაშხლის ფლუტბეტის შემადგენელი ძირითადი ელემენტები: 1—ძირული; 2—ნარანდი; 3—კაშხალი; 4—წყალსაცემი; 5—რისბერმა; 6—გამტარი ფენა.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშე წყლის ფილტრაციული დინების საკითხების თეორიულად დამუშავებაში დიდი დამსახურება მიუძღვით სარბოთა მეცნიერებს (ვ. არავინი, ე. ზამარინი ნ. მელეშჩენკო, ვ. ნედრიგა, თ. ნელსონ-სკორნიაკოვი, ა. ნიჩბოროვიჩი, ნ. პავლოვსკი, პ. პოლუბარინოვა-კოჩინა, ა. რომანოვი, რ. ჩუგაევი, ა. ჩუგაევა, ვ. ფანდევო, პ. შანკინი და სხვა), მათ შორის საქართველოს მეცნიერებსაც (გ. აბელიშვილი, ვ. ნასბერგი, ნ. ციციშვილი, თ. ქაცარავა და სხვა).

აღნიშნულის მიუხედავად დღესდღეობით ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშე (ასევე მათ გარშემოვლით) ფილტრაციული წყლის დინებასთან დაკავშირებული საკითხების თეორიული გადაწყვეტა, ძირითადად. მიახ-

\* ჰიდროტექნიკური ნაგებობის (ჰიდროკანონის) იმ ნაწილს, რომელზედაც ხდება წყლის ნაკადის გატარება ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში, ფლუტბეტის ეწოდება; ფლუტბეტის შედგენილობაში, ზოგადად, შეიძლება შედიოდეს ძირული, თვით კაშხალი, წყალსაცემი და რისბერმა.

\*\* დასახელებული კონსტრუქციების დეტალური განხილვა იხილეთ ქვემოთ.

ლოებითი მეთოდებით ხდება; ამის ძირითადი მიზეზი ისაა, რომ სრულიად ზუსტი თეორიული განგარიშების ჩატარება საკმაოდ რთული და შრომატევადია.

ქვემოთ განვიხილავთ ფილტრაციული განგარიშების ჩატარების იმ ძირითად მეთოდებს, რომელთაც საფუძვლად უდევს შემდეგი დამკვებები:

ა) განსახილველი გრუნტის მასა ერთგვაროვანია, რაც პრაქტიკულად შესაძლებელია ქვიშნარ და თიხნარ ნიადაგებში და აგრეთვე, ნაწილობრივ, მცირე იზოტროპიული ბზარების მქონე კლდოვან ქანებში; დანარჩენ შემთხვევაში განგარიშების შედეგები მიახლოებითად უნდა ჩაითვალოს;

ბ) ფილტრაციული წყლის დინება დამყარებული ლამინარული ძრაობის კატეგორიას მიეკუთვნება და ამავე დროს განიხილება როგორც გრუნტის მთელ მასივში უწყვეტად დინება;

გ) ფილტრაციული წყალი უკუმშვადია;

დ) ინერციული ძალების გავლენა უგულვებელყოფილია (ფილტრაციული წყლის დინების სიჩქარეების სიმცირის გამო);

ე) ფილტრაციული წყლების დინება ექვემდებარება დარსის კანონს, რომლის თანახმად ფილტრაციული წყლის დინების  $V$  სიჩქარე განსახილველი გრუნტის მასივის ნებისმიერ წერტილში ხაზობრივ დამოკიდებულებაშია  $i$  პიეზომეტრიულ ქანობთან (ჰიდრაულიკურ გრადიენტთან), ე. ი.

$$V = Ki, \quad (3.1)$$

სადაც  $K$  განსახილველი გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი.

ქვემოთ, ფილტრაციული წყლების დინებასთან დაკავშირებულ ყველა საკითხს განვიხილავთ ე. წ. „ბრტყელი ამოცანის“ ანალოგიურად (ე. ი. ძრაობა განიხილება მხოლოდ ვერტიკალურ  $XOY$  სიბრტყეში), რომლის საფუძველზე (3.1) განტოლება დიფერენციალური სახით ასეთნაირად ჩაიწერება (ინერციული ძალების მხედველობაში მიუღებლად):

$$\left. \begin{aligned} V_x &= \frac{\partial \phi}{\partial x} = -K \frac{\partial h}{\partial x} \\ V_y &= \frac{\partial \phi}{\partial y} = -K \frac{\partial h}{\partial y} \end{aligned} \right\}, \quad (3.2)$$

უკუმშვადი ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან გამომდინარე კი ასე:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0, \quad (3.3)$$

სადაც  $V_x$  და  $V_y$  არის  $V$  სიჩქარის შემდგენლები  $x$  და  $y$  ღერძებზე,  $h$  — დაწნევა, ხოლო  $\varphi$  — პოტენციალური ფუნქცია, რომელიც  $h$ -თან დაკავშირებულია დამოკიდებულებით

$$\varphi = -Kh. \quad (3.4)$$

თუ (3.3) განტოლებაში (3.2) განტოლებიდან შევიტანთ  $V_x$  და  $V_y$ -ის მნიშვნელობებს, მივიღებთ

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (3.5)$$

ან კიდევ

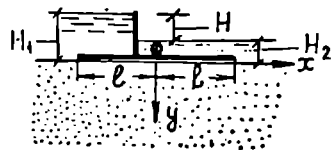
$$\nabla^2 h = 0. \quad (3.6)$$

(3.5) განტოლება ლიტერატურაში ცნობილია ლაპლასის განტოლების სახელწოდებით.\* ამ განტოლების თეორიულად ამოხსნა თუნდაც მარტივი ფილტრაციული კონტურებისათვისაც კი წარმოადგენს საკმაოდ რთულ და შრომატევად მათემატიკურ ამოცანას. ქვემოთ განვიხილავთ ასეთი გაანგარიშების ზოგიერთი თეორიული ამოცანის საბოლოო გადაწყვეტას.

1. ბრტყელი ფლუტბეტის (ნახ. 3.2) ნარანდის გარეშე, როდესაც ნაგებობის ქვეშა წყალგამტარი ფუძის სიმძლავრე უსაზღვროდ დიდია. განსახილველ შემთხვევაში აკადემიკოსი ნ. პავლოვსკი ფლუტბეტის ფუძეში ნაგებობის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ გადინებული ფილტრაციული წყლის ნაკადის  $q$  ხარჯის (საზღვრებში  $-\infty \leq x \leq -l$ ),  $h$  დაწნევის და  $V_x$  სიჩქარისათვის იძლევა ასეთი სახის ფორმულებს:

$$q = KH \frac{1}{\pi} \operatorname{Arch} \left( -\frac{x}{l} \right); \quad (3.7)$$

$$h = H \frac{1}{\pi} \arccos \frac{x}{l}; \quad (3.8)$$



ნახ. 3.2—ბრტყელი ფლუტბეტის ფსკერზე ფილტრაციის საანგარიშო სქემა; როდესაც წყალგამტარი ფუძის სისქე უსაზღვროდ დიდია.

$$V_x = KH \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{l^2 - x^2}}, \quad (3.9)$$

სადაც  $-l \leq x \leq l$ . ამ გამოსახულებებში  $K$  არის განსახილველი გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი. აქ მოყვანილი ფორმულების მაგვირად

\* ამ განტოლების დეტალური განხილვა იხილეთ ჰიდრაულიკის ან ჰიდროდინამიკის ნებისმიერ სახელმძღვანელოში.

$q$ ,  $h$  და  $V_x$  სიდიდეების რიცხვითი მნიშვნელობანი შეიძლება დადგინდეს აგრეთვე ე. ზამარინის მიერ შედგენილი სპეციალური ცხრილების საფუძველზე (იხ. ცხ. 3. 1 და 3. 2).

ცხრილი 3.1

$\frac{x}{l}$	-1	0,90	0,95	0,90	0,80	0,60	0,40	0,20	0	0,20	0,40	0,60	0,90	0,95	10
$\frac{h}{H}$	1,0	0,94	0,90	0,86	0,80	0,71	0,63	0,56	0,50	0,44	0,37	0,29	0,14	0,10	0
$\frac{V_x}{KH}$	$\infty$	1,60	1,02	0,73	0,53	0,40	0,25	0,33	0,32	0,33	0,35	0,40	0,73	1,02	$\infty$

ცხრილი 3.2

$\frac{x}{l}$	1,0	1,05	1,11	1,20	1,32	1,48	1,67	1,90	2,18	2,51	2,90	5,0
$\frac{q}{KH}$	0	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,73

ქვედა ბიეფის ძირში გამოსული ფილტრაციული წყლის დინების სიჩქარის გამოსათვლელად აქვე მოგვყავს ნ. პავლოვსკის მიერ რეკომენდებული ფორმულა:

$$V_y = KH \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{x^2 - l^2}}, \quad (3.10)$$

სადაც  $l \leq x \leq \infty$ . ეს სიდიდე შეიძლება აგრეთვე დადგინდეს 3.3 ცხრილიდან, რომელიც შედგენილია (3. 10) ფორმულის საფუძველზე.

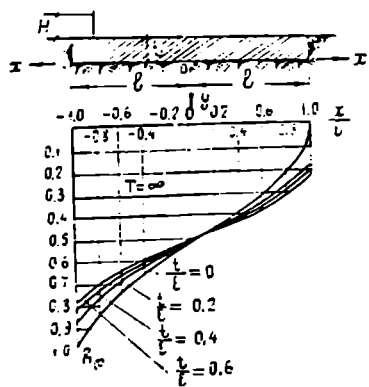
ცხრილი 3.3

$\frac{x}{l}$	1,0	1,05	1,11	1,20	1,32	1,48	1,67	1,90	2,18	2,51	2,90	5,0
$\frac{V_y}{KH}$	$\infty$	0,99	0,65	0,48	0,37	0,29	0,24	0,20	0,17	0,14	0,12	0,07

2. ჩადრმავეებული ფლუტბეტი, როდესაც ნაგებობის ქვეშა წყალგამტარი ფუძის სიმძლავრე უსასრულოდ დიდია (ნახ. 3.3). განსახილველ შემთხვევაში ფლუტბეტის ფუძის წებისმიერ უბანში დაწნევის სიდიდეები შეიძლება და-

ვადგინოთ 3.3 ნახ-ზე ე. ზამარინის მიერ აგებული გრაფიკით (ამ გრაფიკიდან აღებული დაწნევის სიდიდე დაყვანილია 1 მეტრ დაწნევაზე; ამიტომ დაწნევის ფაქტიური სიდიდის დასადგენად საჭიროა გრაფიკიდან აღებული დაწნევის სიდიდე გავამრავლოთ ნაგებობაზე მოქმედი სერუთო დაწნევის სიდიდებზე).

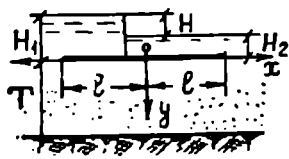
3. ბრტყელი ფლუტბეტი ნარანდის გარეშე, როდესაც ნაგებობის ქვეშა წყალგამტარი ფუძის  $T$  სიმძლავრე საზრულოა (ნახ. 3.4). განსახილველი ამოცანა გადასაწყვეტად აკადემიკოსი ნ. პავლოვიკი იძლევა ა. ეთი სახის განა. აიულებებს:



ნახ. 3.3 — ჩადრმავეებული ფლუტბეტის ფსკერზე დაყვანილი (ერთმანედ) დაწნევის განსაზღვრის გრაფიკი (ა. ზამარინის მონაცემებით).

ა) დაწნევა ფლუტბეტის ფსკერის ნებისმიერ წერტილში

$$h = \frac{H}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{N} F \left[ \arcsin \frac{\operatorname{th} \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{T} \right)}{\operatorname{th} \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{l}{T} \right)} \right] \right\}, \quad (3.11)$$



ნახ. 3.4—ბრტყელი ფლუტბეტის ფსკერზე ფილტრაციის საანგარიშო სქემა, როდესაც წყალგამტარი ფუძის სისქე საზღვარდებულია

სადაც  $\operatorname{th}$  არის ჰიპერბოლური ფუნქცია,  $N$ —პირველი რიგის ელიფსური ინტეგრალი, როდესაც მოდული  $\lambda = \operatorname{th} \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{l}{T} \right)$ , ხოლო —  $-l \leq x \leq l$ ;

ბ) ფლუტბეტის ქვეშ მთლიანი ფილტრაციული ხარჯი

$$q = KH \frac{N'}{2N}, \quad (3.12)$$

სადაც  $N'$  არის პირველი რიგის ელიფსური ინტეგრალი  $\lambda' = \sqrt{1-\lambda^2}$  მოდულის შემთხვევაში.

გ) ფილტრაციული წყლის დინების სიჩქარეები ზედა და ქვედა ბიფების ძირში

$$V_y = K \frac{H}{T} - P, \quad (3.13)$$

სადაც  $P$  არის ფუნქცია, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობანი აიღება 3.4 ცხრილიდან.

ცხრილი 3.4

P ფუნქციის რიცხვითი მნიშვნელობანი											
$\frac{x-l}{T}$							$\frac{x-l}{T}$				
$\frac{l}{T}$	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	$\frac{l}{T}$	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
0,2	1,81	1,080	0,468	0,122	0,038	2,0	0,594	0,376	0,180	0,073	0,014
0,4	1,36	0,870	0,395	0,160	0,032	3,0	0,441	0,281	0,133	0,054	0,011
0,6	1,17	0,740	0,345	0,142	0,030	4,0	0,350	0,224	0,106	0,043	0,009
0,8	1,01	0,630	0,305	0,125	0,027	5,0	0,291	0,185	0,088	0,036	0,007
1,0	0,91	0,580	0,275	0,112	0,022						

§ 8.2 ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მიწისქვეშა კონსტრუქციის ფილტრაციული გაანგარიშება ჰიდროდინამიკის მეთოდებით

განვიხილავთ რა (3.5)-ში შემავალ  $h$  სიღრმეს დაწნევის პოტენციალურ ფუნქციად, ვღებულობთ, რომ ეს განტოლება ანალოგიურია იზოტროპიულ გარემოში სითბოს სტაციონალურად გავრცელების განტოლებას. თუ ეს ასეა, მაშინ იზოთერმული მრუდების გავლენა შეგვიძლია გავაერცელოთ იკუნტის წყლების ფილტრაციულ დინებაზეც და ამიტომ განსახილველ შემთხვევაში იზოთერმული მრუდების დაწნევის ანალოგიური ერთნაირი წირები მიმართული იქნება წყლის დინების მართობულად.

შესაბამისად, დარსის კანონით გამოსახული წყლის ფილტრაციული დინება შეიძლება გამოვსახოთ მრუდების ორთოგონალური ბადით—ერთნაირი დაწნევის წირებით და მათი მართობულად გატარებული წყლის დინების შესაბამისი წირებით.

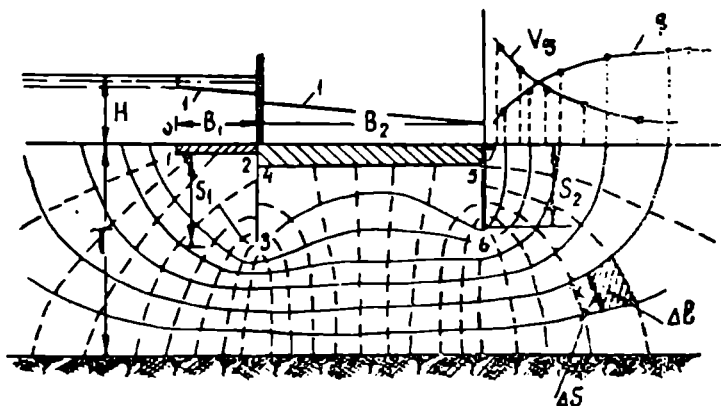
ამ საკითხის მარტივად გადაწყვეტა ხდება გრაფიკულად ან კიდევ:



გ. წ. ხელსაწყო ЭГДА-ზე\*. ქვემოთ განვიხილავთ ორივე მათგანს ცალ-ცალკე.

1. ამოცანის გრაფიკულად გადაწყვეტა გულისხმობს გრუნტის წყლების ისეთი წარმოსახვითი სურათის მიღებას, რომლის სარგებლობით შეგვეძლება განვსაზღვროთ დინების ხასიათი ფლიუტბეტის ნებისმიერ წერტილში. ასეთ სურათად წარმოგვიდგება ფილტრაციული წყლის დინების ჰიდროდინამიკური ბადე, სადაც გამოსახულია ფილტრაციული წყლის ელემენტარული ჰაველების მიმართულებანი და მათ მართობულად გატარებული ისეთი წირები, რომელთა გასწვრივ ფილტრაციული წყლის დაწნევის სიდიდეები ერთნაირია.

ფილტრაციული წყლის დინების ჰიდროდინამიკური ბადის გრაფიკულად აგების სქემა მოცემულია 3.5 ნახაზზე, სადაც უწყვეტი წირებით ნაჩვენებია დენის ძალხაზის (ჰაველების ტრაექტორიის) მიმართულებანი ორნარანდიანი ფლუტბეტის ქვეშ, ხოლო წყვეტილით — ერთნაირ დაწნევის მაჩვენებელი წირები. ორ პეზობელ წნევის წირებს შორის არსებულ სივრცეს დავარქვათ წნევის ზოლი. ამ შემთხვევაში ასეთი ზოლი-



ნახ. 3.5 — ჰიდროდინამიკური ბადე ორნარანდიანი ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურიანთის: 1—დაწნევის ხაზი.

ბის რიცხვი  $N = 24$  და ამიტომ წნევის ერთი ზოლიდან მეორეზე გადასვლის დროს დაწნევა შეიცვლება  $\frac{1}{24} H$  სიდიდით, სადაც  $H$  არის ნაგებობაზე მოქმედი დაწნევის სიდიდე და ტოლია  $H = H_1 - H_2$ . ასე, მაგალითად, პირველი ექვიპოტენციალის გასწვრივ დაწნევა ყველგან  $H_1$ -ის ტოლია, ხოლო მეორე ექვიპოტენციალის გასწვრივ  $H_2$ -ის, ხოლო პირველი ნარანდის შიგა კუთ-

\* ЭГДА — ელექტროჰიდროდინამიკური ანალოგია.

ხესთან, სადაც ქვედა ბიეფიდან დაახლოებით დაწნევის 12.8 ზოლია, დაწნევა ტოლი იქნება  $H_2 + 12,8 \frac{H}{24}$  სიდიდის, ან კიდევ, თუ ზოლების ანაზღაურებს დავიწყებთ ზედა ბიეფიდან, სადაც დაახლოებით 11.2 ზოლია, მაშინ განსახილველ უბანში დაწნევის სიდიდე ჩაიწერება ასეთნაირად:

$$H - 11,2 \frac{H}{24} .$$

შესაბამისად, თუ ფილტრაციული წყლის ბადე (ჰიდროდინამიკურა ბადე) შეიცავს  $N$  ზოლს და ყოველი ასეთი ზოლის ფარგლებში დაწნევის სიდიდე იცვლება  $\Delta H = \frac{H}{N}$ , მაშინ ნებისმიერად აღებულ უბანზე დაწნევის სიდიდე  $H_x$  ტოლი იქნება

$$H_x = H - n \frac{H}{N}, \quad (3.14)$$

სადაც  $n$  არის ერთნაირი დაწნევის გამომსახველი ხაზების რიგითი ნომერი, ათელილი ზედა ბიეფის ფსკერიდან.

ამგვარად, შეიძლება დაეასკვნათ, რომ 3.5 ნახ-ზე მოხაზული ექვიპოტენციალების ჯგუფი საშუალებას გვაძლევს მოვძებნოთ დაწნევის სიდიდე ფლიუტბეტის ნებისმიერ წერტილში; რაც შეეხება ფილტრაციული დინების ქანობს  $j$  და სიჩქარეს  $V_{\sigma}$  ცალკეული უჯრედის  $\Delta l$  სიგრძეზე, ტოლი იქნება:

$$j = \frac{\Delta H}{\Delta l} = \frac{H}{N \Delta l}; \quad (3.15)$$

$$V_{\sigma} = K j = K \frac{H}{N \Delta l}, \quad (3.16)$$

სადაც  $K$  არის ფილტრაციის კოეფიციენტი.

ზემოთ აღნიშნულის ანალოგიურად, დავარქვათ ყოველ ორ, ერთმეორის მიმართ მეზობლად მოხაზულ ტრაექტორიას შორის მოთავსებულ სივრცეს ხარჯის ლენტო. 3.5 ნახ-ზე ასეთი ლენტების რიცხვი  $\Pi = 7$ . ეს ლენტები ისეთნაირად არის აგებული, რომ ყოველ მათგანში ურთიერთტოლი  $\Delta l$  ხარჯი გაედინება და ამიტომ მთლიანი ფილტრაციული ხარჯი განსახილველ შემთხვევაში ტოლი იქნება შვიდი ელემენტარული ხარჯების ჯამის, ე. ი.  $q = \Delta q \cdot \Pi = 7 \Delta q$ . თავის მხრივ,  $\Delta q$  ფილტრაციული ხარჯი ყოველ ცალკეულ ლენტში, გამოთვლილი ნაგებობის სივანის

ერთი გრძივი მეტრისათვის (ნახაზის სიბრტყის მართობულად), ტოლი იქნება

$$\Delta q = V_{\text{ფ}} \Delta S, \quad (3.17)$$

ან კიდევ, თუ გავითვალისწინებთ ფილტრაციის ბადის უჯრედების კვადრატულობას, რომლის დროსაც 3.5 ნახ-ზე  $\Delta S = \Delta l$ , (3.16) ფორმულის საფუძველზე

$$\Delta q = K \frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \frac{H}{N} = K \frac{H}{N}. \quad (3.18)$$

შესაბამისად, ხარჯის ლენტების  $\mathcal{L}$  რაოდენობისათვის ნაგებობის ქვეშ ყოველ ერთ გრძივ მეტრზე გაღებულ  $q$  ფილტრაციული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით

$$q = \Delta q \cdot \mathcal{L} = KH \frac{\mathcal{L}}{N}. \quad (3.19)$$

ხოლო მთლიანი ხარჯი კი (ნაგებობის „ $B$ “ სიგანეზე)

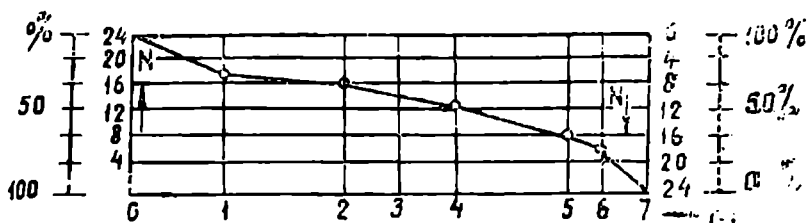
$$Q = q \cdot B = KH \frac{\mathcal{L}}{N} B. \quad (3.20)$$

ისმება კითხვა, რა პირობებს უნდა აკმაყოფილებდეს ფილტრაციული ღინების ბადე, რომ ყოველი ცალკეული ხარჯის ლენტში ხდებოდეს ერთნაირი ოდენობის წყლის ელემენტარული ხარჯების გატარება და ყოველ ცალკეულ ზოლს შორის იკარგებოდეს ერთნაირი ოდენობის ნაწილი. დაწინების სიდიდე? გამოკვლევებით დადგენილია, რომ ამ მოთხოვნას უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგი სამი პირობა:

1. ტრაექტორიებისა და ექვიპოტენციალების გამომსახველი ხაზები ურთიერთგადაკვეთა უნდა იყოს მართობული (ე. ი. მათი გადაკვეთის კუთხე უნდა უდრიდეს 90 გრადუსს);
2. ბადე უნდა შედგებოდეს ურთიერთმსგავსი სწორკუთხედებისაგან; ასეთი სწორკუთხედების ყველაზე უკეთესი ფორმაა კვადრატი;
3. ბადე უნდა იყოს უწყვეტი.

პიდროდინამიური (ფილტრაციული) ბადის აგება ხდება შემდეგნაირად: როგორც ზედა, ასევე ქვედა ბიეფების ფსკერს განიხილავენ ბადის საწყის და ბოლო პოტენციალებად; შესაბამისად, ზემოთ მოყვანილი მითითებების საფუძველზე ღენის ხაზები უნდა გატარდეს მათ მართობულად. ამავე მიდგომით, ვთვლით რა ფლუტბეტის ქვედა მოხაზულობის და წყალსაყრდენ ზედაპირს (შესაბამისად) პირველ და ბოლო ღენის წირებად, პოტენციალების გამომსახველი ხაზები უნდა გატარდეს მათ (ღენის წირების) მართობულად.

ბადის აგებას იწყებენ პირველი ლენტის მოხაზვით, რისთვისაც ძირუ-  
ლის დასაწყისიდან რისბერამადე აგებენ მრუდხაზოვანი კვადრატების  
უწყვეტ რიგს; ამ შემთხვევაში ფლუტბეტის შიგა კუთხეებთან კვადრატუ-  
ბი მიიღებს ხუთკუთხედის ფორმას, ხოლო გარე კუთხეებთან კი სამკუთხე-  
დის ფორმას. ავაგებთ რა პირველ ლენტას, ასეთივე წესით აიგება მეორე,  
მესამე და ა. შ. მომდევნო ლენტები ზემოთ მოყვანილი სამი პირობის და-  
ცვით.



ნახ. 3.6 — ჰიდროლინამიკური წნევის ეპიურა ნახ. 3.5-ზე ნაჩვენები ფლუტბეტის  
ვანშლადი კონტურისათვის (ორდინატა ლერძზე გადაზომილია ცალკეული  
ზოლის შესაბამისი წნევის სიდიდეები წილადობით და პროცენტობით საერთო  
წნევასთან შედარებით).

3.6. ნახ-ზე ნაჩვენებია ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურის გასწვრივ  
წნევების განაწილების ეპიურა. სახელდობრ, 3.5 ნახ-ზე ნაჩვენებია  
მონაცემების საფუძველზე 3.6. ნახ.-ის აბსცისათა ლერძზე ნებისმიერ მას-  
შტაბში გადაზომავენ ფლუტბეტის 1—2—3—4—5—6... გაშლილ  
კონტურის სიგრძეს; ასევე, ორდინატთა ლერძზე, აგებისათვის ხელსაყრელ  
მასშტაბში, დაქვთ ერთნაირი წნევების გამომსახველი სარტყელების  
რიცხვი (მარცხნივ ზრდადი რიგით და მარჯვნივ კლებადი რიგით); ზოგჯერ  
უფრო მოხერხებულა ორდინატთა ლერძზე ერთნაირი წნევების გამომსახ-  
ველი ზოლების რიცხვის მაგივრად დატანილი იქნას პროცენტების სკალა—  
მარცხნივ 0-დან 100%-მდე და მარჯვნივ 100%-დან 0-მდე. ამის შემდეგ  
ცალკეულ მახასიათებელ ვერტიკალზე გადაზომავენ დაწნევის დარჩენილ  
(მარცხენა სკალაზე) სიდიდეებს. ასე, მაგალითად, როგორც ზემოთ აღნი-  
შნეთ, პირველი ნარანდის შიგა კუთხესთან ნარჩენი დაწნევის სიდიდე შეა-  
დგენს  $\frac{12,8}{24} H$ , ხოლო ჩაქრობილის კი —  $\frac{11,2}{24} H$ . იგივე მონაცემები შე-

საძლებელია გამოგვესახა აგრეთვე პროცენტობით საერთო დაწნევიდან  
გამომდინარე.

საერთოდ, დაპროექტების დროს ასეთი სახის ეპიურები უმჯობესია  
ავაგოთ უშუალოდ ძირითად ნახაზზე და არა ისე, როგორც ეს 3.6 ნახ.-ზე

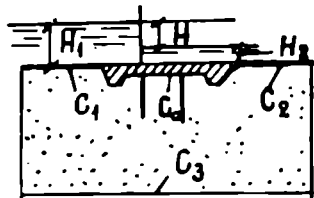
ვაჩვენეთ გაცნობისათვის. მაგალითისათვის, იმავე 3.5 ნახ.-ზე ნაჩვენებია დაწნევის „აბგ“ ხაზი (ეს ხაზი ამავე დროს შეესაბამება პიეზომეტრიულ ხაზს) და აგრეთვე ფილტრაციული დინების სიჩქარეებისა და ხარჯების ცვალებადობის მაჩვენებელი მრუდები ნაგებობის ბოლოდან ქვედა ბიეფის ფასწვრივ.

2. ფილტრაციული გაანგარიშების ჩატარება  $\Xi\Gamma\Delta$ -ს მეოთხედით. ამ მეთოდის გამოყენებას ფილტრაციული გაანგარიშებისათვის საფუძვლად უდევს სრული ანალოგიის არსებობა წყლის ფილტრაციულ მოძრაობასა და ელექტრული დენის გამტარობას შორის, როგორც მაგალითად, ფილტრაციული წყლის დინების სიჩქარის  $\Phi$  პოტენციალი ანალოგიურია ელექტრული ველის პოტენციალის, წყლის ფილტრაციული კოეფიციენტი  $K$ —ხვედრითი ელექტროგამტარობის, პოტენციალთა სხვაობა  $E = U_1 - U_2$  დაწნევათა სხვაობის  $H = H_1 - H_2$  და ა. შ. საგულისხმოა ისიც, რომ, როგორც ერთ, ისე მეორე შემთხვევაში ძალაში რჩება ლალასის განტოლება

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial \Phi}{\partial z^2} = 0. \quad (3,21)$$

იგანვიხილოთ ეს საკითხი კონკრეტულ მაგალითზე. ვთქვათ, საჭიროა ფილტრაციული გაანგარიშების ჩატარება 3.7 ნახ.-ზე ნაჩვენები პილდრ-

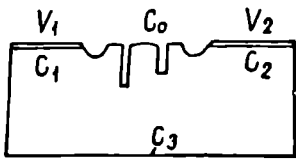
ტექნიკური ნაგებობის ფლუტბეტის მიწისქვეშა მოხაზულობისათვის, რომლისათვისაც წყალგამტარი კონტური პარობითად შეცვლილია ელექტროგამტარი კონტურით, წყალგაუმტარი კადიელექტრიკით (ე.ი. ისეთი ნივთიერებით, რომელიც ელექტროდენს არ ატარებს). ელექტროგამტარ სივრცედ მივიღოთ ელექტროგამტარი ფირფიტა და მასზე, წინასწარ შერჩეულ მასშტაბში, გამოვქვათ საპოლედო ნაგებობის გეომეტრიულად მსგავსი კონტური (ნახ. 3.8);  $C_1$  და  $C_2$  კონტურებზე უბ-



ნახ. 3.7

რუნველვყოთ  $U_1$  და  $U_2$  პოტენციალების არსებობა. ამგვარად, ზემოთ დამყარებული ანალოგიის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ, რომ ელექტროფირფიტაზე არსებულ პოტენციალთა  $E = E_1 - E_2$  სხვაობის სიდიდე პილდრავლიკური ცნებით შეესაბამება დაწნევის  $H = H_1 - H_2$  სიდიდეს, ხოლო ელექტროდენის გავრცელება  $C_1$  კონტურიდან  $C_2$  კონტურამდე მოხდება იმავე გზით, როგორც ფალტრაციული წყლის ნაკადის.

აღნიშნულს ისიც უნდა დაემატოს, რომ განსახილველ შემთხვევაში ერთნაირი პოტენციალების შესაბამისი ხაზების განლაგება დამოკიდებულია არა ფილტრაციის კოეფიციენტზე (ელექტროგამტარობის კოეფიციენტზე) და დაწნევის  $H$  აბსოლუტურ მნიშვნელობაზე (ელექტრულ  $E$  პოტენციალთა სხვაობაზე), არამედ მხოლოდ ფილტრაციული დინების სივრცის კონფიგურაციაზე (ელექტროგამტარ სივრცეზე) და ამიტომ პოტენციალთა თანდათანობითი ვარდნა ფირფიტის  $C_0$  კონტურის გასწვრივ (ნახ. 3.8) ზუსტად იგივე იქნება, რაც დაწნევის  $H$  ვარდნა ნაგებობის მიწის-



ნახ. 3.8

ქვეშა კონტურის გასწვრივ; თუ ეს ასეა, მაშინ ფირფიტაზე აღებული ერთნაირი პოტენციალების შესაბამისი ხაზები ასევე ზუსტად ისეთივე მოხაზულობის იქნება, როგორც ფილტრაციული წყლის დინების დროს ერთნაირი დაწნევის მქონე ხაზები ნაგებობის მიწისქვეშა

კონტურის გასწვრივ.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, განსახილველ შემთხვევაში ჩვენ ამოცანას შეადგენს ელექტრომოდელირების დროს ფირფიტაზე მოქმედნით ერთნაირი პოტენციალების შესაბამისი წერტილები და ამგვარად ავაგოთ მათი შესაბამისი ექვივალენტური წირები ან კიდევ, საჭიროების შემთხვევაში, მთლიანი ჰიდროდინამიკური ბადე.

თავის მხრივ, ერთნაირი პოტენციალების შესაბამისად წერტილების მოძებნა ელექტროტექნიკაში დამყარებულია ეგრეთ წოდებული „უინსტონის ხიდურას“ მოქმედების პრინციპზე, რომლის არსი ასეთია (ნახ. 3.9): ელექტროწრედის  $A$  და  $B$  წერტილებში მიერთებული ელექტროგამტარის  $U_A$  და  $U_B$  პოტენციალების მქონე ორ პარალელურ შტოზე ყოველთვის შეიძლება მოიძებნოს ისეთი მსგავსი წერტილები, რომელთაც ერთნაირი პოტენციალები ექნებათ და რასაც წრედში ჩართული გალვანომეტრი „გ“ აჩვენებს ელექტროდენის არსებობით და ამიტომ, განსახილველ შემთხვევაში, 3.9 ნახ-ის თანახმად ძალაში იქნება განტოლება

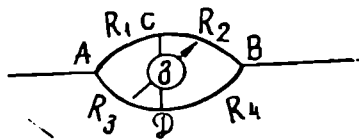
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}, \tag{3.22}$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= U_A - U_c; & R_3 &= U_A - U_D \\ R_2 &= U_c - U_B; & R_4 &= U_D - U_B \end{aligned} \right\} \tag{3.23}$$

ამ განტოლებებიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ, თუ პარალელური ელექტროგამტარების ერთ-ერთ შტოზე დამყარდა წინალობათა რაღაც ფარლობა  $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ , მაშინ ასეთივე სიდიდის პოტენციალთა ფარლობა  $\left(\frac{R_3}{R_4}\right)$  შეიძლება მივიღოთ მის მეორე შტოზე.

აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით, თუ 3.9 ნახ-ზე ზედა ACB შტოს შევევლით გრადუსებად დაყოფილი წინალობით (რეოქორდით). ხოლო ზედა კი მოდულის გამომსახველი ფირფიტით, მაშინ  $R_1$  წინალობათა  $R_2$



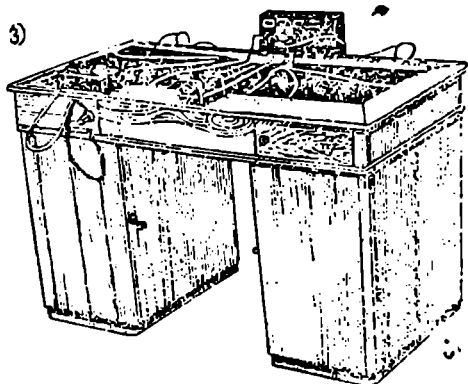
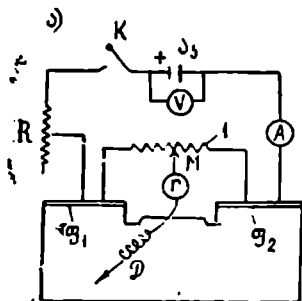
ნახ. 3.9 — უინსტონის ბოგირის სქემა.

ფარლობის სიდიდის მერჩევით (პროცენტობით ან კიდევ წილადობით საერთო წინალობიდან გამომდინარე) ჩვენ შეგვეძლება ფირფიტაზე ვიპოვოთ ისეთი წერტილი, რომელზედაც დაბვა შეიძლება გამოვსახოთ იმავე სიდიდის პროცენტით (ან კიდევ წილადობით) პოტენციალთა სხვაობის  $E=U_A - U_B$  სიდიდიდან. სწორედ ამ პრინციპზეა დამყარებული ЭГДА-ს მეთოდი.

3. 10 ნახ-ზე ნაჩვენებია ЭГДА -ს დანადგარის საერთო სქემა სამოდულო ფირფიტაზე გამოჭრილი ნაგებობის საანგარიშო კონტურთან ერთად. ამ დანადგარში დენის წყაროდ უმეტესად იყენებენ ოთხვოლტიან აკუმულატორს; თავის მხრივ, აკუმულატორის მომჭერები შეერთებულია ზემოთ განხილული ელექტროწრედის განშტოებებთან. ამ ნახაზზე წინალობის ზედა ნაწილი გრადუსებად დაყოფილი წინალობაა, ხოლო ქვედა კი — ნაგებობის საანგარიშო კონტურის მოხაზულობით გამოჭრილი ფირფიტა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ელექტროწრედში ფირფიტის ჩართვა ხდება სპილენძის ფირფიტისაგან დამზადებული  $\mathbb{M}_1$  და  $\mathbb{M}_2$  ელექტროსალტეების მეშვეობით; რაც შეეხება უინსტონის ბოგირს (გალვანომეტრთან ერთად), ის ერთი ბოლოთი შეერთებულია მოძრავ  $M$  კონტაქტთან, რომელიც გადაადგილებას განიცდის გრადუსებად დაყოფილი წინალობის გამომსახველი ხელსაწყოს (რეოქორდის) გასწვრივ, ხოლო მეორე კი — დაბოლოებულია ლითონის  $L$  ნემსით, რომლის მეშვეობითაც ფირფიტაზე ხდება საძიებელი პოტენციალის შესაბამისი წერტილების პოვნა.

როგორც 3. 10 ნახ-დან ჩანს, აკუმულატორის წრედში ჩართულია შემდეგი ხელსაწყობები: ამპერმეტრი  $A$ , რომლის დანიშნულებაა დენის ძალის გაზომვა; რეოსტატი  $R$ , რომელიც ახდენს დენის ძალის რეგულირებას;

დენის ჩამრთველი და ვოლტმეტრი, რომლითაც ელექტროწრედში ძაბვის სიდიდეს ზომავენ.



ნახ. 3. 10—ხელსაწყო „ЭГДА“. ა—ხელსაწყოს ელექტროსქემა. ბ—ხელსაწყოს საერთო ხედი; 1—გრადუსებით დაყოფილი წინაღობის გამომსახველი ხელსაწყო (რეოქორდი).

სამოდულო ფირფიტას უმეტესად ამზადებენ ელექტროგამტარი სხვადასხვა ნივთიერებით გაყდენილი ერთგვაროვანი მასალისაგან — 0,01—0,02 მმ სისქის ფურცლისაგან, რომელსაც აკრავენ მუყაოს სქელ ქაღალდზე.

ხელსაწყო ЭГДА საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ფილტრაციული ნაკადის დაწნევის სიდიდე ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურზე, ავადგოთ პილროდინამიკური ბადე, განვსაზღვროთ (უდაწნეო ფილტრაციის შემთხვევაში) ფილტრაციული ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მოხაზულობანი და ა. შ. ერთნაირი წნევების მქონე წირების აგება (წილადობით საერთო დაწნევიდან გამომდინარე—0,9 H, 0,8 H, 0,7 H და ა. შ.) ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით: გრადუსებად დაყოფილ წინაღობის გამომსახველ ხელსაწყოზე (რეოქორდზე) M კონტაქტით მონიშნავენ საერთო ძაბვის წინასწარ დასახულ გარკვეულ სიდიდეს (წილადობით ან კიდევ პროცენტობით), ხოლო მეორე „D“ ნემსით კი — სამოდულო ფირფიტაზე მოძებნიან მის შესაბამის იმ წერტილებს, სადაც პოტენციალი (დაწნევა) წილადობრივად იგივე სიდიდის იქნება, რაც ეს წინასწარ იყო დანიშნული რეოქორდზე; ეს ფირფიტის ის წერტილები იქნება, სადაც D ნემსით შეხების მომენტში გალვანომეტრის ისარი მხოლოდ ნულოვან სიდიდეს უჩვენებს.

ამ შემთხვევაში დენის წირების მოხაზვა შეიძლება მოვახდინოთ ან გრაფიკულად უკვე მიღებული ერთნაირი პოტენციალების მქონე ხაზების მართობულად, ან კიდევ უშუალოდ ЭГДА-ს მეშვეობით. უკანასკნელ



შემთხვევაში აუცალბელო ელექტროსალტებს შევეცვალოთ ადგილებში, ე. ი. საზღვრულ ფირფიტა წინათ მიღებული წყალგამტარი არე მივიღოთ წყალგაუმტარ არედ, ხოლო წყალგაუმტარი—წყალგამტარად; ანგვარად, ახალ სასაზღვრო პირობებში მიღებული ერთნაირ პოტენციალთა ხაზები შეესაბამება დენის წიბებს, რომლებიც ელექტროსალტების ადგილების გადანაცვლებამდე მოხაზული ხაზების მართობულნი იქნებიან.

**§ 8. 2. ჰიდრომაქნიკურ ნაგავოვანათა მიწისქვეშა კონტურის ფილტრაციული გაანგარიშება ჰიდრაულიკური (ფრაგმენტების) მეთოდით**

ფილტრაციული გაანგარიშების ჩატარება დასახელებულ ნეთოდის ავტორია ნ. პავლოვსკი. ამ მეთოდის გამოყენების ძირითადი არსი ასეთია: ფილტრაციის განსახილველ უბანს ვერტიკალური სიბრტყეებით ყოფენ ისეთ ელემენტარულ უბნებად (ფრაგმენტებად), რომელთათვისაც შედარებით მარტივად შეიძლება მოენახოთ წყლის ფილტრაციული ძრაობის ზუსტი გადაწყვეტა: ამ შემთხვევაში თვით ფრაგმენტების საზღვრები პირობითად მიღებულია ერთნაირი წნევების მქონე ზედაპირებად (ექვიპოტენცილებად). შემოგვაქვს დაყვანილი  $q_2$  ფილტრაციული ხარჯის ცნება, რომელიც პირობითად ტოლია (როცა  $K=1$  და  $H=1$ ) ხვედრითი ხარჯის, ე. ი.

$$q = Kri q_2, \quad (3.24)$$

სადაც  $q$  არის ხვედრითი ფილტრაციული ხარჯი ან კადევ, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ის არის ხარჯი ფილტრაციული ნაკადის ერთეულ სიგანეზე;  $H$  — ნაგებობაზე მოქმედი დაწნევის სიდიდე;  $K$  — ნაგებობის ფუძეში ერთგვაროვანი გრუნტის ფილტრაციული კოეფიციენტი. თუ ეს ასეა, მაშინ, ისე როგორც ფილტრაციის მთელი სივრცისათვის, ყოველი ცალკეული ფრაგმენტისათვის კანონზომიერია ტოლობა

$$q = KH_1'(q_2)_1 = KH_2'(q_2)_2 = \dots = KH_n'(q_2)_n \quad (3.25)$$

ან კიდევ

$$\frac{q}{K} = H_1'(q_2)_1 = H_2'(q_2)_2 = \dots = H_n'(q_2)_n \quad (3.26)$$

აღნიშნავთ რა დაყვანილი ხარჯების სიდიდეთა შებრუნებულ სიდი-

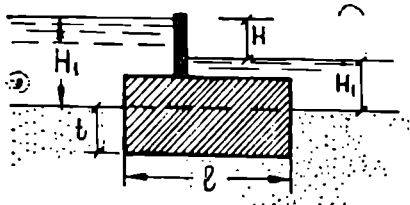
დებებს  $\frac{1}{(q_2)_1} = \Phi_1$ ,  $\frac{1}{(q_2)_2} = \Phi_2$  და ა. შ.  $\frac{1}{(q_2)_n} = \Phi_n$  და დავარქმევთ

რა ფრაგმენტების ფოთია პოდულების ჯამა  $\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n = \Sigma \Phi$  ფორმის ქამურ მოდულს, მივიღებთ წნევის კარგების გამოსათვლელ ფორმულას ყოველი ცალკეული ფრაგმენტისათვის:

$$H_1 = \frac{\Phi_1}{\Sigma\Phi} H, H_2 = \frac{\Phi_2}{\Sigma\Phi} H, \dots, H_n = \frac{\Phi_n}{\Sigma\Phi} H. \quad (3.27)$$

გამოვითვლით რა აქ მოცემული ფორმულებით ცალკეული ფრაგმენტის ფორმის მოდულის სიდიდეებს და შესაბამისად მათ ჯამს, შეგვეძლება განვსაზღვროთ ცალკეულ ფრაგმენტში დაკარგული წნევის სიდიდე და ავადგომთ წნეების ებიურა ფლუტბეტის განშლად კონტურზე.

აკადემიკოს ნ. პავლოვსკის მიერ რეკომენდებული ფრაგმენტების მეტოდიტ ფილტრაციული გაანგარიშების შემდგომი გაუმჯობესებისათვის ფართო მეცნიერული სამუშაოები ჩაატარა პროფესორმა რ. ჩუგაევმა. დაარქვა რა ნ. პავლოვსკის მიერ რეკომენდებული ფრაგმენტების ფორმის მოდულებს წინალობათა კოეფიციენტები, მან ტიპური ფრაგმენტების რიცხვი, გარდა იმისა, რომ დაიყვანა სამამდე (ნ. პავლოვსკი იხილავდა შვიდი სახის ტიპურ ფრაგმენტს), მოგვცა უფრო მარტივი გამოსახულებანი აღნიშნული კოეფიციენტების საანგარიშოდ და ამავე დროს ტიპურ ფრაგმენტებში გამოჰყო ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურის ერთმეორისაგან კონსტრუქციულად განსხვავებული სამი ძირითადი ელემენტი (ნახ. 3. 11): შეისასვლედი და გამოსასვლედი უბნები,



ნახ. 3.11 — ჩადრმავებული ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურის სქემა.

შიგანარანდი ანკიდევ საფეხურები, პორიზონტალური უბანი აღსანიშნავია ისიც, რომ რ. ჩუგაევი ფრაგმენტების განყოფხაზებს (ექვიპოტენციალებს) ატარებს მრუდსახოვნად, რაც საკმაოდ ახლოსაა ერთნაირი წნეების მქონე ფაქტიურ ხაზებთან.

პროფ. რ. ჩუგაევი აღნიშნავს რა ფილტრაციულ ხედრით ხარჯს  $q$ -თი, ხოლო წინალობის კოეფიციენტს  $\zeta$ -თი, ლებულობს, რომ

$$q = K H \frac{1}{\zeta} \quad (3.28)$$

სადაც  $\zeta$  არის წინალობის ჯამური კოეფიციენტი.

ამ ფორმულიდან გამომდინარე ცალკეულ ფრაგმენტზე წნევის კარგის სიდიდე გამოითვლება გამოსახულებით

$$h_n = \zeta_n \frac{H}{K} \quad \text{ან კიდევ} \quad h_n = \zeta_n \frac{q}{K}, \quad (3.29)$$

რადგან თავის მხრივ 
$$\frac{q}{h} = \frac{H}{c}$$

პროფ. რ. ჩუგაევი სთვლის, რომ მის მიერ რეკომენდებული ფილტრაციული ანგარიშის წესი შეიძლება გამოვიყენოთ იმ შემთხვევაში, როდესაც ფლუტბეტის წყალსაყრდენი სიბრტყის განლაგების  $T$  ფაქტიური სიდიდე მეტია 3.5 ცხრილში მოცემულ  $T'$  საანგარიშო სიდიდეზე.

ცხრილი 3.5

$\frac{l_0}{S_0}$	5	5—3,4	3,4—1,0	1,0—0
$T'$	$0,5l_0$	$2,5S_0$	$0,8S_0 + 0,5l_0$	$S_0 + 0,3l_0$

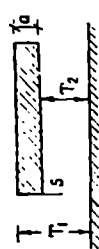
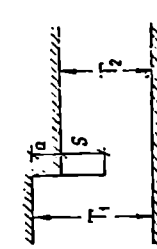
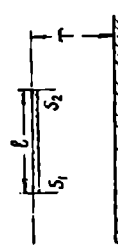
ამ ცხრილში  $l_0$  და  $S_0$  სიდიდეები გამოსახვენ მაწისქვეშა კონტურის პროექციებს, შესაბამისად, პორიზონტალურ ( $l_0$ ) და ვერტიკალურ ( $S_0$ ) სიბრტყეებზე. თუ  $T_{ფაქტ}$  ნაკლები იქნება 3.5 ცხრილიდან დადგენილ  $T'$  სიდიდეზე, მაშინ გაანგარიშებაში შეყავთ  $T_{ფაქტ}$ .

რ. ჩუგაევის მიერ რეკომენდებული წესით ფილტრაციული გაანგარიშების ჩატარებისათვის საჭირო წინააღობების კოეფიციენტების გამოსათვლელი ფორმულები და მათი გამოყენების პირობები მოცემულია 3.6 ცხრილში.

**§ 3.4. ფლუტბეტზე მოხვედი ფილტრაციული წნევის მიახლოებითი გაანგარიშება**

წინასწარი, საორიენტაციო გაანგარიშებისათვის ფლუტბეტის ფსკერის ნებისმიერ წერტილში ფილტრაციული დაწნევის სიდიდე შეიძლება განსაზღვრულ იქნას აგრეთვე მიახლოებითი მეთოდით, რაც გულისხმობს წნეეების სწორხაზოვნად განაწილებას ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურის მთელ სიგრძეზე. მაგრამ აქვე აღვნიშნავთ (მრავალი ავტორის მითითების თანახმად), რომ წნეეების ვარდნა ფილტრაციის ვერტიკალური უბნების ერთეულ სიგრძეზე  $m$ - ჯერ მეტია, ვიდრე პორიზონტალური უბნებისათვის, ამიტომ აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით გაანგარიშებებში შეყავთ ფილტრაციული კონტურების ვერტიკალური მანძილების არა ფაქტიური მონაცემები, არამედ მათი დაყვანილი სიგრძეები:

$$L_{დაყვ} = L_{ორ} + m L_{ვერტ}, \quad (3.30)$$

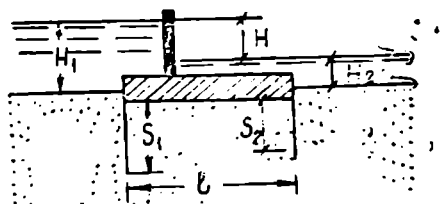
ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԳՐԱՆ	ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ	ԵՆԿՆՈՒՄԱՆ ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԱՆ ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԳՐԱՆ	K ու ՎԱՆՈՒՄԱՆ ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԱՆ ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԳՐԱՆ
<p>ՎԱՆՈՒՄԱՆ ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԱՆ ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԳՐԱՆ</p>		<p> <math>R_{\text{տոմ}} = R_{\text{առաջ}} = R_{\text{տառ}} + 0,4 \cdot 4</math>  <math>R_{\text{տնք}} = R_{\text{տնքառ}} = R_{\text{տնքառ}} + 0,4 \cdot 4</math>  <math>R_{\text{տնք}} = R_{\text{տնքառ}} = 0,4 \cdot 4</math> </p>	<p> <math>S \neq 0</math>  <math>S = 0; \alpha \neq 0</math>  <math>S = 0; \alpha = 0</math> </p>
<p>ՎԱՆՈՒՄԱՆ ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԱՆ ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԳՐԱՆ</p>		<p> <math>R_{\text{տոմ}} = \frac{\sigma}{T_1} + 1,5 \frac{S}{T_2} + \frac{0,5 \cdot S}{1 - 0,75 \frac{S}{T_2}}</math>  <math>R_{\text{տնք}} = \frac{\sigma}{T_1} + 12 \left( \frac{\sigma}{T_1} - 0,8 \right) + 2,2</math>  <math>R_{\text{տնք}} = \frac{\sigma}{T_1}</math> </p>	<p> <math>0,5 &lt; \frac{T_1}{T_2} &lt; 1,0</math>  <math>0 &lt; \frac{S}{T_2} &lt; 0,8</math>  <math>0,5 &lt; \frac{T_1}{T_2} &lt; 1,0</math>  <math>0,8 &lt; \frac{S}{T_2} &lt; 0,96</math>  <math>S = 0; \alpha \neq 0</math>  <math>S = 0; \alpha = 0, T_1 = T_2 = T, \alpha \neq 0</math>  <math>R_{\text{տնք}} = 0</math> </p>
<p>ՎԱՆՈՒՄԱՆ ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԱՆ ԿԱՆՈՒՄԱՆ ԳՐԱՆ</p>		<p> <math>R_{\text{տոմ}} = \frac{\ell - 0,5(S_1 + S_2)}{T}</math>  <math>R_{\text{տնք}} = 0</math>  <math>R_{\text{տնք}} = \frac{\ell}{T}</math> </p>	<p> <math>\ell &gt; 0,5(S_1 + S_2)</math>  <math>\ell &lt; 0,5(S_1 + S_2)</math>  <math>\ell = 0</math> </p>

სადაც  $L_{კო}$  არის ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურის ყველა ჰორიზონტალური უბნის სიგრძეთა ჯამი, ხოლო  $L_{ჯგ}$  კი — ვერტიკალური უბნების სიგრძეთა ჯამი; რაც შეეხება  $m$  კოეფიციენტის რიცხვით მნიშვნელობებს, სხვადასხვა ავტორები რეკომენდაციას იძლევიან ავილოთ ისინი შემდეგ ფარგლებში:

ა) გრუნტში ჩაღრმობული ფლუტბეტისათვის, როდესაც მას ნარანდი არ უკეთდება (ნახ. 3.11),  $m=1,4 \div 1,7$ ;

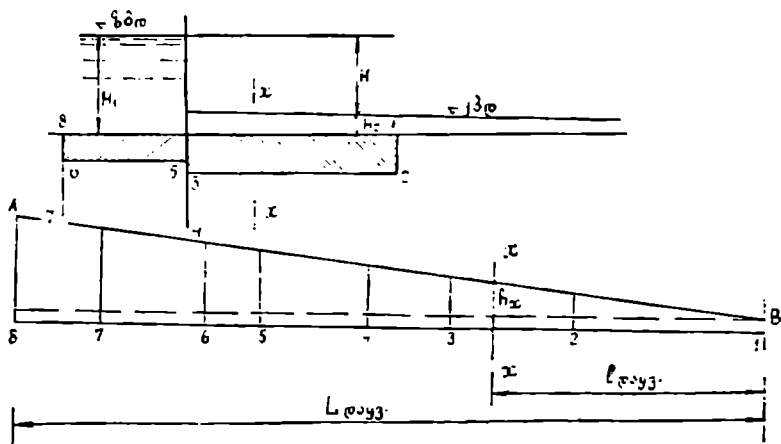
ბ) ერთ და ორნარანდიანი ფლუტბეტისათვის (ნახ. 3.12)  $m=2$ , როდესაც  $\frac{S}{l} > 1$  და  $m=3$ , როდესაც  $\frac{S}{l} < 1$ .

შესაბამისად, თუ საერთო წნევა  $H$ -ის ტოლია, მაშინ ფლტრაციული წნევის  $h_x$  სიდიდე ფლუტბეტის კონტურის ნებისმიერ წერტილში, რომელიც დაცილებული იქნება ნაგებობის ქვედა ბოლოდან (ნახ. 3.13)  $l_{დაყვ}$  მანძილით, გამოითვლება ფორმულით:



ნახ. 3.12 — ნარანდიანი ფლუტბეტის კონტურის სქემა.

$$h_x = H \frac{l_{დაყვ.}}{L_{დაყვ.}} \quad (3.31)$$



ნახ. 3.13—ფლუტბეტის განშლად კონტურზე წნევების ხაზობრივი მეთოდით განაწილების სქემა.

ამგვარად, თუ ჩვენ გვეცოდინება ფილტრაციული წნევის სიდიდე ფლუტბეტის ნებისმიერ მახასიათებელ კვეთში, შეგვეძლება გავიანგარიშოთ ფლუტბეტის სისქე, განვსაზღვროთ ფილტრაციული წყლების გამოსვლის სიჩქარე ქვედა ბიეფის კვეთში და დაეადგინოთ ნაგებობის ქვეშ აღინებული ფილტრაციული ხარჯი.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ფლუტბეტის სისქე იანგარიშება ფილტრაციული ნაკადის უკუწნევის სიდიდის მხედველობაში მიღებით. სახელდობრ, თუ ნაგებობის წყალსაცეში ფილა ძირითადი ნაგებობიდან გამოყოფილია ნაკერით, მაშინ აუცილებელია ის იყოს მასიური, რათა მას შეეძლოს წინააღმდეგობა გაუწიოს ფილტრაციულ უკუწნევას თავისი საკუთარი წონის ხარჯზე. საერთოდ, ფლუტბეტის სისქის გაანგარიშების დროს შეიძლება გვეკონდეს ორი ძირითადი შემთხვევა—ქვედა ბიეფში წყლის არსებობისა და მის გარეშე. თუ ქვედა ბიეფში წყალი გვაქვს, მაშინ ფლუტბეტი ჩაძირულად ჩაითვლება და ამ შემთხვევაში ფლუტბეტის ერთეულ ფართობზე ზემოდან ქვემოთ მოქმედებენ წყალსაცეში  $t$  სისქის მქონე ფილის საკუთარი წონისაგან და ქვედა ბიეფის წყლის  $H_2$  სიღრმის ფენისაგან გამოწვეული ძალები, ხოლო ქვემოდან ზემოთ კი მასზე მოქმედებს ფილტრაციული ნაკადის უკუწნევა. აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით დაწვეროთ ფლუტბეტის წონასწორობის პირობა.

$$\gamma_{\text{ფ.}} t + \gamma H_2 = \gamma(H - h_w + H_2 + t) \quad (3.32)$$

ან კიდევ, თუ მივიღებთ, რომ  $H - t_w = h_x$  არის ფილტრაციული წნევის სიდიდე განსახილველ კვეთში, მაშინ

$$\gamma_{\text{ფ.}} t + \gamma H_2 = \gamma(h_x + H_2 + t), \quad (3.33)$$

საიდანაც ფლუტბეტის  $t$  სისქის საანგარიშო ფორმულას ასეთი სახე ექნება

$$t = n \frac{\gamma}{\gamma_{\text{ფ.}} - \gamma} h_x, \quad (3.34)$$

სადაც  $n$  არის მარაგის კოეფიციენტი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნაგებობის კლასზე და აიღება 0,85—1,0-ის ფარგლებში;  $\gamma$  და  $\gamma_{\text{ფ.}}$  შესაბამისად, წყლისა და ფლუტბეტის მასალის მოცულობითი წონებია. ადვილად შესამჩნევია, რომ (3.34) ფორმულა ასევე ძალაში დარჩება იმ შემთხვევისთვისაც, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არ არის, (ე. ი. როცა  $H_2 = 0$ ); ეს იმით აიხსნება, რომ  $H_2$  სიდიდეს (3.33) ფორმულის როგორც მარცხენა, ისე მარჯვენა ნაწილში ერთი და იგივე ნიშანი აქვს. ის როგორც მარცხენა, ისე მარჯვენა ნაწილში ერთი და იგივე ნიშანი აქვს.

**§ 3.5. ფლუბაბის ძირითადი ელემენტები და ფილტრაციის /  
საინჟინერო მოწყობილობანი**

როგორც § 3.1-ში აღვნიშნეთ, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშე ფილტრაციული ნაკადისაგან გამოწვეული უქუწუნევის, ჰიდრავლიკური ქანობის (გრადიენტის) და ქვედა ბიეფში გამოდინებული ფილტრაციული წყლის სიჩქარის შევსებების მიზნით ეწყობა სხვადასხვა სახის ფილტრაციის საინჟინერო კონსტრუქციები, სახელდობრ (ნახ. 3. 1) ძირული, ნარანდი, რისბერმა, და ა.შ.

ძირული ეს არის ზედა ბიეფის ფსკერზე, უშუალოდ ნაგებობის წინ აშენებული წყალგაუმტარი საფარი. მიზი დანიშნულებაა დაიცვას ზედა ბიეფის ნაგებობის წინა უბანი გამორეცხვისაგან და გაზარდოს ფილტრაციული წყლის დინების მანძილი ნაგებობის ქვეშ. ძირული ამავ დროს წარმოადგენს დამაკავშირებელ ელემენტს მდინარის (არხის) ბუნებრივ ფსკერსა და თვით ნაგებობას შორის. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ძირული კეთდება პრაქტიკულად წყალგაუმტარი მასალებისაგან: თიხა, თიხა-ბეტონი, ბეტონი, რკინა-ბეტონი, ხის მერქანი და ა. შ.

ძირულის სიგრძეს განსაზღვრავენ მდინარის განსახილველი უბნის შემცველი გრუნტის ხასიათისა და ნაგებობის კვანძში გათვალისწინებული სხვა ფილტრაციის საინჟინერო მოწყობილობათა კონსტრუქციების ძირითადი მახასიათებლების მხედველობაში მიღებით. ჰიდრომელორაციულ ნაგებობათა მშენებლობის პრაქტიკაში ძირულის სიგრძეს ზედა ბიეფში წყლის  $H_1$  სიღრმისა და ნაგებობის ტიპის მიხედვით ნიშნავენ შემდეგ საზღვრებში

წყალსაშუაანი კაშხალენისათვის	(1-2) $H_1$ ;
ფეხელელებელი ნაგებობებისათვის	2-3) $H_1$ ;
გამრეცხვი ნაგებობებისათვის	(1-4) $H_1$ ;
მარეგულირებელი წყალგამწვებებისათვის	(1-2) $H_1$ .

თიხოვანი და თიხა-ბეტონის ძირულის მინიმალური  $z$  სისქე ინიშნება ასეთნაირად:

როდესაც $H_1 < 5$ მეტრზე	$z = 40 - 50$ სმ;
როდესაც $H_1 = 5 - 10$ მეტრს	$z = 50 - 60$ სმ;
როდესაც $H_1 > 10$ მეტრზე	$z = 75$ სმ;

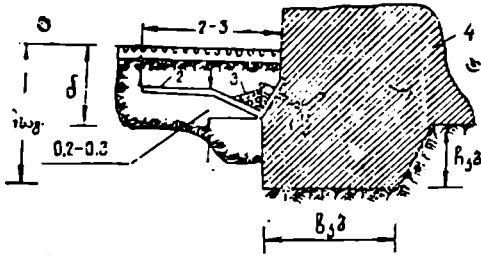
მაღლივი ნაგებობების შემთხვევაში ძირულის ქვედა (ბოლო) უბნის სისქეს ზრდიან 1-2 მეტრამდე. ზოგჯერ ძირულის მაქსიმალურ სისქეს ნიშნავენ ასეთი სახის ემპირიული ფორმულით:

$$z_{\text{მაკს.}} = 0,75 + 0,05 H, \quad (3.35)$$

სადაც  $H$  არის დაწინევის სიღრმე მეტრობით (როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არაა  $H = H_1$ ).

დაზიანებისაგან დაცვის მიზნით ძირულს ზემოდან ფარავენ ადგილობრივი გრუნტით, ხოლო თუ ნაგებობის წყალგამტარ კვეთთან წყლის დინება დიდი სიჩქარეებით ხასიათდება, მაშინ ძირულის ამ ნაწილში ზემოდან ჭერ ქვიშის საფარს მოამზადებენ და შემდგომ მასზე დააწყობენ ბეტონის ან რკინაბეტონის ფილებს.

ბეტონის მასივთან ძირულის მიყრდნობის კვეთში (ნაკერში), წყლის ფილტრაციის თავიდან აცილების მიზნით, კაშხალის ტანთან ძირულის შეუღლებას ახორციელებენ ბეტონის კბილით; ასეთი შეუღლების ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი თიხა-ბეტონის ძირულისათვის მოცემულია 3.14

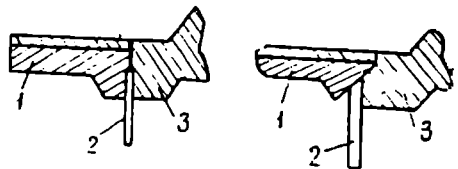


ნახ. 3.14 — კაშხალის ტანთან თიხაბეტონის ძირულის შეერთების ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი: 1—ჰანჯიკები; 2—გულრონის ფენა სისქით 1—3 სმ; 3—გულრონი ქვიშასთან ერთად; 4—კაშხალის ტანი.

ნახ-ზე ძირულში თიხოვანი გრუნტის ჩაწყობა და დატკეპა ხდება 10—15 სმ სისქის ცალკეულ ფენებად; როდესაც მშენებლობის უბანში თიხები და თიხნარები არ მოიპოვება, მაშინ ამზადებენ ხელოვნურ თიხა-ბეტონს (ერთი ნაწილი თიხისა და ორი ნაწილი ქვიშისა და ლორღის საკმაროდ კარგად შერევით). ზოგჯერ თიხა-ბეტონის ძირულის მაგივრად.

აკეთებენ ტორფოვან ძირულს 80—85% ტენიანობით და 1 მეტრი სისქის დამცველი შრით (ტორფოვანი ძირულის სისქე დაახლოებით 1,5-ჯერ მეტი უნდა იყოს, ვიდრე თიხოვანი ძირულის) ან კიდევ, ერთდროულად, ბეტონის ზედა კბილს და ნარანდს (ნახ. 3.15). განსახილველ შემთხვევაში კბილის  $h_{კბ}$  სიმაღლე და  $b_{კბ}$  სიგანე მიიღება:  $h_{კბ} = 0,2 H$  და  $b_{კბ} = 0,4 H$ , ხოლო თვით კაშხალის საძირკველის  $h$  ჩაღრმავება გრუნტში შეიძლება დაინიშნოს  $h = (0,3 - 0,6) H$ -ის ფარგლებში.

წყლის დაწნევისდა მიხედვით ნარანდი (ნახ. 3.15) შეიძლება იყოს ხის (სიმაღლით 5—7 მეტრი) და ლითონის (სიმაღლით 15 მეტრამდე; ზოგჯერ იყენებენ აგრეთვე რკინა-ბეტონის ნარანდსაც.



ნახ. 3.15 — კაშხალის ზედა კბილთან ნარანდების შეუღლების სხვადასხვა სქემები: 1—ძირული; 2—ნარანდი; 3—ბეტონის კბილი.



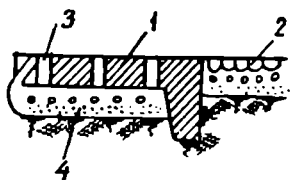
კაშხალის წყალსაცემი ნაწილი ითვლება თვით კაშხალის-ტანის გაგრძელებად; ის ბეტონის მასიური ფილაა, რომელიც დევს უშუალოდ გრუნტზე. იმის გამო, რომ ბეტონის კაშხალი და წყალსაცემი ფილა სხვადასხვა ჯდომით ხასიათდება, მათ შორის ეწყობა ეგრეთწოდებული სამშენებლო ნაკერი გულრონის ან კიდევ სხვა სახის საფენებით (ნახ. 3. 16).

წყალსაცემის სიგრძის დანიშვნა ხდება კაშხალზე გადადინებული წყლის ნაკადის ნახტომის სიგრძისა და მასზე (წყალსაცემზე) ენერჯის ჩამშობ (ჩამქრობ) მოწყობილობათა საჭიროებისამებრ განლაგების გათვალისწინებით (1—1,5)  $H$ -ის ფარგლებში, სადაც  $H$  არის ნაგებობაზე მოქმედი მაქსიმალური საანგარიშო დაწევა.



ნახ. 3.16 — კაშხალის ტანთან წყალსაცემი ფილის შეუღლების სქემები: 1 — გულრონის საფენი სისქით 2 სმ; 2 — გულრონის თვით დიამეტრით 5—7 სმ; 3—გულრონის სოგამანი; 4—ფიცარი.

რის ბერმა ეწყობა წყალსაცემი ფილის შემდგომ უბანზე. მისი დანიშნულებაა დაიცვას მდინარის ფსკერი გამორეცხვისაგან ფლუტბეტის ქედა ბიფში. ამ მოთხოვნის შესაბამისად რისბერმა უნდა იყოს საკმაოდ მდგრადი, ელასტიკური და ამავე დროს ხორკლიანი, რათა წყლის ქარბი-ენერჯიის საბოლოო ჩახშობა მოხდეს უშუალოდ რისბერმის სიგრძის ფარგლებში. შედარებით დიდდაწევიანი ნაგებობის შემთხვევაში უფრო მიზანშეწონილია მოეწყოს 1—3 მეტრი სისქის ძეღყორისებური რისბერმა ქვების შევსებით ან კიდევ მძიმე ფიხკონით. წყალსაცემისა და რისბერმის კონსტრუქციულად შეუღლების კვანძს ზოგადად ასეთი სქემატური სახეე აქვს (ნახ. 3.17). რისბერმის სიგრძე განისაზღვრება იმ მანძილით, სადაც

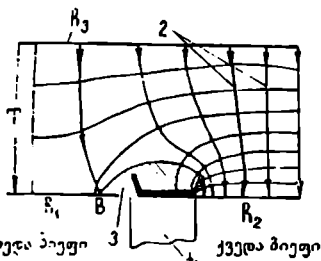


ნახ. 3.17 — წყალსაცემის რისბერმასთან შეუღლების სქემა: 1 — წყალსაცემი ბოლო; 2—რისბერმის დასასაწყისი; 3 — გამტვირთავი ხერხები; 4 — ქვიფილტრი.

წყალსაცემის ბოლო ნაწილიდან მოყოლებული წყლის ნაკადია სიჩქარე თანდათანობით მცირდება იმ დასაშვებ სიჩქარეზე, რომელიც შეესაბამება მდინარის გასახილველი უბის შემკველ გუნჯს. რისბერმის სიგრძის ზუსტად გაანგარიშების მეთოდი დღესდღეობით არ არსებობს და ამიტომ მიახლოებით მისი სიგრძე ინიშნება (3—5)  $H$ -ის ფარგლებში; უფრო ზუსტად, რისბერმის სიგრძის დანიშვნა უნდა მოხდეს ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე.

მდინარის ნაპირთან ჰიდროტექნიკური ნაგებობის მიერთების უბანში უმეტეს შემთხვევაში ადგილი აქვს უდაღნო ფილტრაციას\*, რომლის დინების ხასიათს განსაზღვრავს ორი სხვადასხვა სახის—მდინარის ნაპირის მხრიდან მოდინებული გრუნტის წყლებსა და ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისკენ ნაგებობის გარშემოვლით გამდინარე ფილტრაციული წყლის ნაკადთა ერთიერთზე მოქმედება.

აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით, განსახილველ შემთხვევაში ფილტრაციული წყლის დინების ზოგადი სურათი (ნახ. 3.18) გამოისახება



ნახ. 3.18 — გარშემოვლითი ფილტრაციის საანგარიშო სქემა: 1—ბიეტონის კაშხალი; 2—დენის წიკები; 3—გარშემოვლითი ფილტრაციის საანგარიშო ზონა.

შემდეგი ძირითადი პარამეტრებით: წყლის სიღრმეებით ზედა  $h_1$  და ქვედა  $h_2$  ბიეფებში, მდინარის ნაპირიდან  $T$  მანძილზე გაზომილი გრუნტის წყლის  $h_3$  სიღრმით\* და აგრეთვე თვით შემთხვეული ნაგებობის ზომებით და ფორმით.

ქვემოთ განვიხილავთ გარშემოვლითი ფილტრაციის ზოგიერთ კერძო შემთხვევას შექმნილ ზღვრული პირობებისათვის (ვ. იეღრაგაა მონაცემების საფუძველზე): ფილტრაციის საანგარი-

შო მდინარის საანაპირო უბანი ერთგვაროვანი ნაწილაკების შემცველი გრუნტით ხასიათდება, წყალბრუნის სიბრტყე პორიზონტალურია, ხოლო მდინარის ნაპირი პირობითად მიღებულია როგორც ვერტიკალური დახრილობის მქონე

1. ერთმაგი დეზით შეუღლებების შემთხვევაში (ნახ. 3.19) დეზის კონტურის გასწვრივ ფილტრაციული წყლის ნაკადის სიღრმე  $h$  გამოითვლება ფორმულით:

\* დაწვეიანი ფილტრაციის შემთხვევის განხილვა იხილეთ ქვემოთ.  
 \* საერთოდ  $h_3$  სიღრმის დადგენას ახდენენ შეტბორვის წირის აგების (წყალსაცავის წყლის დონის მიმართ) საფუძველზე და გაანგარიშებაში შეყავთ მდინარის წყლის ის სიღრმე, რომელიც შეესაბამება შეტბორვის წირისა და მდინარის წყლის დონის შეუღლებების კვეთს.

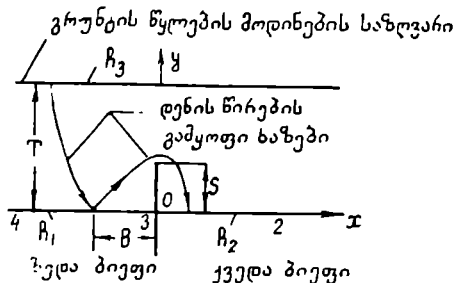
$$h = \sqrt{\pm (h_1^2 - h_2^2) \beta_1 + \left( \frac{2h_3^2 - h_1^2 - h_2^2}{2} \right) \frac{y}{T} + \frac{h_1^2 + h_2^2}{2}} \quad (3.36)$$

სადაც  $h_1$  და  $h_2$  არის წყლის ნაკადის სიღრმეები შესაბამისად ზედა და ქვედა ბიფურკაციებში;

$y$  — მიმდინარე ორდინატა (ნახ. 3.19);

$\beta_1$  — ცვლადი სიღრმე, რომელიც რიცხვითი მნიშვნელობა აიღება 3.7 ცხრილიდან.

სხვა სადიდეტა აღნიშვნა იხილეთ 3.19 ნახ.-ზე.



ნახ. 3.19 — გარშემოვლითი ფილტრაციის საანგარიშო სქემა შლინარის ნაპირთან ძირითადი ნაგებობის ერთმაგიღებით შეუღლების შემთხვევაში.

ცხრილი 3.7

$\beta_1$  ფუნქციის რიცხვითი მნიშვნელობები

y/S	S/T					
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
1	2	3	4	5	6	7
0,0	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
0,1	0,469	0,468	0,467	0,467	0,466	0,464
0,2	0,436	0,435	0,435	0,434	0,432	0,429
0,3	0,404	0,403	0,402	0,399	0,397	0,393
0,4	0,369	0,368	0,367	0,364	0,361	0,356
0,5	0,334	0,333	0,331	0,323	0,324	0,318
0,6	0,295	0,294	0,292	0,289	0,284	0,273
0,7	0,253	0,252	0,250	0,247	0,242	0,235
0,8	0,205	0,204	0,202	0,199	0,194	0,187
0,9	0,144	0,143	0,141	0,137	0,135	0,129
1,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

β₂ ფუნქციის რიცხვითი მნიშვნელობები

± $\frac{x}{T}$	$\frac{S}{T}$							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,231	0,141	0,100	0,078	0,064	0,055	0,042	0,035
0,2	0,336	0,232	0,173	0,144	0,120	0,102	0,083	0,070
0,4	0,458	0,344	0,283	0,241	0,213	0,188	0,156	0,135
0,6	0,529	0,420	0,357	0,314	0,282	0,256	0,219	0,194
0,8	0,592	0,482	0,419	0,375	0,340	0,315	0,276	0,249
1,0	0,648	0,559	0,475	0,430	0,395	0,370	0,330	0,301
1,2	0,701	0,592	0,527	0,484	0,450	0,422	0,382	0,353
1,6	0,803	0,693	0,629	0,585	0,550	0,523	0,483	0,453
2,0	0,905	0,795	0,730	0,687	0,654	0,625	0,585	0,556

დღის იმ გვერდებისათვის, რომლებიც ზედა ბიეფის მხარესაა მოთავსებული, (3.36) ფორმულის ფესქვეშა გამოსახულების პირველი წევრის წინ იწერება ნიშანი პლუსი, ხოლო ქვედა ბიეფის მხარეს მოთავსებული გვერდებისათვის კი—ნიშანი მინუსი.

იმავე შემთხვევისათვის ზედა და ქვედა ბიეფის სანაპირო ხაზის გასწვრივ გადინებული ფილტრაციული წყლის ჯამური ხარჯი.

$$q = K \left[ \pm (h_1^2 - h_2^2) \rho_2 + \frac{2h_3^2 - h_1^2 - h_2^2}{4} \frac{x}{T} \right], \quad (3.37)$$

სადაც β₂-ს რიცხვითი მნიშვნელობა აიღება (3.8) ცხრილიდან წინასწარ დაშვებულ  $\frac{S}{T}$  და  $\frac{x}{T}$  სიდიდეთა მიხედვით. ზედა ბიეფის მხარეს მოთავსებული მდინარის სანაპირო ზოლისათვის (3.37) განტოლების პირველი წევრის წინ იწერება ნიშანი მინუსი, ხოლო ქვედა ბიეფის მხარეს მოთავსებული სანაპირო ზოლისათვის — ნიშანი პლუსი.

გ ა რ შ ე მ ო ვ ლ ი თ ი ფ ი ლ ტ რ ა ც ი ი ს ზ ო ლ ი ს ს ი გ ა ნ ე (ნახ. 3.19)

$$B = \frac{2T}{\pi} \operatorname{Arch} \frac{D \cos \frac{\pi S}{2T}}{\sqrt{D^2 - 1}}, \quad (3.38)$$

$$D = \frac{2h_3^2 - h_1^2 - h_2^2}{h_1^2 - h_2^2}. \quad (3.39)$$

ერთმაგი დენის ის მინიმალური სიგრძე, რომლის დროსაც ადგილი არ ექნება წყალსაცავიდან წყლის გარშემოვლით ფილტრაციას, იანგარიშება გამოსახულებით:

$$S_{ანს} = \frac{2T}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{D^2 - 1}{D^2}}. \quad (3.40)$$

2. მდინარის ნაპირთან ბრტყელი ბურჯის შეუღლების შემთხვევაში (ნახ. 3.20) ზედა და ქვედა ბრტყელების საწინააღმდეგო ნაწილის გასწვრივ ფილტრაციული წყლის გამტრიხვედრითი სარჯი

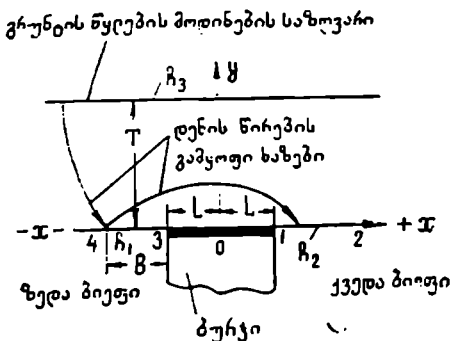
$$q = K[(h_3^2 - h_2^2)\beta_3 - (h_3^2 - h_1^2)\beta_1], \quad (3.41)$$

ხოლო გარშემოვლითი ფილტრაციის ზოლის სიგანე  $B$  კი გამოითვლება ვამოახატლებით:

$$B = \frac{2T}{\pi} \text{Arch} \sqrt{\frac{D^2}{D^2 - 1}} - l. \quad (3.42)$$

(3.41) ფორმულაში შემავალი  $\beta_3$  და  $\beta_1$  -ს რიცხვითი მნიშვნელობანა იღლება (3.9) ცხრილიდან წინააწარ დაშვებულ  $\frac{l}{T}$  და  $\frac{x}{l}$  სიდიდეთა (ნახ. 3.20) მიხედვით.

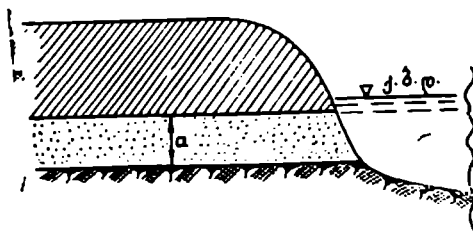
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ზოგჯერ, ჰიდროტექნიკური ნაგებობის მდინარის ნაპირთან შეუღლების უბანში შეიძლება ადგილი ექნეს არა უდაწწნო, არამედ დაწწნიან ფილტრაციას (როდესაც მდინარის განსახილველი ნაპირის გეოლოგიური აღნაგობა ფენოვანია და წყალგამტარი ფენის ზემოთ განლაგებულია მცირე წყალგამტარობის მქონე გრუნტებითიხები, თიხნარები), როგორც ეს მაგალითისათვის ნაჩვენებია 3.21 ნახ.-ზე. ამ შემთხვევისათვის ყველა ზემოთ მოყვანილ საანგარიშო ფორმულაში აუცილებელია შევიტანოთ შემდეგი ჩასმები:



ნახ. 3.20 — გარშემოვლითი ფილტრაციის საანგარიშო სქემა მდინარის ნაპირთან ბურჯის შეუღლების შემთხვევაში.

მ. ლ. მ., ფუნქციათა რიცხვითი მნიშვნელობები

მ <sub>2</sub> -თვის	$\frac{l}{T}$									მ <sub>1</sub> -თვის	
	$\frac{x}{l}$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40		0,50
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
40,0	0,678	0,404	0,216	0,233	0,189	0,156	0,131	0,092	0,066	0,066	40,0
30,0	0,638	0,403	0,256	0,233	0,189	0,156	0,131	0,092	0,066	0,066	30,0
20,0	0,567	0,397	0,255	0,233	0,189	0,156	0,131	0,092	0,066	0,066	20,0
16,0	0,552	0,394	0,254	0,232	0,189	0,156	0,131	0,092	0,066	0,066	16,0
12,0	0,506	0,380	0,289	0,230	0,188	0,155	0,130	0,091	0,066	0,066	12,0
8,0	0,443	0,352	0,282	0,228	0,187	0,155	0,130	0,091	0,066	0,066	8,0
6,0	0,394	0,324	0,269	0,224	0,185	0,155	0,130	0,091	0,066	0,066	6,0
5,0	0,365	0,306	0,257	0,216	0,182	0,154	0,130	0,091	0,066	0,066	5,0
4,0	0,328	0,264	0,241	0,207	0,176	0,151	0,129	0,091	0,066	0,066	4,0
3,0	0,280	0,248	0,216	0,188	0,163	0,141	0,121	0,090	0,066	0,066	3,0
2,5	0,250	0,223	0,195	0,170	0,150	0,131	0,114	0,086	0,064	0,064	2,5
2,0	0,211	0,190	0,170	0,151	0,134	0,117	0,104	0,080	0,060	0,060	2,0
1,8	0,191	0,172	0,154	0,138	0,122	0,108	0,095	0,075	0,057	0,057	1,8
1,6	0,167	0,152	0,136	0,123	0,110	0,098	0,088	0,064	0,053	0,053	1,6
1,4	0,133	0,126	0,114	0,103	0,093	0,084	0,074	0,059	0,046	0,046	1,4
1,0	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	1,0
1,2	0,100	0,100	0,117	0,125	0,133	0,141	0,150	0,168	0,187	0,187	1,2
1,4	0,138	0,150	0,163	0,175	0,189	0,201	0,215	0,242	0,270	0,270	1,4
1,6	0,167	0,183	0,198	0,214	0,231	0,248	0,265	0,302	0,343	0,343	1,6
1,8	0,191	0,210	0,225	0,248	0,267	0,288	0,310	0,355	0,406	0,406	1,8
2,0	0,210	0,233	0,255	0,277	0,301	0,325	0,351	0,405	0,464	0,464	2,0
2,5	0,250	0,270	0,308	0,341	0,375	0,410	0,448	0,520	0,590	0,590	2,5
3,0	0,280	0,318	0,354	0,397	0,441	0,486	0,536	0,625	0,724	0,724	3,0
4,0	0,328	0,379	0,434	0,495	0,557	0,623	0,691	0,825	0,965	0,965	4,0
5,0	0,365	0,427	0,500	0,581	0,664	0,750	0,840	1,023	1,210	1,210	5,0
6,0	0,394	0,470	0,564	0,660	0,765	0,877	0,990	1,218	1,450	1,450	6,0
8,0	0,443	0,550	0,667	0,820	0,972	1,125	1,290	1,596	1,930	1,930	8,0
12,0	0,506	0,673	0,887	1,135	1,390	1,640	1,900	2,353	2,890	2,890	12,0
16,0	0,552	0,750	1,086	1,450	1,810	2,155	2,510	3,110	3,850	3,850	16,0
20,0	0,587	0,866	1,260	1,765	2,230	2,670	3,120	3,807	—	—	20,0
30,0	0,638	1,151	1,700	3,552	3,280	3,657	—	—	—	—	30,0
40,0	0,678	1,398	2,240	3,330	4,320	—	—	—	—	—	40,0



$$\left. \begin{aligned} h^2 &= 2aH, & h_2^2 &= 2aH_2 \\ h_1^2 &= 2aH_1, & h_3^2 &= 2aH_3 \end{aligned} \right\} (3.43)$$

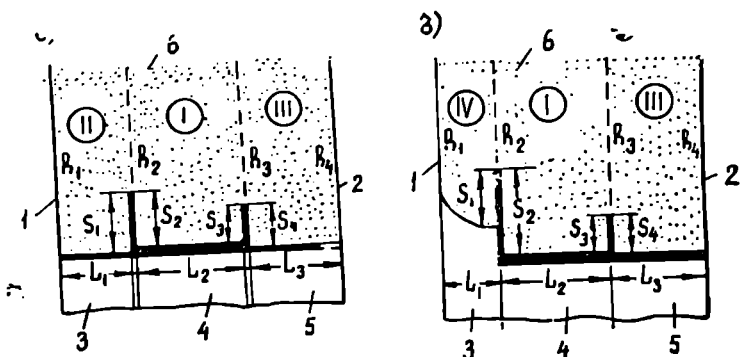
სადაც  $H$  არის საძიებელი პიეზომეტრიული დაწნევა ბურჯის გარძოვლითი კოიტურია გააწვრივ;  $H_1$ ,  $H_2$  და  $H_3$  — პიეზომეტრული დაწნევის სიღიდებები, შესაბამისად, ზედა ბიეფში, ქვედა ბიეფში და გრუ-

ნახ. 3.21 — მდინარის ნაპირის გეოლოგიური აღნაგობის ტიპური სქემა.

ნტის წყლების განლაგების უბანში;  $a$  — წყალგამტარი ფენის (შრის) სიმძლავრე.

**§ 3.7. გარემოვლითი ფილტრაციის გაანგარიშება მიწის ჯაბირში, რომელსაც ასთან უმავალეაბელი კაღლეაბეთ მიარტეაბულია გაბრენის კაბახალი (ა. ნაღრიბას მეთოღი)**

განსახიღველ შემბხეღევაში ფიღტრაციის გაანგარიშებას აწარმოებენ ფრაღმენტების მეთოღით, რაც გულისხმობს მთლიანი ფიღტრაციული არის ცალკეულ ეღეღმენტალურ ფრაღმენტებაღ დაყოფას. მაგალიტისათვის, საერთო ფიღტრაციული არის ასეთი დაყოფა ნაჩვენებია 3.22 ნახ.-ზე, სადაც გაბყოფი ხაზები ფიღტრაციის საწინააღმდეგო ღეზების დაბოლოებებიღან გატარებულია წყვეტიღი ხაზით.



ნახ. 3.22 — მიწის ჯებირთან კაბახლის შეღღლების ზოგიერთი შესაღლო სქემები: ა—შეღღლების ერთი შესაღლო ვარიანტი; ბ—შეღღლების მეორე შესაღლო ვარიანტი; 1—ზეღა ბიფი; 2—ქვეღა ბიფი; 3—ძირული; 4—წყალსაწვიანი ნაღებობა; 5—რისბერბა; 6—მიწის ჯებირი.

განსახიღველ მეთოღს საფუძღვლად უღღევს შემღღეგი დაშვებები: ა) კაბახლის ფერღობები პირობიტალ მიღღებულია ეერტიკალური დახრღლობის; ბ) ცალკეული ფრაღმენტის საზღვარზე ფიღტრაციული ნაყაღის სიღრმის დაღღენის ღროს იგულისხმება, რომ ყოველ ფრაღმენტში გაღღინება ერთი და იგივე ხარჯი.

ქვემოთ მოგვეყავს გადაწყვეტა ოთხი სხვადასხვა ფრაღმენტისათვის (იხ. ნახ. 3. 22), რომლებიც საპროექტო პრაქტიკაში შეიღღება შეღღვღღეს როგორც დაბოუქიღებლად, ასევე შემავღღლებელი კეღღების ერთ მთლიანობაში შემავალი ცალკეული ეღეღმენტების სახით.

1. ბურჯის ფრაღმენტი ზეღა და ქვეღა ღეზებით

(ნახ. 3. 23) შესაბამება ფრაგმენტების I ტიპს (იხ. ნახ. 3. 22). ამ შემთხვევაში ფრაგმენტის შიგა კონტურის გასწვრივ ფილტრაციული ნაკადის  $h$  სიღრმის გასაანგარიშებლად 3. ნედრიგა იძლევა გამოსახულებებს:  
 3—1' უბნისათვის

$$h = \sqrt{\frac{h_6^2 + h_3^2}{2} - \frac{h_6^2 - h_3^2}{\pi} \arcsin \frac{2 \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \dots n + m}{n + m}} \quad (3.44)$$

3—3' უბნისათვის

$$h = \sqrt{\frac{h_6^2 + h_3^2}{2} - \frac{h_6^2 - h_3^2}{\pi} \arcsin \frac{2 \operatorname{ch}\left(\frac{\pi y}{l}\right) - m + n}{n + m}} \quad (3.45)$$

1—1' უბნისათვის

$$h = \sqrt{\frac{h_6^2 + h_3^2}{2} - \frac{h_6^2 - h_3^2}{\pi} \arcsin \frac{2 \operatorname{ch}\left(\frac{\pi y}{l}\right) + m - n}{n + m}}, \quad (3.46)$$

სადაც  $h_6$  და  $h_3$  არის ნაკადის სიღრმეები შესაბამისად ფრაგმენტის ზედა და ქვედა საზღვრებთან;  $x$  და  $y$  — მიმდინარე კოორდინატები (იხ. ნახ. 3.23);

$$\left. \begin{aligned} m &= \operatorname{ch}\left(\frac{\pi S_6}{l}\right) \\ n &= \operatorname{ch}\left(\frac{\pi S_3}{l}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3.47)$$

დეზების გასწვრივ (3—4 და 1—2 უბნებში) ჯამური ფილტრაციული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით

$$q = K \frac{h_6^2 - h_3^2}{2\pi} \operatorname{Arch} \frac{2 \operatorname{ch}\left(\frac{\pi y}{l}\right) \pm (m - n)}{n + m}, \quad (3.48)$$

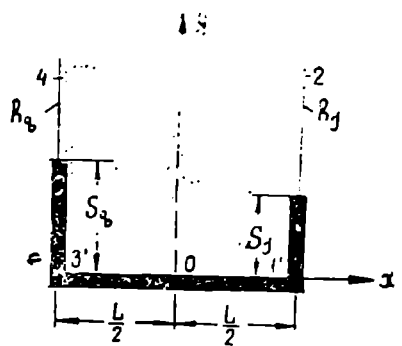
სადაც  $(m - n)$  სხვაობის წინ ნაშანი „—“ აღემა ფრაგმენტის 3—4 საზღვრის განხილვის შემთხვევაში, ხოლო ნიშანი „+“ კი მაშინ, როდესაც განვიხილავთ 1—2 საზღვარს (იხ. ნახ. 3. 23).



$$v = \frac{K(h_2^2 - h_3^2)}{lh(n+m)} \frac{\cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)}{\sqrt{1 - \left[ \frac{2\sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) - n + m}{n+m} \right]^2}} \quad (3.49)$$

სადაც  $h$  ნაკადის სიღრმეა განსახილველ წერტილში და გამოითვლება (3.44) ფორმულით.

2. 3.22 ნახ.-ზე ნაჩვენებია სხვა — II, III, IV ტიპის ფრაგმენტებისათვის ასევე შეიძლება გამოვიყენოთ ყველა ზეპოთ მოყვანილი ფორმულა იმ განსხვავებით, რომ ყოველ მათგანში უნდა ჩაისვას  $m$  და  $n$  მუდმივსიდიდეთა შეაბაძისი მნიშვნელობანი. ყოველი ასეთი ცალკეული ფრაგმენტის სააიგარიშო სქემა და იათვის გაპოაქეებელი ძირითადი საანგმენტის საგარიშო სქემა. გარიშო ფორმულები მოცემულია 3-10 ცხრილში. დამატებით აღვნიშნავთ, რომ III ტიპის ფრაგმენტის 3—3' და 1—1' (იხ. ცხრილი 3.10) კონტურების გასწვრივ გადინებული ჯამური ხვედრითი ფილტრაციული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:



ნახ. 3.23 — შევლევბელი ბერჯის ფრაგმენტის საანგმენტის საგარიშო სქემა.

$$q = K \frac{h_2^2 - h_1^2}{2\pi} \text{Arch} \frac{\pm \left[ 2\sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) - n + m \right]}{n + m} \quad (3.50)$$

მეოთხე თავი

მიწის კაშხალები

§ 4. 1. ზოგადი მოსაზრებანი მიწის კაშხალებზე

მიწის კაშხალების მშენებლობა ფართოდაა გავრცელებული მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანაში. ეს იმიტთა გამოწვეული, რომ მიწის კაშხალები საკმაოდ მარტივი კონსტრუქციისა და მათ ასაშენებლად გამოადგება .6. ბ. ჩიკვაშვილი.

ცალკეული ფრაგმენტების სქემები და მათთვის გამოსაყენებელი საანგარიშო ფორმულები (ვ. ნედრივას მონაცემებით)

ფრაგმენტის ტიპი	ფრაგმენტის სქემა	m და n მუდმივების გამოსათვლელი ფორმულები	ფორმულების №№-რომლითაც გამოანგარიშება ნაუადის ჰიდრაულიკური ელემენტები
II მარცხენა		$m = 1$ $n = ch \left( \frac{\pi S_j}{l} \right)$	(3.44), (3.46) (3.48) და (3.49).
II მარჯვენა		$m = ch \left( \frac{\pi S_b}{l} \right)$ $n = 1$	(3.44), (3.45) (3.48) და (3.49).
III მარცხენა		$m = -\sin \left( \frac{\pi a}{l} \right)$ $n = ch \left( \frac{\pi S_j}{l} \right)$	(3.44), (3.46) (3.48), (3.49) და (3.50)
III მარჯვენა		$m = ch \left( \frac{\pi S_b}{l} \right)$ $n = \sin \left( \frac{\pi a}{l} \right)$	(3.44), (3.45) (3.48), (3.49) და (3.50)
IV მარცხენა		$m = -1$ $n = ch \left( \frac{\pi S_j}{l} \right)$	(3.46), (3.48) და (3.50)
IV მარჯვენა		$m = ch \left( \frac{\pi S_j}{l} \right)$ $n = -1$	(3.45), (3.48) და (3.50)

გრუნტების უმეტესი ნაირსახეობა. ამჟამად საბჭოთა კავშირში აშენებულა ან კიდევ მშენებლობის პროცესშია მრავალი მიწის კაშხალი, როგორც, მაგალითად, აზერბაიჯანში მდინარე მტკვარზე მინგეჩაურის მონალექი მიწის კაშხალი (სიმაღლე 80 მ, მოცულობა 15,6 მლნ მ<sup>3</sup>), საქართველოში სიონის (სიმაღლე 84,8 მეტრი, მოცულობა 6.38 მლნ მ<sup>3</sup>) და პატარა ლიახვის (სიმაღლე 80 მ და მოცულობა 2,5 მლნ მ<sup>3</sup>) ნაყარი მიწის კაშხალები, ციმლიანსკის მონალექი მიწის კაშხალი (29,5 მლნ მ<sup>3</sup> მოცულობის) და ა. შ.

მიწის კაშხალების ნორმალური ექსპლუატაციისათვის აუცილებელია:

ა) კაშხალს ჰქონდეს ისეთი მოხაზულობა და ზომები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის მღვრადობას ექსპლუატაციის ყველა შესაძლო პირობებში.

ბ) კაშხალზე წყლის გადაღინების თავიდან აცილების მიზნით ჰიდროკვანში შემაველი წყალსადგები ნაგებობის წყალგამტარობა გაანგარიშებულ იქნას მაქსიმალური წყალმოვარდნების შესაბამის ხარჯზე.

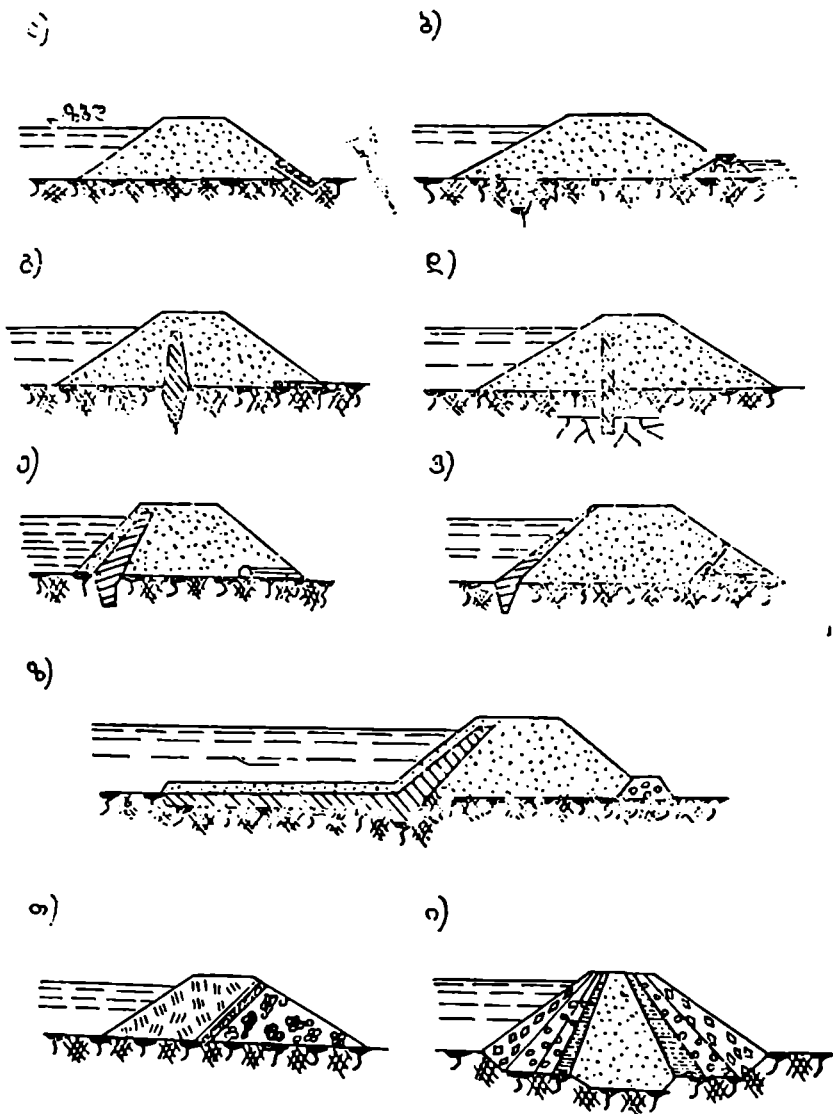
გ) კაშხალის ტანში, მის ბირში და მდინარის ნაპირთან კაშხალის შეჭვლების უბანში ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ გაყონილი ფილტრაციული წყლის გასატარებლად გათვალისწინებულ იქნეს სადრენაჟო სისტემა.

დ) კაშხალის ფერდობებს ისეთი დახრილობა უნდა ჰქონდეს და ამავე დროს მისი ზედაპირი ისეთნაირად უნდა აშენდეს, რომ გამოირიცხოს მათი დაზიანება ქარისაგან გამოწვეული ტალღების და განსახილველ რაიონში დამახასიათებელი კლიმატური ფაქტორების ზეგავლენით.

კლასიფიკაციის თვალსაზრისით მიწის კაშხალები დაყოფილია აშენების წესის, სიმაღლის, განივი პროფილისა და ფილტრაციის საფინანსდებო მოწყობილობათა კონსტრუქციების მიხედვით.

აშენების წესის მიხედვით განასხვავებენ ნაყარ, მონალექ და ნახევრად მონალექ მიწის კაშხალებს. ნაყარ კაშხალებს აშენებენ გრუნტის ჩაყრით და შემდგომ მისი დატყევნით ხელოვნურად ან კიდევ მის გაჩეხვებზეთფორდებული პიონერული წესით—მდინარის კალაპოტში გრუნტის ჩაყრით მშრალად, წყლის დინებასთან ერთად ან კიდევ აფეთქების შედეგად დამუშავებული გრუნტის გადასროლით უშუალოდ კაშხალის აშენების კვეთში.

მონალექ კაშხალებში აშენების მთელი პროცესი (კარიერზე გრუნტის დამუშავება, ტრანსპორტირება და მისი უშუალოდ კაშხალის ტანში ჩაწყობა) მიმდინარეობს ჰიდრომექანიზაციის წესით; ამ უკანასკნელიდან განსხვავებით, ნახევრად მონალექი კაშხალების ასაშენებლად კარიერში გრუნტის დამუშავება, მისი ტრანსპორტირება და ჩაყარა კაშხალის პროფილის განაპირა უბნებში ხდება ნაყარი კაშხალების ანალო-



ნახ. 4.1—ნაყარი მიწის კაშხლის განივი პროფილის სხვადასხვა შესაძლო ტიპები. ა—ერთგვაროვანი; ბ—ერთგვაროვანი საყრდენი კბილით; გ—ელასტიკური ეკრანით; დ—ხისტი ეკრანით; ე—ელასტიკური ეკრანით და ძირულით; თ, ი—სხვადასხვა სახის მასალისაგან აშენებული.

გიურად ხოლო გრუნტის დახარისხება და ჩაწყობა კაშხალის ტანის ცენტრალურ ნაწილში სრულდება ჰიდრომექანიზაციის წესით.

სიმაღლის მიხედვით მიწის კაშხალებს განასხვავებენ: დაბალს—15 მეტრამდე დაწნევიით, საშუალოს—15-დან 50 მეტრამდე დაწნევიით და მაღალს — 50 მეტრზე მეტი დაწნევიით.

განივი პროფილისა და ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობათა მიხედვით ნაყარ კაშხალებში განასხვავებენ ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან გრუნტის შემცველ კაშხალებს ბირთვით, დიაფრაგმით ან კიდევ ეკრანით და ა. შ. (ნახ.4.1).

განიხილოთ ყველა აქ ჩამოთვლილი მიწის კაშხალის ტიპები ცალ-ცალკე.

#### § 4. 2. ნაყარი მიწის კაშხალების დაპროექტებისა და მშენებლობის ძირითადი საკითხები

1. გრუნტის შერჩევა. ნაყარი მიწის კაშხალებისათვის გამოიყენება ყველა სახის გრუნტი, რომელიც არაეზობს ჰიდროკვანძის მშენებლობის რაიონში; თუმცა აქვე შევნიშნავთ, რომ ერთგვაროვანი მიწის კაშხალებისათვის ერთ-ერთ საუკეთესოდ ითვლება ქვიშნარი და თიხნარი გრუნტები.

ქვიშა-ხრეშოვანი გრუნტის გამოყენების შემთხვევაში, როგორც წესი, გათვალისწინებული უნდა იქნას ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობანი—ეკრანი, ბირთვი, კბილი, ძირული, რომელთათვისაც გამოიყენება დაბალი წყალგამტარობის მქონე გრუნტები (თიხები, თიხნარები და ტორფი).

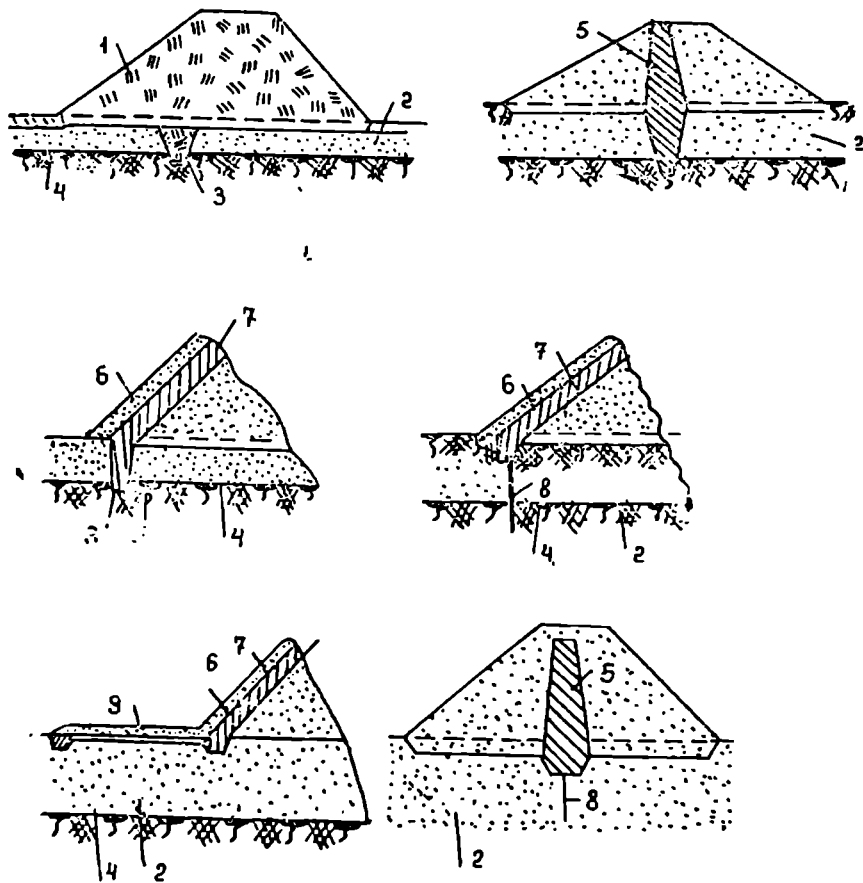
დაბალი და საშუალო სიმაღლის კაშხალებს ქვედა ფერდობის ზედა უბნებისათვის შეიძლება აგრეთვე გამოვიყენოთ ჰუმუსის შემცველი გრუნტები, თუკი მათში ჰუმუსის რაოდენობა 3-4 %-ს არ აღემატება (ჰუმუსის შემცველი გრუნტები, მართალია, ნაკლებად წყალგამტარია, მაგრამ მის ნაკლად უნდა ჩაითვალოს ის, რომ ძნელად იტკეპნება).

მიწის კაშხალის ასაშენებლად საერთოდ უვარგისია ლამიანი და აგრეთვე ყველა ის გრუნტი, რომლებშიც წყალში გამხსნელი მარილების რაოდენობა 6 %-ს აღემატება. ასევე ნაყარი კაშხალების ასაშენებლად რეკომენდებული არაა სუფთა თიხა, რადგან დასველების შემთხვევაში განიცდის დენადობას, გაყინვისას ამობურცვას, ხოლო გაშრობისას კი სკდება.

ნაყარი მიწის კაშხალის ტანში ელასტიკური ბირთვი ეწყობა ვერტიკალურ მდგომარეობაში, კაშხალის ზღურბლის მიმართ ოდნავ ქვემოთ და ამავე დროს კაშხალის ზედა ფერდოსთან ახლოს, რათა წყლით გაჯღენილი კაშხალის ტანის მოცულობა ზედა ბიეფის მხარეს შეძლებისდაგვარად მინიმალური იყოს, ხოლო მის ქვედა უბანში კი-მაქსიმალუ-

რად მდგრადი. ელასტიკური ბირთვის მინიმალური სასკვე შრის ზედაპირზე აილება 1,0÷2,0 მეტრამდე, ფერდობების დახრილობა კი—1:0,1÷1:0,12-ის ფარგლებში.

ელასტიკური ბირთვის ზედაპირის შესაბამისი ნაშნული ნორმალური შეტბორვის დონესთან შედარებით მაღლა უნდა იყოს 0,3 მეტრით, როდესაც კაშხალები კაპიტალურობის მიხედვით III ან IV კლასს მიეკუთვნება, 0,5 მეტრით, როდესაც კაშხალები კაპიტალურობის მიხედვით I ან II კლასს მიეკუთვნება.

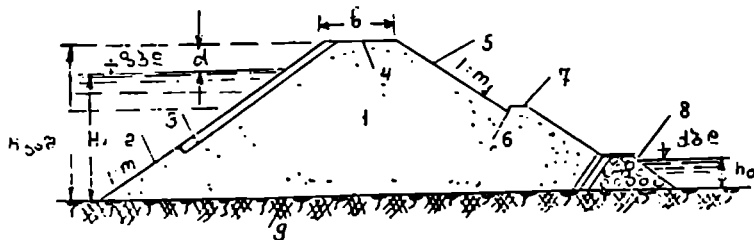


ნახ. 4.2—ნაყარი მიწის კაშხალის წყალგამტარი ფუძესთან შეუღლების ძირითადი სქემები: 1—კაშხალის ტანი; 2—წყალგამტარი გრუნტის შრე; 3—წყალგამტარი ფუძესთან კაშხალის მისაბრკენი კბილი; 4—წყალგამტარი ფუძე; 5—ელასტიკური ბირთვი; 6—დამცველი შრე; 7—ელასტიკური ეკრანი; 8—ნარანდი; 9—ძირული.

ასეთი კაშხალების კლდე:ნ გრუნტებზე აშენების შემთხვევაში ელასტიკური ბირთვის ნაცვლად ზოგჯერ აწყობენ ხისტ დიაფრაგმებს (პეტონის, რკინა-ბეტონის ან ლითონის მასალისაგან).

ნაყარი მიწის კაშხალებში ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ ხშირად ეწყობა აგრეთვე ელასტიკური ან ხისტი ეკრანები (ნახ. 4.1), რომელთა უპირატესობა ისაა, რომ ასეთ კაშხალებში წყლით გაღვნილია კაშხალის მოცულობის მეტად მცირე ნაწილი. გარდა ამისა, ეკრანები უფრო ხელმისაწვდომია დასათვალიერებლად და რემონტისათვის; ეკრანების ნაკლად ჩათვლება ის, რომ მის მოსაწყობად უფრო მეტი სამშენებლო მასალაა საჭირო. ვიდრე ბირთვისათვის და ამავე დროს ის უფრო მეტად განიცდის დეფორმაციას კაშხალისა და მისი ფუძის ჯდომის შემთხვევაში. ელასტიკური ეკრანებისათვის გამოიყენება იგივე გრუნტები, როგორსაც იყენებენ ელასტიკური ბირთვებისათვის. ელასტიკური ეკრანის სისქე მის ზედა ნაწილში არღება 0,6+0,8 მეტრი, ხოლო მის ძირში კი—საერთო დაწნევის ერთი მეათედი (მაგრამ არანაკლები 1,0-1,2 მეტრისა). ზედა ბიფის მხრიდან ელასტიკური ეკრანი დაფარული უნდა იყოს დამკველ-ბრეშოვანი ან ქვიშოვანი გრუნტის საფარით, სისქით არანაკლები განსახილველი რაიონისათვის დამახასიათებელი გაყინვის სიღრმისა, კაშხალის ფუძესთან ეკრანის შეუღლებას ახდენენ კბილით (ასეთი კბილი შეიძლება აშენდეს ეკრანისათვის გამოყენებული ელასტიკური მასალისაგან ან კიდევ ხისტი დიაფრაგმის სახით). საძირკვლის წყალგაუმტარი ფენის ღრმად განლაგების შემთხვევაში ნაყარი მიწის კაშხალს ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ ერთდროულად უწყობენ ეკრანს და ძირულს (ნახ. 4. 2).

როდესაც მშენებლობის ობიექტზე ერთგვაროვანი გრუნტი არასაკმარისი რაოდენობით მოიპოვება, მაშინ კაშხალის ასაშენებლად იყენებენ სხვადასხვა სახის გრუნტებს, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ნაკლებად წყალგამტარ გრუნტს აწყობენ კაშხალის ღერძიდან ზედა ფერდოს მხარეს, ხოლო წყალგამტარ გრუნტს კი (ქვიშა, ხრეში, ქვები) — ქვედა ფერდოს მხარეს.



ნახ. 4. 2—მიწის კაშხალის პროფილის ძირითადი ელემენტები: 1—კაშხალის ტანი; 2—კაშხალის ზედა ფერდო; 3—ფერდოს გამაგობა; 4—კაშხალის ზღურბლი; 5—ქვედა ფერდო; 6—კუევეტი; 7—ბეგი; 8—სადრენაჟო პრიზმა; 9—კაშხალის ძირი.

2. ნაყარი მიწის კაშხალის პროფილის შერჩევა გვეცოდინება რა კაშხალის ასაშენებლად გამოსაყენებელი გრუნტის სახეობა, შეგვეძლება შევარჩიოთ თვით კაშხალის განივი პროფილი (ნახ. 4. 3.) და მისი შემადგენელი ძირითადი ელემენტები: კაშხალის ზღურბლის სიგანე, ფერდობების დახრილობის კუთხე და მაქსიმალური ( $H_{\text{max}}$ ) სიმაღლე ქარისაგან გამოწვეული ტალღების სიმაღლის მხედველობაში მიღებით.

თუ კაშხალის ზღურბლი წარმოადგენს სავალ გზას, მაშინ მის სიგანეს (b) ნიშნავენ იმისდა მიხედვით, თუ რა კატეგორიის გზებს აერთებს განსახილველი კაშხალი; თუ კაშხალის ზღურბლზე ტრანსპორტით გავლა არ ხდება, მაშინ მის სიგანეს დაბალი და საშუალო კაშხალების შემთხვევაში ნიშნავენ 2. 5—3. 0 მეტრის ფარგლებში, ხოლო მაღლივ კაშხალებში კი — 6,0—8,0 მეტრის ფარგლებში. გზად გამოყენებული კაშხალის ზღურბლზე ეწყობა ქვით მოკირწყვლა ფსკერის წინასწარ მომზადებით ქვიშაზე ან კიდევ, როდესაც მასზე ტრანსპორტის ინტენსიური მოძრაობაა გათვალისწინებული, ბიტუმის საფარი. სასურველია ყველა ასეთი სამუშაო ჩატარდეს კაშხალის ტანის სრულყოფილად დაჯდომის შემდეგ, დაახლოებით მიწის ყრილის მოწყობიდან 2—3 წლის შემდეგ.

ნაყარი მიწის კაშხალის ზღურბლის ნიშნულის აღმატებას ზედა ბიფის წყლის საანგარიშო სტატიკური დონის მიმართ განსაზღვრავენ გამოსახულებით

$$d = h'_0 + \Delta h + a, \quad (4.1)$$

სადაც  $h'_0$  არის კაშხალის ზედა ფერდობზე ქარისაგან გამოწვეული ტალღის შეგორების სიმაღლე (მეტრობით) და გამოითვლება მეორე თავის. § 2.4-ში მოყვანილი ფორმულების საფუძველზე;  $\Delta h$  სიდიდის გამოსათვლელად ვსარგებლობთ  $CH$  и  $\Pi II-14-62$ -ით რეკომენდებული ფორმულით

$$\Delta h = \frac{KV_{10}^2 L}{3gH_1} \cos \alpha \quad (\text{მეტრობით}), \quad (4.2)$$

სადაც  $K$  კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია  $\frac{H_1}{\lambda}$  ფარდობის სიდიდეზე, აიღება  $6 \cdot 10^{-3}$  სიდიდის ტოლად;  $V_{10}$ —ქარის საანგარიშო ის მაქსიმალური სიჩქარეა მ/წმ-ობით, რომელიც გაზომილი იქნება წყალსაცავის წყლის ზედაპირიდან 10 მეტრის სიმაღლეზე (თუ წყლის ზედაპირიდან 2 მეტრის სიმაღლეზე გაზომილი სიჩქარის სიდიდე გვაქვს, მაშინ  $V_{10}$ -ის მისაღებად საჭიროა ორი მეტრის სიმაღლეზე გაზომილი ქარის სიჩქარის



რიცხვითი სიდიდე გადამრავლდეს 1.25-ზე);  $L$ —ტალის გავრცელების სიგრძე კმ-ობით;  $H_1$ —წყლის სიღრმე კაშხალის წინ მეტრობით;  $g$  —სიმძიმის ძალის აჩქარება მ/წმ<sup>2</sup>-ობით;  $\alpha$  —კუთხე ქარის მიმართულებასა და წყალსაცავის ღერძს შორის;  $a$  — კაშხალის სიმაღლის მარაგი და აილება  $0,7 \div 1.0$  მეტრის ფარგლებში.

კაშხალის ფერდოს დახრილობა აილება ყრილისათვის გამოყენებული გრუნტის მიხედვით, ასე, მაგალითად, IV კლასზე მიკუთვნებული 10 მეტრამდე სიმაღლის მქონე მიწის კაშხალებისათვის ფერდოების დახრილობა აილება ( $CH$  и  $П II - H4 - 62$ -ის მონაცემებით) 4. 1 ცხრილის მიხედვით. საერთოდ, რაც მაღალია ნაყარი მიწის კაშხალი, მით უფრო მდოვრე უნდა იყოს ფერდოების დახრილობა. ამასთანავე რომ არ მოხდეს კაშხალის ქვედა ფერდოს გამორეცხვა წვიმის ინტენსიური ნაკადების ზემოქმედებით, ქვედა ფერდოს ყოველი 10—15 მეტრის სიმაღლეზე ეწყობა 2—3 მეტრის სიგანის პორიზოტალური ბერმები (თუ ბერმებზე ტრანსპორტის მოძრაობაცაა გათვალისწინებული, მაშინ მათი სიგანე 5—6 მეტრზე ნაკლები არ უნდა იყოს), ხოლო მათ ფერდოსპირა ნაპირებთან კი (იხ. ნახ. 4. 3) — კუვეტები წვიმის წყლების შესაგროვებლად, რომლებიც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია კაშხალის ძირითად დამწრეტ სისტემასთან. ზოგჯერ, როგორც ფერდოს მოპირკეთების საყრდენ-სამაგრი ღონისძიებებერმებს ითვალისწინებენ აგრეთვე კაშხალის ზედა ფერდოზეც.

ცხრილი 4. 1.

კაშხალის ასაშენებლად გამოყენებული გრუნტების დასახელება	ფერდოების საერთო დახრილობა	
	ზედა ფერდოსი	ქვედა ფერდოსი
ქვიშოვანი	1:4.5 — 1:3.5	1:3.0 — 1:2.5
ხრეშოვანი	1:3.5 — 1:3.0	1:2.5 — 1:2.0
თიხოვანი	1:3.0 — 1:2.5	1:2.0 — 1:1.5

3. კაშხალის ტანში გრუნტის განაწილების ზოგიერთი თავისებურებანი. გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი პირობებისა, ნაყარი მიწის კაშხალების ნორმალურად და უავარიოდ ხანგრძლივად მუშაობა ბევრადაა დამოკიდებული კაშხალის ტანში გრუნტების სწორად განაწილებაზე და აგრეთვე მათი დატკეპნის ხარისხზე. ასე, მაგალითად, კარიერიდან მოზიდული გრუნტების კაშხალის ტანში ჩაწყობა (ჩაყრა) ისეთ-ნაირი თანმიმდევრობით უნდა მოხდეს, რომ მათ შეეძლოს წინააღმდეგობა გაუწიოს წყლის ფილტრაციულ დინებას კაშხალის განივი პოტოილის შუა კვეთამდე და, ამავე დროს, ხელს უწყობდეს ფილტრაციული წყლის გამო-

დინებას უშუალოდ ქვედა ფერდოს ძირში. შესაბამისად დავასკვნით, რომ კაშხალის განივი პროფილის ცენტრალური ხაზიდან მის ზედა მხარეს უნდა ჩაეწყოს და სათანადოდ დაიტკეპნოს ისეთი გრუნტები (თიხები), რომელთაც მცირე წყალგამტარობა აქვთ, ხოლო მის ქვედა მხარეს კი შედარებით წყალგამტარი გრუნტები.

კარიბრიდან მოზიდული გრუნტის ჩაწყობას კაშხალის ტანში ახდენენ გაფხვიერებულ მდგომარეობაში 20—25 სმ-ის ფენებად, ხოლო მათი დატკეპნა ხდება მუხლუხა ტრაქტორებით ან კიდევ სხვა ამგვარი ტიპის მძიმე წონის სატკეპნი მანქანებით. უკანასკნელ წლებში გამოყენებაშია აგრეთვე ისეთი სიმძლავრის მქონე პნევმატიკური სატკეპნი მანქანები, რომლებთაც შეიძლება საკმაოდ ხარისხიანად დაიტკეპნოს 0,8—1,0 მეტრი სისქის მქონე გრუნტის ფენა. გრუნტის ხარისხიანად დატკეპნისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე მის ოპტიმალურ ტენიანობას, რომელიც თავის მხრივ, დამოკიდებულია გრუნტის სახეობაზე და სატკეპნი მანქანის წონაზე. გრუნტის ტენიანობას განსაზღვრავენ ექსპერიმენტულად—ლაბორატორიულ ან კიდევ საველე პირობებში.

მაგალითისათვის აღვნიშნავთ, რომ თიხნარების მაღალხარისხოვან დატკეპნას ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც გრუნტის ტენიანობა, ექვსტონიანი სატკეპნის გამოყენების შემთხვევაში, შეადგენს 12—16%-ს. უფრო მძიმე წონის სატკეპნების გამოყენებისას გრუნტის ოპტიმალური ტენიანობის მოთხოვნილი პროცენტი მცირდება, ხოლო უფრო მსუბუქი სატკეპნების გამოყენებისას კი, პირიქით,—იზრდება.

კაშხალის ტანში გრუნტის დატკეპნის ხარისხს ახასიათებენ გრუნტის ფორიანობით ან კიდევ მისი მოცულობითი წონით, რომლის სიდიდეს წინასწარ უშვებენ ნაყარის სიმაღლისა და მისი წონის მიხედვით. შესაბამისად, რადგან კაშხალის ტანის სხვადასხვა სიმაღლეზე გრუნტზე დატვირთვა ცვალებადია, ამიტომ კაშხალის ცალკეული უბნისათვის დატკეპნის ხარისხის მაჩვენებელი სიდიდის წინასწარ დანიშვნა უნდა მოხდეს იმისდა მიხედვით. თუ რა წონისაა კაშხალის განსახილველ სიბრტყეს ზემოთ მოთავსებული გრუნტი.

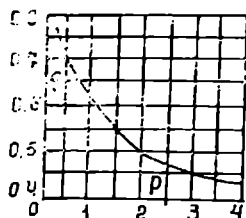
განსახილველი შემთხვევისათვის გამომშრალი გრუნტის მოცულობითი წონა

$$\gamma_0 = \gamma(1 - \mu), \quad (4.3)$$

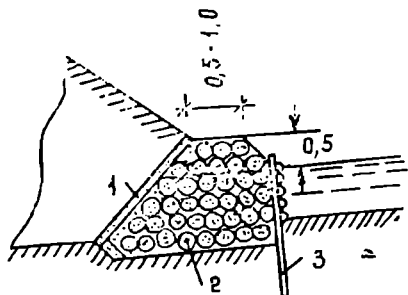
სადაც  $\gamma$  არის გრუნტის ხვედრითი წონა (2. 6 ÷ 2. 7),  $\mu = \frac{\epsilon}{\epsilon + 1}$  ფორიანობა, ხოლო  $\epsilon$  — ფორიანობის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 4.4 ნახ. — დან შემდეგი მოსაზრებით: ვერტიკალურ სიბრტყეში დავყოფთ რა კაშხალს 5—7 პეტრის მქონე სისქია ჯენებად, განვსაზღვრავთ ყოველი ფენისათვის

მათზე მოსულ მაქსიმალურ დატვირთვებს ( $P_1 = \gamma_1 h_1$ ;  $P_2 = \gamma_2 h_2$  და ა. შ.), ხოლო მათ შესაბამის ფორიანობის გამომსახველ  $e$  კოეფიციენტს კი დავადგენთ 4.4 ნახ.-დან; თავის მხრივ, გვეცოდინება რა  $e$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობა, (ი.3), ფორმულით გამოვავლით (ცალკეელი ფენისათვის) კაშხალის ტანში ჩაწყობილი გრუნტის ფაქტიურ მოცულობით წოიას.

4. სადრენაჟო მოწყობილობა. კაშხალის ტანში დეარჟაჟის არტელია მდებარეობის დაწვევა სიბრტყეა ძირითადი ქვედა უბანში აწყობენ დრენაჟს, რაც, თავის მხრივ, საშუალებას იძლევა გამოვრიცხოთ როგორც ქვედა ფერდოს ჩამოცურება, ასევე ფილტრაციული ნაკადის მიერ კაშხალისა და მისა



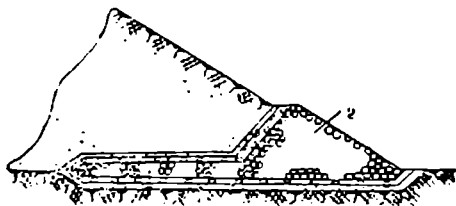
ნახ. 4.4 — დამოკიდებულების გრაფიკი  $e = f(P)$



ნახ. 4.5 — ფიხკონისაგან შემდგარი სადრენაჟო პრინციპული სქემა: 1—ხალის საფენი სიღრმით 15—20 სმ; 2—ფიხკონა; 3—დაწნული კედელი.

კაშხალის ტანში დრენაჟის განლაგების თვალსაზრისით განასხვავებენ შიგა (ნახ. 4.5—4.7), გარე (ნახ. 4.8) და კომბინირებულ (ნახ. 4.9—4.11) ტიპის დრენაჟებს. თავის მხრივ ნებისმიერი ტიპის დრენაჟი შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: მიმღები უბნისაგან, რომელიც სრულდება უკუფილტრის სახით და გამყვანი უბანი, რომლის დანიშნულებაცაა ფილტრაციული წყლის

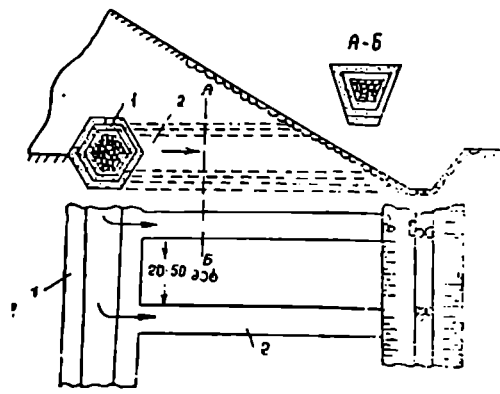
ფუტიდან გრუნტის მცირე ნაწილაკების გამორეცხვა. კაშხალის პროფილის ქვედა უბანში დრენაჟის მოწყობა განსაკუთრებით აუცილებელია იმ შემთხვევაში, როდესაც საძირკვლის შექცეული გრუნტი, კაშხალის ტანის გრუნტთან შედარებით, უფრო წყალგამტარია.



ნახ. 4.6 — სადრენაჟო ლიბის კონსტრუქცია: 1—სადრენაჟო ლიბი; 2—სადრენაჟო პრიზმა.

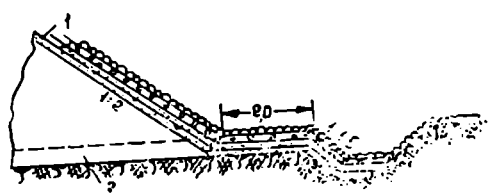
გატარება კაშხალის ტანიდან ქვედა ბიეფისაკენ; ღრენაჟის გამყვანი უბანი წარმოადგენს ლორღის, კენჭის და ხრეშით შევსებულ მილებს ან კი-

დეე თხრილებს. თავის მხრივ, ეგრეთწოდებული შიგა ღრენაჟის კონსტრუქციები შეიძლება მოეწყოს საღრენაჟო პრიზმის (ნახ. 4.5), საღრენაჟო ლეიბის (ნახ. 4.6) ან კიდევ მილისებრი (ნახ. 4.7) ღრენაჟის სახით. ყოველი საღრენაჟო მოწყობილობის ნორმალური ექსპლუა-



ნახ. 4.7 — დახურული (მილისებრი) ღრენაჟის კონსტრუქცია: 1—გრძივი საწრეტი; 2—განივი საწრეტი.

ტაციისათვის აუცილებელია, რომ ის ხელმისაწვდომი იყოს დასათვალიერებლად და რემონტისათვის და ამავე დროს მასზე დადგმული იყოს სათანადო ხელსაწყოები ფილტრაციული ხარჯის და წყლის დონეთა გასაზომად.

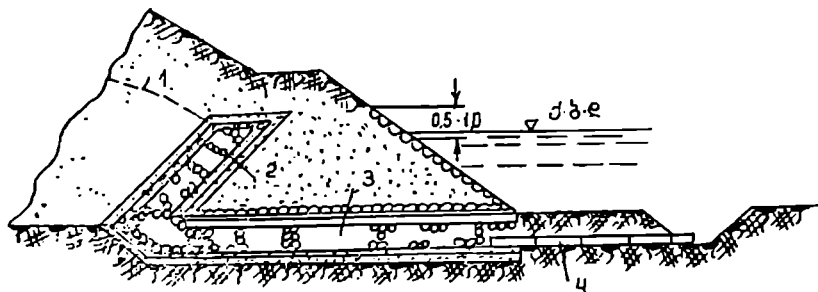


ნახ. 4.8 — შენობანი ღრენაჟის სქემა: 1—შობის საფარი; 2—ზედაპირული უაწორმასწორო ფენის მოსახსნელი სიღრმე (40—60 სმ).

ქვემოთ განვიხილავთ ყველა შემთხვევაში დასახელებული ღრენაჟის ნაირსახეობას მათი კონსტრუქციული შესრულების თვალსაზრისით.

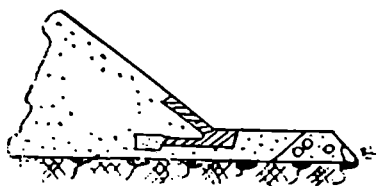
4.5 ნახ.-ზე ნაჩვენებია ფიჩხკონისაგან შესრულებული საღრენაჟო პრიზმა, ხოლო 4.6 ნახ.-ზე კი—კაშხალის ქვედა ფერდოს ძირთან ქვებისაგან მოწყობილი საღრენაჟო ტრაპეციოდალური პრიზმა, რომელსაც როგორც კაშხალის, ასევე მისი ძირის მხრიდან მიერთებული აქვს სამფენოვანი უკუფილტრები და რომლებიც შედგება თანმიმდევრობით გამსხვილებული ფრაქციების ცალკეული ფენისაგან (სილა, ქვიშა და წვრილი ღორღი). ასეთი სახის საღრენაჟო პრიზმები ჩვეულებრივად შედგება 5—30 სმ ზომის, ქვებისაგან, რომლებიც მშენებლობის დროს ისეთნაირად უნდა განაწილდეს, რომ უკუფილტრების მხარეს დალაგდეს წვრილი ქვები, ხოლო მათ

საწინააღმდეგო მხარეს კი—მსხვილი ქვები. ფილტრებისათვის გამოყენებული მასალები, როგორც წესი, სათანადოდ უნდა გაირეცხოს (რათა მათში არ მოხდეს ლამისა და თიხის ნაწილაკები) და დახარისხდეს იმ თვალსაზრისით, რომ უკუფილტრის შემდგომი ფენის შემცველი გრუნტის ნაწილაკების სიმსხო მისი წინა ფენის ნაწილაკების სიმსხოზე საშუალოდ ხუთჯერ მეტი იყოს; ასე, მაგალითად. უკუფილტრის პირველი ფენა თუ შედგება წვრილი ქვიშააგან, რომლის შემცველი ნაწილაკების საშუალო დიამეტ-

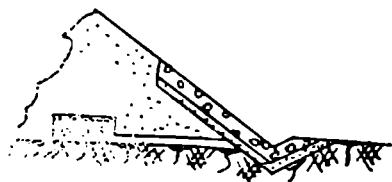


ნახ. 4.7 — დახრილ-პირიზონტალური ტიპის ღრენაი.

რი 0,6 მმ-ია. მაშინ შემდგომი მეორე ფენა უნდა შეიცავდეს მსხვილი ქვიშის გრუნტის არაუმცირეს 3 მმ დიამეტრის ცალკეულ ნაწილაკებს. ხოლო მესამისა კი—15 მმ დიამეტრის ხრეშის კენჭებს. ფილტრის ცალკეული ფენის სისქე აიღება არანაკლებ 15—20 სმ. ასეთი სახის საღრენაეო პრიზმების მოწყობის შემთხვევაში პრიზმის ზედა ნაწილის ნიშნული, ქვედა ბიფის მაქსიმალურ დონესთან შედარებით, საშუალოდ 1 მეტრით მაღლა უნდა დანიშნოს, ხოლო თვით საღრენაეო პრიზმის დახრილობა კი— $\geq 1$  1-ზე 4.5 და 4.6 ნახ.-ზე ნაჩვენები საღრენაეო პრიზმები, გარდა თავისი ძირითადი დანიშნულებისა, წარმოადგენს აგრეთვე საყრდენ საშუალებას კაშხალის ქვედა ფერდოსათვის.



ნახ. 4.10 — კომბინირებული ტიპის სოლისებრი ღრენაი.



ნახ. 4.11 — კომბინირებული ტიპის ღრენაი წყალგამტარი თხრილით.

როდესაც მშენებლობის რაიონში ხრეშის ნაკლებობაა, გამოიყენება 4.7 ნახ.-ზე ნაჩვენები დახურული (მილისებრი) ტიპის ღრენაეი. ღრენაეის ამ კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია სილით და ქვიშით შევსებუ-

ლი გრძობი 1 და განივი 2 საწრეტები: განივი საწრეტები ეწყობა გრძობი საწრეტების მართობულად ყოველ 20—40 მეტრში.

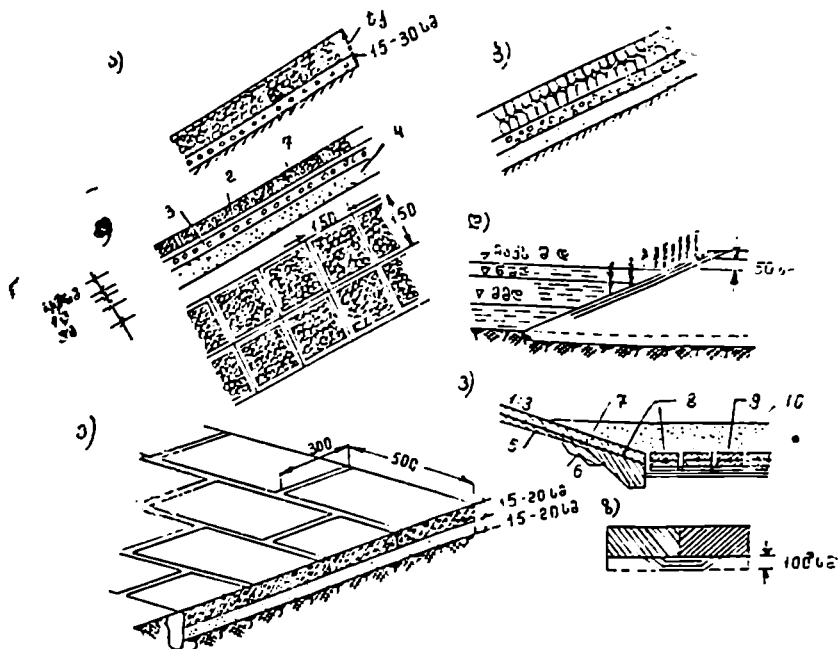
კაშხალის ქვედა ფერდოს ქვედა ნაწილის სადრენაჟო საფარის კონსტრუქციულად შესრულების სქემა მოცემულია 4.8 ნახ.-ზე, სადაც სადრენაჟო საფარი წარმოადგენს ერთმაგი მოკირწყვლით დაფარულ სამფენოვან უკუფილტრს (პირველი ფენა—ქვიშა, მეორე—ხრეში, მესამე—კენჭები); ამ სახის დრენაჟი შეიძლება გამოვიყენოთ შედარებით დაბალი კაშხალები სათვის იმ რაიონებში, სადაც ქვის ნაკლებობაა და კლიმატი ზომიერი. ამ კონსტრუქციის დრენაჟის დადებით მხარედ ჩაითვლება მისი სიმარტივე და რემონტის ადვილად ჩატარების შესაძლებლობა ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში.

4.9 ნახ.-ზე ნაჩვენები დახრილ-ჰორიზონტალურ დრენაჟში კაშხალის ტანიდან დაწრეტილი ფილტრაციული წყალი მიღების მეშვეობით ჩაედინება თხრილში, რომელსაც, როგორც წესი, თითქმის ყოველთვის ითვალისწინებენ კაშხალის ქვედა ფერდოს ძირთან. ამ კონსტრუქციაში დახრილი დრენაჟის ზედა ნაწილის ჩაღრმავება კაშხალის ქვედა ფერდოს ზედაპირიდან უნდა დაინიშნოს მეტი ან ტოლი გაყინვის სიღრმისა, ხოლო ქვების წყობის სისქე კი (როგორც დახრილ, ასევე ჰორიზონტალურ დრენაჟებში) — 50-დან 150-სმ-მდე. დრენაჟის ეს კონსტრუქცია ჩვეულებრივ სადრენაჟო პრინციპთან შედარებით, მართალია, რთული და შესასრულებლად შრომატევადია, მაგრამ მოითხოვს შედარებით ნაკლები რაოდენობის ქვებს და ამავე დროს უავარიოდ მუშაობს ზამთრის თვეების ნებისმიერი ტემპერატურის პირობებში.

დაბოლოს, კომბინირებული ტიპის დრენაჟები (ნახ. 4.10 და ნახ. 4.11) გამოიყენება იმ შემთხვევაში. როდესაც აუცილებელია კაშხალის ქვედა ფერდოს დაცვა ქვედა ბიეფში არსებული ტალღური ზემოქმედებისაგან.

5. ფერდობის გამაგრება. წყალსაცავში წარმოქმნილი ტალღების, ყინულის ან სხვა კლიმატური ფაქტორებისაგან გამოწვეული დამანგრეველი შედეგების თავიდან აცილების მიზნით მიწის კაშხალის ზედა ფერდოს ამაგრებენ სხვადასხვა სახის კონსტრუქციებით. გამაგრებას უმეტესად იწყებენ კაშხალის ზღურბლიდან და ამთავრებენ წყალსაცავის დაცლის მინიმალური დონის ქვემოთ იმ სიღრმემდე, რომელიც უდრის იმავე მინიმალური დონის შესაბამისი ტალღის გაორკეცებულ სიღრმეს.

ჰილოტექნიკურ პრაქტიკაში განიხილავენ გამაგრების შემდეგ სახეობას: ქვის, ბეტონის, რკინაბეტონის, ასფალტობეტონის და ა. შ. ქვებით ფერდოს გამაგრებას ახორციელებენ ქვების დაყრით ან წინასწარ მომზადებულ სილა-ხრეშოვან ფუძეზე ქვებით მოკირწყვლით (ნახ. 4.12, ა და 4.12, ბ); ამ სახის გამაგრებაში გამოყენებული ქვები სათანადო სიმკვრივის, სიმტკიცის და ყინვაგამძლეობის უნდა იყოს. სახელდობრ, ამ



ნახ. 4.12—მიწის კაშხალების ზედა ფერდობის გამაგრების სხვადასხვა ვარიანტები: ა—ნაყარი ქვებით; ბ—ორმაგი მოკიორწყვლით; გ—ქვებით შევსებული ბეტონის ყუთებით; დ—ბუჩქნარების დარგვით; ე—ბეტონის ფილებით; ვ—ვეროლოს ქვედა—ბოლო ნაწილის გამაგრების სქემა; ზ—ნაყარის ქვეშ მოწყობილი ე.ე. ფილტრის სქემა; 1—ნაყარი ქვა; 2—დაბალიაბეჭედი ქვა; 3—სილა-ქვიშოვანი ფენა; 4—სილა; 5—ფილა; 6—უკუფილტრი; 7—აღდენაყო ხვრეტები; 8—ლითონის არმატურა; 9—რკინა ბეტონის ფილები; 10—მიწის უკუდაყრა ფილებზე, მათი მდგრადობის მიზნით.

მიზნისათვის გამოსაყენებელი ქვების გეომეტრიული ზომები და წონითი მახასიათებლების დადგენა 4.2 ცხრილის საფუძველზე უნდა მოხდეს.

ცხრილი 4.2

ტალღის სიღრმე, მეტრობით	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
ქვის წონა, კგ-ობით	2,5	8	16	31	52
ქვის საშუალო დიამეტრი, მეტრობით	13	18	23	29	34
კლბის წიბო, მეტრობით	10	14,5	19,5	23	27

ამ შემთხვევაში ფერდოს გასამაგრებლად საჭირო ქვების ფენის  $E_p$  სისქე დაინიშნება  $CH$  и  $III - II - 4 - 62$ -ის მიხედვით, შემდეგი პირობიდან გამომდინარე

$$t_3 \geq (2,5 + 3,0) D,$$

(4.4)

სადაც

$$D = \left( \frac{G}{0,524\gamma_3} \right)^{1/3};$$

$\gamma_3$  — ქვის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;

$G$  — წყობაში გამოყენებული ცალკეული ქვის საანგარიშო წონა, ტონობით.

როცა კაშხალი შედარებით მცირე სიმაღლისაა (5 მეტრზე,  $\leq$ ), მაშინ კაშხალის ზედა ფერდოს გასამაგრებლად ნაყარი ქვების ნაცვლად უმეტესად იყენებენ ქვით მოკირწყვლას (ნახ. 4.12, ე). ამ შემთხვევაში ქვით მოკირწყვლის ფენის სისქეს —  $t_{\text{მ.კ.}}$  — ანგარიშობენ პ. შანკინის მიერ რეკომენდებული ფორმულით.

$$t_{\text{მ.კ.}} = 1,7 \frac{\gamma}{\gamma_3 - \gamma} \frac{\sqrt{1 + m^2}}{m(m + 2)} C \quad (4.5)$$

სადაც  $\gamma$  არის წყლის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>-ობით,  $m$  — ზედა ფერდოს დახრილობის კოეფიციენტი, ხოლო  $C$  — ტალღის სიმაღლე მეტრობით.

უმეტესად, შედარებით მაღალი კაშხალების შემთხვევაში, ზედა ფერდოს გამაგრებას ასრულებენ 8—20 სმ სისქის და 150 X 150 სმ-დან 500 X 300 სმ-მდე ზომის ბეტონის, რკინა-ბეტონის მონოლითური (ადგილზე შესრულებით) ან კიდეც ანაკრები რკინა-ბეტონის ფილებით (ნახ. 4. 12, ე). ასეთი სახის ფილებს აწყობენ უკუფილტრის პრინციპზე მომუშავე სილა-ქვიში-საგან წინასწარ მომზადებულ ფუძეზე. ფილები ერთიერთშორის დაკავშირებულია სახსრულად მომუშავე ლითონის ლეროებით; მონოლითური რკინა-ბეტონის გამაგრება კი ეწყობა დიდი ზომის (500 X 500 სმ და უფრო მეტი) ფილებით, რომელთა შორის დარჩენილი სივრცეები ივსება ასფალტ-ბეტონით ან კიდეც ფასონური რეზინით; ფილებს შორის დარჩენილი ღია ნაკერების ასფალტბეტონით შეუვსებლობის შემთხვევაში აუცილებელია ასეთი ნაკერების ქვეშ მოეწყოს უკუფილტრები (ნახ. 4. 12, ზ).

ფერდოს გასამაგრებლად გამოყენებული ბეტონის ფილების სისქე შეიძლება ვიანგარიშოთ პ. შანკინის ფორმულით.

$$t_{\text{ფ}} = 0,1 C \sqrt{\frac{1}{\gamma_b - 1} \frac{\lambda}{mb}}, \quad (4.6)$$

სადაც  $C$  არის ტალღის სიმაღლე,  $\lambda$  — ტალღის სიგრძე,  $\gamma_b$  — ბეტონის მოცულობითი წონა,  $b$  — ფილის ზომა ფერდოს დახრილობის მიმართულებით, ხოლო  $m$  — ფერდოს დახრილობის კოეფიციენტი.



ზოგჯერ მიწის კაშხალის ზედა ფერდოს გამაგრებას აწარმოებენ ქვე-  
ბით შევსებული ბეტონის ყუთებით (ნახ. 4. 12, გ) ან კიდევ ასფალტ-ბეტო-  
ნით (როცა ფერდოს დახრილობა  $\geq 1:2$ -თან); ასფალტ-ბეტონის გამაგრე-  
ბის  $\delta$  სისქე დამოკიდებულია ზედა ბიეფის წყლის  $H$  სიღრმეზე და აიღე-  
ბა შემდეგ ფარგლებში:

$$H \text{ (მეტრობით)} = 10; 20; 50.$$

$$\delta \text{ (სმ-ობით)} = 6; 8; 12.$$

შედარებით დაბალი მიწის კაშხალების ზედა ფერდოების გამაგრებას  
ზოგჯერ აწარმოებენ მათზე ბუჩქნარი ტიპის ხეების დარგვით (ნახ. 4. 12, დ)  
ან კიდევ მათ ექვლევით მეტად მღოვრე დახრილობა, როგორც ეს მაგალითი-  
სათვის მოცემულია 4. 3 ცხრილში. რაც შეეხება ასეთი კაშხალების ქვედა  
ფერდოებს, მათ გამაგრებას ახდენენ მობელტვით, ბალახის დათესვით ან  
კიდევ მოხრეშეთ (15—20 სმ ფენით).

ცხრილი 4. 3

კაშხალის ფერდოებისათვის გამოყენე- ბული გრუნტები	ზედა ფერდოს დახრილობის კოეფიციენტი, როდესაც ტალღის სიმაღლე შეადგენს (მეტრობით):			
	0,5	1,0	1,5	2,0
ხრეში	4,5	6,0	7,5	9,5
ქვიშა	5,0	7,0	9,0	11,0
საშუალო მარცლოენი ქვიშა	6,5	9,0	11,0	13,0
სილა	7,0	10,0	13,0	15,0
თიხნარი	7,5	10,5	15,0	19,0

#### § 4. 8. მონალეჟი და ნახევრად მონალეჟი მიწის კაშხალები

მონალეჟი და ნახევრად მონალეჟი მიწის კაშხალების ასაშენებლად სა-  
ჭირო გრუნტის დასამუშავებლად გამოიყენება ევრეთწოდებული ჰიდრაუ-  
ლიკური ანუ, როგორც მას ხშირად უწოდებენ, ჰიდრომექანიზაციის წესი;  
აქვე უნდა გვახსოვდეს, რომ გრუნტის დამუშავების ეს წესი მონალეჟ კაშ-  
ხალებში გამოიყენება მთლიანად, ხოლო ნახევრად მონალეჟ კაშხალებში  
კი—ნაწილობრივ. პირველ შემთხვევაში საშენებლო პროცესი შედგება  
შემდეგი სამი ძირითადი სამუშაოსაგან.

1. გრუნტის დამუშავება კარიერში;
2. დამუშავებული გრუნტის გადატანა მშენებლობის ადგილზე;

7. ბ. ჩიკვაშვილი.

3. მათი ჩაყრა კაშხალის ტანში.

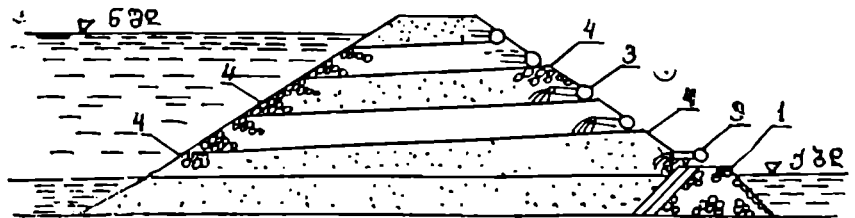
ნახევრად მონალექ მიწის კაშხალებში აქ ჩამოთვლილ სამუშაოთა სამ ძირითად სახეობას ემატება მეოთხე—კაშხალის ტანში ჩაყრილი გრუნტის დატეკვნა.

ასეთი ტიპის კაშხალების დაპროექტებისათვის ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა წინასწარ ვიცოდეთ მშენებლობის რაიონში დასალექად ვარგისი გრუნტის და აგრეთვე მის დასამუშავებლად და ტრანსპორტირებისათვის საჭირო წყლის საკმარისი რაოდენობით არსებობა.

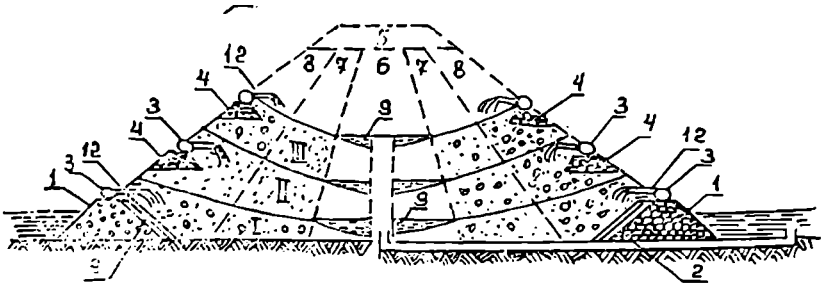
მონალექი მიწის კაშხალების ასაშენებლად, ძირითადად, გამოიყენება ქვიშნარი გრუნტები. თიხნარი გრუნტების გამოყენება უნდა დასაბუთდეს ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე. ხრეშოვანი გრუნტები კი ვარგისად უნდა ჩაითვალოს მისაბრჯენი პრიზმების მოსაწყობად.

კარიერებში გრუნტის დამუშავებას აწარმოებენ ჰიდრომონიტორებით შექმნილი დიდი ძალისა და სიჩქარის ( $\geq 50$  მ/წ) მქონე წყლის ჰველით, ხოლო თვით წყლის ქვეშ კი — სპეციალური შექმნილი მანქანებით; ამ პროცესის შედეგად გათხიერებული გრუნტის მასის (წყლის ყოველი ერთეული მოცულობა უნდა შეიცავდეს 10—15% გრუნტის მასას წონით მაჩვენებლებში) მიწოდება უშუალოდ კაშხალის მშენებლობის ადგილზე წარმოებს ან უდაწნეო ღარებით (თხრილებით), ან კიდევ დაწნევიანი მალსადენებით.

მოლექვას აწარმოებენ 200—400 მეტრი სიგრძის და 100—200 მეტრი სიგანის ცალკეულ უბნებად. მოლექვა შეიძლება ჩატარდეს კაშხალის ტანის პროფილის ერთ-ერთი (ნახ. 4. 13) ან კიდევ ორივე (ნახ. 4. 14) ნაპირიდან. ორევე შემთხვევაში მშენებლობის დასაწყის პერიოდში პულვსატარები იდგმება ამ მიზნისათვის სპეციალურად მოწყობილ მისაბრჯენ პრიზმებზე. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ პულვსატარების გამომშვები მილყულების თანდათანობით დაგრძელებით პულვსატარის დგომის ერთი პოზიციიდან შეიძლება შესრულდეს მოლექვის სამუშაოები კაშხალის ტანის



ნახ. 4.13—მიწის კაშხალის პროფილის ერთი მხრიდან მოლექვის მიმდინარეობის ზოგადი სქემა: 1—ქვის პრიზმა; 2—უეფილტრი; 3—პულვსატარი; 4—მოზენის დამბები; 2—ნაყარი გრუნტი.



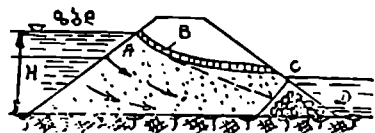
ნახ. 4. 14—მიწის კაშხალის პროფილის ორივე მხრიდან მოლეკვის მიმდინარეობის ზოგადი სქემა. I, II, III მოლეკვის ცალკეული იარუსები: 1—მილსაბჯენი პრიზმები; 2—ფილტრები; 3—დაწნევიანი პულსატარები; 4—მოზინების დამბები; 5—წყარი გრუნტი; 6—წყალგამტარი ბირთვი; 7—შუალედური პრიზმები; 8—გვერდითი პრიზმები; 9—შუალედური გუბერები (სალუქარები); 10—წყალსაგდები ჰა; 11—წყალგამყვანი მილი; 12—პულსატარების მილყულები.

2—6 მეტრის სიმაღლეზე. დამთავრდება რა პულსატარების დადგობის ასეთი პოზიციიდან კაშხალის ტანის პირველი იარუსის მშენებლობა, პულსატარები გადააქვთ შექმდეგი იარუსის (II, III და ა. შ.) დამბებზე და მოლეკვის პროცესს იმეორებენ ხელახლა პირველი იარუსის ანალოგიურად.

#### § 4. წყალგაუმტარ ფაქიანი აგებული მიწის კაშხალის ფილტრაციული გაანგარიშება

1. ზოგადი მიმოხილვა. კაშხალით შექმნილი წყლის დაწნევის გავლენით ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ ადგილი აქვს წყლის ფილტრაციულ დინებას როგორც თვით კაშხალის ტანში, ასევე მის ფუძეში (თუ ის წყალგამტარია). ამგვარად, კაშხალის ტანის ნაწილი გაუღნითილია წყლით და მის ფორებში ხდება წყლის გაღნება, ამ შემთხვევაში ფილტრაციის არის ზედა ზღვარი იქნება ხაზი AC (ნახ. 4. 15), რომელიც

დებრესიის მრუდის სახელწოდებითაა ცნობილი. კაშხალის ტანში, დებრესიის მრუდის ქვემოთ, გრუნტის ყველა ფორი შევსებულია ამა თუ იმ სიჩქარით გამდინარე ფილტრაციული წყლით. დებრესიული მრუდის ზემოთ გან-



ნახ. 4. 15 — კაშხალის ტანში წყლის ფილტრაციის ზოგადი სქემა.

ლაგებულია წყლის ცაპილარულად აწევის ზონა, სადაც წყლით შევსებულია გრუნტის მხოლოდ წვრილი ფორები — ე.წ. კაპი-

ლ ა რ ე ბ ი. დეპრესიის მრუდის ზემოთ წყლის კაპილარული აწვევის სიმაღლე დამოკიდებულია თვით გრუნტის კაპილარულ მახასიათებლებზე; ასე, მაგალითად, ქვიშნარ ფრუნტებში კაპილარული აწვევის სიმაღლე 5—15 სმ-ს შეადგენს, თიხნარებში კი 0,5-დან 1 მეტრამდე აღწევს. დეპრესიის მრუდის ადგილმდებარეობა და წყლის კაპილარული აწვევის სიმაღლე, როგორც წესი, იცვლება ზედა და ქვედა ბიეფების დონეთა ცვალებადობასთან ერთად. თუ  $AC$  დეპრესიის მრუდი გამოდის კაშხალის ქვედა ფერდოზე  $C$  წერტილში, მაშინ ამ უბანში ადგილი ექნება წყლის ფილტრაციულ გამოდინებას რაღაც ნარჩენი დაწნევით, რაც, თავის მხრივ, იწვევს გრუნტის შემცველი ცალკეული ნაწილაკის მდგრადობის დაკარგვას (სუფოზიას) და შემდგომ კაშხალს ქვედა ფერდოს დანგრევას. ამ მოსაზრებით კაშხალის მდგრადობისათვის ასევე საშიშია წყლის კაპილარული აწვევა დეპრესიის მრუდის ზემოთ, რადგან ზამთრის პირობებში ( $-15^{\circ}C$  უფრო დაბალ ტემპერატურაზე) კაპილარებში აწეული წყლის გაყინვა ხელს უწყობს კაშხალის ტანში ბზარების გაჩენას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება დაეასკვნათ, რომ დეპრესიის მრუდის გამოსვლა უშუალოდ კაშხალის ქვედა ფერდოზე დაუშვებელია. ამიტომ კაშხალის ტანიდან და მისი ფსკერიდან ქვედა ბიეფისაკენ გამავალი ფილტრაციული წყლის გატარება სასურველია მოხდეს სადრენაჟო მოწყობილობის—სადრენაჟო პრიზმის—გავლით, რომლის დროსაც დეპრესიის მრუდი (ნახ. 4. 15) უფრო მკვეთრი დახრილობა აქვს, ვიდრე  $AC$  მრუდს და ამიტომ ასეთ პირობებში კაშხალის ქვედა ფერდო ზამთარში არ გაიყინება, ზაფხულში კი არ იქნება გაჯერებული ფილტრაციული წყლით.

შესაბამისად, მიწის კაშხალების გაანგარიშება ფილტრაციაზე ითვისებისწინებს დეპრესიის მრუდის ადგილმდებარეობის დადგენას და ფილტრაციული წყლის ხარჯის განსაზღვრას როგორც თვით კაშხალის ტანში, ასევე მისი ფუძის გასწვრივ.

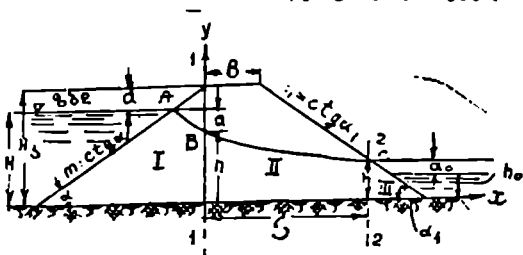
ფილტრაციის საკითხებთან დაკავშირებულ ყველა ქვემოთ მოყვანილ მსჯელობაში გამოყენებულია გრუნტის წყლების მოძრაობის ძირითადი (დარსის) კანონი, რომელიც გულისხმობს, რომ გრუნტის წყლების მოძრაობის  $V$  სიჩქარე პროპორციულია მისი პიეზომეტრიული  $j$  ქანობის—გრადიენტის და ტოლია  $V = K i$  ( $K$  არის ფილტრაციის კოეფიციენტი მ/დღე-ღამეში).

ქვემოთ განვიხილავთ ფილტრაციულ გაანგარიშებებს კაშხალის პროფილის დაპროექტების ცალკეული კერძო შემთხვევისათვის.

2. წყალგაუმტარ ფუძეზე აშენებულ მიწის კაშხალების ფილტრაციული გაანგარიშება ნ. პავლოვსკის მეთოდით. განსახილველ შემთხვევაში ნ. პავლოვსკი კაშხალის ტანში გამავალ ფილტრაციულ ნაკადს ყოფს სამ დამახასიათებელ უბნად (ნახ. 4.16): წინა უბანი, რომელიც შემოფარგლულია კაშხალის ფერდოთი და კაშხალის ზღურბლის წიბოზე გამავალი 1—1 კვეთით; შუალედური უბანი, რომელიც მოთავსებულია 1—1 და ქვედა ფერდოს C წერტილში გატარებულ 2—2 კვეთებს შორის; ბოლო უბანი — კაშხალის ქვედა ფერდოსა და 2—2 კვეთს შორის მოთავსებული უბანი. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ყველა ეს უბანი ჰიდრავლიკურად უწყვეტ კავშირშია, რადგან ყოველი მათგანი ატარებს ერთნაირი სიდიდის ფილტრაციულ  $q$  ხარჯს.

4.16 ნახ.-ის თანახმად, წინა უბანში ადგილი აქვს წნევის კარგვას, რომელიც ტოლია  $a = H - h_1$ ; შუალედურ უბანში შეიმჩნევა უთანაბრო ნელა ცვალებადი ძრაობა და ამიტომ განსახილველ უბანში დეპრესიის მრუდი დაცემის წირს გამოსახავს; ბოლო უბანში კი, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალია (ე. ი.  $h_2 = 0$ ), გამოიყოფა ფილტრაციული დინების ორი — ზედა და ქვედა ზონა, სახელდობრ:

ზედა ზონა (ნახ. 4.16) — C წერტილიდან ქვედა ბიეფში წყლის



ნახ. 4.16 — ერთგვაროვანი მიწის კაშხალის ტანში ფილტრაციული დინების ზოგადი სქემა.

დონემდე, სადაც ფილტრაციული წყლის  $q_1$  ხარჯის გამოდინება ხდება ატმოსფეროში;

ქვედა ზონა — ქვედა ბიეფში წყლის დონიდან კაშხალის ძირამდე, სადაც ფილტრაციული წყლის  $q_2$  ხარჯის გამოდინებას ადგილი აქვს ქვედა ბიეფის მხრიდან შეტბორილ მდგომარეობაში.

შესაბამისად, კაშხალის ტანიდან გამოდინებული ხვედრითი ფილტრაციული ხარჯი

$$q = q_1 + q_2 \quad (4.7)$$

ხოლო ამ ხარჯის გასატარებლად საჭირო დაწნევის  $h_1$  სიდიდე 2—2 კვეთში (ნახ. 4.16) ტოლია

$$h_1 = a_0 + h_0. \quad (4.8)$$

თუ ქვედა ბიეფში წყალი არაა, ე. ი. როდესაც  $h_0 = 0$ , მაშინ C წერტილის ადგილმდებარეობა განისაზღვრება  $a_0$  სიღიღით და ამიტომ (4.8) გამოსახულება ასეთნაირად გადაიწერება

$$h_1 = a_0. \quad (4.9)$$

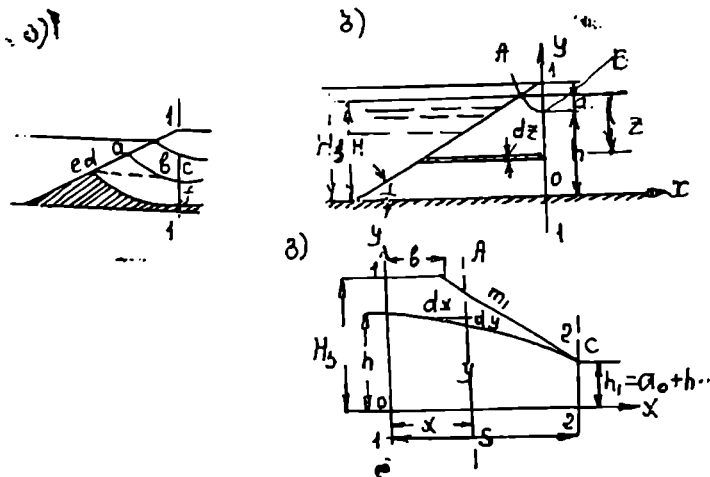
ამგვარად დაყოფილი კაშხლის პროფილის ცალკეული უბნისათვის ქვემოთ განვიხილავთ ფილტრაციული დინების განტოლებების გამოყენას იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალია ე. ი.  $h_0 \neq 0$ .

ა) კაშხლის პროფილის წინა უბნისათვის ფილტრაციული დინების გასანგარიშებელი განტოლებების გამოსაყენად ნ. პავლოვსკიმ მრუდხაზოვანი ქველი (ნახ. 4. 17, ა) პირობითად შეცვალა რა  $dbc$ -ს ტიპის სწორხაზოვანი და პორიზონტალური ქველით, მიიღო 4. 17, ბ. ნახ.-ზე ნახევრები საანგარიშო სქემა, რომლის დროსაც საანგარიშო ქველის სიგრძე

$$l = (d + Z)ctg\alpha = (d + Z)m; \quad (4.10)$$

პირველივერი გრადიენტი

$$i = \frac{a}{m(d + Z)}; \quad (4.11)$$



ნახ. 4.17 — ფილტრაციის საანგარიშო სქემები კაშხლის ტანის ზედა ფერდოს (ნახ. 4.17, ა და 4.17, ბ) და შუალედ (ნახ. 4.17, გ) უბნებში.

ფილტრაციის სიჩქარე

$$V = Ki = K \frac{a}{m(d+Z)}, \quad (4.12)$$

ხოლო მისი შესაბამისი ელემენტარული ხარჯი კი

$$dq = VdZ = \frac{a}{m(d+Z)} KdZ. \quad (4.13)$$

მოვხდნეთ რა ამ განტოლების ინტეგრირებას  $Z=a$ -დან  $Z=a+h$  საზღვრებში, მივიღებთ კაშხალის ტანის ერთეულ სიგრძეზე გამავალი საერთო ფილტრაციული ხარჯის გამოსათვლელ ფორმულას

$$\begin{aligned} q &= \int_a^{a+h} \frac{a}{m(d+Z)} KdZ = \frac{Ka}{m} \int_a^{a+h} \frac{1}{d+Z} dZ = \\ &= \frac{Ka}{m} \ln \frac{d+a+h}{d+h} \end{aligned} \quad (4.14)$$

4.16. ნახ.-ის საფუძველზე შეგვიძლია ჩავწეროთ, რომ

$$d+a+h = H_3; \quad (4.15)$$

$$d+a = H_3 - h; \quad (4.16)$$

$$a = H_3 - d - h. \quad (4.17)$$

(4.15), (4.16) და (4.17) გამოსახულებების გათვალისწინებით (4.14) განტოლება გადაიწერება ასეთნაირად

$$\frac{q}{K} = \frac{H_3 - d - h}{m} \ln \frac{H_3}{H_3 - h} \quad (4.18)$$

ან ათობით ლოგარითში გადასვლით საბოლოოდ ვღებულობთ

$$\frac{q}{K} = \frac{H_3 - d - h}{m} 2,31g \frac{H_3}{H_3 - h} \quad (4.19)$$

ბ) კაშხალის პროფილის შუალედ უბანზე (ნახ. 4.17, გ), სადაც როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ადგილი აქვს უთანაბრო ნე-ლა ცვლად მოძრაობას, საშუალო სიჩქარე  $V$  ყოველ ნებისმიერად აღე-ბულ კვეთში (პირობითად ვთქვათ  $A - A$  კვეთში) გამოითვლება ფორმუ-ლით

$$V = -K \frac{dy}{dx}, \quad (4.20)$$

ბოლო ხვედრითი ხარჯი\*

$$q = Vw = V \cdot y \cdot 1 = Vy = -Ky \frac{dy}{dx} \quad (4.21)$$

გადავწერთ რა (4.21) განტოლებას ინტეგრებისათვის უფრო მოსახერხებელი სახით

$$\frac{q}{K} dx = -y dy \quad (4.22)$$

და მას გავაინტეგრებთ, მივიღებთ

$$\frac{q}{K} x = -\frac{1}{2} y^2 + C. \quad (4.23)$$

4.17, გ ნახ.-დან ვადგენთ, რომ, როცა  $x=0$ , მაშინ  $y=h$  და ამიტომ (4.23) განტოლებიდან  $C = \frac{1}{2} h^2$ . ამ გამოსახულების მხედველობაში მიღებით (4.23) განტოლება ლებულობს ასეთ სახეს:

$$\frac{q}{K} x = -\frac{1}{2} y^2 + \frac{1}{2} h^2 = \frac{1}{2} (h^2 - y^2), \quad (4.24)$$

საიდანაც

$$y^2 = h^2 - 2 \frac{q}{K} x. \quad (4.25)$$

იმავე 4.17, გ ნახ.-დან ვღებულობთ, რომ როცა  $x=S$ , მაშინ  $y=h_1 = a_0 + h_0$ . შესაბამისად, განტოლება (4.25) საბოლოოდ ლებულობს ასეთ სახეს

$$\frac{q}{K} = \frac{h^2 - (a_0 + h_0)^2}{2S} \quad (4.26)$$

თავის მხრივ ამ განტოლებაში შემავალი  $S$  სიდიდე მიიღება გეომეტრიულად (ნახ. 4.16)

---

\* განსახილველ შემთხვევაში ეგულისხმობთ, რომ მოძრაობა დამყარებულ ხასიათს ატარებს და ამიტომ ნებისმიერ კვეთში ფილტრაციული წყლის ხარჯი მუდმივი სიდიდეა.



$$S = b + m_1[H_3 - (a_0 + h_0)]. \quad (4.27)$$

გ) კაშხალის პროფილის ბოლო უბნისათვის (ნახ. 4.16) ზედა  $q_1$  და ქვედა  $q_2$  ზონების შესაბამისი ხვედრითი ხარჯების შეკამებით მივიღებთ მასში გამავალ ჯამურ ფილტრაციულ ხარჯს

$$q = q_1 + q_2 = \frac{Ka_0}{m_1} + \frac{Ka_0}{m_1} \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0}, \quad (4.28)$$

საიდანაც, ელემენტარული გარდაქმნების შემდეგ, საბოლოოდ ვღებულობთ

$$\frac{q}{K} = \frac{a_0}{m_1} \left( 1 + 2,3 \lg \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right). \quad (4.29)$$

ამგვარად, კაშხალის პროფილის პირობითად დაყოფილი სამი უბნისათვის გვაქვს ოთხი უცნობი —  $a_0, h, S, q$  და ოთხგანტოლებიანი — (4.19), (4.26), (4.27), (4.29) — სისტემა:

$$\left. \begin{aligned} & \text{როცა } h \neq 0 \\ & \frac{q}{K} = \frac{H_3 - d - h}{m} 2,3 \lg \frac{H_3}{H_3 - h} \\ & \frac{q}{K} = \frac{h^2 - (a_0 + h_0)^2}{2S} \\ & \frac{q}{K} = \frac{a_0}{m_1} \left( 1 + 2,3 \lg \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right) \\ & S = b + m_1[H_3 - (a_0 + h_0)] \end{aligned} \right\}; \quad (4.30)$$

როდესაც  $h_0 = 0$ , ეს განტოლებები გადაიწერება შემდეგნაირად:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{q}{K} = \frac{H_3 - d - h}{m} 2,3 \lg \frac{H_3}{H_3 - h} \\ & \frac{q}{K} = \frac{h^2 - a_0^2}{2S} \\ & \frac{q}{K} = \frac{a_0}{m_1} \\ & S = b + m_1(H_3 - a_0) \end{aligned} \right\}; \quad (4.31)$$

(4.30) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის მიზნით მოკახდენთ შემდეგი სახის გარდაქმნებს:

გავეტოლოთ ერთიმეორეს (4.30) სისტემის პირველი და მეორე განტოლების მარჯვენა მხარეს მოთავსებული წევრები

$$\frac{a_0}{m_1} \left( 1 + 2,3lg \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right) = \frac{h^2 - (a_0 + h_0)^2}{2S} \quad (4.32)$$

და ამოვხსნათ ის  $h$ -ის მიმართ

$$h = \sqrt{\frac{2a_0 \left( 1 + 2,3lg \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right) S}{m_1} + (a_0 + h_0)^2}; \quad (4.33)$$

ამ გამოსახულებაში  $S$ -ის მნიშვნელობას შევცვლით რა (4.30) განტოლებათა სისტემის მეოთხე განტოლებიდან, ხოლო  $1 - 2,3lg \frac{a_0 + h_0}{a_0} \equiv N$ -ით, მივიღებთ

$$h = \sqrt{2a_0 N \left[ \frac{b}{m_1} + H_3 - (a_0 + h_0) \right] + (a_0 + h_0)^2} \quad (4.34)$$

აღვნიშნავთ რა ამ განტოლების მარჯვენა მხარეს  $M$ -ით და ჩავსვათ რა მას (4.30) განტოლებათა სისტემის პირველ განტოლებაში, მივიღებთ

$$\frac{q}{K} = \frac{H_3 - d - M}{M} \cdot 2,3lg \frac{H_3}{H_3 - H} \quad (4.35)$$

შევიტანთ რა ამ გამოსახულებაში  $\frac{q}{K}$  მნიშვნელობას მესამე განტოლებიდან (იხ. (4.30) განტოლებათა სისტემა), ზოგიერთი ელემენტარული გარდაქმნებისა და სათანადო აღნიშვნის შემდეგ მივიღებთ

$$\frac{m}{m_1} a_0 D_1 = (H_3 - d - M) D_2 \quad (4.36)$$

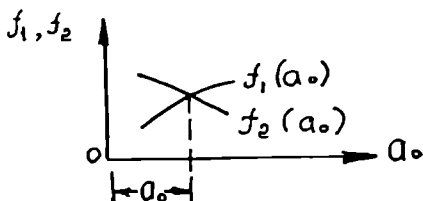
სადაც

$$D_1 = 1 + 2,3lg \frac{a_0 + h_0}{a_0} \quad \text{და} \quad D_2 = 2,3lg \frac{H_3}{H_3 - M}$$

(4.36) განტოლება შეიცავს მხოლოდ ერთ უცნობს— $a_0$ , რადგან მასში შემავალი  $M$ ,  $D_1$  და  $D_2$  თავისთავად  $a_0$ -ის ფუნქციებია, სახელდობრ  $M = f_1(a_0)$ ;  $D_1 = f_1'(a_0)$  და  $D_2 = f_2(a_0)$ .

(4.36) განტოლების ამოხსნა ხდება შერჩევის წესით, თუმცა უმჯობესია, დროის ეკონომიის მიზნით, მისი გადაწყვეტა მოხდეს გრაფიკულად. ამ მიზნით (4.36) განტოლების მარცხენა ნაწილი აღვნიშნოთ  $f_1(a_0)$  -ით, მარჯვენა ნაწილი კი —  $f_2(a_0)$  -ით; დავუშვათ წინასწარ  $a_0$ -ის რამდენიმე რიცხვითი მნიშვნელობა (სამი და უფრო მეტი) და ყოველი მათგანისათვის დავადგინოთ  $f_1(a_0)$ ,  $f_2(a_0)$ ; და ერთ გრაფიკზე ავაგოთ  $f_1(a_0)$  და  $f_2(a_0)$  დამოკიდებულებათა მრუდები; ამ მრუდების (ნახ. 4.18) გადაკვეთის წერტილის შესაბამისი ორდინატა იქნება  $a_0$ -ის საძიებელი სიდიდე. თავის მხრივ, გვეცოდნება რა  $a_0$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობა, დავადგენთ (4.30).

განტოლებათა სისტემაში შემავალ ყველა დანარჩენ უცნობ სიდიდე; ასე, მაგალითად, დასახელებულ განტოლებათა სისტემის მეოთხე განტოლებით გამოიკვლება  $S$  სიდიდე, (4.33); განტოლებით — ფილტრაციული ნაკადის  $h$  სიმაღლე შუალედი უბნის საწყის  $1-1$



ნახ. 4. 18 — დამოკიდებულების გრაფიკი  $f_1(a_0) = f_2(a_0)$

კვეთში (იხ. ნახ. 4. 16 ან კიდეც ნახ. 4. 17, გ), ხოლო იმავე (4.30) განტოლებათა სისტემაში შემავალი მესამე განტოლებით კი განვსაზღვრავთ ფილტრაციული ნაკადის  $q$  ხარჯს კაშხალის ტანის შუალედი უბნისათვის. რაც შეეხება დეპრესიის მრუდს, მის აგებას ვაწარმოებთ (4. 25) განტოლების საფუძველზე, სახელდობრ, დავუშვებთ ამ განტოლებაში  $x$  აბსცისის რიცხვით მნიშვნელობებს და ვსაზღვრავთ ყოველი მათგანის შესაბამის  $y$  ორდინატის სიდიდეებს.

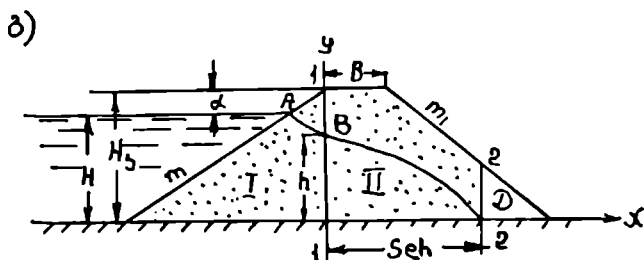
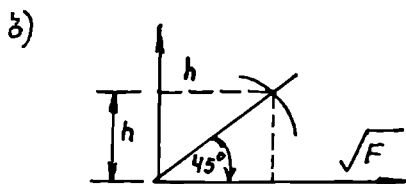
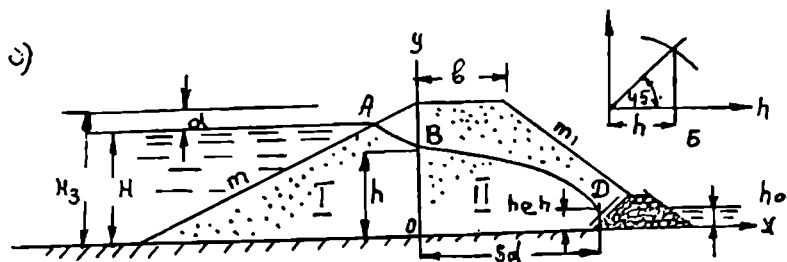
3. დ რ ე ნ ა ე ი ა ნ ი ე რ თ გ ვ ა რ ო ვ ა ნ ი მ ი წ ი ს კ ა შ ხ ა ლ ე ბ ი ს ფ ი ლ ტ რ ა ც ი უ ლ ი გ ა ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ა ნ . პ ა ვ ლ ო ვ ს კ ი ს მეთოდით. აქ განვიხილავთ ორ შემთხვევას—როდესაც  $h_0 \neq 0$  და  $h_0 = 0$ . ორივე შემთხვევაში, ფილტრაციული თვალსაზრისით, კაშხალის ბოლო უბნები არ არსებობს (იხ. შედარებისათვის ნახ. 4. 16 და ნახ. 4. 19, ა); ამიტომ საანგარიშო სქემად რჩება კაშხალის პროფილის წინა და შუალედი უბნები (ნახ. 4. 19, ა, ნახ. 4. 19, ბ).

I შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა —  $h_0 \neq 0$  (ნახ. 4. 19, ა). როდესაც ქვედა ბიფფში წყალია, მაშინ კაშხალის პროფილის წინა უბნისათვის (4. 30) განტოლებათა სისტემაში შეტანილი I განტოლება უცვლელად რჩება, ხოლო შუალედი

უბნის შესატყვისი II განტოლება კი ასეთნაირად გადაიწერება (ნახ. 4. 19-ის საფუძველზე წინასწარ ვთვლით რომ  $h_{\text{ღრ}} = h_0$ ):

$$\frac{q}{K} = \frac{h^2 - h_0^2}{2S_{\text{ღრ}}}, \quad (4.37)$$

რადგან  $h_1 = a_0 \approx 0$  და  $S = S_{\text{ღრ}}$ , სადაც  $S_{\text{ღრ}}$  ითვლება ცნობილ სიდიდედ.



ნახ. 4.19—ერთგვაროვანი დრენაჟიანი მიწის კაშხალის ფილტრაციის საანგარიშო სქემები ნ. პავლოვსკის მეთოდით.

ამგვარად, ქვედა ბიეფში წყლის არსებობის შემთხვევაში გვაქვს დეპრესიის მრუდის ორი უბანი ორი უცნობით ( $h$  და  $q$ ) და ფილტრაციის საანგარიშო ორი განტოლება:

$$\left. \begin{aligned} \frac{q}{K} &= \frac{H_3 - d - h}{m} 2,31g \frac{H_3}{H_3 - h} \\ \frac{q}{K} &= \frac{h^2 - h_0^2}{2S_{\text{გრ}}} \end{aligned} \right\}, \quad (4.38)$$

საიდანაც  $h$  -ის საანგარიშოდ ვლებულობთ შემდეგ გამოსახულებას

$$h = \sqrt{\frac{2S_{\text{გრ}}}{m} \left( (H_3 - d - h) 2,31g \frac{H_3}{H_3 - h} + h_0^2 \right)}. \quad (4.39)$$

$h$  -ის მიმართ ამ განტოლების ამოხსნა უნდა მოხდეს ე. წ. ჩასმის წესით ან კიდევ უფრო მარტივად — გრაფიკულად, რისთვისაც ვაგებთ (ნახ. 4. 19, ბ) დამოკიდებულების მრუდს  $h = f(\sqrt{F})$ . სადაც  $F$ -ით აღნიშნულია (4. 39) განტოლების ფესვქვეშა გამოსახულება. ამ გრაფიკზე ამგვარად აგებული მრუდის გადაკვეთა კოორდინატთა საწყისი წერტილიდან  $45^\circ$ -ით გატარებულ სწორ ხაზთან ვეძებთ საძიებელ  $h$  სიდიდეს. გვეცოდინება რა  $h$  სიდიდე, დეპრესიის მრუდის შუალედ ორდინატებს განვსაზღვრავთ (4. 25) განტოლების საფუძველზე და ამგვარად ავაგებთ დეპრესიის მრუდს კაშხალის პროფილის შუალედი უბნის ფარგლებში. რაც შეეხება ფილტრაციულ ხარჯს, მისი განსაზღვრა განსახილველ შემთხვევაში ხდება (4. 37) განტოლებიდან

$$q = \frac{K(h^2 - h_0^2)}{2S_{\text{გრ}}}.$$

II შემთხვევა —  $h_0 = 0$  (ნახ. 4. 19, გ). ზემოთ განხილულის ანალოგიურად აქაც ფილტრაციის საანგარიშო განტოლებათა სისტემა შედგება ორი განტოლებისაგან  $h$  და  $q$  უცნობი სიდიდეებით:

$$\left. \begin{aligned} \frac{q}{K} &= \frac{H_3 - d - h}{m} 2,31g \frac{H_3}{H_3 - h} \\ \frac{q}{K} &= \frac{h^2}{2S_{\text{გრ}}} \end{aligned} \right\}, \quad (4.40)$$

საიდანაც, იგივე მსჯელობით, როგორც ეს აღნიშნული იყო წინა შემთხვევაში (როცა ვიხილავდით  $h_0 \neq 0$  პირობას), ვადგენთ  $h$  -ის საანგარიშო ფორმულას

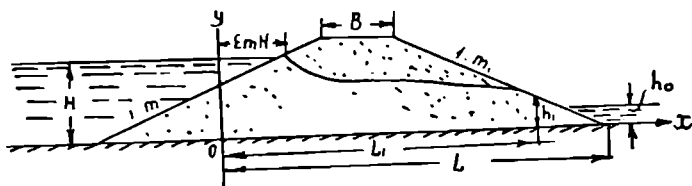
$$h = \sqrt{\frac{2S_{\text{გრ}}}{m} (H_3 - d - h) 2,31g \frac{H_3}{H_3 - h}} \quad (4.41)$$

ფილტრაციული ხარჯი კი გამოითვლება (4. 40) განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლებიდან

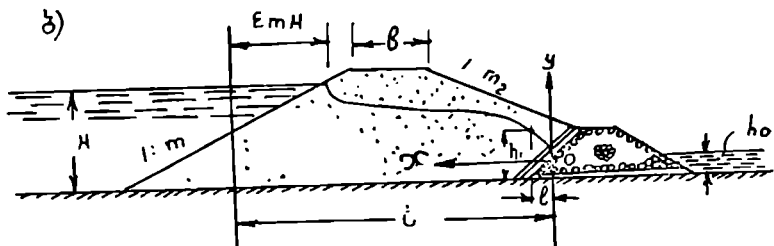
$$h = \frac{Kh^2}{2S_{\text{დრ}}} \quad (4.42)$$

4. წყალგაუმტარ ფუძეზე აშენებული ერთგვაროვანი მიწის კაშხალის ფილტრაციული გაანგარიშება ე. ზამარინის მეთოდით. ე. ზამარინი თვლის რა ფილტრაციულ დინებას კაშხალის წინა უბნის ქვედა ნაწილში ძალზედ შენელებულად, რეკომენდაციას იძლევა ფილტრაციული გაანგარიშებისათვის კაშხალის პროფილის ძირითადი მოხაზულობა შეიცვალოს პირობითად აღებული ისეთი ტრაპეციის ფორმით, რომლის ზედა ფერდო ვერტიკალურია

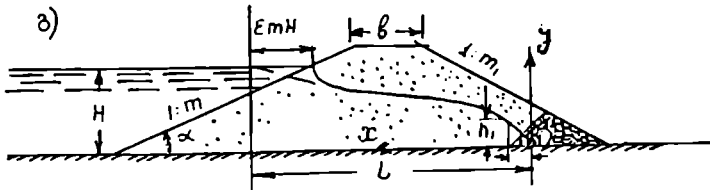
ა)



ბ)



გ)



ნახ 4.20—მიწის კაშხალის ფილტრაციის სანგარიშო სქემები ე. ზამარინის მეთოდით: ა—ერთგვაროვანი უდრეწყო კაშხალისათვის; ბ—დრეწაყიანი კაშხალისათვის, როცა  $h_0 \neq 0$ ; გ—დრეწაყიანი კაშხალისათვის, როცა  $h_0 = 0$

და შეთავსებულია  $0y$  გამყოფ კვეთთან (ნახ. 4. 20). ამავე დროს ე. ზამარინი მიუთითებს, რომ  $0y$  გამყოფი კვეთი უნდა გატარდეს კაშხალის ზედა ფერდოდან ზემოთ—დინების საწინააღმდეგოდ  $\epsilon MH$  მანძილზე (გაზომვა უნდა მოხდეს ზედა ბიეფის დონის გასწვრივ), სადაც  $\epsilon$  არის ექსპერიმენტული კოეფიციენტი და ე. ზამარინის მონაცემებით მიიღება 0,3—0,4-ის ფარგლებში;  $m$ -ზედა ფერდოს დახრილობის კოეფიციენტი, ხოლო  $H$  -წყლის სიღრმე ზედა ბიეფში.

აღნიშნული სქემისათვის ე. ზამარინი იძლევა შემდეგი სახის საანგარიშო ფორმულებს.

ა) როდესაც კაშხალი უდრენაქოა (ნახ. 4. 20, ა) და ქვედა ბიეფში წყალია ( $h_0 = 0$ ):

$$h_1 - h_0 = \frac{L}{m_1} - \sqrt{\frac{L^2}{m_1^2} - (H - h_0)} \quad (4.43)$$

$$\frac{q}{K} = \frac{H^2 - h_1^2}{2L} = \frac{H^2 - y^2}{2x}; \quad (4.44)$$

$$y^2 = H^2 - \frac{H^2 - h_1^2}{L_1} x; \quad (4.45)$$

$$L_1 = L - m_1 h_1, \quad (4.46)$$

სადაც  $h_1$  არის კაშხალის ქვედა ფერდოზე დეპრესიის მრუდის გამოხელის წერტილის ორდინატა: თუ ქვედა ბიეფში წყალი არაა, ე. ი. როდესაც  $h_0 = 0$ , მაშინ (4.43) ფორმულა დებულობს ასეთ სახეს:

$$h_1 = \frac{L}{m_1} - \sqrt{\frac{L^2}{m_1^2} - H^2}. \quad (4.47)$$

ბ) როდესაც კაშხალს დრენაქი უკეთდება (ნახ. 4. 20, ბ) და ქვედა ბიეფში წყალია ( $h_0 = a$ ), ფილტრაციული ხარჯი გამოითვლება განტოლებით

$$\frac{q}{K} = \frac{H^2 - h_0^2}{2L}, \quad (4.48)$$

დეპრესიის მრუდი კი აიღება განტოლებით

$$y = \sqrt{\frac{(H - h_0)^2}{L} x} \quad (4.49)$$

ამ შემთხვევაში  $0x$  ღერძი გატარებულია ქვედა ბიეფის წყლის დონეზე, ხოლო თვით კოორდინატთა სათავე კი აღებულია სადრენაჟო პრიზმის ძირზე მისი დასაწყისიდან გადაზომილ  $l = 0,05 H$  მანძილზე (ნახ. 4. 20, ბ).

გ) იმ შემთხვევისათვის, როდესაც კაშხალს დრენაჟი უკეთდება და ქვედა ბიეფში წყალი არაა (ნახ. 4. 20, გ), ზემოთ მოყვანილი (4. 48) და (4. 49) განტოლებები გადაიწერება შემდეგნაირად:

$$\frac{q}{K} = \frac{H^2}{2L} \quad (4.50)$$

$$y = \sqrt{\frac{H^2}{L} x}. \quad (4.51)$$

5. ელასტიკურ ბირთვიან მიწის კაშხალებში ფილტრაციის გასაანგარიშებლად აკადემიკოსმა ნ. პავლოვსკიმ შემოიღო გაანგარიშების ე. წ. ვირტუალური წესი, რომლის არსი ასეთია: კაშხალის ტანში გათვალისწინებული მოქნადი ბირთვი ფილტრაციის  $K_2$  კოეფიციენტით (ნახ. 4. 21, ა) და იმავე კაშხალის ტანის დანარჩენი ნაწილი ფილტრაციის  $K$  კოეფიციენტით პირობითად წარმოიდგინება როგორც მათი ეკვივალენტური სიგრძის უბირთვო ერთგვაროვანი მიწის კაშხალი ფილტრაციის  $K$  კოეფიციენტით (ნახ. 4. 21, დ).

ვთქვათ, ფილტრაციის  $K_2$  კოეფიციენტის მქონე გრუნტის (ნახ. 4. 21, ბ) ორ ვერტიკალურ კვეთს შორის  $l$  მანძილზე მოძრაობს გრუნტის წყლის ნაკადი რომლის ხარჯია  $q$  და დეპრესიის მრუდის დაცემის სიდიდე  $\Delta h = h_1 - h_2$ . ასეთივე სახის ფილტრაციული წყლის დინებას, ვთქვათ, აღვიღო აქვს სხვა გრუნტის „ტლ“ მანძილზე (ნახ. 4. 21, გ) ფილტრაციის  $K$  კოეფიციენტით, იგივე  $q$  ხარჯით და დეპრესიის მრუდის დაცემის  $\Delta h = h_1 - h_2$  სიდიდით.

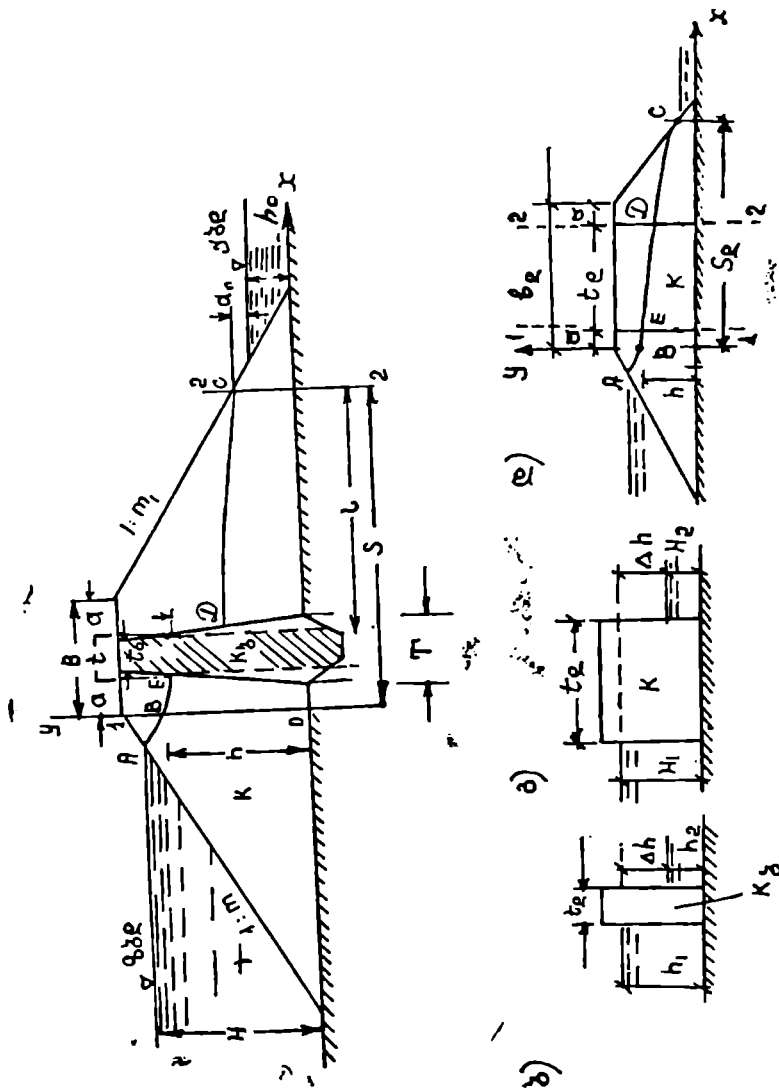
აღნიშნულის შესაბამისად, (4. 25) განტოლების საფუძველზე შეიძლება დავწეროთ ფილტრაციული ხარჯის გამომსახველი ფორმულები:

ა) პირველი შემთხვევისათვის

$$q = K_2 \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}; \quad (4.52)$$

ბ) მეორე შემთხვევისათვის





ნახ. 4.21 — პირობიანი გიწის კაშხლის ფილტრაციის საანგარიშო სქემები: ა — ზოგადი სქემა; ბ და გ — ვერტიკალური წყლის გამზარტებისათვის საკმარის სითანადო სქემები; დ — ფილტრაციის საანგარიშო სქემა.

$$q = K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2t_e} \quad (4.53)$$

ამ გამოსახულებათა მარჯვენა ნაწილების ურთიერთგატოლების საფუძველზე ვლებულობთ

$$\frac{K}{K_\delta} = \frac{t_\delta}{t} \quad (4.54)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ერთნაირი  $q$  და  $\Delta h$ -ის შემთხვევაში  $t$  და  $t_e$  სიღრმეები პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია ფილტრაციის კოეფიციენტებთან. თუ ეს ასეა, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ პირველი ფილტრაციული სქემა (ნახ. 4.21, ბ)  $K_\delta$  ფილტრაციული კოეფიციენტით შეიძლება შევცვალოთ მისი ექვივალენტური ისეთი ფილტრაციული სქემით, რომლის ფილტრაციის კოეფიციენტი  $K$  და რომელიც დააკმაყოფილებს (4.54) განტოლების პირობას. შესაბამისად, მეორე ფილტრაციული სქემის შემთხვევაში კაშხალის პროფილის პირობითად დაყვანილი (ექვივალენტური) სიგრძე

$$t_e = \frac{K}{K_\delta} t. \quad (4.55)$$

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე ფილტრაციული გაანგარიშების ჩასატარებლად მოქანდაბირთვიანი კაშხალი (ნახ.4.21, ა) შეიძლება შეიცვალოს მისი ექვივალენტური ერთგვაროვანი კაშხალით (ნახ. 4.21, დ), რომლისთვისაც ბირთვის დაყვანილი  $b_e$  სივანე

$$b_e = 2a + t_e \quad \text{ან} \quad b_e = b + t \left( \frac{K}{K_\delta} - 1 \right); \quad (4.56)$$

$$S_e = b_e + m_1(H_3 - a_0 - h_0); \quad (4.57)$$

$$h = \left[ 2 \frac{a_0 N S_e}{m_1} + (a_0 + h_0)^2 \right]^{1/2}, \quad (4.58)$$

ფილტრაციული ხარჯი  $q$

$$q = \frac{a_0}{m_1} - KN, \quad \text{სმ}^2 \text{ წმ} - \text{ბით} \quad (4.59)$$

ან კიდევ

$$q = 864 \frac{a_0}{m_1} KN, \quad \text{ლ/დღე-ღამეში 1 გრძივ} \quad (4.60)$$

მეტრზე,

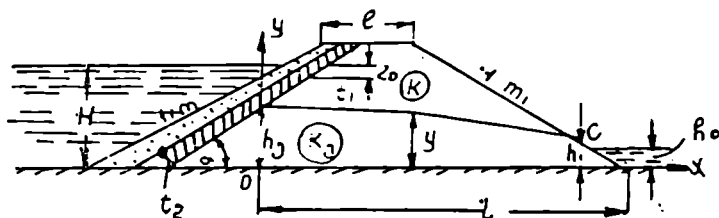
სადაც 
$$N = 1 + 2,3 \lg \frac{a_0 + h_0}{a_0}$$

გვეცოდინება რა ყველა ეს მონაცემი, (4.25) განტოლების საფუძველზე  $y^2 = h^2 - 2 \frac{q}{K} x$  ავაგებთ დეპრესიის მრუდს (ნახ. 4.21, დ),

სადაც  $E$  წერტილის ორდინატა შეესაბამება  $x=a$  მონაკვეთს,  $D$  წერტილის კი  $x=a+l$  მონაკვეთს; ასეთივე მიდგომით  $x=S_2$  მონაკვეთები შეესაბამება კაშხალის ქვედა ფერდოზე დეპრესიის მრუდის გამოსვლის წერტილის ორდინატას.

ასეთნაირად ჩატარებული გამოთვლების შემდეგ ბირთვიან კაშხალში დეპრესიის მრუდს ნაშედილი მდებარეობის (ნახ. 4.21, ა) დასადგენად ნახაზზე (იხ. ნახ. 4.21, დ) კაშხალის პროფილის ზედა და ქვედა უბნებს ისეთნაირად დავახლოვებთ, რომ 1-1 და 2-2 კვეთებს შორის მანძილი გაუტოლდეს  $l$  მანძილს. აღნიშნული ნახაზების ურთიერთშედარებით შეინიშნება, რომ აგებული დეპრესიის მრუდის  $AE$  და  $DC$  მონაკვეთები ორივე შემთხვევაში, როგორც ეს მოსალოდნელი იყო, ერთნაირი მოხაზულობით ხასიათდებიან.

6. ეკრანიანი მიწის კაშხალის ფილტრაციული გაანგარიშება. განსახილველ შემთხვევაში (ნახ. 4.22) ეკრანის ტანში



ნახ. 4.22 — ეკრანიანი უღრენავო მიწის კაშხალის საანგარიშო სქემა, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი  $h_0 \neq 0$

გამავალი ფილტრაციული ხარჯის გამოსათვლელად აყადემიკოსი მ. პავლოვსკი იძლევა ასეთი სახის განტოლებებს:

$$q = K_0 \frac{H^2 - h_2^2 - Z_0^2}{2t \cdot \sin \theta} \quad (4.61)$$

აბ

$$\frac{q}{K_0} = \frac{H^2 - h_2^2 - Z_0^2}{2 \cdot n \cdot t \cdot \sin \theta} \quad (4.62)$$

\* „ა“ სიდიდე გამოითვლება (4.56) განტოლებიდან.

სადაც  $H$  არის ზედა ბიეფში წყლის სიღრმე;

$h_2$  — ფილტრაციული წყლის ნაკადის სიღრმე უშუალოდ ეკრანის შემდეგ (ამ სიღრმეს აგრეთვე უწოდებენ დეპრესიის მრუდის საწყის ორდინატას);

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} - \text{ეკრანის გასაშუალებელი სისქე (იხ. ნახ. 4.22);}$$

$\Theta$  — კაშხალის ფსკერის მიმართ ეკრანის დახრილობის კუთხე;  $Z_0 = t \cos \Theta$ ;

$K_0$  და  $K$  — ფილტრაციის კოეფიციენტებია შესაბამისად ეკრანისა და კაშხალის ტანისათვის;

$n = \frac{K}{K_0}$  — კაშხალის ტანის ფილტრაციული კოეფიციენტის ფარდობა

ეკრანის ფილტრაციულ კოეფიციენტთან .

ეკრანის შემდგომ უბანზე (ნახ. 4.22) კაშხალის ტანში ფილტრაციული წყლის დინება ისეთივე სახისაა, როგორც ერთგვაროვან მიწის კაშხალებში, მხოლოდ  $h$  დაწნევით (ნაცვლად  $H$ -ისა). შესაბამისად, კაშხალის ამ უბანზე ფილტრაციული ხარჯის გამოსათვლელად და დეპრესიის მრუდის ასაგებად ძალაში რჩება ყველა ზემოთ მოყვანილი განტოლება, სახელდობრ:

ა) ეკრანის მიმართ უდრენაჟო მიწის კაშხალებში (ნახ. 4.22) შემთხვევაში, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალია ( $h_0 \neq 0$ ), საანგარიშო განტოლებები ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$\frac{q}{K} = \frac{H^2 - h_2^2 - Z_0^2}{2t \cdot n \cdot \sin \Theta}, \quad (4.63)$$

$$\frac{q}{K} = \frac{h_2^2 - h_1^2}{2(L - m_1 h_1)} = \frac{h_2^2 - y^2}{2x}; \quad (4.64)$$

$$h_1 - h_0 = \frac{L}{m_1} \sqrt{\frac{L^2}{m_1^2} - (h_2 - h_0)^2} \quad (4.65)$$

(4.63) და (4.64) განტოლებების ამოხსნა  $h_2$ -ს მიმართ უმჯობესია გადაწყდეს შერჩევით-დაშვებით, რომლის დროსაც მიღებული იქნება  $\frac{q}{K}$ -ს

ჩიცხვით მნიშვნელობათა ურთიერთობა, რაც შეეხება დეპრესიის მრუდს, მისი აგება "0" საწყისი ორდინატიდან უნდა დავიწყოთ ასეთი განტოლებით

$$y^2 = h_2^2 - \frac{h_2^2 - h_1^2}{L_1} x. \quad (4.66)$$

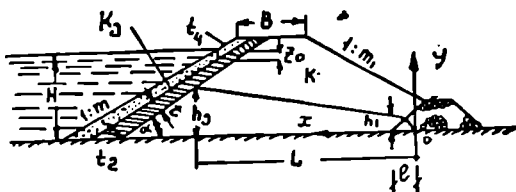
ბ) ეკრანიანი მიწის კაშხლებისათვის, როდესაც მას უკეთდება დრენაჟი (ნახ. 4.23) და ქვედა ბიეფში წყალი არაა ( $h_0=0$ ), გამოიყენება შემდეგი განტოლებები:

$$\frac{q}{K} = \frac{H^2 - h_2^2 - Z_0^2}{2t \cdot n \cdot \sin \Theta}; \quad (4.67)$$

$$\frac{q}{K} = \frac{h_2^2}{2L}; \quad (4.68)$$

$$y^2 = \frac{h_2^2}{L} x. \quad (4.69)$$

ეს განტოლებები, ისე როგორც (4.63)-(4.65) განტოლებები, ასევე მოსახერხებელია შერჩევით ამოიხსნას  $h_2$ -ს მიმართ, სახელდობრ, დავუშვებთ  $h_2$ -ს რიცხვით მნიშვნელობას და ვეცდებით მივადწიოთ (4.67) და (4.68) განტოლებების  $\frac{q}{K}$  სიდიდეთა ტოლობას. ამ შემთხვევაში კოორდინატთა სისტემის სათავე იქნება 0 წერტილში (ნახ. 4.23) და დებარესის



ნახ. 4.23 — ეკრანიანი მიწის კაშხლის (დრენაჟითურთ) სანგარიშო სქემა, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არაა. ( $h_0=0$ )

მრუდის აგება მოხდება (4.69) განტოლების საფუძველზე. იგივე შემთხვევისათვის, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალია, ე. ი. როდესაც  $h_0 \neq 0$ , (4.67) განტოლება უცვლელად რჩება, ხოლო (4.68) და (4.69) განტოლებები გადაიწერება ასეთნაირად:

$$\frac{q}{K} = \frac{h_2^2 - h_0^2}{2L}; \quad (4.70)$$

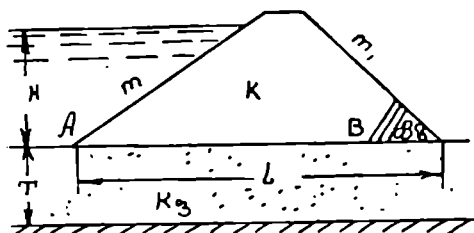
$$y^2 = \frac{(h_2 - h_0)^2}{L} x. \quad (4.71)$$

ჩერ კიდევ 1931 წელს აკადემიკოსმა ნ. პავლოვსკიმ შეიმუშავა წყალგამბარ ფუძეზე აშენებული მიწის კაშხალების ფილტრაციული განაგარიშების ჩატარების გამართიეებული, მაგრამ პრაქტიკულად საკმაოდ ზუსტი მეთოდი. რაც შემდეგში მდგომარეობს.

წინასწარ, პირობითად დაუშვებენ, რომ კაშხალის ფუძე წყალგამბარია და ამ შემთხვევისათვის ზემოთ მოყვანილი ფორმულების საფუძველზე გამოთვლება კაშხალის ტანში გამავალი  $q_1$  ფილტრაციული ხარჯი და ააგებენ დებრესიის მრუდს.

შემდგომ, პირიქით, პირობითად მიიღებენ, რომ თვით კაშხალის ტანია წყალგამბარი და ამდგვარად, წყალგამბარ ფუძეში გამავალ  $q_2$  ფილტრაციულ ხარჯს (ნახ. 4.24) გამოითვლიან ფორმულით

$$q_2 = K_3 \frac{H}{L} \frac{T}{n} \quad (4.72)$$



ნახ. 4.24 — წალგამბარ ფუძეზე აშენებული მიწის კაშხალის ზოგადი სქემა.

სადაც  $K_3$  არის კაშხალის ფუძის შემადგენელი გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი,  $H$  — დაწინევა კაშხალის წინ,  $L$  — კაშხალის სიგრძე მის ძირში,  $n$  — ემპირიული კოეფიციენტი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა იღლება 4.4 ცხრილიდან.

ც ხ რ ი ლ ი 4.4

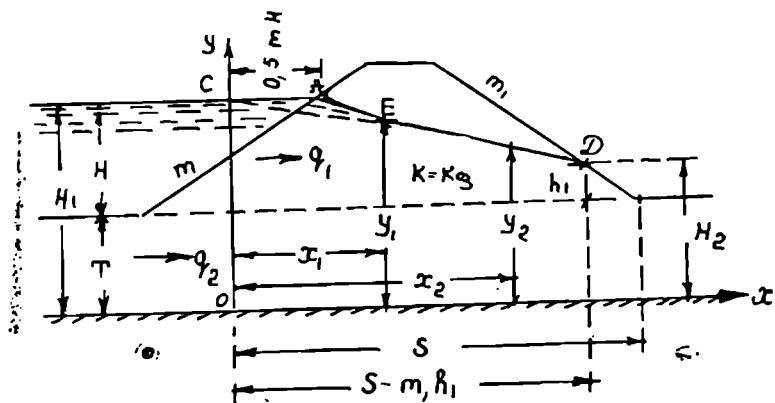
$\frac{L}{T}$	5	4	3	2	1
$n=1,15$	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

გვეცოდინება რა  $q_1$  და  $q_2$  ხარჯები, (4.7) ფორმულიდან გამოვიტე-  
ლით  $q$  საერთო ხარჯს ( $m^3$ ) დღე-ღამეში, ხოლო რაც შეეხება დებრესიის

მრუდს, ის იგივე იქნება, რაც იყო წყალგამტარი ფუძის შემთხვევაში: მხოლოდ წინასწარ უნდა ვიცოდეთ. თუკი კაშხალი დამწრეტია, მაშინ  $L$ -ის გაზომვა უნდა მოხდეს (ნახ. 4.24)  $A$  წერტილიდან  $B$  წერტილამდე

აღნიშნული მოსაზრებების მხედველობაში მიღებით ქვემოთ განვიხილავთ წყალგამტარ ფუძიანი მიწის კაშხალების ფილტრაციულ გაანგარიშებას სხვადასხვა შემთხვევისათვის.

1. უღრენაყო მიწის კაშხალი (ნახ. 4.25), როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არაა, ე. ი.  $h_0 = 0$ , და კაშხალის ტანისა და მისი ფუძის ფილტრაციის კოეფიციენტები ურთიერთტოლია, ე. ი.  $K = K_{ფ}$  გაანგარიშების ჩატარების თანმიმდევრობა ასეთია:



ნახ. 4.25 — წყალგამტარ ფუძეზე აშენებული უღრენაყო კაშხალის ფილტრაციის საანგარიშო სქემა.

ა)  $A$  წერტილიდან (ნახ. (4.25) გადავზომავთ რა ზედა ბიეფის დონეზე  $AC = 0,5mH$  მონაკვეთს, დავადგენთ  $0-y$  გამყოფ კვეთს, რომელიც ამავე დროს მიიღება როგორც  $oy$  ორდინატა ღერძი; ამ შემთხვევაში  $ox$  აბსცისათა ღერძი შეთავსებულია წყალმზგენ ხაზთან და მიმართულია ქვედა ბიეფისაკენ.

ღერძის მრუდის  $h_1$  ორდინატას ( $D$  წერტილში გამავალ სიბრტყეში, გამოვითვლით განტოლებით

$$h_1 = h \left( 1 - 0,3 \sqrt[3]{\frac{T}{H}} \right), \quad (4.73)$$

$$h = \frac{m_1 H^2}{S} \quad (4.74)$$

ბ) აბსცისათა ღერძზე დაეუშვებთ  $x$ -ის სხვადასხვა რიცხვით მნიშვნელობებს და ყოველი მათგანის შესაბამის  $y$  ორდინატს გამოვითვლით ცანტოლებით

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{H_1^2 - H_2^2}{S - m_1 h_1} x} \quad (4.75)$$

გ) გვეცოდინება რა ყოველი  $x$ -თვის  $y$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობანი, ცალკეული წერტილების მიხედვით ავაგებთ  $CED$  დებარესიის მრუდს. (წინასწარ გვემახსოვრება, რომ  $A$  და  $E$  წერტილების შეერთება უნდა მოხდეს მდოვრედ მოხაზული მრუდით).

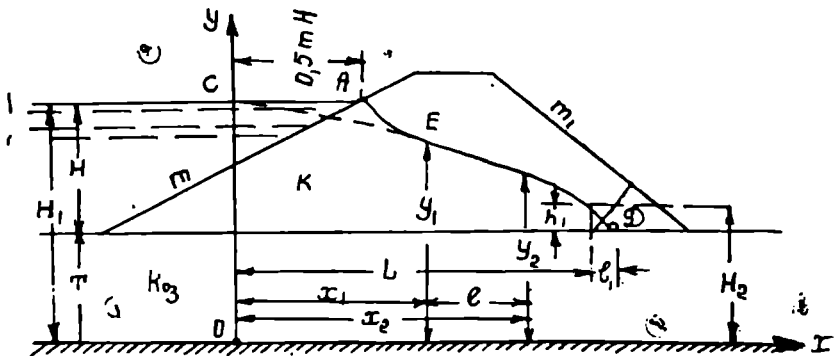
დ) საერთო ფილტრაციულ  $q$  ხარჯს გამოვითვლით ფორმულით

$$q = q_1 + q_2 = K \frac{y_1^2 - y_2^2}{2l} \text{ მ}^3/\text{დღე-ღამეში}, \quad (4.76)$$

სადაც  $l = x_2 - x_1$  (იხ. ნახ. 4.24).

ამ შემთხვევაში  $y_1$  და  $y_2$  ორდინატები შეიჩჩევა დებარესიული მრუდის  $AD$  მონაკვეთის შუა მესამედში, სადაც პრაქტიკულად ადგილი აქვს ფილტრაციული წყლის დამყარებულ მოძრაობას ექსპლუატაციის ნებისმიერ პერიოდში. უფრო ნაკლები სიზუსტით განსახილველ შემთხვევაში ფილტრაციული ხარჯი შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით

$$q = K \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(S - m_1 h_1)} \text{ მ}^3/\text{დღე-ღამეში} \quad (4.77)$$



ნახ. 4.26 — წყალგამტარ ფუძეზე აშენებული დრენაჟიანი კაშხალის ფილტრაციის სანაგარიშო სქემა.



2. დრენაჟიანი მიწის კაშხალი (ნახ. 4.26), როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არაა ( $h_0=0$ ) და  $K=K_0$ , იანგარიშება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) წინა შემთხვევის ანალოგიურად ეპოულობთ  $0-y$  გამყოფი კვეთის ადგილმდებარეობას, რისთვისაც წინასწარ გამოვითვლით  $AC = \epsilon m H$  რიცხვით მნიშვნელობას.

ბ) დებრესიის მრუდის  $h_1$  ორდინატას გამოვითვლით ფორმულით.

$$h_1 \approx \frac{H^2}{2L}; \quad (4.78)$$

გ) დავუშვებთ  $x$ -ის რიცხვით მნიშვნელობებს და მათ შესაბამის  $y$  ორდინატის მნიშვნელობებს გამოვითვლით ფორმულით

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{H_1^2 - H_2^2}{L} x}. \quad (4.79)$$

ამგვარად მიღებული  $x$  და  $y$ -ის რიცხვითი მონაცემების მიხედვით ვიპოვოთ მათ შესაბამის წერტილებს, რომლებზედაც გავატარებთ  $AED$  დებრესიის მრუდს.

სხვადასხვა ავტორის მიერ ჩატარებული ცდებით დადგენილია, რომ  $h_x$  ორდინატა განსახილველ შემთხვევაში მეტად მცირე სიდიდეა და ამიტომ პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის დროს შეიძლება მივიღოთ  $h_1 \approx 0$ ; შესაბამისად  $H_2 = T$  და ამიტომ (4.79) განტოლება გადაიწერება ასეთნაირად

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{H_1^2 - T^2}{L} x} \quad (4.80)$$

დ) გამოვითვლით საერთო ფილტრაციულ ხარჯს

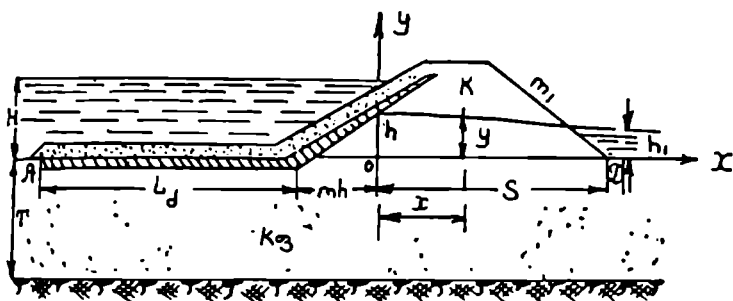
$$q = K \frac{y_1^2 - y_2^2}{2L} \quad \text{მ}^3/\text{დღე-ლამეში}. \quad (4.81)$$

3. უდრენაჟო მიწის კაშხალი ძირულით და ეკრანით (ნახ. 4.27 ა), როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არ არის, ე. ი.  $h_0=0$ . განსახილველ შემთხვევაში პროფესორ ე. ზამარინის მონაცემებით კოორდინატა სისტემას ვარჩევთ წინა მაგალითის ანალოგიურად, ხოლო ფილტრაციულ ხარჯს ძირულის უბანში  $A$ -დან  $O$  წერტილა-

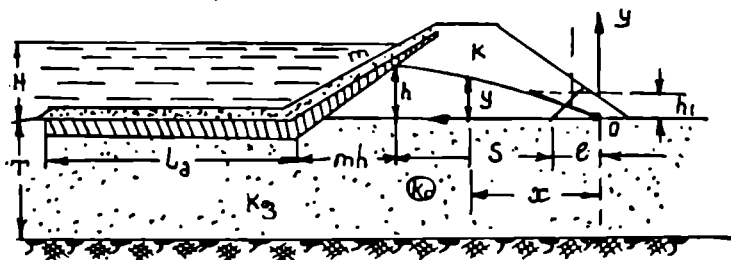
მდე (დეპრესიის მრუდის დასაწყისამდე) ვანგარიშობთ გამოსახულებით

$$q = K_{\text{ფ}} \frac{T}{u} \cdot \frac{H-h}{H+mh} \quad (4.82)$$

ა)



ბ)



ნახ. 4.27

ამ გამოსახულებაში შემასწორებელი კოეფიციენტი „ $u$ “ აიღება 4.4 ცხრილიდან, სადაც  $\frac{L}{T}$ -ს ნაცვლად პირობითად აიღება  $\frac{2(L_d + mh)}{T}$ . შემდგომ, ასეთივე მიდგომით რგივე ფილტრაციულ ხარჯს  $OD$  დეპრესიული მრუდის უბანში ვანგარიშობთ

$$q = \frac{h-h_1}{S} \left[ TK_{\text{ფ}} + \frac{(h+h_1)}{2} K \right] \quad (4.83)$$

როგორც წინა შემთხვევაში, აქაც ვუშვებთ  $h_1 \ll h$  და შესაბამისად  $S$  ზილიდელ შეიძლება მივიღოთ 4.27, ანახ.-ზე ნაჩვენები  $OD$  მონაკვეთი.

რადგან განსახილველ შემთხვევაში ფილტრაციული წყლის დინება დამყარებული სახისაა, ამიტომ შეგვიძლია (4.82) და (4.83) განტოლებე-

ზის მარჯვენა-ნაწილები გავუტოლოთ ერთიმეორეს და ამგვარად დეპრესიის მრუდის საწყისი  $h$  ორდინატის გამოსათვლელი გამოსახულება მივიღოთ შემდეგი სახით:

$$\frac{T}{n} - \frac{H-h}{L_0 + m_1 z} = -\frac{h}{S} \left( T - \frac{h}{2} - \frac{K}{K_0} \right). \quad (4.84)$$

ამ განტოლების ამოხსნა ხდება შერჩევის წესით. შევარჩევთ  $h$ -ის ისეთ რიცხვით მნიშვნელობას, რომლის დროსაც მივალწვეთ (4.84) განტოლების მარჯვენა და მარჯვენა ნაწილების იდენტურობას.

განგაჩინების შემდგომი მსვლელობა დაყვანილია  $h$  დაწნევის მქონე ერთგვაროვანი მიწის კაშხალის განგაჩინებამდე, რომლის დროსაც

$$h_1 = \frac{S}{m_1} - \sqrt{\frac{S^2}{m_1^2} - h^2} \quad (4.85)$$

$$\frac{q}{K} = \frac{h^2 - h_1^2}{2(S - m_1 h_1)} = \frac{h^2 - y^2}{2x} \quad (4.86)$$

4. დრენაჟიანი მიწის კაშხალი ძირულით და უკრანით (ნახ. 4. 27, ბ), როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არ არის ( $h_0=0$ ). განსახილველ შემთხვევაში (4. 82), (4. 83) და (4. 84) განტოლებები ძალაში რჩება, სახელდობრ დეპრესიის მრუდის  $h$  საწყისი ორდინატა გამოითვლება (4. 86) განტოლებიდან, ხოლო თვით დეპრესიის მრუდის ასაგებად შეიძლება გამოვიყენოთ ასეთი მიახლოებითი ფორმულები:

$$h_1 \approx \frac{h^2}{2S}; \quad (4.87)$$

$$y = \sqrt{2h_1 x} \quad (4.88)$$

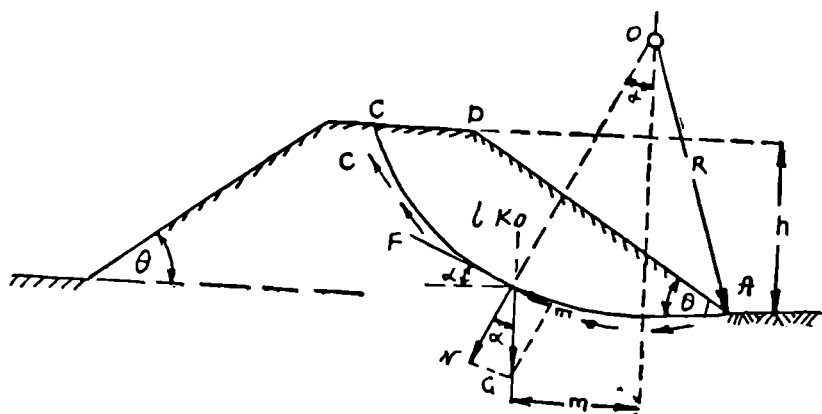
#### § 4. 6. მიწის კაშხალის ფარდობის შემოწმება მდგრადობაზე

შევარჩევთ რა მიწის კაშხალის განივ პროფილს, აუცილებელია მისი ფერდობები\* შემოწმდეს მდგრადობაზე. ასეთი შემოწმება განსაკუთრებით აუცილებელია საშუალო და მაღლივი კაშხალებისათვის, როდესაც მათი

\* მიწის კაშხალები იმდენად დიდი წონისაა, რომ მათი შემოწმება გაუტრებაზე არაერთარ საჭიროებს არ მოითხოვს.

შემცველი გრუნტები დაბალი სიმტკიცის მაჩვენებლებით (შინაგანი ხახუნის კუთხე და შექიღულულის ზვედრითი ძალა) ხასიათდებიან.

ამ შემთხვევაში ფერადობის მდგრადობის გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს შემდეგი მოსაზრებანი (ნახ. 4. 28):



ნახ 4.28

ა) ჩამოცურების AC ზედაპირის ფორმა, რომელზედაც კაშხალის ფერდოს ADC მონაკვეთის G წონის ზეგავლენით აღგილი ექნება ფერდოს ჩამოცურებას, მიიღება მრუდხაზოვნად ან კიდევ ცილინდრულად R რადიუსით რომელიმე ნებისმიერად აღებული O წერტილიდან (ზოგჯერ „O“ წერტილს ბრუნვის ცენტრს უწოდებენ); ამასთანავე, პირობითად მიღებულია, რომ ფერდოს ADC მონაკვეთი AC მრუდხაზოვან ზედაპირზე დაცურების დროს დეფორმაციას არ განიცდის;

ბ) ფერდოს ჩამონგრევის ADC მონაკვეთი განიცდის დამპერი და დამძრავი ძალების ზემოქმედებას; დამპერ ძალებს მიეკუთვნება ხახუნის ძალა ( $F = N \tan \varphi$ ), როდელიც პროპორციულია ADC მონაკვეთის G წონის ნორმალური N მდგენელის და გრუნტის შიგა ხახუნის კოეფიციენტის ( $\tan \varphi$ ), და შექიღულულის ძალა ( $cL$ ), რომელიც პროპორციულია დაცურების AC მრუდის L სიგრძისა და ამავე ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული ზვედრითი შექიღულულის ძალის c სიდიდის; დამძრავ ძალებს მიეკუთვნება T ძალა, რომელიც ტოლია ფერდოს ADC მონაკვეთის G წონის ტანგენციალური მდგენელის, ე. ი.  $T = G \cdot \sin \alpha$ .

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიწის კაშხალის ფერდობის მდგრადობაზე შეიძლება ვიმსჯელოთ მდგრადობის  $\eta$  კოეფიციენტით, რომელიც წა-

რმოადგენს „0“ წერტილის მიმართ გამოთვლილ დამჭერი და დამძრავი ძალების მომენტების სიდიდეთა თანაფარდობას, ე. ი.

$$\eta = \frac{(\cdot Ntg\phi + cL)R}{TR} = \frac{\cdot Ntg\phi + cL}{T} \quad (4.89)$$

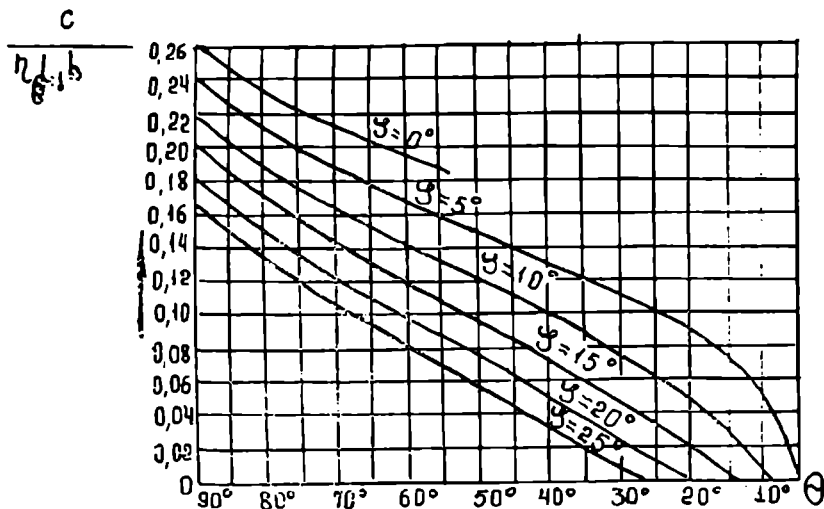
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, „0“ წერტილი და შესაბამისად დაცურების მრუდი შერჩეული იყო პირობითად, რის გამოც ამგვარად მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობაც პირობითად უნდა ჩაითვალოს. აღნიშნულიდან გამომდინარე რეკომენდებულია  $\eta$ -ს გამოთვლა მოხდეს სხვადასხვა (სამი-ხუთი) სიდიდის რადიუსებით მოხაზული დაცურების AC მრუდებისათვის (მათ შორის ისეთებისათვისაც, რომლებიც გაივლიან ფერდოს ძირის ქვემოთაც) და საანგარიშოდ მიღებულ იქნას ისეთი, რომლის დროსაც  $\eta$  იქნება მინიმალური (არანაკლები 1,1-ისა). (4.89) განტოლებაში შემავალი  $\phi$  და  $C$  სიდიდეების დადგენას ჩვეულებრივად ახდენენ სავსე ან კიდევ ლაბორატორიულ პირობებში; მიახლოებითი ანგარიშებისათვის მათი რიცხვითი მონაცემები შეიძლება ავიღოთ 4.5 ცხრილიდან.

ცხრილი 4.5

გრუნტის სახე	შინაგანი ხახუნის კუთხე $\phi$		ხვედრითი შეჭიდულობა $C$ , ტ/მ <sup>2</sup> ობით
	ბუნებრივი ტენიანობის შემთხვევაში	წყლით გაუღებ-თვის შემთხვევაში	
თიხოვანი	40—45°	12—18°	5—10
ქვიშოვანი	30—35°	20—27°	—

ზოგჯერ ასეთი სახის გაანგარიშებისათვის სარგებლობენ სხვადასხვა სამეცნიერო ინსტიტუტების მიერ შედგენილი საანგარიშო გრაფიკებით. მაგალითისათვის 4.29 ნახ.-ზე მოცემულია მიწის კაშხალების ფერდობების მდგრადობის საანგარიშო ერთ-ერთი მარტივი გრაფიკი, რომლის მიხედვითაც თუ გვეცოდინება წინასწარ კაშხალის ტანის შემცველი გრუნტის მოცულობითი წონა  $\gamma_1$  (ტ/მ<sup>3</sup>-ობით), შინაგანი ხახუნის კუთხე  $\phi$ , ხვედრითი შეჭიდულობა  $C$  (ტ/მ<sup>2</sup>-ობით) და ფერდოს  $h$  სიმაღლე (მეტრობით), შეგვიძლია განვსაზღვროთ კაშხალის მდგრადობისათვის აუცილებელი ფერდოს დახრილობის  $\theta$  კუთხე; ამ მიზნით, გრაფიკის სარგებლობისათვის აუცილებელია წინასწარ გამოვითვალოთ ფარდობა  $\frac{C}{\gamma_1 h}$ .

დაბოლოს, როდესაც მიწის კაშხალის ზედა ფერდოზე გათვალისწინებულია ეკრანის მოწყობა, აუცილებელია აგრეთვე მდგრადობის გაანგარიშება ჩატარდეს თვით ეკრანის ჩამოცურებაზე.

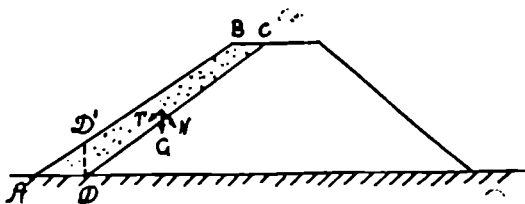


ნახ. 4.29 — დამოკიდებულების გრაფიკი  $\eta = 1 \left( \frac{c}{\gamma \gamma_1 h} \right)$

ამ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ ეკრანის  $DD'BC$  მონაკვეთი (ნახ. 4.30)  $G$  წონით შეიძლება ჩამოცურდეს  $CD$  დახრილ საბრტყეზე  $G$  წონის „მდგენელი ძალის  $T = G \sin \theta$  ზემოქმედებით, რომელსაც, თავის მხრივ, ეწინააღმდეგება ხახუნის  $F = N f_{\text{ფ}} = G \cos \theta \cdot f_{\text{ფ}}$  ძალა ( $f_{\text{ფ}}$  არის ეკრანის მასალისა და ქვედებული გრუნტის ფენას შორის ხახუნის კოეფიციენტი). შესაბამისად, ეკრანის მდგრადობის გაანგარიშება ჩამოცურებაზე ითვალისწინებს  $\eta$  მარაგის კოეფიციენტის გამოთვლას ფორმულით

$$\eta = \frac{F}{T} = \frac{G \cdot \cos \theta \cdot f_{\text{ფ}}}{G \cdot \sin \theta} \geq 1,1 \div 1,2. \quad (4.90)$$

ეს ფორმულა არ ითვალისწინებს ეკრანის გრუნტის შეჭიდულობას კაშხალის ტანის გრუნტთან და აგრეთვე თვით გრუნტის რეაქციას  $DD'$  კვეთის მიმართ (იხ. ნახ. 4.30) და ამიტომ მისი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ მიახლოებითი გაანგარიშების ჩასატარებლად; უფრო ზუსტი



ნახ. 4.30 — მდგრადობაზე ეკრანის საანგარიშო სქემა.

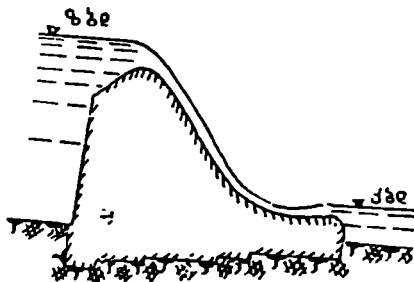
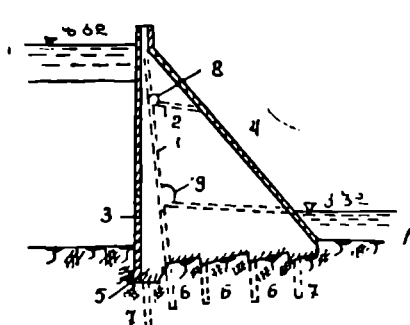
განგარიშებისათვის გამოიყენება სხვა მეთოდები, რომლებიც დეტალურადაა განხილული სპეციალურ ლიტერატურაში.

## მეხუთე თავი

### მასიური (ბრავიტაციული) კაშხალები კლდოვან ფუძეზე

#### § 5.1 ზოგადი მონათვაობი

მასიური კაშხალები შეიძლება იყოს ყრუ (ნახ. 5.1) და წყალსაშვიანი (ნახ. 5.2) ტიპის. ასეთი ტიპის კაშხალები წყლის ან კიდევ წყლისა და მონა-



ნახ. 5.2 — გრავიტაციული წყალსაშვიანი კაშხალის ტიპური სქემა.

ნახ. 5.1 — გრავიტაციული ყრუ კაშხალის ტიპური სქემა: 1—ვერტიკალური სადრენაჟო გალერეები; 2—განივი სადრენაჟო ღრულები; 3.4—კაშხალის ზედა და ქვედა ფერდობების შოპირკეთება; 5—ბეტონის კბილი; 6—სადრენაჟო ღრულები; 7—საცემენერაციო ღრულები; 8 და 9—ზედა და ქვედა სათივალთვლო გალერეები.

ლექი მასალის წნევისაგან გამოწვეულ დამძრავ ძალებს ეწინააღმდეგება საკუთარი წონის ხარჯზე და ამიტომ მათ პრაქტიკაში გრავიტაციულ ტიპის კაშხალებს უწოდებენ (ქვემოთ ყველგან გამოვიყენებთ ტერმინს—გრავიტაციული).

გრავიტაციულ კაშხალებს ჯგემაში შეიძლება ჰქონდეს სწორხაზოვანი (უმეტეს შემთხვევაში) ან კიდევ მრუდხაზოვანი მოხაზულობა (წყალსამვიან კაშხალებში) სიმრუდის დიდი რადიუსით, რაც საშუალებას იძლევა გავზარდოთ წყალსამვის ფრონტის და შესაბამისად შევამციროთ მასზე გადადინებული წყლის ხვედრითი ხარჯი.

თავის მხრივ, კაშხალის საკუთარი წონა და მასზე მოქმედი წყლის წნევის ძალა მოქმედებს რა კაშხალის ფუძის შემცველ გრუნტზე, იწვევს მასში საკმაოდ დიდ ძაბვებს.

აღნიშნული მიზეზების გამო გრავიტაციულ მალღივ კაშხალებს, ძირითადად, აშენებენ მხოლოდ კლდოვან ფუძეზე და ისიც იმ შემთხვევაში, როდესაც განსახილველი გრუნტი საკმაოდ მტკიცეა, მონოლითური, ყინვაგამძლე, მასში არ არის დაძვრის გამომწვევი საშიში ზედაპირები, თიხის შრეები, ბზარები და ა. შ.

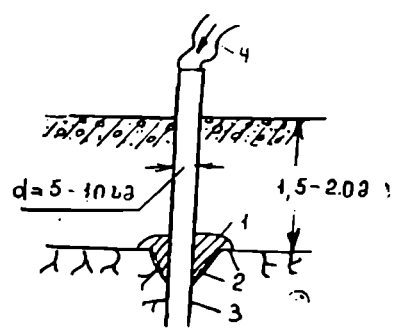
თუ საშუალო და დაბალი სიმაღლის გრავიტაციული კაშხალების დაპროექტება გათვალისწინებულია არაკლდოვან ფუძეზე (ქვიშოვანი, ქვიში-იხიოვანი, თიხნარი და ა. შ.), მაშინ აუცილებელია ასეთი ფუძის შემცველ გრუნტებს ჰქონდეს ერთგვაროვნება, მკირე და ამავე დროს თანაბარი კუმშვადობა. თუმცა აქვე შევნიშნავთ, რომ ბუნებაში იშვიათად გვხვდება მთლიანად მონოლითური (ბზარების გარეშე) კლდოვანი ფუძე. სწორედ ამიტომაც, რომ გრავიტაციული კაშხალების დაპროექტებას და მშენებლობას მუდამ წინ უსწრებს ფართო მასშტაბის საინჟინრო-გეოლოგიური და გეოტექნიკური საძიებო-კვლევითი სამუშაოების ჩატარება, რომლის საფუძველზე პროექტში დაისახება ის ძირითადი ღონისძიებანი, რომელთა განხორციელება მაქსიმალურად შეამცირებს წყლის ფილტრაციულ დინებას კლდოვანი ფუძის ბზარებში, მონოლითურს გახდის მას და შესაბამისად მინიმუმამდე დაიყვანს ასეთი დინებისაგან გამოწვეულ უკუწნევებს კაშხალის ძირში.

გრავიტაციული კაშხალის ფუძის ცემენტაციურ დამუშავებას იწყებენ კაშხალის ტანში ბეტონის პირველი ფენის (სიღრმით 2—3 მეტრი) ჩაწყობით, რათა დიდი დაწნევით ჩაჰირხნულმა ცემენტის ხსნარმა არ დააზიანოს კლდოვანი ფუძის ზედა ფენა და ამის გამო მასზე არ გაჩნდეს ახალი ბზარები.

5.3 ნახ.-ზე მოცემულია კაშხალის ფუძის ცემენტაციურად დამუშავების ტექნოლოგიური სქემა. თანახმად ნახაზისა, წყალცემენტის ხსნარი (ერთი ნაწილი ცემენტი და 5—7 ნაწილი წყალი) გოფირებული მილყელის საშუალებით, რომლის ბოლო ნაწილი ლითონისაა, მიეწოდება სპეციალურ



ღრულებში. სამუშაოს დაწყებით პერიოდში ცემენტის ხსნარის მიწოდება ხდება მისი საკუთარი წონის ხარჯზე, შემდეგ თანდათან იწყებენ პაერის შეჭირხენას მანამდე, სანამ წნევა არ მიაღწევს 7—9 ატმოსფეროს. ამ შემთხვევაში 5—10 სმ დიამეტრის ღრულები ეწყობა კაშხალის დაწნევიანი ფერდიდან 2.5—3 მ მანძილზე სიღრმით  $\geq (0,25-0,40) H_1$ , სადაც  $H_1$ —კაშხალის სავრთო სიმაღლეა. ცემენტაციის დაწყების წინ ღრუებს რეცხავენ წყლით ან კიდევ ერთკლით; ამავე მეთოდით იწმინდება აგრეთვე დაბეტონების წინ კაშხალის ფუძე. თუ



ცემენტაციის ჩატაობის საწყის პერიოდში ღრული დიდი რაოდენობის ცემენტის მთავარი წილი, ხანდახან დროებით სხარით (მათრიცხვით) და გადადია მეორე, პირველი ფენის მიღება ღრუებზე; 4—მომწინადად მიღებული სახელები.

ველთან საკმაოდ დაშორებულ ღრუებზე, რათა ამით არ მოხდეს კლდოვან გრუნტთან ცემენტის ახალი ხსნარის შეჭიდულობის შემცირება. საცემენტაციო ღრუები ეწყობა ყოველ 1.5—2.0 მეტრში იმ ვარაუდით, რომ მათმა ერთობლიობამ შექმნას ისეთივე წყალგაუმტარობა, როგორსაც აქას ნარანდები უზრუნველყოფს არაკლდოვან ფუძეზე ამენებულ კაშხალებში.

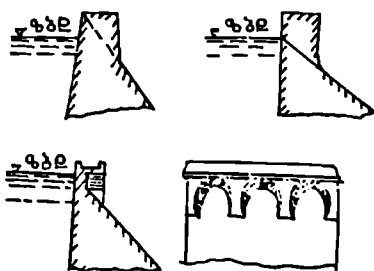
ცემენტაცია შეიძლება ჩაითვალოს დამთავრებულად, თუ კი  $1,5 H_1$  -ის შესაბამისი დაწნევის დროს 15—20 წუთის განმავლობაში წყლის ფილტრაცია ღრულის 1 გრძივ მეტრზე არ გადააჭარბებს 1 ლ/წუთში.

როდესაც კლდოვანი ფუძის ბზარები შევსებულია ქვიშით ან კიდევ ე. წ. მსუქანი თიხით, ცემენტაცია მიუღებელია; ცემენტაცია ნაკლებად საიმედოა აგრეთვე იმ შემთხვევაში, როდესაც ბზარებში აღილი აქვს აგრესიული წყლების გაღინებას ან კიდევ როდესაც ბზარებში ფილტრაციული წყლის მოღინების სიჩქარე  $\geq 80$  მ/დღე-ღამეში და რაც შეიძლება გახდეს მიზეზი ბზარებიდან ცემენტის გამორეცხვისა. ასეთ შემთხვევებში უმჯობესია ცემენტაციის ნაცვლად გამოვიყენოთ ბიტუმიზაცია — ბიტუმის ხსნარით ბზარების შევსება.

**§ 5.2. კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავიტაციული კაშხალების შეამდგენელი ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტები**

გრავიტაციული კაშხალების ძირითად კონსტრუქციულ ელემენტებს მიეკუთვნება სათავისი ან როგორც მას ხშირად უწოდებენ, ზღურ-  
9. ბ. ჩიკაშვილი

ბლი. სადრენაჟო მოწყობილობა, სამშენებლო და კონსტრუქციული ნაკერები.



ნახ. 5.4 — გრაფიკული კაშხალებში გამოყენებული სათავისების (ზღურბლების) მოხაზულობის სხვადასხვა სქემები.

კონსტრუქციული თვალსაზრისით ზღურბლი წარმოადგენს კაშხალის ძირითადი (სწორკუთხა, სამკუთხედოვანი) პროფილის ზედა ნაწილს ერთ მთლიან მასიურ ან თალოვანი ფორმის დანაშენს, რაც, თავის მხრივ, კაშხალებს აძლევს არქიტექტურულ გაფორმებას. ზღურბლებზე ეწყობა საეცი-ალური სათვალთვალო საძრომები ჩაასვლელი კაეებით, რომლებიც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია კაშხალის ტანში მოწყობილ სხვადასხვა სათვალ-თვალო და საექსპლუატაციო გალერეებთან და შანტებთან. ამ უკანასკნე-ლებს ამავე დროს აქვთ სავენტილაციო დანიშნულება.

2. სადრენაჟო მოწყობილობის დანიშნულებაა ფილტრა-ციული წყალი შეეკრბოს და შემდგომ გაატაროს კაშხალის ზედა ბიეფი-დან ქვედა ბიეფში და ამგვარად მინიმუმამდე დაიყვანოს ფილტრაციული წყლის დინებასაგან გამოწვეული უკუწნეების სიდიდე კაშხალის ძირში. ამ მიზნით კაშხალის ტანში აწყობენ (ყოველ 1.5-3.0 მეტრის მანძილზე) 15-30 სმ დიამეტრის მქონე ვერტიკალურ I სადრენაჟო გალერეებს (ნახ. 5.1.), რომლებიც, თავის მხრივ, დაყვანილია კლდემდე და ამავე დროს მის შუალედურ უბანში შეერთებულია ქვედა სათვალთვალო გალერესთან (მაღლივ კაშხალებში ზოგჯერ, გარდა ქვედა სათვალთვალო გალერეისა, აწყობენ აგრეთვე ზედა 8 სათვალთვალო გალერესაც, თუმცა ზომით უფ-რო ნაკლებს, ვიდრე ქვედა 9 სათვალთვალო გალერეა). ასეთი სათვალ-თვალო გალერეის ზომები ისეთნაირად უნდა დაინიშნოს, რომ მასში ადა-ნაწან თავისუფლად შეედლოს გავლა; შესაბამისად ასეთი გალერეის სიგა-ნე იღებდა არანაკლები 1,0 მეტრი, ხოლო სიმაღლე 1,8-2,0 მეტრი. სათვალ-თვალო გალერეების ძირითადი დანიშნულებაა შეკრიბოს კაშხალის ტანში გაქონილი წყალი და შემდგომ განივი 2 გალერეის მეშვეობით გაატაროს ის ქვედა ბიეფში. 20-25 სმ დიამეტრის განივი გალერეები ეწყობა ყოველ 10-15 მეტრში.

1. კაშხალის ზღურბ-ლი (ნახ. 5.4) ჩვეულებრივად გამოიყენება სამოსამსახურო გასაფ-ლელად ან საერთოდ სატრანს-პორტო საშუალებათა და ფეხით მოსიარულეთა გასატარებლად. აღნიშნულის საფუძველზე კაშხა-ლის ზღურბლის სიგანე ინიშნება ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენ-სივობის გათვალისწინებით, მაგ-რამ არანაკლები 3,5-4,0 მეტრი-სა.

სათვალთვალო გალერეები აუცილებელია მოეწყოს ქვედა ბიეფის წყლის დონის ნიშნულზე მაღლა.

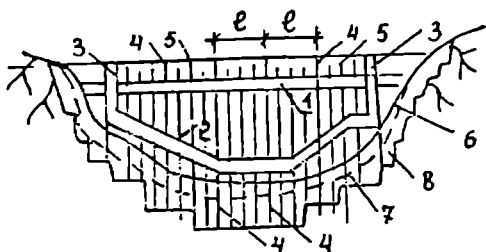
სათვალთვალო გალერეებიდან შესაძლებელი ხდება საცდელი ხასიათის დაკვირვებები ვაჭარზოთ კაშხალის ტანში ჩაწყობილი ბეტონის ხარის-ხზე, მასში გამდინარე ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეზე და ა. შ. სწორედ ამ მიზნით სათვალთვალო გალერეებში იდგმება სწვადასხვა სახის საზომი ხელსაწყო-აპარატები.

ვერტიკალურ სადრენაჟო გალერეებს შეძლებისდაგვარად ათავსებენ სადაწნეო ფერდოსთან ახლოს, მაგრამ არაუახლოეს 3—5 მეტრის დაშორებით, რათა განსახილველ უბანში ადგილი არ ექნეს ბეტონის მასივის სუფოზიას სადრენაჟო გალერეებში ფილტრაციული წყლის დინების დიდი სიჩქარის გამო. აღნიშნულის თავიდან აცილების მიზნით ზოგჯერ მიზანშეწონილია ვერტიკალური სადრენაჟო გალერეები შეიცვალოს დიდი ფორიანობის მქონე მრგვალხვრეტებიანი ბეტონის ბლოკებით, რომლებიც ერთი-

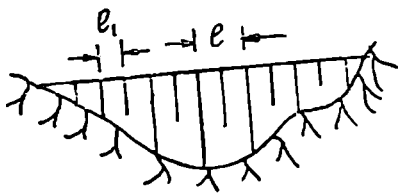
მეორეზე იდგმება თაღდათანობით, კაშხალის ტანში ბეტონის ჩაწყობასთან ერთად. ვერტიკალური სადრენაჟო გალერეები შეიძლება განხორციელდეს აგრეთვე კერამიკული მილებისაგან.

ზედა და ქვედა სათვალთვალო გალერეების, მათში ვერტიკალური საძრომებისა და ვერტიკალური საწრეტების კაშხალის ტანში განლაგების საერთო სქემა, კაშხალის გრძივი ჭრილის სახით, მოცემულია 5.5, ა ნახ. 5.6. ამავე ნახაზზე ნაჩვენებია კონსტრუქციული და ტემპერატურული ნაკერები, რომლებითაც კაშხალი ვე-

ა)



ბ)



ნახ. 5.5 — გრძივი-სა-სადრენაჟო გალერეების კაშხალის გრძივი პროფილი სადრენაჟო სისტემის და სამშენებლო და ტემპერატურული ნაკერების მოწყობის ზოგადი სქემის ჩვენებით: 1—ზედა სადრენაჟო გალერეა; 2—ქვედა სადრენაჟო გალერეა; 3—სათვალთვალო საძრომი; 4—ნაკერები; 5—ფილტრაციული წყლის საწრეტები; 6—კლდოვანი ფუძის ბუნებრივი ზედაპირი; 7—კლდოვანი ფუძის ძირითადი (ზედაპირული შრის მოხსნის შემდეგ) ქანების გამოშახველი ხაზი; 8—კაშხალის ტანის კლდეში საფეხურისებურად შეჭრის გამოშახველი კონტურის ხაზი.

რტიკალურ სიბრტყეში დაიყოფა / სიგრძის ცალკეულ ბლოკებად; ბლოკების დაბეტონება ხდება ცალ-ცალკე, შემდეგი თანმიმდევრობით: ვთქვათ, მშენებლობის მწარმოებელი ორგანიზაციის პროექტით კაშხალი გრძივ ჭრილში დაყოფილია 20 ბლოკად, რომლისგანაც წინასწარ დადგენილ გარკვეულ სიმაღლემდე პირველად ბეტონს აწყობენ 1, 3, 5 და ა. შ. ბლოკებში, შემდგომ კი, როდესაც აქ ჩამოთვლილ ბლოკებში ბეტონი საკმაოდ გამაგრდება, ბეტონს აწყობენ 2, 4, 6 და ა. შ. ბლოკებში; შემდგომ სიმაღლეთა ეტაპებზე (იარუსებზე) დაახლოებით ყოველ 3—8 მეტრ სიმაღლეზე, ჩამოთვლილი ბლოკების დაბეტონების თანმიმდევრობის ციკლი ხელახლა მეორდება. ვერტიკალურ ნაკერებს 4 კონსტრუქციული ნაკერები ეწოდებათ, ხოლო ჰორიზონტალური კი — სამშენებლო ან კიდევ მუშა ნაკერების სახელწოდებითაა ცნობილი.

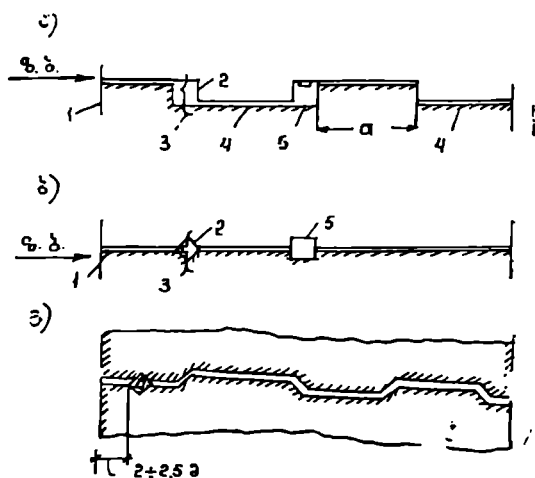
კაშხალის ტანში კონსტრუქციული ნაკერების გათვალისწინება ნაკარნახევია არა მარტო სამუშაოთა წარმოების პირობებით, არამედ იმითაც, რომ დატვირთვების შედეგად კაშხალის ტანი განიცდის რა გარკვეულ დეფორმაციას, ადგილი აქვს მისი ცალკეული ნაწილის სხვადასხვა სიდიდით ჯდომას; ამას ისიც უნდა დავამატოს, რომ კაშხალის ტანში ჩაწყობილი ბეტონი განიცდის ტემპერატურულ ცვალებადობას. ორივე ამ მოვლენას, თუ კაშხალის ტანში წინასწარ არ იქნებოდა გათვალისწინებული ნაკერები, წვედლო გამოეწვია ნაგებობის მდგრადობისათვის საშიში ბზარების წარმოშობა.

მეორე მხრივ, უნდა აღნიშნოს, რომ ფილტრაციული თვალსაზრისით კაშხალის ტანში გათვალისწინებული კონსტრუქციული ნაკერები ნაგებობის სუსტ ადგილებს წარმოადგენენ. აღნიშნულიდან გამომდინარე კონსტრუქციული ნაკერები ისეთნაირად უნდა მოეწყოს, რომ მათში ფილტრაციული წყლის დინება საერთოდ გამორიცხული ან კიდევ უკიდურეს შემთხვევაში მინიმალური იყოს; თუ კი ნაკერში წყლის ფილტრაციას მაინც ექნება ადგილი, მაშინ ნაკერში მოხვედრილი ფილტრაციული წყალი სადრენაჟო მოწყობილობათა სისტემით გატარებული უნდა იქნეს ქვედა ბიეფში.

ჰიდროტექნიკურ პრაქტიკაში კონსტრუქციული ნაკერების მოწყობის მრავალი სქემა არსებობს; 5.6 ნახ.-ზე მოცემულია ზოგიერთი მათგანის კონსტრუქციული გადაწყვეტის ზოგადი სქემა. როგორც 5.6, ა და 5.6, ბ ნახ.-დან ჩანს, კაშხალის ტანში სადაწნეო 1 ფერდოდან 2-4 მეტრის დაცილებით ეწყობა კვადრატული (ზომით 0,7 X 0,7 მ / ან კიდევ მრგვალი კვეთის (დიამეტრით 0,7-1,0 მეტრამდე) მქონე შახტი 2 ფილტრაციის საწინააღმდეგო წყალგაუმტარი 3 ლითონის ან კიდევ სპილენძის ელასტიკური

ფირფიტით; პირველ შახტიდან 2-3 მეტრის მანძილზე ეწყობა მეორე სადრენაჟო 5 შახტა, რომელიც, თავის მხრივ, შეერთებულია ზემოთდასახეულ ბუდეულ სათვალთვალო გალერეასთან. ზოგჯერ ნაკერების წყალგაუმტარობას აღწევენ მათში ბიტუმის კვადრატული ფორმის სოგმანების (ნახ. 5.6, გ) მოწყობით.

ჩვეულებრივად, კონსტრუქციულ ნაკერებს შორის  $L$  მანძილს (იხ. ნახ. 5.5, ა და ნახ. 5.5 ბ) ღებულობენ 15—20 მეტრის ფარგლებში, ზოგჯერ კი, უმეტესად ეკონომიკური თვალსაზრისით, ზრდიან 25—30 მეტრამდე. იმავე ეკონომიკური თვალსაზრისით, ნაკერების ერთი ნაწილი კაშხალს ყოყს მთელ სიმაღლეზე, მეორენი კი—ზღურბლიდან დაახლოებით კაშხალის ნახევარ სიმაღლემდე; ღრმა ნაკე-



ნახ. 5.6 — კონსტრუქციული ნაკერების მოწყობის ზოგადი სქემები: 1—კაშხალის სადრენაჟო ფერდო; 2—ფილტრაციის საწინააღმდეგო შახტა; 3—ლითონის ან სპილენძის ფირფიტა; 4—ფეხურები; 5— სადრენაჟო შახტა.

რებს შორის მანძილი  $L$  აიღება სამჯერ მეტი, ვიდრე  $L_1$  მანძილი (იხ. ნახ. 5.5, ბ).

3. კაშხალის ფერდოების მოპირკეთება. კაშხალის ზედა სადრენაჟო ფერდოს მოპირკეთების მიზანია მისი დაცვა სხვადასხვა სახის მანენ ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური ზემოქმედებისაგან. ამ მიზნით, ზედა ფერდოს 3 (იხ. ნახ. 5.1) მოპირკეთება უმეტესად ხორციელდება შედარებით მტკიცე ბეტონისაგან 200—300 კგ ცემენტის შემცველობით ბეტონის ყოველ 1 მ<sup>3</sup> მოცულობაზე კაშხალის ზღურბლთან  $\geq 1$  მეტრი, ხოლო მის ძირში  $\geq 3$  მეტრის სისქით. გარდა აქ აღნიშნულისა, კაშხალის ზედა ფერდოს მოპირკეთებლად გამოიყენება აგრეთვე სხვადასხვა სახის მაგარი ჩიშის ბუნებრივი და ხელოვნური ქვები.

გამოფიტვისაგან დაცვის მიზნით მტკიცე და ყინვაგამძლე ბეტონისაგან მოპირკეთებას საჭიროებს აგრეთვე კაშხალის ქვედა 4 ფერდოც (იხ. ნახ. 5.1). წყალსაშვიანი ბეტონის კაშხალებში, როდესაც ნატანი მასალისაგან ბეტონის გაცვეთის საშიშროება არსებობს, კაშხალის ქვედა ფერდოს

მოპირკეთება ხორციელდება გრანიტის ქვით. როგორც ერთ, ისე მეორე შენობებში მოპირკეთებული ზედაპირი უნდა შეიღებოს სპეციალური სიოთხით (ბიტუმსე) რაც, თავის მხრივ, არა მარტო ზრდის ბეტონის წყალგამტარობას, არამედ იცავს ბეტონის ზედაპირს აგრესიული წყლების მავნე ზემოქმედებისაგან.

4. მასიური კაშხალების ასაშენებლად, ძირითადად, გამოიყენება ბეტონი და, იშვიათად, ყორექვის წყობა ცემენტის ხსნარზე.

ყორექვის წყობით კაშხალების მშენებლობა ფართოდ იყო გავრცელებული მეოცე საუკუნის დასაწყისამდე, საიამ წინასწარ დაგეგმილი სიმტკიცის ბეტონის დამზადების არსი ჯერ კიდევ შეუსწავლელი იყო. ამჟამად ყორექვის წყობით კაშხალებს აშენებენ მხოლოდ ძნელად მისადგომ მთიან რაიონებში და ისიც იმ შემთხვევაში, როდესაც მშენებლობის რაიონში ყორექვა საკმაო რაოდენობით მოიპოვება და სამუშაოთა მოცულობა მცირეა. ეს, ძირითადად, იმითაა გამოწვეული, რომ ყორექვის წყობის დროს სამუშაოთა წარმოების ორგანიზაცია ძალზე გაძნელებულია, მშენებლობის ტემპი დაბალია და მოითხოვს კვალიფიციურ მუშაუნებს (კალატოზებს).

ბეტონი ეს არის ძირითადი სამშენებლო მასალა მასიური კაშხალების მშენებლობაში, რადგან ის საშუალებას იძლევა სამუშაოთა წარმოების დროს ფართო მასშტაბით გამოვიყენოთ ყოველგვარი მექანიზაცია, მაქსიმალურად გავზარდოთ სამუშაოთა ტემპი (5—10 ათასი მ<sup>3</sup>/დღე-ღამეში), კაშხალს მიეცეთ ნებისმიერი მოხაზულობა, საპროექტო სიმტკიცე, არქიტექტონისათვის საკმაო წყალგამტარობა და საექსპლუატაციო დროის, ხანგრძლივობა. კაშხალების მშენებლობაში ბეტონის გამოყენების ნაკლოვან მხარეებს მიეკუთვნება—ცემენტის დიდი რაოდენობით ხარჯვა, ფილტრაციული წყლების და ტემპერატურული და მოცულობითი ბზარების გაჩენის შედეგად შესაძლო დანგრევა, აგრეთვე საგულდაგულო კონტროლის დაწესების აუცილებლობა ბეტონის დამზადებისა და კაშხალის ტანში მისი ჩაწყობის პროცესში, რომლის გარეშე საერთოდ შეუძლებელია ბეტონის წინასწარ მოთხოვნილი სიმტკიცის მიღწევა.

ყორექბეტონი — ბეტონის ის სახეობაა, რომელშიც ცემენტის ეკონომიის და ტემპერატურულ-მოცულობითი მოვლენების შემცირების მიზნით, საერთო მოცულობის 20—25% რაოდენობით ჩართულია მსხვილი ქვები (ზომით დასაბეტონებელი ელემენტის სისქის არაუმეტეს 1/5-ისა). მასიური კაშხალების მშენებლობაში ყორექბეტონის გამოყენება ნაწილობრივ შეზღუდულია იმით, რომ მსხვილი ქვების კაშხალის ტანში ჩაყრა მოითხოვს ცალკე მექანიზაციას, მოუხერხებელია მათი ჩაყრა ბეტონის ჩაწყობასთან ერთად, გაძნელებულია ბეტონის ვიბრაცია და აპიტომ ძალზე

დაბალია კაშხალის მშენებლობის ტემპი საერთოდ. სწორედ ამიტომ ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ყორებეტონით ბეტონის შეცვლის საკითხი უნდა გახდეს სპეციალური შესწავლის საგნად იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ადგილობრივი პირობები, ნაგებობის სახე და ზომები, სამუშაოთა შესრულების ნავარაუდები ტემპი და ა. შ.

მასიური კაშხალების ასაშენებლად გამოყენებულ ბეტონს უნდა ახალიათებდეს: სათანადო სიმტკიცე (ეს განსაკუთრებით აუცილებელია საშუალო და მაღლივი კაშხალებისათვის), სიმკვრივე (წყალგაუმტარობა), მონოლითობა ან კიდევ, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ბეტონის მასივში ზხარებისა და ცალკეული შეუვსებელი სივრცეების (უმნიშვნელოც კი) არარსებობა, ხანგამძლეობა ან კიდევ, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ბეტონს უნდა ქონდეს ფილტრაციული წყლების დინებისაგან გამოწვეულ დამანგრეველ მოვლენებთან ხანგრძლივი წინააღმდეგობის გაწევის უნარი.

ყველა აქ ჩამოთვლილ მოთხოვნათა დაკმაყოფილება შესაძლებელია მიღწეულ იქნას მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ბეტონის შემადგენელი ინერტიული მასალები და სხვა მისი შემცველი კომპონენტები შერჩეულ იქნება საგულდაგულოდ, მეცნიერულ საფუძველზე.

ბეტონის სიმტკიცის, სიმკვრივის და ხანგამძლეობის უზრუნველყოფა შესაძლებელია ბეტონის დამზადებაში სპეციალური ცემენტების გამოყენებით: ჩვეულებრივად ბეტონში ცემენტის რაოდენობა მიიღება 200 — 300 კგ/მ<sup>3</sup>, წყალცემენტის შედგენილობამ კი უნდა უზრუნველყოს ბეტონის მაქსიმალური სიმტკიცე, რაც შეეხება ბეტონის მონოლითობის პირობას, მისი დაკმაყოფილება შეიძლება ბეტონში ცემენტის შექლების დავარად ნაკლები რაოდენობის გათვალისწინებით ან კიდევ მცირე და საშუალო აქტივობის მქონე ცემენტის გამოყენებით.

#### § 5. 3. კლდოვან ფაქიჯა აუზნაგული გრავიტაციული კაშხალის განაგარიშვაზე მდგრადობაზე

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე და მათ შორის მასიურ კაშხალებზე მოქმედი ძალებისა და დატვირთვების გამოთვლის მეთოდები განხილული იყო წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეორე თავში (§ 2.4), რომლის თანახმად კაშხალზე მოქმედი ყველა ძალა საბოლოოდ შეიძლება დაყვანილ იქნას სამ ძირითად ძალად, სახელდობრ (იხ. ნახ. 2.20):

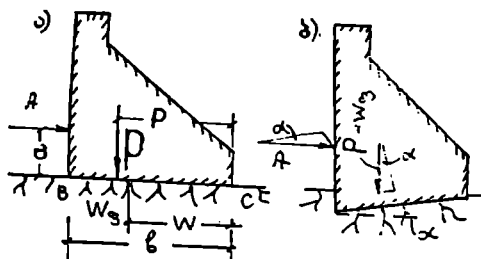
ა) პორიზონტალური  $A$  ძალად, რომელშიც შევა კაშხალის ზედა და ქვედა ფერდობებზე მოქმედი წყლის წნევის  $W_1$  და  $W_2$  სიდიდეები, დანალექი მასალის  $E_6$  წნევა კაშხალის ზედა ბიფის ნხრიდან და აგრეთვე ციხის  $W_3$ , ტალღის  $W_6$  და სეისმური  $W_4$  ძალები; ყველა აქ აღნიშნული

ძალის ტოლქმედი  $A = W_1 - W_2 + E_5 + W_3 + W_6 + W_7$

ბ) ვერტიკალურ  $P$  ძალად, რომელშიც შევა კაშხალის ტანის საკუთარი წონა  $G$ , კაშხალის ტანზე მოქმედი  $W_3$  და  $W_4$  წყლის წნევის ძალები და რომელთა ტოლქმედი  $P = G + W_3 + W_4$ .

გ) ვერტიკალურ  $W_6$  ძალად, რომელშიც შევა ამპტივტივებელი  $W_5$  და ფილტრაციული  $W_6$  ძალები, ე. ი.  $W_6 = W_5 + W_6$ .

ამგვარად, კაშხალის ტანზე  $A$ ,  $P$ , და  $W_6$  ძალების ზემოქმედებით შეიძლება ადგილი ექნეს ნაგებობის წონასწორობის დარღვევის შემდეგ შემთხვევას (აქ იგულისხმება, რომ კაშხალი დგას საკმაოდ მტკიცე ფუძეზე):  $A$  ძალის ზემოქმედებით (იხ. ნახ. 5.7, ა) კაშხალი გადაადგილდება  $BC$



ნახ. 5.7. — გრავიტაციული კაშხალების მდგრადობის საანგარიშო სქემა დაძვრაზე: ა) როდესაც კაშხალი შენდება პორიზონტალურ სიბრტყეზე; ბ) როდესაც კაშხალის ძირი პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ დახრილია კუთხით.

პორიზონტალური სიბრტყის გასწვრივ;  $W_6$  ძალის ზემოქმედებით კაშხალი ატივივირდება ვერტიკალურ სიბრტყეში;  $A$  და  $W_6$  ძალების ზეგავლენით კაშხალი შეიძლება გადაბრუნდეს მისი ქვედა წიბოს  $C$  წერტილის ირგვლივ. აღნიშნულის შესაბამისად კაშხალის მდგრადობის შემოწმება უნდა მოხდეს და ძვრაზე, შეტივიტივიებაზე და გადაბრუნებაზე. სახელდობრ, როდესაც კაშხალი

პორიზონტალურ ფუძეზე დგას (ნახ. 5.7, ა), მდგრადობის კოეფიციენტი დაძვრაზე

$$K_{\alpha} = \frac{f(P - W_6)}{A} \quad (5.1)$$

ან კიდევ

$$K_{\alpha} = \frac{f_0(P - W_6) + bc}{A} \quad (5.2)$$

სადაც  $f(P - W_6)$  არის კაშხალის ტანსა და ფუძეს შორის ხახუნის ძალების გამოძახებული სიდიდე,  $f_0(P_0 - W_6) + bc$  — კაშხალის ტანის შეჭიდულობის ძალა მის ფუძესთან,  $f$  — ხახუნის კოეფიციენტი,  $f_0$  — პროპორციულობის



გამომსახველი კოეფიციენტი,  $b$  — კაშხალის ძირის სიგანე,  $c$  — ხვედროთი შექიდულობა ტ/მ<sup>2</sup>-ობით.

დაძვრაზე\* მდგრადობის  $K_{\Sigma}$  კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობანი აიღება 2.10 ცხრილიდან იმისდამხედვით, თუ რომელ კლასს მიეკუთვნება განსახილველი ნაგებობა.

(5.1) ფორმულაში მოცემული  $f$  ხახუნის კოეფიციენტის რიცხვით მნიშვნელობას განსაზღვრავენ სპეციალური ცდების საფუძველზე; წინასწარი, მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის მისი რიცხვითი მნიშვნელობა შეიძლება დადგენილ იქნას 6.2 ცხრილიდან (იხ. წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეექვსე თავი).

(5.2) ფორმულაში შემავალი  $f_0$  და  $c$  კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები აიღება შემდეგ ფარგლებში  $f_0 \approx 0,6 - 0,65$  და  $c \approx 1,5 - 2,5$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

როდესაც კაშხალის ძირი ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ დახრილია (იხ. ნახ. 5.7, ბ)  $\alpha$  კუთხით, დაძვრაზე მდგრადობის  $K_{\Sigma}$  კოეფიციენტი იზრდება იმ შემთხვევასთან შედარებით, როდესაც კაშხალი დგას ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. განსახილველ შემთხვევაში კაშხალის ძირის გასწვრივ მოქმედებს დამძრავი  $A \cos \alpha$  და ვერტიკალური  $P - W_{\text{ფ}}$  ძალების შემდგენელი  $(P - W_{\text{ფ}}) \sin \alpha$  ძალები. აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით, განსახილველი შემთხვევისათვის (5.1) ფორმულა შემდეგნაირად გადაიწერება

$$K_{\Sigma} = f \frac{(P - W_{\text{ფ}}) \cos \alpha + A \sin \alpha}{A \cos \alpha - (P - W_{\text{ფ}}) \sin \alpha} = f \frac{(P - W_{\text{ფ}}) + A \operatorname{tg} \alpha}{A - (P - W_{\text{ფ}}) \operatorname{tg} \alpha} \quad (5.3)$$

ამოტივტივებაზე კაშხალის მდგრადობის კოეფიციენტი გამოითვლება გამოსახულებით

$$K_{\Sigma} = \frac{P}{W_{\text{ფ}}} \geq 1,3, \quad (5.4)$$

თუმცა აქვე აღვნიშნავთ, რომ მასიური კაშხალებისათვის ასეთი გაანგარიშების ჩატარება მიზანს მოკლებულია, რადგან მასიური ნაგებობის მდგრადობა ამოტივტივებაზე თავისთავად უზრუნველყოფილია. გამონაკლისს წარმოადგენს დაბალფლიუტბეტიანი კაშხალები, სადაც წნევა, ძირითადად, შექმნილია მარეგულირებელი ფარების ხარჯზე.

ცწერტილის ირგვლივ ფადაბარუნებაზე (ნახ. 5.7, ა) კაშხალის მდგრადობის კოეფიციენტი  $K_{\Sigma}$  გამოითვლება ფორმულით

\* ასევე გადაბრუნებაზე და შეტივტივებაზე.

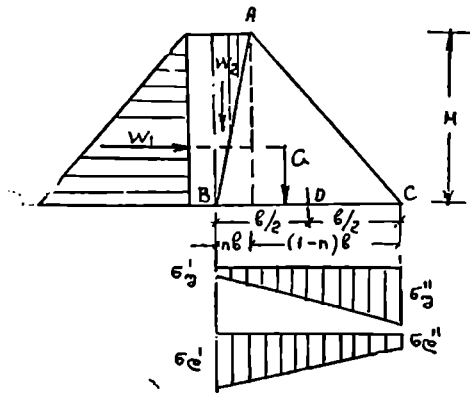
$$K_3 = \frac{P \cdot p}{A_0 + W \cdot w} \quad (5.5)$$

დაბოლოს აღვნიშნავთ, რომ ნორმალური ძაბვები  $BC$  სიბრტყეში (იხ. ნახ. 5.7, ა) როგორც კაშხალის ძირში, ასევე მის ფუძეზე, როგორც წესი, უნდა იყოს მხოლოდ კუმშვადი. ამ პირობის შესასრულებლად აუცილებელია, რომ ყველა ზემოთ განხილული ძალების ტოლქმედი არ უნდა გამოდიოდეს (რადიკირთვასაც არ უნდა განიცდიდეს კაშხალი) კაშხალის ძირის მესამედიდან. დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში კაშხალის ძირში, როდესაც ის შენდება კლდოვან ფუძეზე, შეიძლება დავუშვათ არაუმეტეს  $1 \text{ კგ/სმ}^2$  სიდიდის გამჭიმავი ძაბვები.

თუ კაშხალი მდგრადია დაძვრაზე და კაშხალის ძირში ძაბვები არ აღემატება დასაშვებს, მაშინ პრაქტიკულად კაშხალის მდგრადობის შემოწმება ვადაბრუნებაზე საჭიროებას არ მოითხოვს.

#### § 5.4. კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავიტაციული კაშხალის ეკონომიკური პროფილის შერჩევა

ზოგადად, ბეტონის მასიური კაშხალის თეორიულ პროფილად მიღებულია სამკუთხედი (იხ. ნახ. 5.8), რომლის ფუძის სიგანეა  $b$ , სიმაღლე  $H$ , სადაწნეო და ქვედა ფერდობების დახრილობა კი შესაბამისად შეადგენენ  $nb$ -ს და  $(1-n)b$ , სადაც  $n < 1$ . ასეთი გაანგარიშების დროს მიღებულია, რომ ზედა ბიეფი წყლით შევსებულია კაშხალის მთელ  $H$  სიმაღლეზე და ამგვარად განიხილება რადიკირთვების ყველაზე კრიტიკული შემთხვევა.



აქვე აღვიშნავთ, რომ კაშხალზე, გარდა საკუთარი  $G$  წონისა, მოქმედებს აგრეთვე ზედა ბიეფის წყლის წნევა, სახელდობრ, პოზიტიული  $W_1$  და ვერტიკალური  $W_2$ ; ქვედა ბიეფის წყლის წნევა და ფილტრაციული წნევის სიდიდე კაშხალის ძირზე მიღებულია ნულის ტოლად. აქ ჩამოთვლილი პარამეტრების გარდა, კაშხალის ეკონომიკური კვეთის შესარჩევად აუცილებელია აგრეთვე კაშხალის

ნახ. 5.8 — სამკუთხედოვანი ფორმის გრავიტაციული კაშხალის ეკონომიკური კვეთის შესარჩევი საანგარიშო სქემა.

ძირის განაპირა წერტილებში წინასწარ დავადგინოთ ნორმალური ძაბვების რიცხვითი მნიშვნელობანი (ნახ. 5.8), რომელიც გამოითვლება არაცენტრალური კუმშვის ფორმულით

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{b} \pm \frac{6 \Sigma M}{b^2}, \quad (5.6)$$

სადაც  $\sigma$  არის ნორმალური ძაბვების გამომსახველი სიდიდე (ქვემოთ, განგარიშებებში ნორმალურ ძაბვებს კაშხალის ზედა და ქვედა ფერდობთან შესაბამისად აღვნიშნავთ:  $\sigma'_a$  და  $\sigma''_a$ , როდესაც წყალსაცავი შევსებულია წყლით მთლიანად, და  $\sigma'_e$  და  $\sigma''_e$ , როდესაც წყალსაცავი დაცლილია);  $\Sigma V$  - ვერტიკალური ძალების ჯამი, რომელიც 5.8 ნახ-ზე მოცემული შემთხვევისათვის ტოლია  $G + W_2$ ;  $\Sigma M$  - კაშხალზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტი კაშხალის ძირის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი „0“ კვეთის მიმართ.

თავის მხრივ 5.8. ნახ-ზე მოყვანილი აღნიშვნების მხედველობაში მიღებით

$$\Sigma V = \gamma_1 \left( \frac{bH}{2} + \gamma \frac{nbH}{3} \right) = \frac{bH}{2} \left( \gamma_1 + \gamma n \right), \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \text{ხოლო } \Sigma M &= \gamma \frac{H^2}{2} \cdot \frac{H}{3} - \gamma \frac{nbH}{2} \left( \frac{b}{2} - \frac{nb}{3} \right) - \\ &- \frac{\gamma_1 bH}{2} \left( \frac{b}{2} - \frac{nb}{3} \right) = \frac{b^2 H}{12} \left( 2 \frac{\gamma H^2}{b^2} - 3\gamma n + 2\gamma n^2 - \gamma_1 + 2\gamma_1 n \right). \end{aligned} \quad (5.8)$$

$\Sigma V$  და  $\Sigma M$ -ის მნიშვნელობებს ჩავსვამთ რა (5.6) ფორმულაში\*, მივიღებთ (ზოგიერთი მარტივი გარდაქმნის შემდეგ) ნორმალური ძაბვების გ.წ. სათვლელ ფორმულებს კაშხალის ზედა და ქვედა ფერდობთან, როდესაც წყალსაცავი შევსებულია წყლით ( $\sigma'_a$  და  $\sigma'_e$ ) ან კიდევ დაცლილია ( $\sigma''_a$  და  $\sigma''_e$ ):

ა) როდესაც წყალსაცავი შევსებულია წყლით

$$\begin{aligned} \sigma'_a &= \frac{H}{2} \left( \gamma_1 + \gamma n \right) - \frac{H}{2} \left( \frac{2\gamma H^2}{b^2} - 3\gamma n + 2\gamma n^2 - \gamma_1 + 2\gamma_1 n \right) = \\ &= H \left[ \gamma_1 (1-n) + \gamma n (2-n) - \gamma \frac{H^2}{b^2} \right] \end{aligned} \quad (5.9)$$

\* წინასწარ აღვნიშნავთ, რომ ამ ფორმულის მარჯვენა მხარის მეორე წევრის წინ ეწეროთ „-“ ნიშანს, როგორც ყველაზე არახელსაყრელი სანაგარიშო პირობა.

და წინასწარ ვლებულობთ რა  $\frac{\sigma_3' + \sigma_3''}{2} = \frac{\Sigma V}{6}$ , იმავე

(5.9) ფორმულიდან ვლებულობთ

$$\sigma_3'' = nH \left( \gamma_1 - \gamma_T + n\gamma \right) + \frac{\gamma H^3}{b^2}. \quad (5.10)$$

ბ) როდესაც წყალსაცავი დაცლილია, ე. ი. როდესაც  $\gamma = 0$ , (5.9) და (5.10) ფორმულები გადაიწერება ასეთნაირად:

$$\sigma_3' = \gamma_1 H (1 - n); \quad (5.11)$$

$$\sigma_3'' = \gamma_1 n H. \quad (5.12)$$

ავგარად თუ ჩვენ, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გამოვრიცხავთ გამტკიმავეი ძაბვების არსებობას კაშხალის ძირის განსახილველ კვეთში, ე. ი. დავუშვებთ, რომ  $\sigma_3' = 0$ , მაშინ (5.9) ფორმულიდან მივიღებთ

$$b = \frac{H}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma} (1 - n) + n(2 - n)}}, \quad (5.13)$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ რაც მეტია მნიშვნელის რიცხვითი სიდიდე, მით ნაკლებია კაშხალის ძირის  $b$  სიგანე; შესაბამისად, თუ მოვახდენთ ამ ფორმულის ფესვქვეშა გამოსახულების გაწარმოებას  $n$ -ის მიმართ და მას გავუტოლებთ ნულს, ე. ი.

$$\frac{d \left[ \frac{\gamma_1}{\gamma} (1 - n) + n(2 - n) \right]}{dn} = - \frac{\gamma_1}{\gamma} + 2 - 2n = 0, \quad (5.14)$$

მაშინ ვლებულობთ, რომ

$$n = 1 - 0,5 \frac{\gamma_1}{\gamma}. \quad (5.15)$$

რადგან ბეტონის ან კიდევ ყორებეტონის წყობისათვის  $\frac{\gamma_1}{\gamma}$  საშუალოდ უდრის 2.3, ამიტომ (5.15) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ  $n = -0,15$ , ე. ი. კაშხალის სადაწნეო ფერდს უნდა ჰქონდეს უკუქანობი, რაც წარმოების ორგანიზაციის თვალსაზრისით მოუხერხებელია; აღნიშნულის გამო, პრაქტიკაში მიზანშეწონილად თვლიან აღებულ იქნას  $n$ -ის

ისეთი უახლოესი რიცხვითი სიდიდე (სახელდობრ  $n=0$ ), ობიექტ უფრო ხელსაყრელი იქნება მშენებლობის თვალსაზრისით. თუ ეს ასეა, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ კაშხალის ყველაზე ეკონომიკურ პროფილად მიიღება სწორკუთხა სამკუთხედი ვერტიკალური საღაწუნეო ფერდით. თავის მხრივ, კაშხალის ასეთი პროფილისათვის კაშხალის ძირში ნორმალური ძაბვების გამომსახველი ფორმულები მიიღება იგივე (5.9)–(5.12) გამოსახულებებიდან, თუ ჩავსვამთ მათში  $n=0$ -ს და ვიგულისხმებთ, რომ ვიხილავთ შემთხვევას  $\alpha' = 0$ . ამგვარად

$$\left. \begin{aligned} \sigma_3' &= 0; & \sigma_3'' &= \gamma_1 H \\ \sigma_6' &= \gamma_1 H; & \sigma_6'' &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (5.16)$$

ხოლო კაშხალის ძირის ეკონომიკური სიგანის გამოსათვლელი (5.13) ფორმულა კი გადაიწერება შემდეგნაირად:

$$b = \frac{H}{\sqrt{\gamma_1/\gamma}} \quad (5.17)$$

ან თუ მივიღებთ, რომ  $\frac{\gamma_1}{\gamma} \approx 2.3 \frac{\text{ტ/მ}^3}{\text{გ/სმ}^3}$ , მაშინ

$$b \approx 0.67 H \quad (5.18)$$

დაბოლოს, როდესაც საანგარიშო პირობა მოითხოვს კაშხალის ძირში ფილტრაციული დაწნევის მხედველობაში მიღებას, ნორმალური ძაბვების გამოსათვლელად საჭიროა (5.9) გამოსახულებაში მინუს ნიშნით ჩაირთოს  $\alpha_1 \gamma H$  წევრი, ე. ი.

$$\sigma_3' = H \left[ \gamma_1(1-n) + \gamma n(2-n) - \alpha_1 \gamma - \frac{\gamma H^2}{b^2} \right] \quad (5.19)$$

კაშხალის ძირის ეკონომიკური სიგანის გამოსათვლელი (5.13) ფორმულა ამ შემთხვევაში გადაიწერება ასეთნაირად

$$b = \frac{H}{\sqrt{\gamma_1(1-n) + \gamma n(2-n) - \alpha_1 \gamma}}, \quad (5.20)$$

ხოლო  $n=0$ -ს შემთხვევაში კი

$$b = \frac{H}{\sqrt{\gamma_1 \gamma - \alpha_1 \gamma}}. \quad (5.21)$$

(5.20) და (5.21) ფორმულებიდან გამომდინარეობს, რომ ფილტრაციული დაწნევის არსებობა მოითხოვს კაშხალის ძირის სიგანის გაზრდას იმ

შემთხვევასთან შედარებით, როდესაც კაშხალის ძირზე ფილტრაციული დაწნევა საერთოდ გამორიცხულია ან კიდევ ძალზე უმნიშვნელოა.

კაშხალის ძირის ეკონომიკური სიგანე შეიძლება აგრეთვე დავადგინოთ დაძვრაზე კაშხალის მდგრადობის პირობიდან; ასე, მაგალითად, 5.8 ნახ.-ის მიხედვით დაძვრაზე კაშხალის მდგრადობის პირობა ჩაიწერება ასეთნაირად

$$K_{\text{ე}} \cdot W_1 = f \Sigma V, \quad (5.22)$$

სადაც  $K_{\text{ე}}$  არის დაძვრაზე კაშხალის მდგრადობის კოეფიციენტი, ხოლო  $f$  — კაშხალსა და მის ფუძეს შორის ხახუნის კოეფიციენტი.

(5.22) გამოსახულებიდან და (5.8) ნახაზზე აღნიშნული სიდიდეების მხედველობაში მიღებით ვწერთ, რომ

$$K_{\text{ე}} = \frac{f \Sigma V}{W_1} = \frac{f \frac{bH}{2} (\gamma_1 + \gamma_n)}{\frac{\gamma H^2}{2}} = f \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} + n \right) \frac{b}{H}, \quad (5.23)$$

საიდანაც

$$b = K_{\text{ე}} \frac{H}{f \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} + n \right)}; \quad (5.24)$$

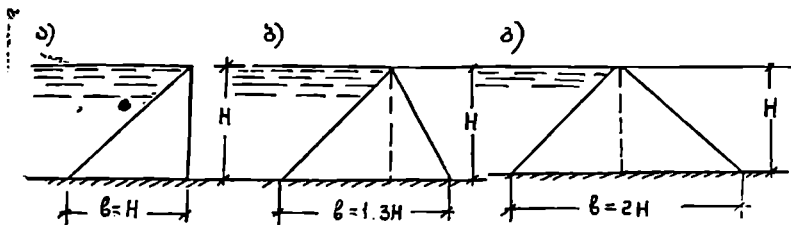
კლდოვანი ფუძისათვის, როდესაც ვლებულობთ  $n = 0$ ,  $f = 0.65$ ,  $\gamma_1 = 2,3$  ტ/მ<sup>3</sup> და  $K_{\text{ე}} = 1$  (ზღვრული წონასწორობის პირობა), (5.24) გამოსახულება გადაიწერება ასეთნაირად.

$$b = \frac{H}{0,65 \cdot 2,3} \approx 0,67H. \quad (5.25)$$

(5.18) და (5.25) გამოსახულების ურთიერთშედარებიდან გამომდინარეობს, რომ კლდოვანი ფუძის შემთხვევაში, როდესაც ფილტრაციული წყლების უკუწნევა გამორიცხულია, კაშხალის ეკონომიკური სიგანე იგივეა, რაც ვერტიკალური დაწნევიანი ფერდოს მქონე კაშხალებში (როდესაც დაძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტი  $K_{\text{ე}} = 1$ ); თუმცა აქვე აღვნიშნავთ, რომ  $K_{\text{ე}}$  თანახმად წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეორე თავში მოყვანილი მონაცემებისა, 1,3-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ამ მოსაზრებით აუცილებელია კაშხალის მდგრადობა გავზარდოთ მისი ჩადგმით ამ მიზნით სპეციალურად ამოჭრილ ფუძის ნიშაში.

ხახუნის კოეფიციენტი კიდევ უფრო დაბალია არაკლდოვან გრუნტებში; ასე, მაგალითად, თუ გვსურს მივიღოთ ისეთივე სიგანის კაშხალი, როგორც კლდოვანი ფუძის შემთხვევაში  $n = 0$ -ს დროს, საჭიროა  $n$  ისეთ-

ნაირად შევცვალოთ, რომ  $f\left(\frac{\gamma_1 \cdot n}{\gamma}\right) = \text{const} = 0,65(2,3 + 0) = 1,5$ ; შესაბამისად, როდესაც  $f = 0,45$ ,  $n = \frac{1,5}{f} - \frac{\gamma_1}{\gamma} = \frac{1,5}{0,45} - 2,3 \sim 1,0$  და კაშხალი მიიღებს 5.9, ა ნახ.-ზე ნაჩვენებ მოხაზულობას. ხახუნის კოეფიციენტის კიდევ უფრო მცირე სიდიდის შემთხვევაში  $n$  სიდიდე 1-ზე მეტი გამოდის და



ნახ. 5.9. — გრავიტაციული კაშხალების პროფილების სხვადასხვა შესაძლო ვარიანტები

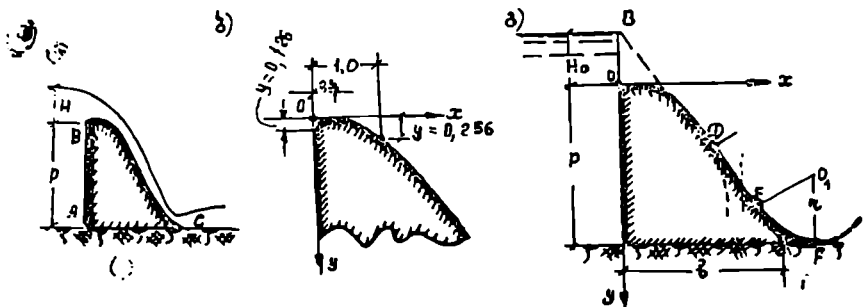
ამიტომ კაშხალის პროფილი მშენებლობის წარმოების თვალსაზრისით არაპრაქტიკული მოხაზულობის იქნება. ეს რომ არ მოხდეს, აუცილებელია გავზარდოთ კაშხალის ძირის სიგანე  $K_{\phi} = 1,3$ -ის პირობიდან. მაგალითად,

როდესაც  $f = 0,3$ ;  $K_{\phi} = 1,3$  და  $n = 1$ , ვღებულობთ  $b = 1,3 \frac{H}{0,3(2,3 + 1)} \approx 1,3H$  (იხ ნახ. 5.9, ბ), ხოლო როდესაც  $f = 0,2$ ,  $K_{\phi} = 1,3$  და  $n = 1$ , მაშინ  $b \approx 2H$  (იხ. ნახ. 5.9 გ).

#### § 5.5. კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავიტაციული წალსაშვიანი ბიანის კაშხალის პროფილის მოსაზრობის უარჩევინ ფორმირთი თავისებურებანი

მასიური წყალსაშვიანი კაშხალის ზღურბლს და მის ქვედა (უქანა) ფერდოს ძირითადად მოხაზვენ თავისუფლად ვარდნილი წყლის ჰაერის ტრეპტორიის შესაბამისად. სწორედ ამ მოსაზრებით განასხვავებენ უ ვ ა კ უ უ ზ ო და ვ ა კ უ უ მ უ რ წყალსაშვიან კაშხალებს. თუ კაშხალის ზღურბლზე და აგრეთვე მისი ქვედა ფერდოს რომელიმე უბანზე გადაინებული წყლის ჰაერის ქვეშ წნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია ან კიდევ მასზე მეტია, მაშინ კაშხალს უ ვ ა კ უ უ მ ო ს უწოდებენ, ხოლო პირიქით შემთხვევაში კი — ვ ა კ უ უ მ უ რ ს. უ ვ ა კ უ უ მ ო წყალსაშვიანი კაშხალის პროფილი თეორიულად შეიძლება მივიღოთ, თუკი წყლის ჰაერის გადაღინების კონტურის ქვეშ მყოფ სივრცეს (ნახ. 5.10, ა) შევავსებთ, მაგალითად, ბეტონით.

უვაკუუმო წყალსაშვიანი კაშხალების მდგრადობის კოეფიციენტი, უმეტეს შემთხვევაში, თავისთავად მეტია, ვიდრე ეს საპროექტო ნორმები-ბითაა მოთხოვნილი, და ამიტომ ასეთ კაშხალებში ადგილი აქვს საშენი მა-



ნახ. 5.10 — წყალსაშვიანი კაშხლის უვაკუუმო პროფილის მოხაზვის საანგარიშო სქემები: ა—მოხაზვის ზოგადი სქემა; ბ და გ—მოხაზვის კონკრეტული სქემები;

სალების ზედმეტად გადახარჯვას. პირიქით, ვაკუუმური წყალსაშვიანი კაშხალების ფართობი დაახლოებით 20—25%-ით ნაკლებია, ვიდრე უვაკუუმო კაშხალების, რაც სათანადო ეკონომიას იძლევა ბეტონის (ქვის წყობა) მოცულობაში. აღნიშნულს ისიც უნდა დაემატოს, რომ ვაკუუმურ წყალსაშვიან კაშხალებში წყლის ხარჯის კოეფიციენტი 7—15%-ით მეტია, ვიდრე უვაკუუმო კაშხალებში. თუმცა აქვე შევნიშნავთ, რომ მალღივი და სამუშაო სიმაღლის წყალსაშვიანი კაშხალების პროფილს უმეტესად აგეგმარებენ უვაკუუმოს. ეს იმით აიხსნება, რომ ვაკუუმურ კაშხალებში წყლის ნაკადის ქვეშ ბეტონის ზედაპირზე მოხვედრილი პაერი განაპირობებს რხევითი და კავიტაციური მოვლენების წარმოშობას, რომლებიც საერთოდ უარყოფით გავლენას ახდენენ ასეთი კაშხალების მდგრადობაზე და სიმტკიცეზე.

საინჟინრო პრაქტიკაში, მართალია, წყალსაშვიანი კაშხალების უვაკუუმო ზედაპირის მოხაზვის რამდენიმე წესი არსებობს, მაგრამ საბჭოთა კავშირის საპროექტო ინსტიტუტებში უმეტესად სარგებლობენ პროფ. ა. ოფიცეროვის მიერ შემუშავებული მონაცემებით, რომლებიც მიღებულია ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული ცდებით  $H = 1$  მეტრი სიმაღლის დაწნევისათვის (იხ. ცხრილი 5.1). დაწნევის სხვა მნიშვნელობებისათვის 5.1 ცხრილში მოცემული  $x$  და  $y$  ორდინატების რიცხვითი მნიშვნელობანი საჭიროა გამრავლდეს საანგარიშო დაწნევის სიდიდეზე; ამ შემთხვევაში კოორდინატთა სისტემის სათავე აიღება (იხ. ნახ. 5.10, ბ) „0“ წერტილში—  $x$  და  $y$  ღერძების გადაკვეთაზე; ვერტიკალური  $y$  ღერძი მი-



მართულია ზემოდან ქვემოთ, ხოლო ჰორიზონტალური  $x$  ღერძი კი—  
ქვედა ბიფის მხარეს.

ცხრილი 5.1

წყალსაშვიანი კაშხლების უვაკუშო პროფილების მოხაზვის კოორდინატები (ა. ოფიც-  
როვის მონაცემებით), როდესაც კაშხლის სადანეო ფერდო ვერტიკალურია და კაშხლის

ზღურბლზე წყლის სიღრმე  $H=1$  მ.

წერტილების №№	x	y	წერტილების №№	x	y
1	0,0	0,126	22	2,1	1,369
2	0,1	0,036	23	2,2	1,508
3	0,2	0,007	24	2,3	1,654
4	0,3	0,000	25	2,4	1,804
5	0,4	0,006	26	2,5	1,960
6	0,5	0,025	27	2,6	2,122
7	0,6	0,060	28	2,7	2,291
8	0,7	0,098	29	2,8	2,463
9	0,8	0,147	30	2,9	2,640
10	0,9	0,198	31	3,0	2,824
11	1,0	0,256	32	3,1	3,013
12	1,1	0,322	33	3,2	3,207
13	1,2	0,393	34	3,3	3,405
14	1,3	0,477	35	3,4	3,607
15	1,4	0,565	36	3,5	3,818
16	1,5	0,662	37	3,6	4,031
17	1,6	0,764	38	3,7	4,247
18	1,7	0,873	39	3,8	4,471
19	1,8	0,987	40	3,9	4,699
20	1,9	1,108	41	4,0	4,930
21	2,0	1,235	42	4,5	6,220

ცხრილი 5.2

შემაუღლებელი რადიუსის რიცხვითი მნიშვნელობანი

P	$H_0$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	3,0	4,2	5,4	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11,6
20	4,0	6,0	7,8	8,9	10,0	11,0	12,2	13,3	14,3
30	4,5	7,5	9,7	11,0	12,4	13,5	14,7	15,8	16,8
40	4,7	8,4	11,0	13,0	14,5	15,8	17,0	18,0	19,0
50	4,8	8,8	12,2	14,5	16,5	18,0	19,2	20,3	21,3
60	4,9	8,9	13,0	15,5	18,0	20,0	21,2	22,2	23,2



მაშინ უვაკუუმო კაშხალის ჰიდრაკლიკური პროფილი აიგება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) 5.1 ცხრილიდან აღებული მონაცემებით ვაგებთ კაშხალის ზღურბლის საწყისი უბნის მოხაზულობას ( $A$  წერტილამდე);

ბ)  $A$  წერტილიდან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გადავზომავთ სწორხაზოვან მოწყვეტის ისეთი სიგრძით, რომ მასზე განლაგდეს ძირითადი ფარი და სარემონტო შანდორები;

გ) 5.1 ცხრილიდან აღებული  $x$  და  $y$  სიდიდეთა რიცხვითი მონაცემებით მოვხაზავთ კაშხალის უვაკუუმო პროფილის ზედაპირს.

## შეჯამება თავი

### წყალსაგდები ტიპის ბეტონის ბრავიტაციული კაშხალები არაკლდოვან ფუძეზე

#### § 1. ზოგადი ცნობები

არაკლდოვან ფუძეზე წყალსაგდები ტიპის გრავიტაციულ კაშხალებს ძირითადად, ბეტონისაგან აშენებენ, ხოლო ჰიდროკვანძში შემავალ კაშხალს ყრუ ნაწილს კი — ადგილობრივი მასალისაგან.

საერთოდ, ჰიდროკვანძში წყალსაგდები ნაგებობების მოწყობის ძირითად მიზანს შეადგენს ზედმეტი ან კიდევ სპეციალური დანიშნულებით მოთხოვნილი წყლის გადაგდება ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში. ამ მოსაზრებით წყალსაგდებები შეიძლება მოეწყოს უშუალოდ კაშხალის ტანში, ჰიდროკვანძში გათვალისწინებული სხვა ნაგებობის ტანში ან კიდევ უშუალოდ მდინარის რომელიმე ნაპირთან, რომლებიც ჰიდროტექნიკურ პრაქტიკაში ცნობილია სანაპირო წყალსაგდებების სახელწოდებით.

წინამდებარე თავში განხილულია კაშხალის ტანში გათვალისწინებული წყალსაგდებები ან კიდევ, როგორც მათ ზოგადად უწოდებენ, წყალსაგდები კაშხალები. თავის მხრივ, ასეთი ტიპის კაშხალები შეიძლება იყოს ზედაპირული და სიღრმითი წყალგამტარი ხერხტებით; პირველ მათგანს უწოდებენ წყალსაშვებს, ხოლო მეორეს — წყალჩასაშვებს ან სიღრმით წყალსაგდებს.

წყალსაშვებების ძირითადი დანიშნულებაა ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში ზედმეტი წყლის გადაგდება, ხოლო სიღრმითი წყალსაგდების კი — სასარგებლო მიზნით წყლის გატარება. ზედმეტი წყლის გადასაგდებად მხოლოდ სიღრმით წყალსაგდებების გამოყენების შესაძლებლობა უკანასკნელ დრომდე შეზღუდული იყო, რადგან მათი გადამკეტი ფარების რეგულირე-

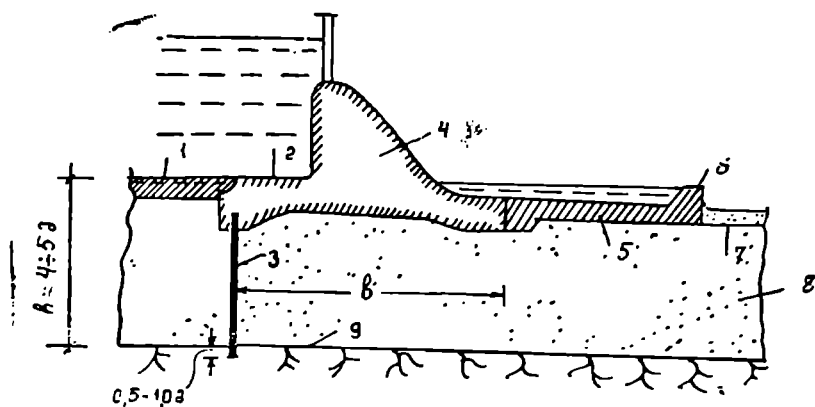
ბა საკმაოდ რთულ ამოცანას შეადგენს, ადგილი აქვს ნაგებობის მდგრადობისათვის საშიშვლებრივ მოვლენებს, საჭიროებს საკმაოდ დიდი სიმძლავრის ჩქონე აპწეე მექანიზმებს, გაძნელებულია ექსპლუატაციის პერიოდში მათი დათვლიერება და სარემონტო სამუშაოების ჩატარება. თუმცა აქვე აღვნიშნავთ, რომ უკანასკნელ პერიოდში საბჭოთა მეცნიერების მიერ ჩატარებული ფუნდამენტალური კვლევების შედეგად ყველა აქ ჩამოთვლილი საექვო მოსაზრება დღეისათვის დაყვანილია მინიმუმამდე; საბჭოთა კავშირში აშენდა მთელი რიგი ისეთი ჰიდროკვანძები, რომლებშიც ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში ზედმეტი წყლის გადასადგებად გამოყენებულია მხოლოდ სიღრმითი წყალსადგებები ან ერთდროულად ორივე—ზედაპირული და სიღრმითი წყალსადგებები.

ძირითადი დანიშნულების გარდა დასახელებულ წყალსადგებებს შეუძლიათ შეასრულონ აგრეთვე სხვა დამატებითი ფუნქციებიც, სახელდობრ: წყალსამცებებში გამოიყენება ყინულისა და სხვა მცურავი სხეულების გადასადგებად ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში, სანაოსნო ტრანსპორტის გასატარებლად (მცირე სიმაღლის კაშხალებში) და ა. შ.; სიღრმითი წყალსადგებების მეშვეობით ხდება ზედა ბიეფის ფსკერზე დანალექი ნატანი მასალის გადასადგება ქვედა ბიეფში, ზედა ბიეფის მთლიანად ან მოთხოვნილებისა მიხედვით ნაწილობრივ დაცლა და ა. შ.

## § 6. 2. არაკლდოვან ფუძეზე აშენებული ჰიდროენერგეტიკული კაშხლის მონიჰვანა კონსტრუქციის უარჩავა

არაკლდოვან ფუძეზე ასაშენებელი ბეტონის გრავიტაციული კაშხლის ზომები და მისი მიწისქვეშა კონტურის სიგრძე ისეთნაირად უნდა დანიშნოს, რომ ის საკმარისი იყოს ნაგებობის სტატიკურად მდგრადობისათვის ექსპლუატაციის ნებისმიერ პირობებში; ამასთანავე, ეკონომიკური და ტექნიკური მოსაზრებებით რეკომენდებულია, რომ კაშხლის მიწისქვეშა კონტურის საერთო სიგრძის გაზრდა ძირითადად მოხდეს ფილტრაციის ვერტიკალური დამწრეტების (გზების) მოწყობით, ხოლო ფილტრაციული დინებისაგან გამოწვეული უკუწნევის მაქსიმალურად ჩაქრობა კი განხორციელდეს ნაგებობის ფუძის ზედა (მუშა) შრეში ან (უმჯობესია) ნაგებობის წინ. აღნიშნულს ისიც უნდა დაემატოს, რომ ჰიდროკვანძის უბანში არაკლდოვანი ფუძე სპეციალური ნაგებობების (წყალსაცემის, რისბერმის, წყლის ენერჯის ჩაქრობი კონსტრუქციების, ფილტრების და ა. შ.) მოწყობით დაცული უნდა იყოს წყლის ნაკადის ქარბი ენერჯისაგან გამოწვეული დამანგრეველი ზემოქმედებისაგან. შესაბამისად, არაკლდოვან ფუძეზე აშენებული ბეტონის გრავიტაციული კაშხლის ფლუტბეტი ზოგადად შეიძლება შეიცავდეს შემდეგ ძირითად ელემენტებს (ნახ. 6. 1): ძირულს 1,

კაშხალის ზედა ფილას კბილით 2, ზედა ნარანდს 3, წყალსაშვიანი ტიპის კაშხალს 4, წყალსაცემ ფილას 5, წყლის ჰარბი ენერჯის ჩამქრობ კედელს (ჟას) 6, რისბერმას 7.



ნახ. 6.1 — არაკლდოვან ფუძეზე აშენებული ბეტონის მასიური (წყალსაშვიანი) კაშხალის ზოგადი სქემა: 1—ძირული; 2—კაშხალის ზედა ფილა; 3—ზედა ნარანდი; 4—წყალსაშვიანი ტიპის კაშხალი; 5—წყალსაცემი; 6—წყლის ჰარბი ენერჯის ჩამქრობი კედელი; 7—რისბერმა; 8—წყალგამტარი გრუნტის ფენა; 9—კლდოვანი ფუძე.

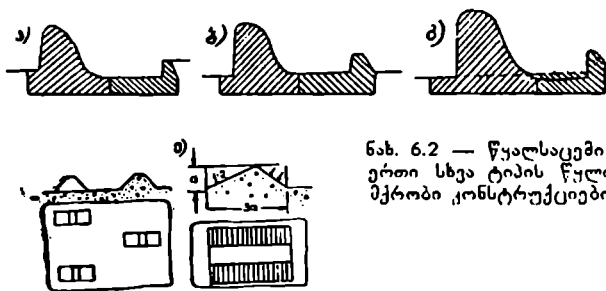
ფლუტბეტის ყველა აქ ჩამოთვლილი ელემენტი ძირითადად განხილული იყო წინამდებარე სახელმძღვანელოს მესამე თავში. ამიტომ აქ განვიხილავთ მხოლოდ იმ განსხვავებულ პარამეტრებს, რომელთა ცოდნის გარეშე შეუძლებელია დაპროექტდეს განსახილველი ტიპის წყალსაგდები კაშხალები. ასე, მაგალითად, კაშხალის ძირის  $b$  სიგანის დანიშვნა ხდება არაკლდოვანი ფუძის შემცველი გრუნტის იმ სახეობის მხედველობაში მიღებით, რომელზედაც გათვალისწინებულია კაშხალის აშენება; წინასწარი მიახლოებით  $b$  სიდიდე აიღება ლ. ოლეშკევიჩის მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შედგენილი 6.1 ცხრილიდან, სადაც  $H$  -ით აღნიშნულია კაშხალზე მოქმედი დაწნევის სიდიდე ( $H = \sqrt{5} \text{ მდ} - \sqrt{\text{ქბდ}}$ ).

ცხრილი 6.1

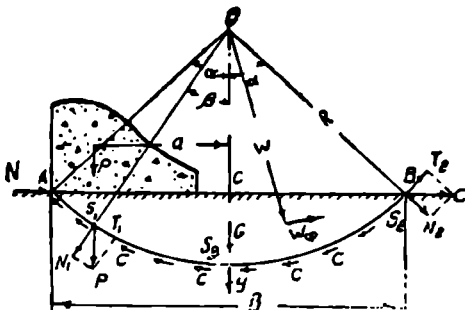
არაკლდოვანი ფუძის შემცველი გრუნტის დასახელება	კაშხალის ძირის $b$ სიგანე
თიხნარი გრუნტები	$(2,25 \div 2,5) H$
თიხანარევი გრუნტები	$(2,0 \div 2,25) H$
ქვიშნარები და ქვიშაანი გრუნტები	$(1,75 \div 2,0) H$
ბრეშოვანი გრუნტები	$(1,25 \div 1,75) H$

კაშხალის წყალსაცემი ნაწილი წარმოადგენს ბეტონის ან რკინაბეტონის მასიურ ფილას (სისქით 2—5 მეტრი) წყლის ნაკადის ქარბიენე-გის ჩამქრობისაგებობებითურთ ან მის გარეშე. წყალსაცე-  
 ში ფილის მასიურობა განპირობებულია იმით, რომ ძირითადად მის ფარვ-  
 ლებში ხდება კაშხალზე გადაღინებული წყლის ნაკადის ენერჯის ძირი-  
 თადი ნაწილის ჩაქრობა (მაგალითისათვის შეიძლება ითქვას, რომ არა-  
 კლდოვან ფუძეზე აშენებულ თანამედროვე კაშხალებში წყლის ნაკადის  
 ქარბი ენერჯია კაშხალის ყოველ ერთ მეტრ სიგანეზე შეადგენს 5—10 ათას  
 კვტ-ს). ამიტომ როდესაც წყალსაცემზე წყლის ნაკადის გატარება ხდება  
 დიდი სიჩქარეებით და ამავე დროს ის შეიცავს დიდი რაოდენობის ნატან  
 მასალას, აუცილებელია წყალსაცემი ფილის ზედაპირი მოპირკეთდეს მა-  
 ლალი სიშტეიციის მქონე ბეტონით ან განსაკუთრებულ შემთხვევაში, გრანი-  
 ტის ქვის წყობით.

წყალსაცემი კა, რომელიც წყლის ენერჯის ჩამქრობ უმარ-  
 ტივეს ნაგებობათა კატეგორიას მიეკუთვნება, ეწყობა უშუალოდ წყალსა-  
 ცემ უბანზე ან ფლუტბეტის ნაწილობრივი ჩალრმავეებით (ნახ. 6.2, ა), ან მას-  
 ზე წყალსაცემი კედლის დაშენებით (ნახ. 6.2, ბ), ან ერთდროულად, ორი-  
 ვე ღონისძიებათა გათვალისწინებით (ნახ. 6.2, გ). წყალსაცემი კის ჰიდრა-



ნახ. 6.2 — წყალსაცემი კისა და ზოგი-  
 ერთი სხვა ტიპის წყლის ენერჯის ჩა-  
 მქრობი კონსტრუქციები.



ნახ. 6.3 — არაკლდოვან ფუძეზე ასაშენებელი ბეტონის გრავიტაციული (წყალ-  
 სარევიანი) კაშხალის მდგრადობაზე შემოწმების საანგარიშო სქემა.

ვლიყური გაანგარიშის მეთოდები იხილეთ ჰიდრაულიკის ნებისმიერ კურსში.

ბეტონის კოჭებს (კუბიკებს) და ღებებს (ნახ. 6.2, დ) ამგვარებენ წყალსაცემ ფლუტბეტზე წყლის ნაკადის შემხვედრად. წყლის ენერჯის ჩაქრობის თვალსაზრისით მათი ეფექტიანობა დამოკიდებულია როგორც ფორმაზე, ასევე გეგმაში ურთიერთგანლაგებაზე, რომლის დადგენა-დაზუსტება ხდება ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე.

კბილისებური ზღურბლები (ნახ. 6.2, ე), ისე როგორც ყველა ზემოთ განხილული სხვა სახის წყალჩამქრობი ნაგებობები, ეწყობა წყალსაცემ ფლუტბეტზე; ამ უქანასენელზე მათი სწორად განლაგების შემთხვევაში (რაც ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე ხდება) აღგილი აქვს წყლის ნაკადის სიჩქარის და შესაბამისად ქვედა ბიეფის ძირის გამორეცხვის სიღრმის მაქსიმალურად შემცირებას.

**§ 6.3. არაკლდოვან ფუძეზე აშენებული ბებონის გრავიტაციული (წყალსაშვინი) კაშხალის მდგრადობის შემოწმება ლაშარაზე**

იმისდა მიხედვით, თუ რა ინტენსივობით მოქმედებს ვერტიკალური ძალები კაშხალზე, მისი დაძვრა შეიძლება მოხდეს უშუალოდ ნაგებობის ფსკერის გასწვრივ (როდესაც ვერტიკალური ძალების მოქმედების ინტენსივობა უმნიშვნელოა) ან ფუძის შემცველ გრუნტთან ერთად მასში რომელიღაც რადიუსით მოხაზული ზედაპირის გასწვრივ (როდესაც ვერტიკალური ძალების მოქმედების ინტენსივობა მაქსიმალურია). აღნიშნულიდან გამომდინარე, როდესაც ნაგებობის ქვეშ არაკლდოვან ფუძეში მოქმედი ძაბვის ფაქტიური სიდიდე  $\sigma_{კრ}$ -ზე, საჭიროა კაშხალის მდგრადობა დაძვრაზე შემოწმდეს მისი ფუძის გასწვრივ გატარებული პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ, ხოლო პირიქით შემთხვევაში კი ( $c < \sigma_{კრ}$ ; ისეთი საანგარიშო მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს ნაგებობის და მისი ფუძის შემცველი გრუნტის გარკვეული მოცულობის ერთდროულად დაძვრას.

თავის მხრივ, ძაბვის კრიტიკულ  $\sigma_{კრ}$  სიდიდეს ნიახლოებით გამოითვლიან ასეთი სახის ემპირიული ფორმულით

$$\sigma_{კრ} = A\gamma_{კრ}ht\varphi + 2c(1 + t\varphi), \quad (6.1)$$

სადაც  $A$  არის ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც საშუალოდ 1,75—3,5-ის ფარგლებში იცვლება;  $\gamma_{კრ}$  — წყალში ატივნარებულ მდგომარეობაში მყოფი გრუნტის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;  $h$  — ნაგებობის სიგანე ფსკერზე, მეტრობით (წყლის ღინების მიმართულებით);  $\varphi$  — წყალში ატივნარებულ მდგომარეობაში მყოფი ფუძის შემცველი გრუნტის შინაგანი ხახუნის

კუთხე;  $c$  — ფუძის შემცველი გრუნტის ხვედრითი შეჭიდულობა, ტ/მ<sup>2</sup>-ობით.

შესაბამისად, როდესაც  $\sigma < \sigma_{კ}$  წყალსაშვიანი კაშხალის მდგრადობის შემოწმება დაძვრაზე ხდება მის ძირში გატარებული ჰორიზონტალური სობრტყის მიმართ, საჭიროა ნაგებობის მდგრადობისათვის შესრულდეს ასეთი პირობა

$$K_{\sigma} = \frac{f \Sigma P}{\Sigma N} \geq 1,3 \div 1,2, \quad (6.2)$$

სადაც  $\Sigma P$  და  $\Sigma N$  შესაბამისად არის კაშხალზე მოქმედი ყველა ვერტიკალური ( $\Sigma P$ ) და ჰორიზონტალური ( $\Sigma N$ ) ძალების ჯამური სიდიდეები;  $f = \xi \gamma \varphi$  — კაშხალის ტანის წყობასა და ფუძის შემცველ გრუნტს შორის ხახუნის გამომსახველი კოეფიციენტი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის უნდა დადგინდეს უშუალოდ აღგილზე ჩატარებული ცდების საფუძველზე ან (წინასწარი გაანგარიშებისათვის) 6.2 ცხრილიდან.

ცხრილი 6.2

ფუძის შემცველი გრუნტის დასახელება	f	ფუძის შემცველი გრუნტის დასახელება	f
ჟენკოვან-ხრეშოვანი	0,5—0,6	თიხნარები	0,25—0,35
ქვიშნარები	0,4—0,5	თიხები	0,2—0,3
წერილი ქვიშა	0,35—0,4		

(6.2) ფორმულით გამოთვლილი  $K_{\sigma}$  მდგრადობის კოეფიციენტი არ ითვალისწინებს წყალსაცემი ნაგებობის გავლენას კაშხალის საერთო მდგრადობაზე, რაც გარკვეულ მარაგს იძლევა.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, როდესაც  $\sigma > \sigma_{კ}$ , კაშხალის მდგრადობა დაძვრაზე საჭიროა შემოწმდეს მისი ფუძის შემცველი გრუნტის გარკვეული მოცულობის ერთდროულად მოცურების გათვალისწინებით. ლიტერატურაში ასეთი გაანგარიშების მრავალი მეთოდი არსებობს; ჩვენ ქვემოთ განვიხილავთ მხოლოდ ერთს—პროფ. მ. გრიშინის მეთოდს, როგორც შედარებით ყველაზე მარტივს. ამ მეთოდის თანახმად, კაშხალი მისი ფუძის

\* გაანგარიშების ჩატარების დროს  $\Sigma P$  და  $\Sigma N$  ძალების სიდიდეები შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ნაგებობის ერთ გრძივ მეტრზე ან მთელ სიგრძეზე.



შემცველ გრუნტთან ერთად წარმოიდგინება რა ერთ მთლიან მყარ სხეულად, გაცურდება—დაიძვრება—რომელიღაც წრიული მრუდის (ნახ. 6.3) ზედაპირის გასწვრივ. გაანგარიშების ჩატარება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) რომელიღაც „0“ წერტილიდან ნებისმიერი  $R$  რადიუსით მოხაზავთ განსახილველ მყარი სხეულის დაცურების ცილინდრულ სიბრტყეს.

ნაგებობაზე მოქმედი ყველა ვერტიკალური ძალის ტოლქმედ  $P$  ძალას გადავიტანთ გაცურების ცილინდრულ ზედაპირზე (იხ. ნახ. 6.3) დაღვეშლით ნორმალურ  $N_1$  და ტანგენციალური  $T_1$  მდგენლებად:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= P \cos \beta \\ T_1 &= P \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (6. 3)$$

ბ) ანალოგიურად, ნაგებობაზე მოქმედ ყველა ჰორიზონტალური  $N'$  ძალების ტოლქმედი გადაგვქვეს  $B$  წერტილში (ან კიდევ  $A$  წერტილში). დაღვეშლით  $N_2$  ნორმალურ და  $T_2$  ტანგენციურ მდგენლებად\*.

გ) ხახუნის ძალა:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= f P \cos \beta \\ S_2 &= f N' \sin \beta \\ S_G &= f G \end{aligned} \right\} \quad (6. 4.)$$

სადაც  $f$  არის ხახუნის კოეფიციენტი გრუნტში, ხოლო  $G$ —ფუძის შემცველი გრუნტის გაცურებული ნაწილის წონა.

დ) შექიდულობის ძალა ფუძის უძრავ და დაცურებულ ნაწილებს შორის:

$$C = 2aRc, \quad (6. 5)$$

სადაც  $c$  არის ხვედრითი შექიდულობა.

(6. 3) და (6. 4) გამოსახულებების მხედველობაში მიღებით კაშხალის ფუძის მდგრადობა განისაზღვრება პირობიდან

$$K_{\text{ფ}} = \frac{M_{\text{დაშვ}}}{M_{\text{დაშვრ}}} = \frac{R(S_1 + S_2 + S_G + 2aRc)}{R(T_1 + T_2) + W_{\text{ფ}}} \geq 1,2 \div 1,3, \quad (6. 6)$$

სადაც  $a$  არის  $W_{\text{ფ}}$  ფილტრაციული ძალის მხარი „0“ წერტილის მიმართ.

დავნიშნავთ რა გაცურების ცილინდრული ზედაპირის მოხაზვის მთელი ცენტრებს, დაეადგენთ მათ შორის ყველაზე საშიშს ნაგებობის მდგრადობისათვის და მისთვის (6. 6) გამოსახულებით გამოვითვლით მდგრადობას

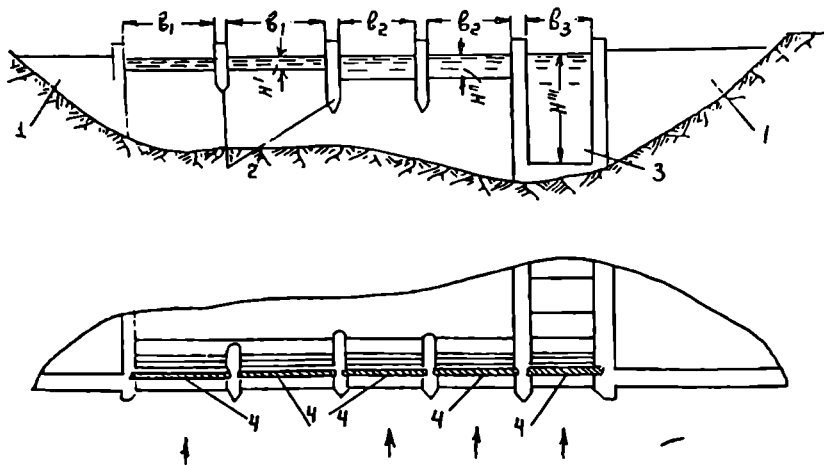
\* ნაგებობის ფუძის გასწვრივ  $N$  ძალის გადატანით  $P$  ძალა ისეთნაირად გადაინაცვლებს, რომ  $P$  და  $N$  ძალების საერთო მომენტი არ შეიცვლება.

პის  $K_{\phi}$  კოეფიციენტს; თუ ამგვარად მიღებული  $K_{\phi}$  -ს რიცხვითი მნიშვნელობა  $\geq 1.3 \div 1.2$ , ჩავთვლით, რომ ნაგებობის დადგენილი ზომები აკმაყოფილებს პროექტით გათვალისწინებულ მოთხოვნას; პირიქით შემთხვევაში საჭირო იქნება ნაგებობის ზომების შეცვლა და შესაბამისად გაანგარიშების ხელახლა ჩატარება.

**§ 6. 4. ვატიონის გრავიტაციული კაშხალის წყალსაშვიანი ხერხების სქემის შარჩევა და განგარიშება**

წყალსაშვიანი ხერხების რაოდენობა, ზომები და მათი განლაგება წყალსაგდები კაშხალის ზღურბლზე ისეთნაირად უნდა შეირჩეს, რომ მათ შეეძლოს ზღდ საპროექტო ნიშნულზე გაატაროს (ჰიდროკვანძში შემავალ სხვა წყალსაგდებ ნაგებობებთან ერთად) მდინარის საანგარიშო მაქსიმალური  $Q_{\text{მაქ}}$  ხარჯი და აგრეთვე (მოთხოვნილებისდა მიხედვით) ყინული და სხვა მცურავი სხეულები. შესაბამისად, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჰიდროკვანძში განლაგებული სხვა ნაგებობებიც — წყალმიმღები, თევზსაეალი და ა. შ. — ასევე გათვალისწინებულია მდინარის საერთო ჩამონადენის გარკვეული ნაწილის გასატარებლად, მაშინ წყალსაშვიანი ხერხების წყალვამტარუნარიანობა უნდა შემოწმდეს

$$Q = Q_{\text{მაქ}} - Q_{\text{ნაი}} \quad (6. 7)$$



ნახ. 6.4 — გრავიტაციულ კაშხალზე წყალსაშვიანი ხერხების განლაგების სქემა. 1—კაშხალის ყრუ ნაწილი; 2—ბურჯები; 3—ღრმა წყალსაშვიანი ხერხები; 4—ფარები (საქერები).

ხარჯზე, სადაც  $Q_{\text{ნაკ}}$  არის პიდროკვანძში შექავალი ყველა წყალგამტარი (გარდა წყალსაშვიანი ხერეტებისა) ნაგებობათა საერთო საანგარიშო ხარჯი, ხოლო  $Q_{\text{ააკ}}$  — წყალდიდობის პერიოდის შესაბამისი მდინარის მაქსიმალური ხარჯი.

თავის მხრივ, წინასწარ დავადგენთ რა, წყალსაშვიანი ხერეტების (ნახ. 6. 4)  $n_1$ ,  $n_2$  და ა. შ. რიცხვს და თითოეული მათგანის  $b_1$ ,  $b_2$  და ა. შ. სიგრძეებს, საერთო წყალგამტარუნარიანობა გამოიანგარიშება გამოსახულებით

$$Q = n_1 b_1 q_1 + n_2 b_2 q_2 + \dots \quad (6. 8)$$

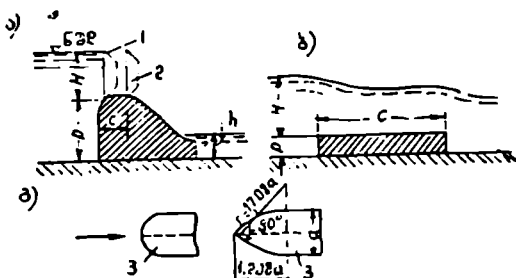
სადაც  $q_1, q_2$  არის ყოველი ცალკეული ხერეტის 1 გრძივ მეტრზე მოსული ხვედრითი ხარჯი, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$q = m \sigma \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (6. 9)$$

სადაც  $m$  არის ხარჯის კოეფიციენტი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა, ძირითადად დანაკიდებულია წყალსაშვიის პროფილის ფორმაზე და სიმაღლეზე და მრავალმალისანი წყალსაშვიანი კაშხალებისათვის მიახლოებით გამოითვლება ააეთი ფორმულებით:

ა) პრაქტიკული მოხაზულობის მქონე წყალსაშვიისათვის (ნახ. 6.5, ა),

$$m = K \left[ 0,36 + 0,1 \left( \frac{2,5 - \frac{c}{H}}{1 + \frac{c}{H}} \right) \right]; \quad (6.10)$$

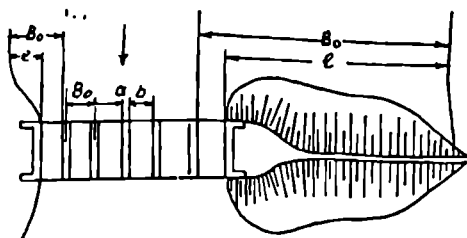


ნახ. 6.5 — წყალსაშვიებისა და ბურჯების მოხაზვის სქემები. ა—პრაქტიკული მოხაზულობის წყალსაშვიი; ბ—ფართო ზღურბლიანი წყალსაშვიი; გ—ბურჯები; 1—სარემონტო (საავარიო) ფარი; 2—ძირითადი ფარი; 3—ბურჯების მოხაზვა ვეგმაში.

ბ) ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიისათვის (ნახ. 6. 5, ბ)

$$m = K \left[ 0,36 + 0,01 \left( \frac{3 - \frac{P}{H}}{1,2 + 1,5 \frac{P}{H}} \right) \right] \quad (6. 11)$$

K არის გეგმაში გვერდითი შევიწროების კოეფიციენტი და აიღება 6.3 ცხრილიდან  $\frac{b}{B_0}$  და  $\frac{P}{H}$  სიდიდეთა მონაცემებით\* (იხ. ნახ. 6.6)..



ნახ. 6.6 — ნაკადი გვერდითი შევიწროების საანგარიშო სქემა.

ცხრილი 6.3

გვერდითი შევიწროების K კოეფიციენტის რიცხვითი მონაცემები

b	P/H				
	0	0.5	1	2	3
$B_0$					
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,8	0,969	0,979	0,982	0,996	0,987
0,6	0,940	0,960	0,967	0,973	0,976
0,4	0,919	0,946	0,955	0,963	0,967
0,2	0,909	0,940	0,950	0,959	0,964

a — კაშხლის დაძირვის კოეფიციენტი და აიღება 6.4 ცხრილიდან

$\frac{P-h}{H_0}$  წილადის (იხ. ნახ. 6.5) რიცხვითი მნიშვნელობის მხედველობაში მიღებით.

ცხრილი 6.4

წყალსაშვის დაძირვის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობანი

პრაქტიკული პროფილის მოხაზულობის წყალსაშვისათვის				ფართობურბლიანი წყალსაშვისათვის			
$\frac{P-h}{H_0}$	$\sigma$	$\frac{P-H}{H_0}$	$\sigma$	$\frac{P-h}{H_0}$	$\sigma$	$\frac{P-H}{H_0}$	$\sigma$
0,35	1,000	0,70	0,952	0,60	1,000	0,94	0,70
0,40	0,998	0,75	0,924	0,82	0,99	0,96	0,59
0,45	0,996	0,80	0,885	0,84	0,97	0,98	0,40
0,50	0,992	0,85	0,820	0,86	0,95	—	—
0,55	0,988	0,90	0,620	0,88	0,90	—	—
0,60	0,978	0,95	0,400	0,90	0,84	—	—
0,65	0,967	—	—	0,92	0,76	—	—

\* შუალედი წყალსაშვიანი ხერტებისათვის  $B_0 = b + a$  (იხ. ნახ. 6.6), განაპირა ხერტებისათვის კი (დაახლოებით)  $B_0 = b + e$ .

გარდა წყალგამტარობისა წყალსაშვიანი ხერეტების შემოწმება უნდა მოხდეს აგრეთვე ყინულის გატარებაზე და ზედა ბიეფში პილ-როკვანძთან ახლოს დალექილი ნატანი მასალის ქვედა ბიეფში გადაგდებაზე.

კაშხალის წყალსაშვიანი ხერეტების შემოწმება ყინულის გატარებაზე გულისხმობს ხერეტის ისეთი სიგრძისა და კაშხალის ზღურბლზე წყლის ისეთი სიღრმისა დანიშვნას, რომლის დროსაც მთლიანად უზრუნველყოფილი იქნება ყინულის ნებისმიერი მასივის გადაგდება ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში. ამ მონაზრებიდან გამომდინარე წყალსაშვიან ზღურბლზე წყლის მინიმალური სიღრმე  $1.5 \div 2$  მეტრზე, ხოლო ცალკეული წყალსაშვიანი ხერეტის სიგანე კი  $\geq 10-25$  მეტრზე (10—15 მეტრი სამხრეთ რაიონებში და 20—25 მეტრი ჩრდილოეთ რაიონებში). რაც შეეხება ყინულთსვლისათვის საჭირო წყლის ხარჯს, ის შიახლოებით გამოითვლება ფორმულით

$$Q_y \approx V_y t_i B_y. \quad (6. 12)$$

სადაც  $V_y$  არის ბენებრივ პირობებში ყინულთსვლის საშუალო სიჩქარე მდინარეში მ/წმ-ობით;  $H_1$  — ყინულთსვლის ნორმალურად წარმართვისათვის აუცილებელი მინიმალური წყლის სიღრმე წყალსაშვიზე;  $B_y \approx (0,5-0,6) B_{\text{სვ}}$  — ყინულთსვლის ფრონტის მინიმალური სიგანე;  $t_{\text{სვ}}$  — მდინარის სიგანის ის ნაწილია, რომელიც დაკავებულია ყინულის მასივებით. თუ (6. 12) ფორმულით გამოთვლილი  $Q_y$  ხარჯი მეტია განსახილველი პერიოდის შესაბამის მდინარის ხარჯზე, შესაძლებლად თვლიან ყინულის გატარება მოხდეს ნორმალური შეტბორვის დონის დაწვევის ხარჯზე.

უშუალოდ ნაგებობის წინ დალექილი ნატანი მასალის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გადასაგდებად კაშხალის ტანში ზოგჯერ ითვალისწინებენ დაბალზღურბლიან ღრმა წყალსაშვიან ხერეტებს (იხ. ნახ. 6.4), რომლებსაც აწყობენ მდინარის იმ ნაპირთან, რომლის ახლოსაც უნდა მოხდეს ნატანის ჩარეცხვა. თუ კაშხალი საკმაოდ მაღალია, მაშინ უმჯობესია ღრმა წყალსაშვიანი ხერეტები შეიცვალოს დაწნევიანი სიღრმითი წყალსაგდებებით.

პრაქტიკაში წყალსაშვიანი ხერეტების ზომების დადგენა უმეტესად ხდება იმისდა მიხედვით, თუ ქვედა ბიეფში წყლის ტარბი ენერჯის ჩაქრობის რა პირობები არსებობს; თუმცა აქვე შეენიშნავთ, რომ მარეგულირებელი ფარების სტანდარტიზაციის თვალსაზრისით უფრო მიზანშეწონილია წყალსაშვიანი ხერეტების სქემების შერჩევა, მათი სიგანისა და სიმაღლის დანიშვნა მოხდეს ГОСТ 4688—49-ის საფუძველზე. რაც შეეხება ამა თუ იმ ხერეტის განლაგებას კაშხალის ტანში, ის დამოკიდებულია ნაგებობათა კვანძის საერთო კომპოზიციაზე; ასე, მაგალითად, ყინულგამტარ ხერეტებს ათავსებენ მდინარის კალაპოტის

იმ ნაწილში, სადაც უმეტესად შემჩნეულია ყინულისვლა, ღრმა წყალსა-  
შვიან ხვრეტებს—წყალმიმღებებთან ახლოს და ა. შ.

თუ კაშხალის წყალსაშვიანი ხვრეტები გათვალისწინებულია გემები-  
სა და ტივების გასატარებლად, აუცილებელია (გარდა სათანადო წყლის-  
სიღრმის უზრუნველყოფისა, რაზედაც ზემოთ აღვნიშნეთ) მათში წყლის  
ღინების სიჩქარე არ აღემატებოდეს 1,8—2 მ/წმ-ში გემების გატარების შე-  
მთხვევაში და 2.5—3 მ/წმ ტივების გატარებისას. გემთსავალი ხვრეტების  
სიგანე კი უნდა იყოს:

პირველი თანრიგის მდინარეებისათვის	≥ 150 მეტრზე;
მეორე	≥ 100—120 მეტრზე;
მესამე	≥ 80 მეტრზე.

### § 6. 5. სიღრმითი წყალსაგდებები (წყალჩასაშვებები)

სიღრმითი წყალსაგდებები წარმოადგენენ კაშხალის ტანში განლაგე-  
ბულ ხვრეტებს სწორკუთხოვანი ან წრიული კვეთით; სამუშაოთა წარმოე-  
ბის ორგანიზაციისა და ექსპლუატაციის პერიოდში ფარებით გადაკეტვის  
თვალსაზრისით უპირატესობა ეძლევა სწორკუთხოვანი კვეთის წყალსაგ-  
დებებს, ჰიდრავლიკურად კი—წრიულს. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე,  
ზოგჯერ სიღრმითი წყალსაგდების საწყისი უბანი (სადაც მარეგულირებე-  
ლი ფარის დაყენებაა გათვალისწინებული) სრულდება სწორკუთხოვანი  
კვეთით, ხოლო ფარების მოწყობის შემდგომი უბნიდან ის თანდათანობით  
გადადის წრიული კვეთის მოხაზულობაზე.

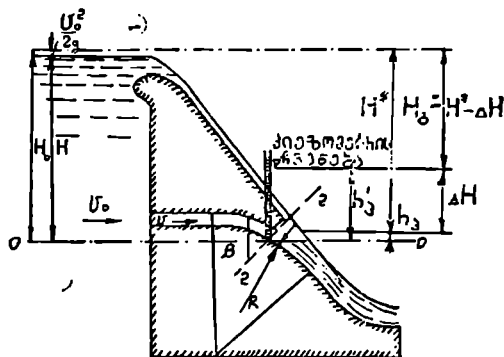
სიღრმითი წყალსაგდებები. როგორც წესი, დაწნევიანია\* გაატარებე-  
ლი წყლის ხარჯის რეგულირების მიზნით ყოველ ასეთ წყალსაგდებზე იდ-  
გმება ორი ფარი. მათ შორის ერთი (ძირითადი) დასაწყის უბანში, მეო-  
რე (დამხმარე) მის ბოლო ნაწილში\*\*. დამხმარე ფარის დანიშნულებაა  
შეამსუბუქოს ძირითადი ფარის მანევრირება — შექმნას მის უკან დაახ-  
ლოებით იგივე წნევა, როგორც მის წინაა; ამ მიზნით პირველად დაკეტა-  
ვენ რა დამხმარე ფარს, შეავსებენ წყალსაგდები მილის ძირითად და დამხ-  
მარე ფარებს შორის არსებულ მონაკვეთს უშუალოდ ზედა ბიეფიდან მი-  
წოდებული წყლით, რისთვისაც კაშხალის ტანის განსაზღვრულ უბანში  
სპეციალურად ეწყობა მცირე დიამეტრის მქონე მილი საკუთარი ურდუ-  
ლით. აღსანიშნავია ისიც, რომ ფარის კონსტრუქციაზე დიდად არის დამოკი-

\* მცირე სიმაღლის კაშხალებში გათვალისწინებული სიღრმითი წყალსაგდებები წარ-  
მოადგენენ წყალსაშვიან ხვრეტებს ღრმად განლაგებულ წყალსაშვის ზღურბლით.

\*\* ზოგჯერ დამხმარე ფარს ამონტაჟებენ უშუალოდ ძირითად ფართან ახლოს.

დებული სიღრმითი წყალსაგდების შესასვლელი და გამოსასვლელი უბნების მოხაზულობა და ზომები, რომელთა შერჩევა, როგორც წესი, ГОСТ 4688--49-ში მითითებული რეკომენდაციის საფუძველზე უნდა მოხდეს შემდეგ ფარგლებში: სიგანე 0,6-დან 2,0 მეტრამდე და სიმაღლე 0,6-დან 16 მეტრამდე.

უკანასკნელ პერიოდში (ბეტონის კაშხლის წყალსაგდები ფრონტის შემცირების მიზნით) კაშხლის განივი კვეთის ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში ათავსებენ (იხ. ნახ. 6.7)



ნახ. 6.7 — ორიარუსიანი წყალსაგდები კაშხლის სქემა.

როგორც ზედაპირულ, ასევე სიღრმით წყალსაგდებებს, განვიხილოთ ასეთი ტიპის წყალსაგდებების ჰიდრაულიკური გაანგარიშების მეთოდი.

6.7. ნახ.-ის თანახმად კაშხლის ზღურბლზე წყლის გადაღინების შემთხვევაში სიღრმითი წყალსაგდების წყალგამტარუნარიანობა (ხარჯი) გამოითვლება ფორმულით

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0} \quad (6.13)$$

მის გარეშე კი:

$$Q^* = \mu \omega \sqrt{2gH^*} \quad (6.14)$$

სადაც  $\mu$  არის ხარჯის კოეფიციენტი,  $\omega$  — სიღრმითი წყალსაგდების საანგარიშო განივი კვეთის ფართობი,  $H_0$  და  $H^*$  — წყლის საანგარიშო წნევები, შესაბამისად, კაშხლის ზღურბლზე წყლის გადაღინების შემთხვევაში ( $H_0$ ) და მის გარეშე ( $H^*$ ),  $g$  — სიმძიმის ძალის აჩქარება.

ამგვარად, (6.13) და (6.14) ფორმულებით სიღრმითი წყალსაგდების წყალგამტარუნარიანობის განსაზღვრისათვის აუცილებელია წინასწარ ვიცოდეთ ხარჯის კოეფიციენტი  $\mu$  და წყლის საანგარიშო —  $H^*$  და  $H_0$  — დაწნევები.

ხარჯის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია სიღრმითი წყალსაგდების მხოლოდ გეომეტრიულ მახასიათებლებზე, გამოითვლება ფორმულით

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha_{გამ} \left( \frac{\omega}{\omega_{გამ}} \right)^2 + \zeta_3}} \quad (6.15)$$

სადაც  $a_3, a_4$  არის კინეტიკური ენერჯიის კორექტივი სიღრმითი წყალსაგ-  
 დების გამოსასვლელ კვეთში, რომელიც დაახლოებით 1-ის ტოლია;  $\omega$  —  
 წყალსაგდების საანგარიშო კვეთის ფართობი, ხოლო  $a_{30}, a_{40}$  კი — მისი გამო-  
 სასვლელი კვეთის ფართობი.  $a_3 = a_3 + a_4$ ;  $a_4 = \frac{2g}{c^2} \cdot \frac{L}{R}$  — წყალსაგდების  
 ჰიგრძეზე ხახუნისაგან გამოწვეული წნევის კარგვის ჯამური კოეფიციენტი;  
 $C$  — შუბის კოეფიციენტი;  $L$  — წყალსაგდების სიგრძე;  $R = \frac{\omega}{x}$  — ჰიდრაუ-  
 ლიკური რადიუსი;  $x$  — სველი პერიმეტრი;  $a_5 = a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + \dots$ ;  $a_6$  —  
 ჰიდრაულიკური კარგვის კოეფიციენტი წყალსაგდებში წყლის შესვლაზე;  
 $a_7$  — გამოსვლაზე;  $a_8, a_9$  — ნაკადის შევიწროებაზე;  $a_{10}$  — ნაკადის გა-  
 ფართობაზე და ა. შ.  $H^*$  და  $H_0$  დასადგენად დავწეროთ ბერნულის გან-  
 ტოლება 6.7, ნახ.-ზე ნაჩვენები 1—1 და 2—2 კვეთებისათვის

$$H + \frac{v_0^2}{2g} = h_2 + \frac{v^2}{2g} + h_{\omega}, \quad (6.16)$$

სადაც  $h_2$  არის სიღრმითი წყალსაგდების გამოსასვლელ კვეთში განივილი  
 ჰაზულო ხვედრითი ენერჯია კაშხალის ზღურბლზე წყლის გადაღობაზე  
 გარეშე;  $v_0$  და  $v$  — წყლის დინების სიჩქარეები, შესაბამისად, ზედა  
 ბიეფში ( $v_0$ ) და უშუალოდ სიღრმით წყალსაგდებში ( $v$ );  $x$  — სიჩქარის  
 განაწილების არათანაბრობის გამომსახველი კოეფიციენტი, რომელიც სა-  
 შუალოდ აიღება 1 + 1,1-ის ფარგლებში;  $h_{\omega}$  — წნევის კარგვების ჯამი.

ვღებულობთ რა მხედველობაში, რომ (6.16) განტოლების მარჯვენა  
 ნაწილის ორი უკანასკნელი წევრის ჯამი შეესაბამება წყლის საანგარიშო  
 დაწნევას, შეგვიძლია, იმ შემთხვევისათვის, როდესაც კაშხალზე გადადინე-  
 ბა არაა, დავწეროთ

$$H^* = H_0 - h_2; \quad (6.17)$$

როდესაც სიღრმითი წყალსაგდების გამოსასვლელი უბანი სწორხაზოვანია  
 $h_2 = acos\phi$ . ხოლო  $R$  — სიღრმითი მისი მოხაზვის შემთხვევაში ის განსხვავე-  
 ბული იქნება ჰიდროსტატიკურისაგან; მიახლოებით, ხვედრითი ენერჯიის  
 არათანაბარი განაწილება სიღრმითი წყალსაგდების გამოსასვლელ კვე-  
 თში შეიძლება ახახოს ასეთი დამატებითი წევრით:

$$\int_{R_1}^{R_1 + \frac{a}{2}} \frac{v^2}{gr} dr, \text{ სადაც } R_1 = R + \frac{a}{2} \text{ არის ვერტიკალურ}$$

საბრტყეში წყალსაგდების გამოსასვლელი უბანის სიმრუდის რადიუსი



(მისი ღერძული ხაზის მიმართ), ხოლო  $r$  კი ინტეგრალქვეშა ფუნქციის ცვლადი.

აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით (6.17) ფორმულა საბოლოოდ შეიძლება ასეთნაირად გადავწეროთ (წინასწარი ვარაუდით, რომ  $v = \text{const}$ )

$$H^* = H_0 - a \cos \beta - \int_{R_1}^{R_1 + \frac{a}{2}} \frac{v^2}{gr} dr = H_0 - a \cos \beta - \frac{v^2}{g} \ln \frac{R_1 + \frac{a}{2}}{R_1}. \quad (6.18)$$

(6.18) ფორმულა საშუალებას იძლევა დავადგინოთ სიღრმითი წყალსაგდების საანგარიშო დაწნევა, როდესაც კაშხალზე წყლის გადაღინება არ ხდება; პირიქით შემთხვევაში კი

$$H_3 = H^* - \Delta H, \quad (6.19)$$

რომელიც (6.18) ფორმულის მხედველობაში მიღებით საბოლოოდ ასეთნაირად გადაიწერება

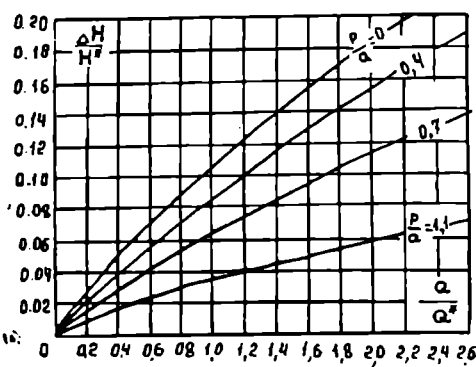
$$H_3 = H_0 - a \cos \beta - \frac{v^2}{g} \ln \frac{R_1 + \frac{a}{2}}{R_1} - \Delta H. \quad (6.20)$$

ამ ფორმულაში შემავალი  $\Delta H$  სიდიდის წინასწარი დადგენა უნდა მოხდეს

6.8 ნახ.-ზე ლაბორატორიული გამოკვლევის საფუძველზე აგებული ფუნქციონალური დამოკიდებულების გრაფიკიდან

$$\frac{\Delta H}{H_3} = f\left(\frac{P}{a}, \frac{Q}{Q^*}\right), \quad (6.21)$$

სადაც  $a$  არის სიღრმითი წყალსაგდების გამოსასვლელი კვეთის სიმაღლე (იხ. ნახ. 6.7),  $P$  — იმავე კვეთში გაზომილი ზღურბლია სიდიდე, ხოლო  $Q$  — ზედაპირული წყალსაშვის ხარჯი.



ნახ. 6.8 — დამოკიდებულების გრაფიკი

$$\frac{\Delta H}{H_3} = f\left(\frac{P}{a}, \frac{Q}{Q^*}\right)$$

ამგვარად, (6.18) ფორმულით გამოთვლილი  $H^*$  და წინასწარ ცნობილი  $\frac{P}{a}$  და  $\frac{Q}{Q^*}$  სიდიდეთა მიხედვით 6.8. ნახ.-ზე მოცემული გრაფიკიდან

დავადგენთ რა  $\Delta H$ -ის რიცხვით მნიშვნელობას, შეგვეძლება (6.20) ფორმულით გამოვთვალოთ სიღრმითი წყალსაგდების საანგარიშო დაწნევა, ხოლო (6.14) ფორმულით კი მისი გამტარუნარიანობა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ერთდროულად მუშაობს როგორც სიღრმითი, ასევე ზედაპირული წყალსაგდებები და ორივე მათგანი ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეშია განლაგებული.

#### § 6.6. სიფონური წალსაგდებები ბანონის ბრავიტაციული კაშხალის ტანში

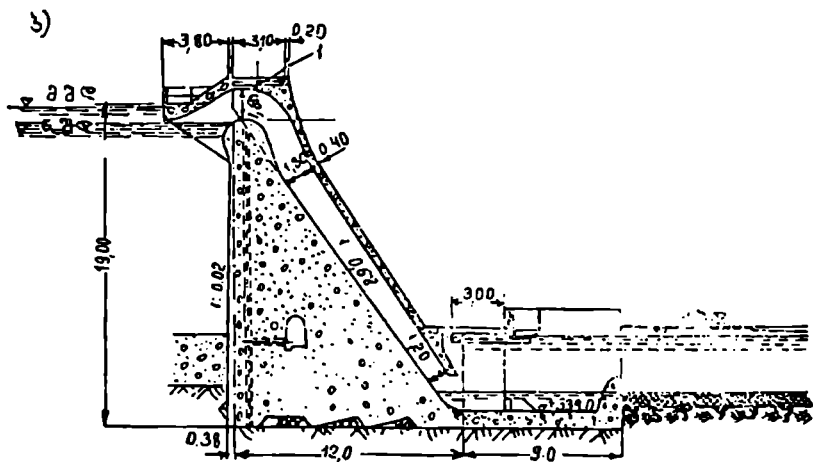
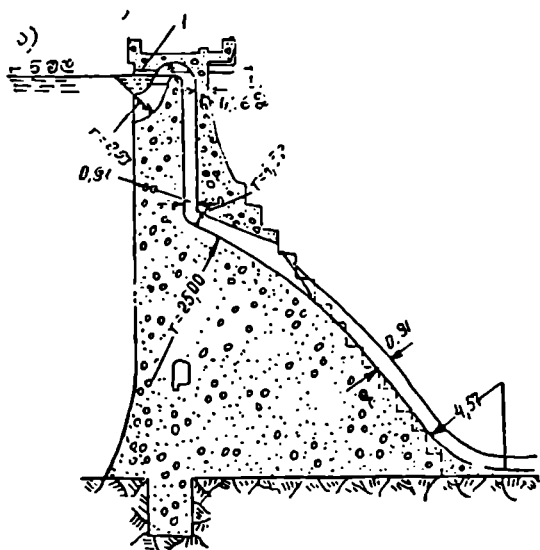
გრაეიტაციულ კაშხალებში, როდესაც წყალსაშვიანი ხერტების განლაგების ფრონტი ვიწროა და ზედა ბიეფის დონის ცვალებადობა მცირეა, მიზანშეწონილია ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში ზედმეტი წყლის გასატარებლად აშენდეს სიფონური წყალსაგდებები.

სიფონური წყალსაგდები წარმოადგენს (ნახ. 6.9, ა) კაშხალის ტანში გათვალისწინებულ სწორკუთხოვან ან კიდევ წრიული კვეთის მქონე წყალგამტარ მილს, რომლის შესასვლელი ნაწილი საკმაოდ გაფართოებულია და ჩაღრმავებულია ზედა ბიეფის ნორმალური შეტბორვის დონის (ნშდ) ქვემოთ იმდენად, რომ მასში წყლის უტარების დროს ადგილი არ ექნეს ზედა ბიეფის დონის ძაბრისებურად დაცემას და ამის შედეგად გამოწვეულ ჰაერის წატაცებას სიფონის შიგნით (სიფონური წყალსაგდების წყალსაშვის ზღურბლი ინიშნება ნშდ-ის ნიშნულზე).

სიფონური წყალსაგდების წყლის ხარჯის გამოთვლა შეიძლება მოვახდინოთ სიღრმითი წყალსაგდებისათვის ჩაწერილი (6.14) ფორმულით, სადაც საანგარიშო დაწნევა  $H^*$  აიღება ზედა ბიეფის დონესა და სიფონური წყალსაგდების გამოსასვლელი კვეთის ცენტრის ნიშნულებს შორის სხვაობის საფუძველზე, როდესაც წყლის გამოდინება ხდება ჰაერში (ნახ. 6.9, ა) ან კიდევ ზედა და ქვედა ბიეფების დონეთა სხვაობა, როდესაც წყალსაგდებიდან წყლის გამოდინება ქვედა ბიეფის წყლის დონის დაბლა მიმდინარეობს (ნახ. 6.9, ბ).

სიფონური წყალსაგდები ავტომატურად იწყებს მუშაობას, როგორც კი მის ზედა მუხლზე წყალი დაიწყებს გადადინებას და თან წაიტაცებს ჰაერს, ამ პროცესის დასაჩქარებლად საჭიროა სიფონური წყალსაგდების ტრაქტი ისეთნაირად მოიხაზოს ვერტიკალურ სიბრტყეში, რომ მუშაობის საწყის მომენტში სიფონის ზედა მუხლზე გადადინებულ წყალს შეეძლოს სწრაფად დაეჭახოს სიფონის სახურავს (კედელს) და ამდაგვარად შეკრას სახურავსა და წყლის ჰაერს შორის დარჩენილი სივრცე.

განსახილველ შემთხვევაში სიფონის ზედა მუხლის კვეთში წარმოქმნილი ვაკუუმის საფუძველზე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ბერნულის განტოლები-



ნახ. 6.9 — სიფონური წყალსაგდებების სქემები. ა—როდესაც წყლის გამოღინება ხდება პაერში; ბ—როდესაც წყლის გამოღინება ქვედა ბიუფის ღონის ქვეშაა; 1—პაერის მისაწოდებელი ხერხები.

ის საფუძველზე შედგენილი\* ფორმულით:

$$h_{3,1} = \frac{V_{ზღ}^2}{2g} + \frac{a_{ზღ}}{2} + H_0 + \frac{V_{გაგ}^2}{2g} \left[ 1 + \sum_1^n (c K_n^3) \right], \quad (6. 22)$$

სადაც  $V_{ზღ}$  და  $V_{გაგ}$  არის წყლის დინების სიჩქარეები, შესაბამისად სი-  
ფონის ზღურბლის და გამოსასვლელი უბნის კვეთებში;  $a_{ზღ}$  — ზღურბლზე  
კვეთის სიმაღლე;  $K_n = \frac{a_{გაგ}}{a_n}$  — სიფონური მილის გამოსასვლელი უბნის  
განიკვეთის ფართის  $a_{გაგ}$  შეფარდება განსახილველ  $n$ -ურ უბანზე აღებულ  
საანგარიშო კვეთის  $a_n$  ფართობთან;  $c$  — წნევის კარგების გამომსახველი  
წინაღობის კოეფიციენტი სიფონური მილის შესაბამისი უბნისათვის.

სიფონურ მილში ადგილი რომ არ ჰქონდეს წყლის ნაკადის წყვეტას,  
აუცილებელია (6.22) ფორმულით გამოთვლილი ვაკუუმის სიდიდე არ აღე-  
მატებოდეს მის აბსოლუტურ მნიშვნელობას (პრაქტიკულად მას ლებულო-  
ბენ 6—7 მეტრის ფარგლებში).

#### § 6. 7. წაალსაგზავნი ხერახავის გურჯავი

ბურჯები წარმოადგენს კაშხალის ზღურბლზე აღმართულ მასიურ  
კედლებს. მათი ძირითადი დანიშნულებაა დააკავონ დაკეტილ მდგომარე-  
ობაში ფარები და ამგვარად მიიღონ თავიანთ თავზე წყლის დაწნევა;  
ბურჯები ამავე დროს ითვლება საყრდენებად როგორც საშოსამსახურო და  
ტრანსპორტის სავეალი ხიდეებისათვის, ასევე ფარების ამწე მექანიზმებისათ-  
ვის.

ბურჯების სისქე და სიგრძე ისეთი უნდა იყოს, რომ  
შესაძლებელი იყოს მათში ფარების სამოძრაო კილოებისა და საშოსამსახუ-  
რო და ტრანსპორტის სავეალი ხიდეების განლაგება. ამ მოსაზრებიდან გამო-  
მდინარე გაუქრელი, უნაკერო ბურჯების  $a$  სისქე (ნახ. 6.10) აიღება წყალ-  
საშვის ხერხის  $b$  მაღისა და კაშხალის ზღურბლზე  $H$  დაწნევის სიდიდის  
მხედველობაში მიღებით შემდეგ ფარგლებში (იხ. ცხრილი 6. 5).

ცხრილი 6. 5

H < 3 მეტრზე			H ≥ 3 მეტრზე		
b = 10 მ	10 მ < b < 20 მ	20 მ < b < 30 მ	b = 10 მ	10 მ < b < 20 მ	20 მ < b < 30
a = 0,20b	a = 0,12b	a = 0,10b	a = 0,25b	a = 0,16b	a = 0,13b

\* ბერნულის განტოლება უნდა დაიწეროს სიფონის ზედა მუხლისა და გამოსასვლელი უბნის კვეთებისათვის.



ფარის ტიპისა და ზომების მიხედვით: სახელდობრ, სარემონტო ფარების კილოების მინიმალური ზომები აიღება  $0,5 \times 0,5$  მეტრი, ხოლო ძირითადის კა შეზღვევ ფარგლებში; სიღრმე  $0,7—2$  მეტრი, სიგრძე  $1—4$  მეტრი.

1) არაკლდოვან ფუძეზე აშენებულ კაშხალებში ბურჯები უმეტესად ერთ მთლიანობაში შენდება წყალსაშვიან ზღურბლთან, ხოლო რაც შეეხება ამ შექმნევაში ნაკერების მოწყობას, ის კეთდება ბურჯების შუაში (ნახ. 6.10); ზოგჯერ ბურჯებს წყალსაშვისაგან გამოყოფენ ნაკერებით.

ბურჯებში ან კიდევ ბურჯებსა და კაშხალის ტანს შორის გათვალისწინებული ნაკერები ისეთნაირად უნდა შესრულდეს, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს ნაკერებით გამოყოფილი ცალკეული ნაწილის დამოუკიდებელი ქდომა და ამავე დროს გამოირიცხოს წყლის ფილტრაცია ნაკერებში.

ბეტონის ბურჯების გვერდითი ზედაპირების მოპირკეთებას მხოლოდ მაშინ მიმართავენ, როდესაც ერიდებიან ძლიერი ყინულთსვლის ან კიდევ მსხვილი და დიდი რაოდენობის ნატანი მასალის მავნე ზემოქმედებას. მოსაპირკეთებელ მასალად იყენებენ მაგარი ჯიშის თლილ ქვას (კუთხოვან ადგილებში მოპირკეთება, როგორც წესი, უნდა შესრულდეს ლითონის ანკელებზე).

ძირითადი განგარიშებები სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე უნდა შესრულდეს შემდეგი სამი შემთხვევისათვის.

ა) სა მ შე ნ ე ბ ლ ო პ ე რ ი ო დ ის ა თ ვ ი ს, როდესაც ბურჯზე მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალური ძალები და საკუთარი წონა და რომლებიც ქმნიან ბურჯის არათანაბარი კუმშვის პირობებს (ასეთი ანგარიშის ჩატარებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება არაკლდოვან ფუძეზე ასაშენებელი ბურჯებისათვის);

ბ) სა ე ქ ს პ ლ უ ა ტ ა ც ი ო პ ე რ ი ო დ ის ა თ ვ ი ს, როდესაც ფარი დაშვებულია ფლიუტბეტზე და ბურჯი განიცდის მაქსიმალურ დაწნევას (ნახ. 6.10, ა); ამ შემთხვევაში წყლის დაწნევისაგან გამოწვეული ჰორიზონტალური ძალები ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= 0,5 \gamma H_1^2 (a+b) \\ W_2 &= C, 5 \gamma H_2^2 (a+b) \end{aligned} \right\} \quad (6.23)$$

ამ ძალებს ზოგჯერ ემატება ყინულისაგან  $W_3$  და ქარის  $W_4$  დაწნევისაგან გამოწვეული ძალები.

გ) სა რ ე მ ო ნ ტ ო პ ე რ ი ო დ ი, როდესაც წყალსაშვის ერთ მომუშავე მალში წყლის მაღალი დონეა, ხოლო მეორე შემოდობილია სარემონტო ფარებით და იქ წყალი საერთოდ არაა (ნახ. 6.10, ბ). ამ შემთხვევაში

ნახ. 6.10, ბ-ზე ნაჩვენებია სქემის მიხედვით ბურჯზე მოქმედი გვერდითი ძალები ტოლია:

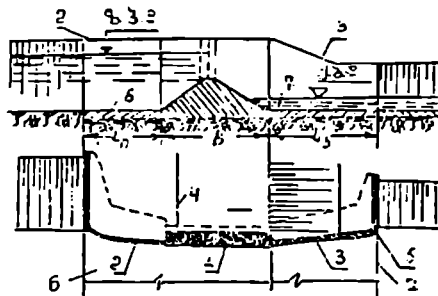
$$\left. \begin{aligned} W_1 &= 0,5\gamma H^2 l_1 \\ W_2 &= 0,5\gamma H^2 l_2 \\ W_3 &= 0,5\gamma H^2 l_3 \\ W_4 &= 0,5\gamma H^2 l_4 \end{aligned} \right\} (6. 24)$$

დაძვრაზე და გაღებრებებაზე შემოწმება უნდა ჩატარდეს  $W_3$  და  $W_4$  ძალების მიმართულებით, ე. ი. იმ მალისაკენ, რომელიც შემოღობილია სარემონტო ფარებით (ნახ. 6.10, ბ) და სადაც წყალი ამოშრობილია.

### § 6. 8. შიდაპირული და სანაპირო ბურჯები (კედლები)

წყალსაშვიანი კაშხლების დაკავშირება მდინარის ნაპირებთან ან შიშის კაშხლებთან ხდება შემათლლებელ ნაგებობათა კომპლექსით, რომელშიაც ზოგადად შეიძლება შედიოდეს (ნახ. 6. 12): სანაპირო ბურჯი 1, ზედა 2 და ქვედა 3 საყრდენი კედლები, ფილტრაციის საწინააღმდეგო დიაფრაგმა 4, სადრენაჟო მოწყობილობა 5, ძირული 6 (ლ<sub>6</sub> — მისი სიგრძე), რისბერმა 7 (ლ<sub>7</sub> — მისი სიგრძე).

სანაპირო კედელი (ბურჯი) იცავს მდინარის ნაპირს ან კიდევ მ-წის კაშხალს წყლის ნაკადის დამანგრეველი ზემოქმედებასაგან, აძვირებს წყლის ფილტრაციას წყალსაგდების მოვლით უსაფრთხო ფარგლებამდე და, ამავდროს, ასრულებს საყრდენის ფუნქციას ფარებისა და კაშხალზე დაშენებული სატრანსპორტო-სავალი ხიდებისათვის. კაშხალის წყალგამტარი ხერხების მომიჯნავე სანაპირო კედლების წინაპირების დაშუშავება (მოპირკეთება) უნდა მოხდეს ჩვეულებრივი ბურჯების წიბოების ანალოგიურად.

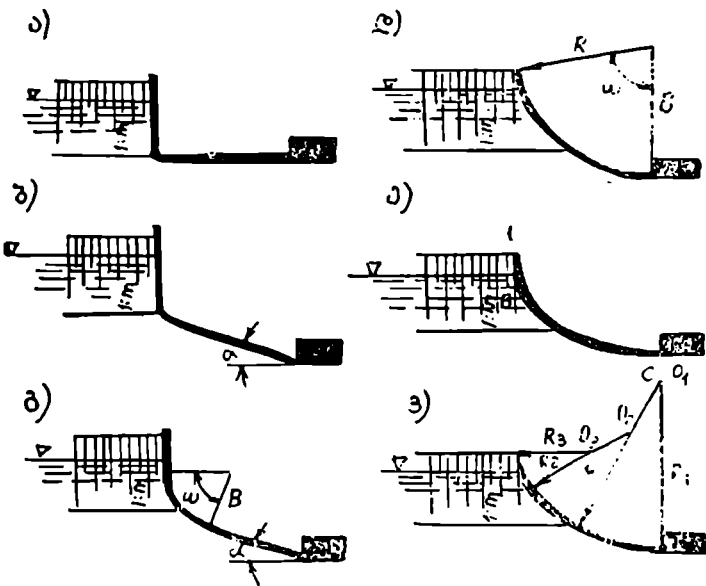


ნახ. 6.12 — შემათლლებელ ნაგებობათა კომპლექსის სქემა (გვერდითი): 1—სანაპირო ბურჯი; 2 და 3—ზედა და ქვედა საყრდენი კედლები; 4—ფილტრაციის საწინააღმდეგო დიაფრაგმა; 5—სადრენაჟო მოწყობილობა; 6—ძირული; 7—რისბერმა; 8—კაშხალის ძირის სიგრძე.

გამყოფი ბურჯი (წყალსაშვიანი კაშხალსა და სხვა მოშინავე ბეტონის ნაგებობას შორის) ჰიდრავლიკური მოსაზრებით უნდა

მოეწყოს ნახევარბურჯის მსგავსად, დაგრძელებული ქვედა ნაწილით.

ზედა შემაუღლებელი საყრდენი კედლის (ნახ. 6.13 და ნახ. 6.14) დანიშნულებაა წყლის ნაკადის მდოვრედ მიმართვა წყალსაშთან და ამავე დროს მდინარის ნაპირის, მიწის კაშხალის დაცვა-ვამორეცხვისაგან. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე, მცირე სიმაღლის ნაგებობებში შეიძლება გამოვიყენოთ 6.13 ნახ.-ზე ნაჩვენები ყველა სქემა (ყუთხე  $\alpha = 10-30^\circ$ ), დიდი სიმაღლის ნაგებობებში კი 6.13 დ, ე, ვ ნახ.-ზე აღნიშნული სქემები; აქვე შევნიშნავთ, რომ საპასუხისმგებლო ჰიდროკანძებში ზედა საყრდენი კედლების ტიპს და ზომებს უფრო ზუსტად არჩევენ ლაბორატორიულ პირობებში.

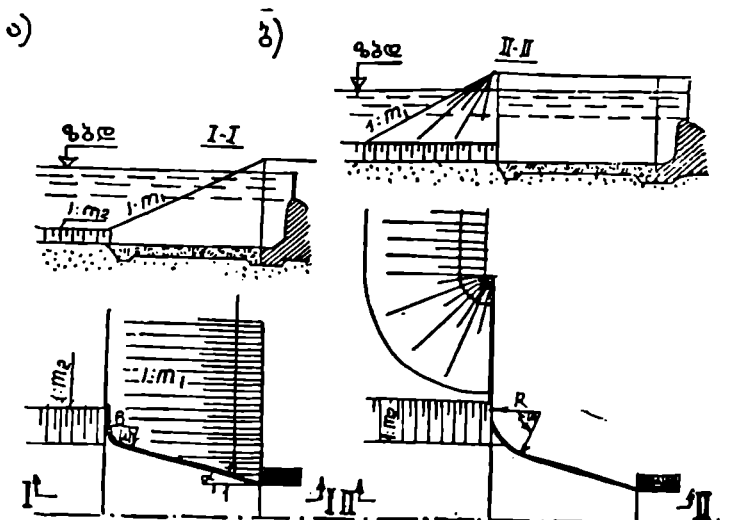


ნახ. 6.13 — შემაუღლებელი ზედა საყრდენი კედლების სქემები: ა, ბ, გ — მცირე სიმაღლის კაშხალებში; დ, ე, ვ — დიდი სიმაღლის კაშხალებში.

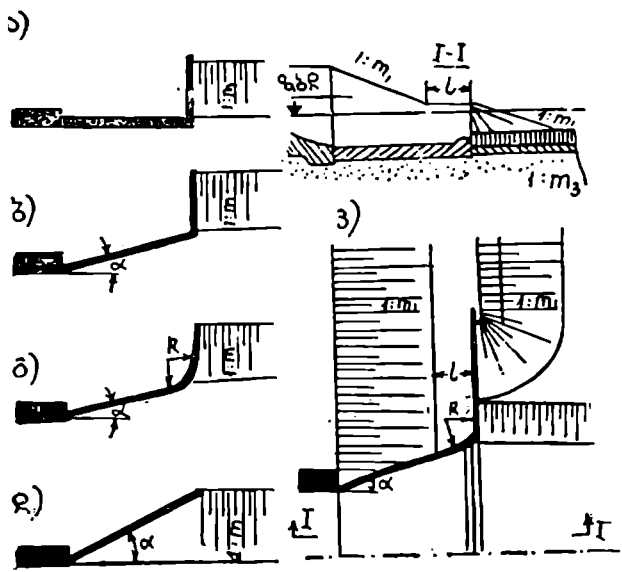
ქვედა შემაუღლებელი საყრდენი კედლის (ნახ. 6.15) დანიშნულებაა უზრუნველყოს წყალგამტარი ხვრეტებიდან გამოსული წყლის ნაკადის გეგმაში მდოვრედ განშლადობა და ამგვარად წყლის ნაკადის სიჩქარის შემცირება რისბერმის დასაწყისში. ასეთი კედლის სიგრ-

\* რისბერმის და საერთოდ ჰიდროკანძების ქვედა ბიუფების დაპროექტების ძირითადი საკითხების განხილვა იხილეთ წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილში.





ნახ. 6.14 — ზედა საყრდენი კედლის გეგმა და ფასადი, როდესაც ბეტონის კაშხალის შეუღლება ხდება შივის კაშხალთან, ადატობორავი;



ნახ. 6.15 — ქვედა შემადლებელი საყრდენი კედლის სქემები (ა—დ); ე. ვ. კედლის პროფილი და გეგმა, როდესაც ბეტონის კაშხალის შეუღლება ხდება შივის კაშხალთან.

ქე ინიშნება კაშხალის წყალსაცემი ნაწილის ფარგლებში, ხოლო გეგმაში მათი განშლადობას კუთხე  $\alpha$  კი აიღება  $6 \pm 12^\circ$ -ის ფარგლებში; თუ რაიმე მოსაზრებებით  $\alpha$  კუთხე უფრო მეტი სიდიდით აიღება, მაშინ აუცილებელია წყალსაცემზე მოეწყოს ნაკადის განშლადი ნაგებობები.

ქვედა შემაულებელ კედელს ჩვეულებრივად აპროექტებენ დაუძირავი სახით. ხოლო პროფილს კი — კაშხალის ქვედა (უკანა) ფერდოს მსგავსად.

## მ ა შ ვ ი დ ე თ ა ვ ი ქ ვ ა შ რ ი ლ ი კ ა შ ხ ა ლ ე ბ ი

### § 7.1. ქვაყრილი კაშხალების ზიანები და მათი კლასიფიკაცია

1. ზოგადი მონაცემები. კაშხალებს, რომელთა პროფილის უმეტესი ნაწილი განხორციელებულია ნაყარი ქვისაგან, ხოლო ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობად გამოიყენებულია ეკრანი, დიაფრაგმა ან ბირთვი, უწოდებენ ქვაყრილ (ნაყარი ქვის) კაშხალებს.

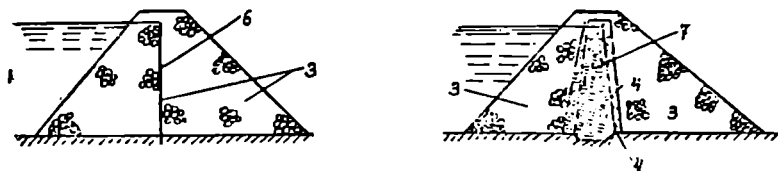
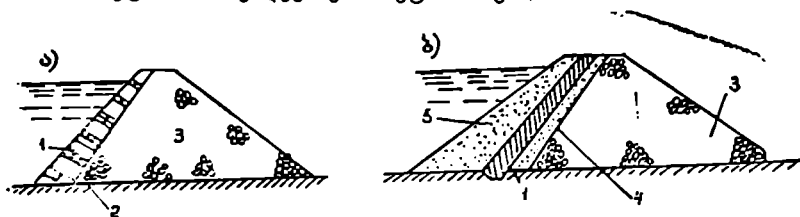
ქვაყრილის კაშხალებს უპირატესად აშენებენ მდინარეთა მთის უბნებზე და ისიც ქვებით მდიდარ რაიონებში. შესაბამისად, მსხვილი ჰიდროკვანძები მთიან რაიონებში უმჯობესია განლაგდეს შემდეგი ორი მოსაზრების გათვალისწინებით: 1) კაშხალის ასაშენებლად გამოიყენება ის ადგილობრივი მასალები (ქვები), რომელთა მოპოვება შესაძლებელია ადგილზე—გარიერებზე ან კიდევ უშუალოდ წყალსაგდები არხების, გვირაბების და ცალკეულ ნაგებობათა ქვაბულების დამუშავების შედეგად და 2) შეიძლება დიდი მოცულობის წყალსაცემების შექმნა.

ქვაყრილი კაშხალების ასაშენებლად ყველაზე ხელსაყრელია მდინარის ხეობის ისეთი განივკვეთი, რომლის ფერდოები ერთნაირი დახრილობისაა (განივი ქანობის მკვეთრი ცვლილების გარეშე).

ქვაყრილი კაშხალების მშენებლობამ განსაკუთრებით ფართო ხასიათი მიიღო მხოლოდ XX საუკუნეში; ასე, მაგალითად, ჩვენთვის ცნობილია, 1901 წლიდან დღემდე მსოფლიოში აშენებულია ან კიდევ ნაწილი მშენებლობის პროცესშია 200-ზე მეტი ნაყარი და ნახევრად ნაყარი ქვის კაშხალები; მათ შორის შეიძლება დავასახელოთ: საქართველოში—ხრამის—სიმალლით 32 მეტრი, ჟინვალის (მშენებარე ობიექტი) — 130 მეტრამდე, უზბეკეთის სსრ-ში ურტოტოკოისკის—59 მეტრი, ურალში—ირიკლინსკის—43 მეტრი და კორჩონარსკის—46 მეტრი, იაკუტიის ასსრ-ში—ვილიუსკის—71 მეტრი, ტაჯიკეთის სსრ-ში—მდინარე ვახშზე აშენებული ნურეკის კაშხალი—300 მეტრი, რომელიც ერთ-ერთი უდიდესია მსოფლიოში, და სხვა.

2. ქვაყრილი კაშხალების ტიპები და მათი კლასიფიკაცია. პილოტექნიკურ მშენებლობათა პრაქტიკაში გავრცელებულია ნაყარი კაშხალების შემდეგი ტიპები:

ა) ხისტი ეკრანით (ნახ. 7.1, ა), რომელიც ხორციელდება ხის, ლითონის, ბეტონის ან კიდევ რკინა-ბეტონისაგან;

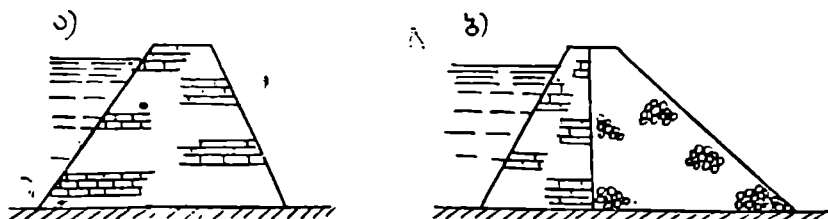


ნახ. 7.1 — ნაყარი ქვიშის კაშხალები: ა—ხისტი ეკრანით; ბ—ელასტიკური ეკრანით; გ—ხისტი დიაფრაგმით; დ—ელასტიკური ბირთვით; 1—ეკონი; 2—მშრალად ქვის წყობა; 3—ნაყარი ქვისაგან განხორციელებული მისაბრუნეო პრიზმა; 4—გარდამავალი ფენა; 5—დამცველი ფენა; 6—დიაფრაგმა; 7—ბირთვი.

ბ) ელასტიკური ეკრანით (ნახ. 7.1, ბ), რომელიც კეთდება მცირე წყალგამტარი გრუნტისაგან და ეწყობა კაშხალის ფერდოზე (გამორეცხვისა და გაყინვის საწინააღმდეგო დამცველი ფენის ქვეშ);

გ) ხისტი დიაფრაგმით (ნახ. 7.1, გ), რომელიც ხორციელდება ხის, ლითონის, ბეტონის ან კიდევ რკინა-ბეტონისაგან;

დ) ელასტიკური ბირთვით (ნახ. 7.1, დ), რომელიც ხორციელდება მცირე წყალგამტარი გრუნტისაგან;



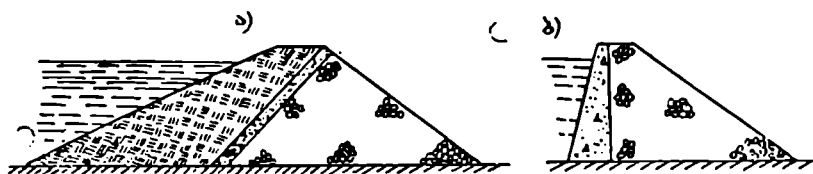
ნახ. 7.2 — ქვის წყობის კაშხალები: ა—ქვის მშრალად წყობით, ბ—ნახევრად ნაყარი ქვის;

ვ) კაშხალის მთელ განივკვეთში ქვის მშრალად (შემკრავი ხსნარის გამოყენების გარეშე) წყობით შესრულებული (ნახ. 7.2, ა);

ვ) ნახევრად ნაყარი ქვის კაშხალები (ნახ. 7.2, ბ), რომელთა ერთი (ზედა) ნაწილი შესრულებულია ქვის მშრალად ან კიდევ ბეტონის წყობით, ხოლო მეორე (ქვედა) კი—ნაყარი ქვით.

გარდა ზემოთ განხილულისა, ქვაყრილ კაშხალებში განასხვავებენ აგრეთვე შერეული ტიპის კაშხალებს, რომლებიც შედგება:

ა) ნაყარი ქვისაგან შესრულებული მისაბრჭენი პრიზმისაგან და კაშხალის ზედა მხარეს განხორციელებული მძლავრი მიწის ეკრანისაგან (ნახ. 7.3, ა);



ნახ. 7.3. — შერეული ტიპის კაშხალები.

ა — ქვაშიწის; ბ — ქვა-ბეტონის.

ბ) ნაყარი ქვისაგან შესრულებული მისაბრჭენი პრიზმისაგან და კაშხალის ზედა მხარეს ხსნარზე შესრულებული ქვის ან კიდევ ბეტონის წყობისაგან (ნახ. 7.3, ბ).

მხოლოდ ნაყარი ქვისაგან (ფილტრაციის საწინააღმდეგო ნაგებობათა მოწყობის გარეშე) აშენებენ ევრეთწოდებულ ფილტრაციულ დამბებს და სხვაეგვარი ტიპის ნახევრად ინჟინრულ ნაგებობებს.

### § 7.2. ქვაყრილი კაშხალების ასაშენებლად საპირო ძირითადი მოთხოვნები

ქვისადმი წაყენებული მოთხოვნები:

ა) ქვის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, 25 ჯერადი გაყინვის შემდეგ, უნდა აკმაყოფილებდეს  $T\gamma 24-32-43$  მოთხოვნებს (ცხრ. 7.1):

ცხრილი 7.1

კუმშვაზე გაყინული ქვის სიმტკიცის ზღვრული მნიშვნელობანი

კაშხალის ტიპი	კუმშვაზე ქვის სიმტკიცე კგ/სმ <sup>2</sup> -ობით, ლოდესაც კაშხალის სიმაღლეა (მეტროებით)	
	10 მეტრამდე	15 მეტრზე მეტი
ნაყარი	600	800
შერეული	500	700

ბ) ქვის მასალა უნდა იყოს ყინვაგამძლე (მასალა ყინვაგამძლედ მაშინ ჩაითვლება, როდესაც მისი წყალშეეცების ხარისხი 0,8-ს არ აღემატება);

გ) დარბილების კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია წყლით გაყინვით ნიმუშისა და მის მშრალ მდგომარეობაში სიმტკიცეთა თანაფარდობისა, მეტი ან ტოლი უნდა იყოს  $0,86 \div 0,90$ ;

დ) ქვის სიმაკრე მოხსის სკალის  $\geq 3$ -ზე;

ე) დინამიკური დატვირთვების ზემოქმედების (დარტყმების) მიმართ ქვას უნდა გააჩნდეს სათანადო წინააღმდეგობის გაწევის უნარი;

ვ) სასურველია, რომ გამოყენებული ქვის მოცულობითი წონა იყოს რაც შეიძლება მეტი (ნაგებობის უფრო მეტად მდგრადობისათვის);

ზ) ქვების სიმსხო ქვაყრილში ინიშნება კაშხალის სიმაღლის, გამოყენებული ქვის ხარისხის, სამუშაოთა წარმოების მეთოდის და გამოყენებული მექანიზმების მხედველობაში ჰილებით. ზოგადად კი 15—20 მეტრი სიმაღლის ქვანაყარ კაშხალებში უფრო ნაკლები ზომის ქვები გამოიყენება ვიდრე მათზე მეტ მაღალ კაშხალებში.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა, ნაყარში და წყობაში გამოყენებული ქვები, იმავე TV 24—32—43 თანახმად, უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

ა) ქვები უნდა იყოს შედარებით გლუვი მოხაზულობის (მკვეთრი კუთხეებისა და წიბოების გარეშე);

ბ) წერილი ქვების რაოდენობა, ქვაყრილში გამოყენებული ქვების საერთო მოცულობასთან შედარებით, არ უნდა აღემატებოდეს 5%-ს.

გ) ეკრანის ქვეშ ქვის წყობაში გამოყენებული ქვები უნდა იყოს ფენოვანი სახის,  $\delta \geq 20$  სმ სისქის, არაუმეტეს (3—4) მ სიგრძის და  $\geq 2$  სიგანის.

თუ პროექტში რაიმე სპეციალური მითითება არ არსებობს, მაშინ გამოყენებული ქვების სიმსხო და მათი ფორმა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს:

ა) ქვანაყარ კაშხალებში წერილი ქვების (10 კგ-მდე წონის) რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 5%-ს, ხოლო 10—დან 30 კგ-მდე წონის—25%-ს.

ბ) მშრალად ქვის წყობის კაშხალებში გამოყენებული ფენოვანი ქვების ზომები უნდა იყოს არანაკლებ 5 სმ სიმაღლის, 30 სმ სიგანისა და სიგრძის.

2. ქვაყრილისა და ქვის წყობისადმი წაყენებული მოთხოვნებია:

ა) ქვანაყარში ყველაზე მსხვილი ქვები შეძლებისდაგვარად უნდა ჩაიწყოს კაშხალის ფერდოსთან ახლოს, ხოლო ყველაზე წერილი კი—მის ცენტრალურ ნაწილში.

ბ) ქვანაყარში ცარიელი სივრცეები არ უნდა იყოს 35—40%-ზე მეტი კაშხალის საერთო მოცულობასთან შედარებით (ელასტიკურეკრანიან კაშ-

ხალხში მათი პროცენტული მოცულობა შეზღუდული არ არის).

გ) ქვის წყობაში ცარიელი სივრცეების საერთო მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს კაშხალის მოცულობის 25—30% -ს.

ქვაყრილ კაშხალებში ქვების ჩაყრას ჩვეულებრივ აწარმოებენ ამ მიზნით სპეციალურად მოწყობილი ესტაკადიდან. რაც უფრო მაღალი ესტაკა დიდან ხდება ქვების ჩაყრა, მით უფრო მონოლითურია ხოლმე (მთლიანია) ქვანაყარი მასივი; თუმცა აქვე შევნიშნავთ, რომ ქვის ჩაყრის სიმაღლე ლიმიტირებულია ნაყარში წვრილი ქვების დასაშვები რაოდენობით, რომელიც მით მეტია, რაც უფრო მაღალია ჩაყრის სიმაღლე. პრაქტიკაში ქვის ჩაყრის სიმაღლე ინიშნება 8—40 მეტრის ფარგლებში და ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ზუსტდება ცდების ჩატარების საფუძველზე.

3. გამკვრივების წესის მიხედვით განასხვავებენ ქვაყრილის შემდეგ სახეებს:

ა) დამატებითი დატკეპნის გარეშე (თვით დატკეპნის გარდა, რომელსაც ადგილი აქვს ესტაკადიდან ქვების ჩაყრის შედეგად);

ბ) ქვების მოსწორებით და შემდგომი დატკეპნით ხელის ან კიდევ სხვა რომელიმე მექანიკური სატკეპნით;

გ) ქვებს შორის დარჩენილი სივარდილების წვრილი ქვებით წინასწარ შევსებით და შემდგომი დატკეპნით;

დ) წყლის ჰავლის დამუშავებით, რის შედეგადაც ქვის წვრილი ნაწილაკები იწნეება ცალკეულ ქვებს შორის დარჩენილ სივარდილებში (ამ შემთხვევაში წყლის ჰავლის ზემოქმედება ხდება 5—7 ატმოსფეროს დაწნევით).

ე) ქვაყრილის ფორების სილით შევსების დროს ვლებულობთ ქვა-ქვიშის შემცველ კაშხალის ტანს, რომელიც დაახლოებით ორჯერ ნაკლები წყალგამტარობით ხასიათდება, ვიდრე ჩვეულებრივი ქვაყრილის კაშხალები. სწორედ ამ წესით, საბჭოთა პროექტით და საბჭოთა ინჟინრების მიერ მსოფლიოში პირველად აშენდა ასუანის კაშხალი ეგვიპტეში: კაშხალის პროფილის შუა ნაწილში გათვალისწინებულია თიხის ბირთვი. კაშხალის სიმაღლეა 111 მეტრი, ბირთვის კი—82 მეტრი; კაშხალის სიგრძე (თხემის ნაშნულზე) 3600 მეტრი, საერთო მოცულობა 40 მლნ მ<sup>3</sup>, მათ შორის: ქვაყრილი—21,7 მლნ მ<sup>3</sup>, ნალექი სილა—15,3 მლნ მ<sup>3</sup>, თიხა—3,0 მლნ მ<sup>3</sup>.

## § 7. ა. მშენებელი კაშხალის პროფილისა და მისთვის აუცილებელი ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობათა შერჩევა

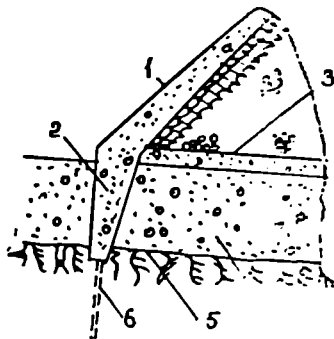
1. კაშხალის პროფილი. კაშხალის თხემის სიგანე, ისევე როგორც მიწის კაშხალებში აიღება იმისდა მიხედვით, თუ რომელ კლასს მიეკუთვნება კაშხალის ქიმზე გათვალისწინებული გზა, მაგრამ არანაკლები 5 მეტრისა. კაშხალის ფერდობებს ეძლევა ისეთი დახრილობა, რომელიც

უზრუნველყოფს მათ მდგრადობას, სახელობა, კაშხალის მდგრადი ფუძის შემთხვევაში ზედა ფერდოს დახრილობა აიღება 1 1.1—1: 1.35 ფარგლებში, ქვედასი კი—1 1.2—1 1.4 ფარგლებში; ნაკლებად მდგრადი ფუძის შემთხვევაში ფერდობის დახრილობა ნაკლებ ციკაბო აიღება, ხოლო სეისმურ რაიონებში კი კაშხალის ორივე ფერდოს დახრილობა აიღება 1 1.6—1 1.8 ფარგლებში.

2. კაშხალის ფუძედ გამოდგება კლდოვანი ფუძეები ნებისმიერი სახე, ხოლო არაკლდოვანი ფუძეებიდან—კი ქვიშა-ხრეშოვანი, მსხვილქვიშოვანი, მკვრივი თიხოვანი და თიხნარიანი ფუძეები. როდესაც კლდოვანი ფუძე არც თუ ისე ღრმად მდებარეობს კაშხალის ძირთან, კაშხალზე გათვალისწინებული ფილტრაციის საწინააღმდეგო კონსტრუქციების (ეკრანის, დიაფრაგმის) შეუღლება კლდოვან ფუძესთან ხორცეულდება ბეტონის კბილით (ნახ. 7.4); თუ ბეტონის კბილს ქვეშ კლდე ბზარებით ხასიათდება, აუცილებელია მისი წინასწარი ცემენტაცია

როდესაც ქვაყრილი კაშხალი შედგება არაკლდოვან ფუძეზე, შეიძლება ადგილი ექნეს მის დაზიანებას, რომლის თავიდან აცილებისათვის აუცილებელია ქვების ჩაყრის დაწყებამდე მასზე მოეწყოს წერილი ქვისაგან ან კიდევ ღორღისაგან დამცველი შრე.

3. ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობანი. კონსტრუქციამ, რომელმაც უზრუნველყოს ქვაყრილი კაშხალების წყალგაუმტარობა, აუცილებელია დააკმაყოფილოს შემდეგი ძირითადი მო-



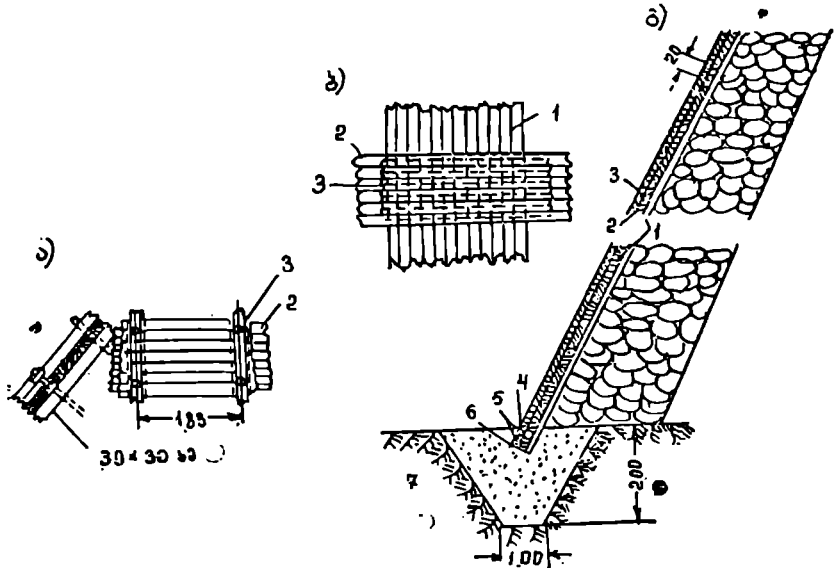
ნახ. 7.4 — ქვაყრილი კაშხალის ეკრანის შეუღლება კლდოვან ფუძესთან: 1—ეკრანი; 2—ბეტონის კბილი; 3—წერილი ქვიშა და ხრეშის თინა; 4—წყალგამტარი გრუნარი; 5—კლდე; 6—ცემენტაცია.

თხოვნა: წყალგაუმტარობა კაშხალის მუშაობის და მისი შესაძლო დაზიანების ნებისმიერ პირობებში, სიმტკიცე წყლისა და ყინულის წნევის ზემოქმედებაზე, სათანადო დამყოლობა ტემპერატურული და სხვა დეფორმაციების მიმართ და ა. შ.

ქვაყრილი კაშხალების მშენებლობის პრაქტიკაში ფილტრაციის საწინააღმდეგო არსებული კონსტრუქციებიდან ყველაზე მეტად გამოიყენება კაშხალის ზედა ფერდოზე მოწყობილი ეკრანები.

ეკრანები კეთდება ხისტი (ხის ბეტონის, რკინაბეტონის, ლითონის) ან კიდევ ელასტიკური (თიხის, ტორფის, ასფალტის და ა. შ.) მასალებისაგან. ხისტი მასალებისაგან შესრულებული ეკრანების მოქნილობა შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს კონსტრუქციულ ღონისძიებათა ჩატარებით (სპეციალური ნაკერების მოწყობით), ხოლო რაც შეეხება ელასტიკურ ეკ-

რანებს, მათ თავისთავად ყოველთვის აქვთ სათანადო მოქნილობა. ქვემოთ განვიხილავთ ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ ეკრანს ცალ-ცალკე.



ნახ. 7.5 — ხის ეკრანები: ა—პირაპირის მოწყობა; ბ—ეკრანი ძელების მთლიანი რიგით; გ—ეკრანის კონსტრუქცია. 1—ძელები; 2—ქველა გრძივი ფიცრები; 3—ზელა გრძივი ფიცრები; 4—ქერელის ბაგირი; 5—გაფისული ქეჩა; 6—ქერელი; 7—ბეტონის კბილი.

ა) ხის ეკრანები (ნახ. 7.5) გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ: 1) ადგილზე მოგვეპოვება ან კიდევ არაერთარ სიძნელეს არ წარმოადგენს შესაბამისი ხარისხის ხის მასალების მიღება; 2) არსებობს ხელსაყრელი კლიმატური პირობები ხის შესანახად; 3) არსებობს პირობები საჭიროების შემთხვევაში სათანადო რემონტის ჩასატარებლად.

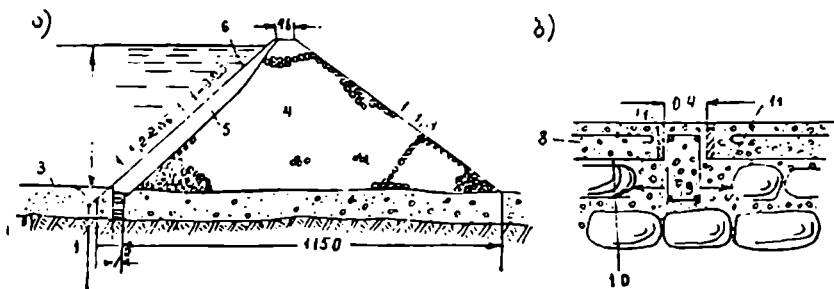
ხის ეკრანების კონსტრუქციები ჩვეულებრივ შედგება ჰორიზონტალურად განლაგებული ფიცრების 2—3 (კაშხალის სიმაღლის მიხედვით) რიგისაგან, სისქით 5—7.5 სმ, რომლებიც, თვის მხრივ, მაგრდება ფერდობის გასწვრივ დაყენებულ საყრდენ ძელებზე. ფიცრებს შორის გათვალისწინებული კილოების დაგმანვას აწარმოებენ ფისიანი ძენძით, ხოლო ფიცრების ფენებსა და ძელებს შორის კი (გაშრობის დროს რომ არ მოხდეს მათი დაფარვა და დასკდომა) ბიტუმის საფენით. ძელების დაწყობა და ანკერებით მათი ჩამაგრება ხდება ეკრანის ქვეშა ქვის წყობის ზედაპირზე ერთიმეორისაგან 1,2—1,8 მეტრის დაცილებით; ზოგჯერ ამ მიზნით იყენებენ ერთი მთლიანი ძელების სისტემას (ნახ. 7.5, ბ).



ხის ეკრანებისათვის იყენებენ ფიჭვის ხის დახეარულ მასალას, გამშრალს არაუმეტეს 18% ტენიანობამდე და გაყვნილს წყალში გაუხსნელი რომელიმე სითხით.

ბ) ბეტონისა და რკინა-ბეტონის ეკრანები დაყოფილია სამ ტიპად: ხისტი — მონოლითური ნახევრად ხისტი და მოქნილი — ფენოვანი.

ხისტი რკინაბეტონის ეკრანი წარმოადგენს რკინა-ბეტონის ფილს. რომელიც ტემპერატურული ნაყერებით (ნახ. 7.6, ბ) დაყოფილია 10—20 მეტრის ცალკეულ პანელებად; ასეთი ეკრანის სისქე (კონსტრუქციული მოსაზრებებით) კაშხალის ქიმათნ აიღება 20—30 სმ, ზოლო მის ძირთან (0,006—6,01)  $H$ -ის ფარგლებში, სადაც  $H$  კაშხალის



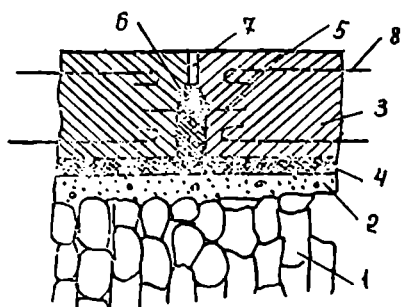
ნახ. 7.6 — ხისტი რკინაბეტონის ეკრანის კაშხალი: ა—კაშხალი; ბ—ტემპერატურული ნაყერის დეტალი: 1—კლდოვანი ფუძე; 2—ალევიონური გრუნტის შრე; 3—მდინარის ძირი; 4—კაშხალი; 5—ეკრანის ქვეშე ქვის წყობა; 6—ეკრანის რკინა-ბეტონის ფილა; 7—ბეტონის ქილი; 8—კონტრფორსი; 9—რკინაბეტონის კოჭი; 10—ბეტონის ფენა (სისქით 8—10 სმ); 11—ჟეჩა; 12—ასფალტის ფენა.

სიმაღლეა. ეკრანის ფილა არმატურდება ერთმაგი ან ორმაგი არმატურით (0,5 და 1%—მდე არმირებით). რკინაბეტონის ხისტი ეკრანი გამოიყენება წყარი და ნახევრად წყარი ქვის 50 მეტრამდე სიმაღლის კაშხალებში, რომლებიც აშენებულია კლდოვან ფუძეზე (ნახ. 7.6, ა) და ახასიათებს მონიმალური ჯდენა.

ნახევრად ხისტი რკინაბეტონის ეკრანი შედგება ცალკეული რკინაბეტონის სწორკუთხოვანი ან კიდევ კვადრატული ფორმის ფილებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია მოქნილი წყალგაუმტარი შეერთებებით (ნახ. 7.7). ეკრანის ფილები ეწყობა კარგად მოსწორებულ და ბიტუმით დაფარულ ბეტონის ფენაზე, რაც ეკრანს საშუალებას აძლევს გაუტრდეს ბიტუმის ზედაპირზე ეკრანის ქვეშე ქვის წყობის ჯდენისაგან დამოუკიდებლად.

მოქნილი რკინაბეტონის ეკრანი გამოიყენება დიდი სიმაღლის ქვაყრილი კაშხალებში ან კიდევ იმ შემთხვევაში, როდესაც კა-

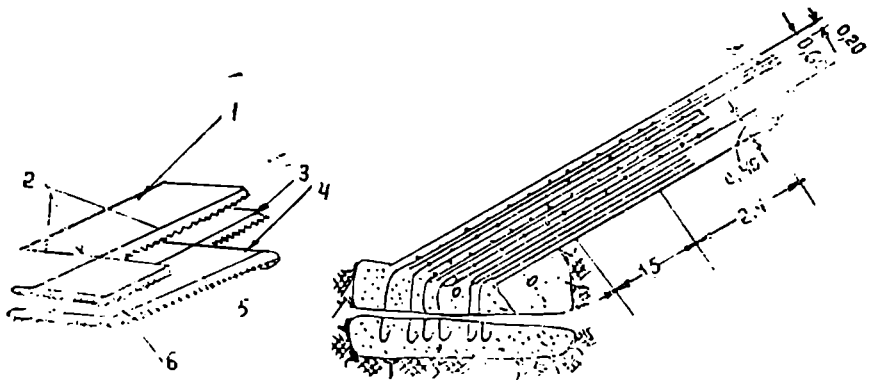
შხალი შენდება სეისმურ რაიონებში. ზოგჯერ ასეთი ტიპის ეკრანს იყენებენ მაშინაც, როდესაც მოსალოდნელია კაშხალების საგრძნობი დეფორმაციები და ამიტომ აუცილებელი ხდება ეკრანის მაქსიმალური მოქნა-



ნახ. 7.7 — ნახევრად ხისტი რკინაბეტონის ეკრანი: 1—ეკრანის ქვეშეა ქვის წყობა; 2—ზედაპირის გამასწოებელი ბეტონის შრე; 3—რკინაბეტონის ფილები; 4—ასფალტის ფენა, სისქით 5 სმ; 5—სპილენძის ფორფიტა; 6—ასფალტი; 7—ბითუმის თენა მენძით (სისქით 2 სმ); 8—არმატურა.

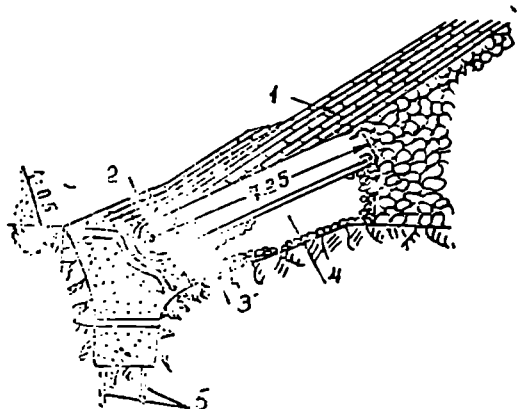
ლობისა და წყალგაუმტარობის უზრუნველყოფა (ნახ. 7.8). ასეთი ეკრანი შედგება რამდენიმე ფენის რკინაბეტონის ფილებისაგან, რომელზედაც წასმულია ბიტუმის სხნარი წყალგაუმტარობის უზრუნველყოფის მიზნით. ეკრანის ყოველი ფენა (გარდა ზედა ფენისა) შედგება ცალკეული, ერთმანეთთან დაუკავშირებელი, კვადრატული ფორმის ფილებისაგან გვერდის ზომებით 3-9 მეტრი და სისქით 8-18 სმ-ის ფარგლებში. ზედა ფენის ფილები ურთიერთ შორისა შეერთებულია მოქნილი წყალგაუმტარი ნაკერით. ეკრანის ცალკეული ფენების ერთმანეთთან და-

აგრეთვე მთლიანად დაკავშირება კაშხალის ტანთან განხორციელებულია ანკერებით. ანკერები წარმოადგენენ არმატურის მოღუნულ დეროებს, რომლებიც ჩამაგრებულია ფილის ცალკეულ ფენებს შორის და აგრეთვე ქვედა ფენაზე მოწყობილი



ნახ. 7.8 — მოქნადი (მოქნილი) რკინაბეტონის ეკრანი. ა—ეკრანის ფილები; ბ—ფილის განივი რკინის ფრაგმენტი; 1—ეკრანის ზედა ფილა; 2—აბზენტო—ასფალტის ნაკერები; 3—ფილის ცვალებადი სისქე; 4—ქვედა ფილა; 5—სადრენაჟო ხვრეტი; 6—ზედაპირი, რომელიც იფარება ბითუმის სხნარით; 7—სპილენძის ფორფიტა.

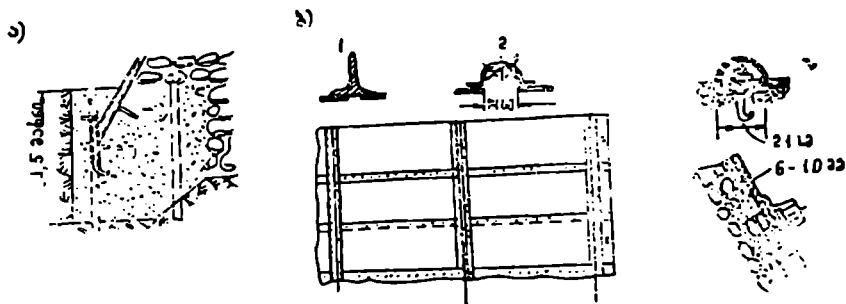
სპეციალური კოქების მეშვეობით, თვით ეკრანის ქვეშა წყობაში. ეკრანის ფილების დაარმატურება ხდება ერთმაგი არმატურით რომელიც ეწყობა ფილების ცენტრალურ სიბრტყეში; დაარმატურების პროცენტი აღწევს 3,5%-მდე. ТУ 24—32—43-ის თანახმად რკინაბეტონის ეკრანებში გამოიყენება არანაკლები 17ს მარკის ბეტონი და ისიც პრაქტიკულად წყალგაუმტარი და ყინვაგამძლე. მოქვილი რკინაბეტონის ეკრანის შეუღლება ბეტონის კბილთან ხდება ნახ. 7.9-ზე ნაჩვენები სქემის ანალოგიურად.



ნახ. 7.9 — მოქნილი რკინაბეტონის ეკრანის შეუღლება ბეტონის კბილთან: 1—ღუნოვანი ეკრანი; 2—ასფალტის ფენა; 3—საყრდენი რკინაბეტონის ფილა; 4—ეკრანისაგან მოწყობილი დრეჯაბილი; 5—საყრდენითი დრეჯაბი.

ლითონის ეკრანი (ნახ. 7.10) კეთდება უუხეგავი ფურცლოვანი ფოლადისაგან. ცალკეული ფურცლების ზომა სტანდარტულია და აიღება ძაჭობალური სიგრძისა და

სიგა ის, რაიაც ნინიმღმამდე დაყვანილი ნაყერების საერთო სიგრძე: ფურცლებს სისქე საშუალოდ 8—10 მმ-ია.



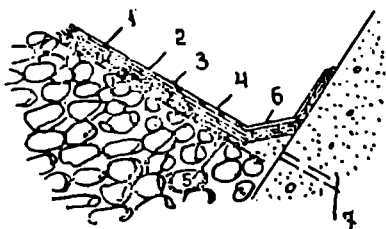
ნახ. 7.10 — ლითონის ეკრანი: ა—კბილთან ეკრანის შეუღლების სქემა; ბ—ფურცლების პირაპირებისა და ანყერების მოწყობის სქემები: 1—პირაპირი, გაფართოების გარეშე; 2—ტუმპერატურული ნაყერი (პირაპირი ხუფით); 3—ანყერები.

საანერო კანკიების მეშვეობით ეკრანს ამაგრებენ ეკრანს ქვეშა წყობაზე.

ლითონის ეკრანები გამოირჩევა მეტად დიდი მოქნილობით, მაგრამ ისინი მნიშვნელოვნად ძვირია სხვა მასალისაგან განხორციელებულ ეკრანებთან შედარებით. საბჭოთა კავშირში, კერძოდ საქართველოში, უნდა ვი ლითონის ეკრანი, სისქით 8 მმ, გამოყენებული იყო ხრამქვისის ნაყარ კაშხალზე (აშენდა 1947 წელს).

ელასტიკურ ეკრანებს აწყობენ თინარებისაგან, თიხებისაგან, თხა-ბეტონისაგან, ასფალტ-ბეტონისაგან; უკანასკნელ პერიოდში იყენებენ აგრეთვე პოლიეთილენისაგან დამზადებულ სხვადასხვა სახის პლასტიკურ მასალებს. მათგან პრაქტიკაში ფართო გავრცელება ჰპოვა თიხოვანი გრუნტისაგან დამზადებულმა ეკრანებმა; ასეთი ეკრანის ზომები დამოკიდებულია კაშხალის სიმაღლეზე და გამოყენებული გრუნტის ხარისხზე. ასეთი ეკრანების აშენებისადმი წაყენებული მოთხოვნები, ძირითადად, იგივეა, რაც მიწის კაშხალებში (იხ. თავი VI). ეკრანის მდგრადობისა და მისი გაყინვისაგან დაცვის მიზნით, ეკრანის ზედაპირზე აწყობენ ხრეშოვანი მასალისაგან შედგენილ დამცველ ფენას.

ასფალტბეტონის ეკრანის კონსტრუქციის მოწყობის ტიპური სქემა მოცემულია 7.11 ნახ.-ზე. ეკრანი შედგება 12 სმ სისქის

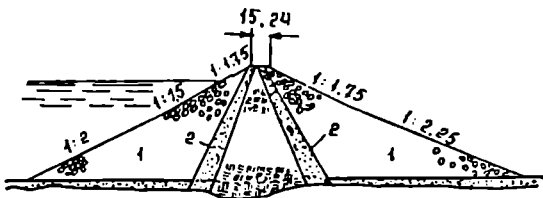


ნახ. 7.11 — ასფალტბეტონის ეკრანი: 1—არმირებული ფოროვანი ბეტონის ფილები, სისქით 12 სმ; 2—ბიტუმის საფენი; 3—ასფალტბეტონის პირველი ფენა, სისქით 6 სმ; 4—ასფალტბეტონის მეორე ფენა, სისქით 6 სმ; 5—ფოროვანი ბეტონის საწრეტი ფენა, სისქით 8 სმ; 6—ხსნარის მომზადება; 7—სადრენაჟო მილი.

ასფალტბეტონის ორი ფენისაგან, რომლებიც დაყრდნობლია 8 სმ სისქის ფოროვანი ბეტონის ფენაზე (ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, დაფარულია ბიტუმის და ბენზინის ნარევის თხელი ფენით) ზემოდან ასფალტბეტონის ეკრანი დაცულია ფოროვანი ბეტონის ფილებით, რომელთა ზომებია გეგმაში 3×2 მეტრი, ხოლო სისქე 10 სმ. დამცველი ფენა თავისუფლად სრიალებს ბიტუმის საფენზე, რომელიც შედგება ბიტუმის ემულსიით გაყენებული ბაჰის ქსოვილის 5-7 ფენისაგან.

როგორც აღვნიშნეთ, გარდა ეკრანებისა, ფილტრაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებად ქვეყრილ კაშხალებში გამოიყენება აგრეთვე ხისტი დიაფრაგმები (ნახ. 7. 1, გ) და ელასტიკური ბირთვი (ნახ. 7. 1, დ და ნახ. 7. 12), ხისტი დიაფრაგმიანი ნაყარი კაშხალების გშენებლობის პრაქტიკამ მათ მუშაობაში გამოამყლავნა მეტად სერიოზული ხარვეზები, რის გამოც ბოლო

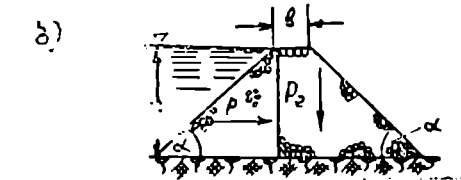
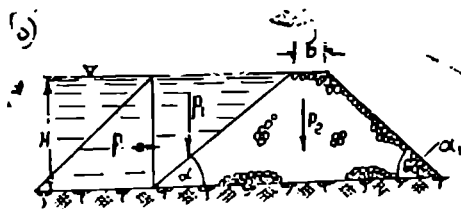
პერიოდში ასეთი კაშხალების მშენებლობა თითქმის შეწყვეტილია. რაც შეეხება ბირთვიან კაშხალებს, ისინი, მართალია, ადვილად შესასრულებელია და მოცულობით უფრო ეკონომიური, ვიდრე თიხისეკრანიანი კაშხალები, მაგრამ სამუშაოთა წარმოების პირობები ძალზე გართულებულია, რადგან კაშხალის ტანი და ბირთვი სხვადასხვა დროს აშეეხებას საჭიროებს.



ნახ. 7.12 — ქვაყრილი კაშხალი ელასტიკური ბირთვით: 1—ქვაყრილი; 2—გარდამავალი ფენა; 3—ელასტიკური ბირთვი.

#### § 7. 4. ქვაყრილი კაშხალების მდგრადობის გაანგარიშება

ქვაყრილი კაშხალების ტანისა და მათი შემადგენელი ფილტრაციის საწინააღმდეგო კონსტრუქციების დაპროექტება უმთავრესად ხდება აშენებული კაშხალების გამოცდილების საფუძველზე. ამის ძირითადი მიზეზი ისაა, რომ დღეისათვის საერთოდ არ არსებობს ასეთი კაშხალების გაანგარიშების ზუსტი მეთოდები. აღნიშნულიდან გამომდინარე, დიაფრაგმიანი კაშხალის მდგრადობის გაანგარიშება დაძვრაზე აუცილებელია ჩატარდეს ყველა შემთხვევაში, ეკრანიანის კი — მხოლოდ მაშინ, როდესაც კაშხალი შენდება თიხიდან ფუძეზე. თუ კაშხალი შენდება არაკლოვან ფუძეზე, აუცილებელია ეს უკანასკნელი შემოწმდეს სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე



ნახ. 7.13 — დაძვრაზე ქვაყრილი კაშხალების საანგარიშო სქემები: ა—ეკრანიანი კაშხალის; ბ—დიაფრაგმიანი კაშხალის.

(ამობტურცვის წინააღმდეგ). აქვე შევნიშნავთ, რომ ეკრანიანი კაშხალების ფუძე უფრო თანხაბრადაა დაძაბული, ვიდრე ვერტიკალურ დიაფრაგმიანის.

ეკრანიანი კაშხალებისათვის (ნახ. 7.13, ა) დაძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტი:

$$K_e = \frac{f(P_1 + P_2)}{P}, \quad (7.1)$$

რომელიც  $P_1$ ,  $P_2$  და  $P$ -ს მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ გადაიწერება შემდეგნაირად:

$$K_e = \frac{f[\gamma_1 H (0,5ctg\alpha + b + 0,54Hctg\alpha_1) + 0,5\gamma H^2ctg\alpha]}{0,5\gamma H^2} \quad (7.2)$$

დიაფრაგმიანი კაშხალისათვის (ნახ. 7.13, ბ), როდესაც ზედა და ქვედა ფერდობების დახრილობის კუთხე  $\alpha$  ერთნაირია, დაძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტი

$$K_{\text{ფ}} = \frac{f\gamma_1 H(b + 0,5H \operatorname{ctg} \alpha)}{0,5\gamma H^2}, \quad (7.3)$$

სადაც  $H$  არის კაშხალის სიმაღლე მეტრობით;  $b$  — კაშხალის ქიმის სიგანე მეტრობით;  $\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>-ობით.  $f$  — ნაყარის ფუძესთან ხახუნის კოეფიციენტი;  $\gamma_1$  — ნაყარის მოცულობითი წონა (1.75—1.8 ტ/მ<sup>3</sup>);  $\alpha$  და  $\alpha_1$  — კაშხალის ზედა და ქვედა ფერდობების დახრილობის კუთხეები.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების ანალიზით მტკიცდება, რომ ეკრანიანი კაშხალის მდგრადობა დაძვრაზე თითქმის ორჯერ მეტად უზრუნველყოფილია, ვიდრე დიაფრაგმიანი კაშხალის. აღნიშნულის დასამტკიცებლად განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი: ვთქვათ,  $H = 10$  მეტრს,  $b = 5$  მეტრს,  $\gamma_1 = 1,8$  ტ/მ<sup>3</sup>,  $m = m_1 = 1$  და  $f = 0,5$ , მაშინ ეკრანიანი კაშხალისათვის (7.2) ფორმულიდან ვღებულობთ, რომ (როცა  $\alpha = \alpha_1$ )  $K_{\text{ფ}} = 3,2$ , ხოლო დიაფრაგმიანი კაშხალისათვის კი, იმავე მონაცემებით, (7.3) ფორმულიდან ვღებულობთ  $K_{\text{ფ}} = 1,8$ . ყოველივე ეს იმით აიხსნება, რომ ეკრანიანი კაშხალის (ნახ. 7.13, ა) შემთხვევაში კაშხალის ფუძეზე, გარდა კაშხალის საკუთარი  $P_2$  წონისა, გადაეცემა აგრეთვე წყლის  $P_1$  წონაც; დიაფრაგმიან კაშხალში (ნახ. 7.13, ბ) კი დაძვრაზე წინააღმდეგობის გაწევაში მონაწილეობას ღებულობს მხოლოდ დიაფრაგმის უკანა მხარეს მოთავსებული ნაყარი მასალა.

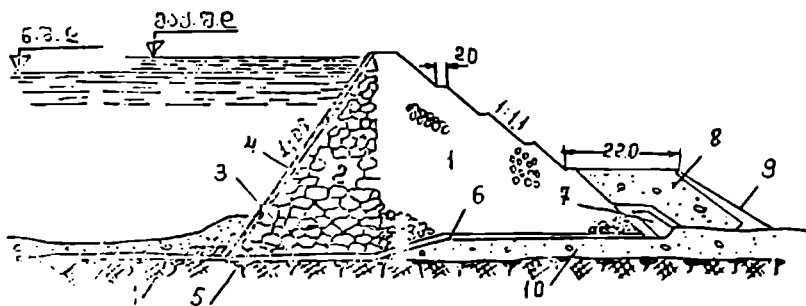
#### § 7. 5. ნახევრად ნაყარი, კვის მშრალად წყობის და შეჩეული ტიპის კაშხალები

ნახევრად ნაყარი კაშხალები. როგორც აღნიშნული იყო, (§ 7.1) კაშხალებს, რომელთა ერთი (ზედა) ნაწილი შესრულებულია ქვის მშრალად წყობისაგან ან კიდევ ბეტონის კედლის სახით, ხოლო მეორე (ქვედა) კი — ნაყარი ქვისაგან, უწოდებენ ნახევრად ნაყარ კაშხალებს (ნახ. 7.2, ბ).

ასეთი კაშხალების ძირითადი უპირატესობა ნაყარ კაშხალებთან შედარებით არის ქვის ეკონომიური ხარჯვა, რადგან ქვის მშრალად დაწყობა საშუალებას იძლევა კაშხალის ზედა ფერდოს დახრილობა ავილოთ საკმაოდ

ციცაბო 1:0,5—1:0,75-ის ფარგლებში (ქვედა ფერდოსა 1:1,4 + 1:1,2 ფარგლებში). გარდა ამისა, რადგან განსახილველ შემთხვევაში ქვის მშრალად წყობით შესრულებული კედელი განიცდის უმნიშვნელო ჯდენას, შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი ტიპის ხისტი, მონოლითური ეკრანი.

ნახევრად ნაყარ კაშხალებს ძირითადად იქ აშენებენ, სადაც აღვილზე მოიპოვება წყობისათვის გამოსადეგი შეღარებით ბრტყელი ქვები.



ნახ. 7.14 — ნახევრადნაყარი ქვის კაშხალი: 1—ქვირილი; 2—ქვის მშრალად წყობა; 3—ფორებიტონის ბლოკები და ხსნარზე წყობა; 4—ხის ეკრანი; 5—ბეტონის კბილი; 6—ფილტრი; 7—ქვედა ზღედარი; 8—სილა-ქვიშოვანი გრუნტი; 9—ფერდოს გამაგრება; 10—აღვივისი; 11—კლდოვანი გრუნტი; 12—ძირული.

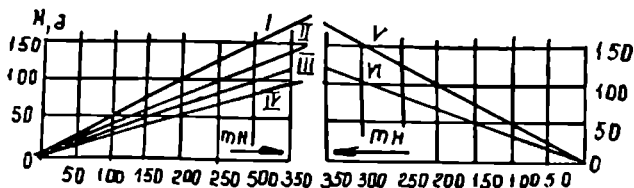
7.14 ნახ.-ზე ნაჩვენებია 1948 წელს ურალში აშენებული შირაკოვის ნახევარდ ნაყარი ტიპის 40 მეტრისიმაღლია კაშხალი. კაშხალის სადაწნეო მხარე შესრულებულია ბრტყელი ფორმის ქვების მშრალად წყობით, რომლის ზედაპირზე დაწყობილია ხსნარზე შესრულებული ყორებიტონის ბლოკები და უშუალოდ მათზე კი დადებულია ხის ეკრანი; ეკრანი შედგება ფიცრების ორი რიგისაგან, თითოეული 6 სმ სისქის, რომელიც დაფარულია ბიტუმის ხსნარით (წყალგაუმტარობის მიზნით).

2. ქვის მშრალად წყობით შესრულებულ კაშხალებს (ნახ. 7.2. ა) აქვს შეღარებით მკვეთრად დახრილი ფერდოები, ვიდრე ნაყარ კაშხალებს და ამიტომ ისინი უფრო ნაკლები რაოდენობის ქვის ნასალას საჭიროებენ. მაგრამ შესრულების თვალსაზრისით ისინი მეტად შრომატევადია და ქვის წყობის ხელით შესრულებისათვის საჭიროებენ მეტად კვალიფიციურ მუშახელს. სწორედ ამიტომ, რომ უკანასკნელ პერიოდში საბჭოთა კავშირში და სხვა იმ სახელმწიფოებში, სადაც საკმაოდ ფართოდაა განვითარებული საწარმოო პროცესების მექანიზაცია, კაშხალებს ქვის მშრალად წყობით იშვიათად აშენებენ.

3. შერეული ტიპის კაშხალების ყველაზე გავრცელებულ სახედ ითვლება ქვა-მიწის კაშხალები (ნახ. 7.3, ა). ასეთის ტიპის კაშხალებს აშენებენ იმ რაიონებში, სადაც საკმარისი რაოდენობით მოიპოვ

ვება წინასწარ მოთხოვნილი ხარისხის ქვეები და ისეთი გრუნტი რომელსაც აქვს სათანადო წყალგაუმტარობა და დაძვრაზე წინააღმდეგობის გაწევის უნარი.

ბ.



ნახ. 7.15—ქვა-მიწის კაშხალების ზედა (ა) და ქვედა (ბ) ფერდობების დახრილობის  $m$  კოეფიციენტის სიდიდეთა დადგენის გრაფიკი: I—კაშხალის ელასტიკური ბირთვით; II—კაშხალი ელასტიკური ეკრანით; III—კაშხალი ფართოელასტიკური ეკრანით; IV—კაშხალები გრუნტისაგან განხორციელებული ზედა ფერდობით; V—კაშხალები ელასტიკური ბირთვით და ელასტიკური ეკრანით; VI—კაშხალები ფართე ბირთვით და გრუნტის ზედა ფერდობით.

შერეული ტიპის კაშხალის მიწის ნაწილის ელემენტების—კაშხალის ეკრანი, ზედა ფერდოს დამცველი ფენა, ეკრანის შეუღლება ფუძესთან და ნაპირებთან—გაანგარიშება ხდება ისეთივე წესით, როგორც ჩვეულებრივი მიწის კაშხალებისათვის (იხ. თავი V).

ბეტონის ან კიდევ ყორებეტონისა და ნაყარი ქვისაგან შესრულებული შერეული ტიპის კაშხალები (ნახ. 7.3, ბ), რომლებიც წარმოადგენს ნაყარი და მშრალად ქვის წყობისაგან შექმნილი კაშხალების გაუმჯობესებას, გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ არსებული ქვეები გამოსადეგია ქვის მშრალად წყობისათვის.

ქვა-მიწის კაშხალების ფერდობების დახრილობის წინასწარ, მიახლოებით, დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ ვ. პოსპელოვის მიერ შედგენილი გრაფიკით (იხ. ნახ. 7. 15).

**§ 7. 0. წაალსაშვიანი და ფილტრაციული ჰავარილი კაშხალები**

1. წყალსაშვიანი ქვაყრილი ტიპის კაშხალები იქვანაყარი და ქვა-მიწის კაშხალები, როგორც წესი, შენდება ყრუ ტიპის. წყალსაშვიანი ქვაყრილის ტიპის დაბალწნევიან კაშხალებს აშენებდნენ; ჯერ კიდევ შორეულ პერიოდში (ეგრეთწოდებული ინდური ტიპის წყალსაშვიანი ქვაყრილი კაშხალები); მათ აქვთ გრძივად გაშლილი პროფილი წყალსაშვიანი ფერდოს დახრილობით 1:8 — 1:12 და ზედა ფერდოს 1:2 — 1:3 ფარგლებში.

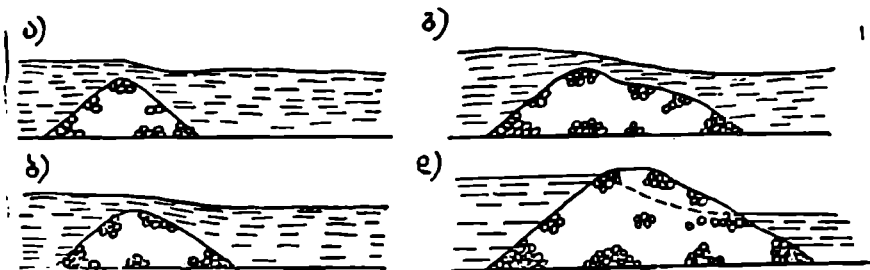
3. გორდიენკოს მიერ ჩატარებული ლაბორატორიული ცდების შედეგად დადგენილია, რომ ქვაყრილი კაშხალის ქიმზე წყლის გადაღინება სა-



შიშროებას წარმოადგენს მხოლოდ მაშინ, როდესაც მასზე გადადინებულ წყლის ხვედრითი ხარჯის სიდიდე მიაღწევს რალაც კრიტიკულს— $q_{კრ}$ , რომელიც დამოკიდებულია ქვების ღიაპეტრზე, კაშხალის წყალსაშვიანი ფერდოს დახრილობაზე, ქვედა ბიეფში წყლის სიღრმეზე და პრაქტიკულად არ აღემატება  $2.25-3 \text{ მ}^3/\text{წმ}$  წყალსაშვის 1 გრძივ მეტრზე. ძელუორის კარკასის გამოყენების შემთხვევაში ხვედრითი ხარჯი შეიძლება გაზარდილი იქნეს  $10-15 \text{ მ}^3/\text{წმ-მდე}$ .

2. გამდინარე წყალში ქვების ჩაყრით აშენებენ სხვადასხვა სახის ზღუდარებს, ბანკეტებს, კაშხალებს და ა. შ.

პროფესორ ს. იზბაშის მიერ ჩატარებული ლაბორატორიული ცდებით დადგენილია, რომ ნაყარის პროფილის განივი კვეთი დროის მიხედვით იცვლება გარკვეული თანმიმდევრობით. დასაწყისში ჩაყრილი ქვები წარმოქმნის სამკუთხედოვან პროფილს (ნახ. 7.16, ა) ფერდობის დახრილობით.



ნახ. 7.16 — გამდინარე წყალში ქვაყრილი კაშხალების აშენების სქემები.

დაახლოებით 1 მ, შემდეგ ნაყარის ქვედა ფერდო თანდათანობით ღებულობს შედარებით მდოვრე დახრას და პროფილი უახლოვდება ტრაპეციულ მოხაზულობას (ნახ. 7.16, ბ); შემდგომში იზრდება წყლის დონეთა სხვაობა და ნაკადის სიჩქარის მომატებით ქვები იწყებს დაგორებას, ნაყარის ქვედა ფერდო უფრო და უფრო მდოვრე დახრილობის ხდება და ამგვარად ღებულობს სწრაფდენის ფორმას (ნახ. 7.16, გ). წყლის გვერდულად გადაადგილების შემთხვევაში (ნახ. 7.16, დ) ქვაყრილზე გადადინებული წყლის ხარჯი და, შესაბამისად, სიჩქარე მცირდება, რის გამოც ქვაყრილის ქვედა ფერდო შედარებით ისევ უფრო მკვეთარ დახრილობას ღებულობს, ქვაყრილის სიმაღლე მატულობს და ნაწილობრივ გამოდის წყლის ზონიდან.

საერთოდ, ქვაყრილის წარმოქმნის აქ განხილული სხვადასხვა სტადიის განაგარიშებისათვის აუცილებელია მხედველობაში ვიქონიოთ შემდეგი

ვაჩვენებთ: ნაყარის ქვედა ფერდოზე მყოფი ცალკეული ქვა წონასწორობაში (უძრავად) დაჩქება მანამდე, სანამ მასზე გადადინებული წყლის ნაკადის ჰიდროდინამიკური წნევის სილიდე არ გადააჭარბებს დაძვრას ქვის წინააღმდეგობის ძალას. აღნიშნულიდან გამომდინარე, წყლის დინების ის მაქსიმალური სიჩქარე  $v_{\text{მაქს}}$ , რომლის დროსაც ადგილი არ ექნება ქვის ამოვლებას (თავს ბუდიდან) და შემდგომ მის დაძვრას, გამოითვლება ფორმულით

$$v_{\text{მაქს}} = A \sqrt{2g \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma}} \sqrt{D \cos \alpha} \quad (74)$$

სადაც  $A$  არის მღვრადობის კოეფიციენტი (როდესაც ქვის მოძრაობა ხდება თითქმის ჰორიზონტალური სიბრტყის მქონე ფართობზე  $A = 0,86$  ან კიდევ, თუ ქვაყრილის ქვედა ფერდოს ზედაპირზე მყოფი ქვის დაძვრას ვეხილავთ, მაშინ  $A = 1,2$ );  $\gamma_1$  და  $\gamma$  — შესაბამისად, ქვისა და წყლის მოცულობით წონები;  $D = \sqrt{\frac{W}{\pi}}$  ქვის საშუალო დიამეტრი (დაყვანილი ტოლიდ სფეროს ფორმაზე);  $W$  — ქვის მოცულობა.

### მე რ ვ ე თ ა ვ ი

#### ბეზონისა და რკინაბეტონის თალოვანი კაშხალევი

##### § 8. 1. ზოგადი მონაცემები

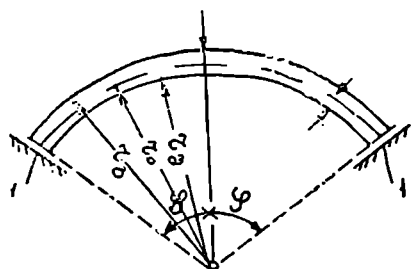
კაშხალეს, რომლებსაც გეგმაში მრუდწირული მოხაზულობა აქვს, მუშაობს როგორც თალები და, შესაბამისად, ყოველგვარ ჰორიზონტალურ დატვირთვებს უპირატესად ქუსლების მეშვეობით გადასცემს ხეობის ნაპირებს (სა. 8. 1), უწოდებენ

თალოვანს.

თალოვან კაშხალეს უმეტესად აშენებენ მთიან რაიონებში — მტკიცე, მონოლითური კლდოვანი ნაპირებისა და ფსკერის მქონე შედარებით ვიწრო ხეობებში.

თალოვანი კაშხალეების ეკონომიურობაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ხეობის ტოპოგრაფიული პირობები

განსახილველ კვეთში; აღნიშნულიდან გამომდინარე, თალოვანი კაშხალეების აშენება, ძირითადად, მიზან-



ნახ. 8.1 — თალოვანი კაშხალის ზოგადი სქემა: 1 — ქუსლები.

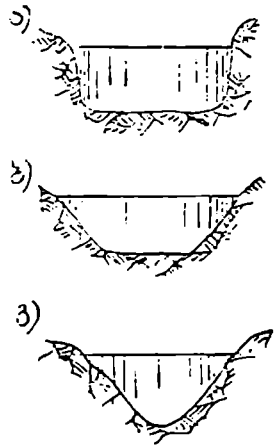
შეწონილია იმ შემთხვევაში თუ დატულია პარობა  $\frac{L}{H} \leq 3 - 3.5$ , სადაც  $L$

არის ხეობის სიგანე, გაზომილი ასაშენებელი კაშხალის ზღურბლის შესაბამის პორიზონტალურ სიბრტყეში, ხოლო  $H$ —კაშხალის სიმაღლე. გარდა ამისა, ერთი და იგივე  $\frac{L}{H}$  ფარდობის შემთხვევაში ხეობის განივკვეთს

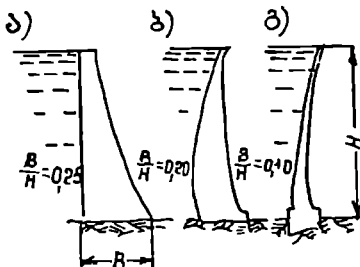
შეიძლება ჰქონდეს სწორკუთხოვანი (ნახ. 8.2 ა), ტრაპეციოიდული (ნახ.

8. 2, ბ), სამკუთაედის (ნახ. 8. 2, გ) და სხვა ფორმა; აქ ჩანათვლილად თაღოვანი კაშხალზეა ასაქუცლად ყველაზე უკეთესია ხეობის განივკვეთის ასაქუცლად მონახულობა (ნახ. მ. 2, გ); ეს იმით აიხსნება, რომ გასაბილველ კუთხეებში კაშხალი ძირთა ანაღის მდებარე თაღის პორიზონტალურ კვეთებს, სადაც წყლისა და დანალექი ანაღის პიდროტაქიკუი დაწნევა მაქსიმალურია, აქვს თაღის საკლები მალე და შეაბაჟაად მუდარეზთ იცირე სისქე, ვიდრე ვთქვათ ხეობის სწორკუთხედოვანი (ნახ. 8. 2, ა) და ტრაპეციოიდული (ნახ. 8. 2, ბ) ფორმის განივკვეთებში შენთხვევაში. აღნიშნულიაა განათაღარე, პიდროტექიკურ პრაქტიკაში კაშხალეი შეიძლება აეწდეს როგორც მთლიანად თაღოვანი (ნახ. 8. 3, ბ, გ), აევე ნახევრად თაღოვანი (ნახ. 8. 3, ა),

გრავეიტაციულ-თაღოვანი (ნახ. 8. 4, ა) და გრავეიტაციული (ნახ. 8. 4, ბ).



ნახ. 8.2 — თაღოვანი კაშხალეის ასაშენებლად განათაღარი ხეობეის განივკვეთის პროფილეი.



ნახ. 8.3 — თაღოვანი კაშხალეის პროფილეი: ა—ნახევრად თაღოვანი; ბ და გ—მთლიანად თაღოვანი;

სასულდობრ, როდესაც

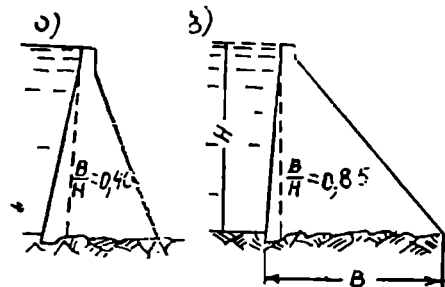
$$\frac{L}{H} \leq 1 \text{ და ხეობაა აქვართ-}$$

საირგვერდებიანი სამკუთხედისებრი ფორმა, მაშინ წყლის პიდროტაქიკური წნევა მთლიანად გადაეცემა ხეობის ფერდობს და კაშხალი იკაშხეებს როგორც წოიული, სრულყოფილი, თაღი (ნახ.

8. 3 ბ. გ) თუ  $1 < \frac{L}{H} \leq 2.0$

და ხეობის განიკვეთის მოხაზულობა უახლოვდება ტრაპეციას, მაშინ წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის ნაწილი გადაეცემა ხეობის ფერდობებს და ნაწილი მის ძირს; ამ შემთხვევაში კაშხალი ნაწილობრივ იმუშავებს, როგორც თალი და ნაწილობრივ, როგორც ხეობის ფუძეში ჩამაგრებული საყრდენი კედელი (ნახ. 8.3, ა). თუ  $2.0 < \frac{L}{H} \leq 3.5$  და ხეობის მოხაზულობა უახლოვდება ტრაპეციას ან კიდევ სწორკუთხედს, მაშინ წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის უმეტესი ნაწილი გადაეცემა ხეობის ძირს და უმცირესი — ხეობის ფერდობებს.

თაღოვან კაშხალებზე მოქმედი ძალები, მართალია, ძირითადად აცლოგიურია გრავიტაციულ კაშხალებზე მოქმედი ძალების, მაგრამ მათი გავლენა განსახილველ შემთხვევაში შეიძლება სხვაგვარად ხასიათდებოდეს. ასე, მაგალითად, თუ საკუთარ წონას არცებითი გავლენა აქვს გრავიტაციულ-თაღოვან კაშხალებში, მთლიანად თაღოვან კაშხალებში, მთლიანად თაღოვან კაშხალებში მისი გავლენა უმნიშვნელოა და გაანგარიშებებში უმეტესად არ იღებულობენ.



ნახ. 8.4 — თაღოვან-გრავიტაციული (ა) და გრავიტაციულ-თაღოვანი კაშხალების პროფილები.

ნახ. 8.4 — თაღოვან-გრავიტაციული (ა) და გრავიტაციულ-თაღოვანი კაშხალების პროფილები.

ნახ. 8.4 — თაღოვან-გრავიტაციული (ა) და გრავიტაციულ-თაღოვანი კაშხალების პროფილები.

ნახ. 8.4 — თაღოვან-გრავიტაციული (ა) და გრავიტაციულ-თაღოვანი კაშხალების პროფილები.

ნახ. 8.4 — თაღოვან-გრავიტაციული (ა) და გრავიტაციულ-თაღოვანი კაშხალების პროფილები.

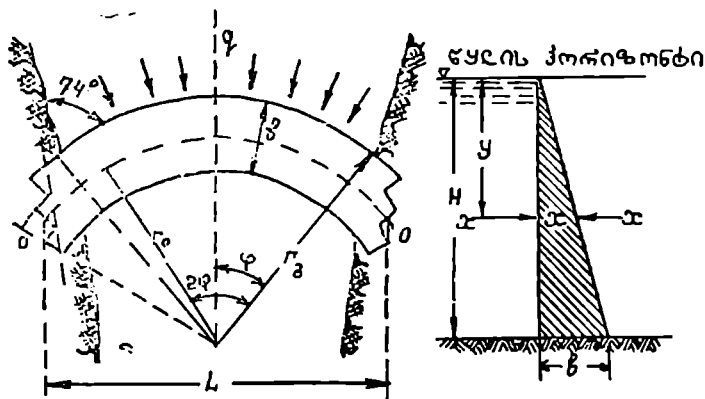
ფილტრაციულ უკუწნევენებს გარკვეული მნიშვნელობა ენიჭება მხოლოდ გრავიტაციულ-თაღოვან კაშხალებში, ხოლო ყინულის წნევა კი საერთოდ არ მიიღება მხედველობაში (იმ პირობით, რომ ექსპლუატაციის პერიოდში აუცილებლად მიმდინარეობს ყინულის დამსხვრევა შეკუმშული ჰაერით ან კიდევ სხვა საშუალებებით). ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობისაგან გამოწვეული დამატებითი ძალების გავლენა საკმაოდ დიდია თაღოვან კაშხალებში. თუმცა აქვე შეენიშნავთ, რომ გაანგარიშებებში მიღებული უნდა იქნას ჰაერის ტემპერატურის მხოლოდ სეზონური ცვალებადობა, რომელმაც შეიძლება შეაღწიოს კაშხალის ტანში 3—6 მეტრის სიღრმეზე; რაც შეეხება ჰაერის ტემპერატურის მხოლოდ დღელმურ ცვალებადობას, მისი გავლენა ყურადსაღებია მხოლოდ და მხოლოდ უმნიშვნელო სისქის თაღოვან კაშხალებში. ბეტონის ჯდენისა და გაჭირვების გავლენა, რომლებიც ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნით ხასიათდება, დამოკიდებულია ბეტონის მარკაზე და კაშხალის ტანში მისი ჩაწყობის მეთოდზე; ბეტონის ამობურცვა რამდენადმე კომპენსაციას ახდენს და ამცირებს ბეტონის ჯდომისაგან გამოწვეულ დეფორმაციებს და ამიტომ მისი მხედველობაში მიუღებლობა კაშხალის სიმტკიცის გარკვეულ მარაგს იძლევა.

თაღურ კაშხალებს, ძირითადად, აშენებენ ბეტონისაგან ან კიდეც რკინაბეტონისაგან, ზოგჯერ (თუმცა იშვიათად და ისიც მცირე სიმაღლის კაშხალებში) ლითონისაგან ან ხისაგან.

**§ 8. 2. თაღოვანი კაშხალების სტატიკური გაანგარიშების ძირითადი არსი**

თაღოვანი კაშხალები მუშაობს რა ღუნვაზე როგორც ვერტიკალურ, ასევე ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში, გაცილებით მეტად განიცდის კუმშვადი ძაბვების გავლენას, ვიდრე მასიური კაშხალები; აღნიშნულს ისიც უნდა დამატოს, რომ თაღოვანი კაშხალების ქუსლებში წარმოიშობა გამჭიმავი ძაბვები. არსებული ნორმების მიხედვით თაღურ კაშხალებში კუმშვადი ძაბვებს სიდიდე  $\leq 35$  კგ/სმ<sup>2</sup>, გამჭიმავი კი  $\leq 10$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

საერთოდ, დასაშვები ძაბვების სიდიდე დიდადა დამოკიდებული ბეტონის მარკანზე: დადგენილია, რომ 300 კგ/სმ<sup>2</sup> ბეტონის მარკის შემთხვევაში კუმშვავი დასაშვები ძაბვის სიდიდე შეიძლება იყოს 60—70 კგ/სმ<sup>2</sup>-ის ფარგლებში.



ნახ. 8.5—თაღოვანი კაშხალის საანგარიშო სქემა.

თაღოვანი კაშხალის სტატიკური ანგარიში მიახლოებით შეიძლება ჩატარებულ იქნეს ეგრეთ წოდებული „ცილინდრული“ მეთოდით, რომლის თანახმად თაღის  $x$  სისქე (ნახ. 8.5)  $y$  სიმაღლეზე გამოითვლება გამოსახულებით

$$x = q \cdot \frac{r_0}{[\sigma_{კუმ}]} \quad (8. 1)$$

სადაც  $x$  არის თაღის სისქე ნებისმიერი  $x-x$  კვეთის  $y$  სიმაღლეზე,  $q = \gamma_0 y$  — წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა ტ/მ<sup>2</sup>-ობით კაშხალის სადაწნეო

ნახარის იმავე  $x-x$  კვეთში:  $\gamma_0 = 1$  ტ/მ<sup>3</sup>—წყლის მოცულობითი წონა;  $r$  — კაშხალის გარე რადიუსი:  $[\sigma_{კაშ}]$  — დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე კაშხალის ასაწინებელი მასალისათვის (განსახილველ შემთხვევაში ბეტონის ან კიდევ რკინა-ბეტონისათვის). როდესაც  $\gamma = H$ , ვღებულობთ (ნახ. 8.5)  $x = b$  და

$$b = \gamma_0 H \frac{r_0}{[\sigma_{კაშ}]} = H \frac{r_0}{[\sigma_{კაშ}]} \quad (8. 2)$$

რადგან სტატიკური ვანგარიშების აქ განხილული მეთოდი არ ითვალისწინებს მთელ რიგ საანგარიშო პირობებს (ქუსლებში თალის შეერთებას, ტენიერატურის გავლენას, ბეტონის ჯდომის ხასიათს, კაშხალის წონას და ა. შ.), ამიტომ თაღოვანი კაშხალის რეალური სისქის მისაღებად საანგარიშო ფორმულაში შეაქვთ კუმშვაზე დასაშვები ძაბვის შემცირებული სიდიდე, კერძოდ კაშხალის ძირში უფრო მცირე, ვიდრე მის ზედა ნაწილში; ასე, მაგალითად, კაშხალის ზღურბლთან  $[\sigma_{კაშ}]$ -ის სიდიდეს ღებულობენ 20—25 კგ/სმ<sup>2</sup>-ს. მის შუა წელში და ძირთან კი 8—10 კგ/სმ<sup>2</sup>-ს.

წინააწარი მოსაზრებებით, თაღოვანი და ნახევრად თაღოვანი კაშხალების სისქე (მის ძირში) შეიძლება დაინიშნოს შემდეგ ფარგლებში (იხ. ცხრ. 8.1).

ცხრილი 8. i

თაღოვანი კაშხალის ძირის სივანის დახადენი მონაცემები

$\frac{L}{H}$	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
$\frac{b}{H}$	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39	0,45	0,5

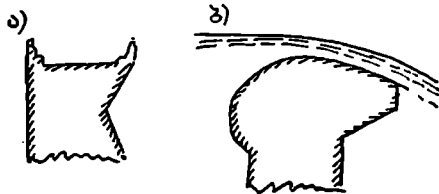
უკანასკნელ წლებში დამუშავებულია თაღოვანი და ნახევრად თაღოვანი კაშხალების სტატიკური ვანგარიშების საკმაოდ ზუსტი მეთოდები, რომლებიც დამყარებულია დრეკადობის თეორიის საფუძველზე და ითვალისწინებენ თაქმის ყველა იმ მრავალრიცხოვან ფაქტორს, რომლებიც გავლენას ახდენენ კაშხალის მუშაობაზე.

§ 8. 3. თაღოვანი კაშხალების ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტები

გვეგმაში თაღოვანი კაშხალის მოხაზვის ყველაზე გავრცელებულ ფორმას წარმოადგენს წრეწირი თალის მუდმივი სისქით, რომლის დროსაც ძაბვების სიდიდე მით უფრო ნაკლებია, რაც ნაკლებია თალის სიგრძლის  $r_0$  რადიუსი (ნახ. 8.5) და მეტია ცენტრალური კუთხე— $2\varphi$ . მეცნიერების მიერ დადგენილია, რომ თაღოვანი კაშხალების მშენებლობისას მასალების მინიმალურ ხარჯვას ადგილი აქვს ისეთ თაღებში, რომლის მოხაზვის ცენტრალური კუთხე ( $2\varphi$ )

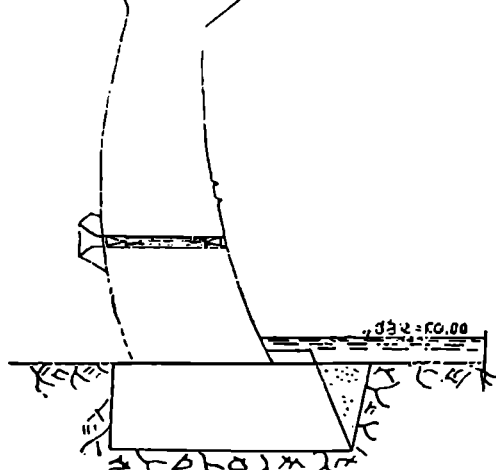
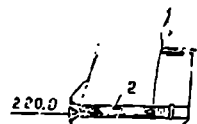
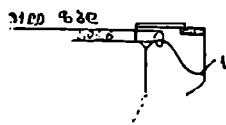
150° ÷ 180° ფარგლებშია. ამჟამად აშენებული თალოვანი კაშხალების უმრავლესობისათვის ცენტრალური კუთხის სიღიღე 125°—140°-ს არ აღემატება, რაც იმიტია გამოწვეული, რომ ნატურაში ძალზე გართულებულია დიდი რადიუსების მქონე თალების დაგეგმვა.

ბეტონის თალოვანი კაშხალის ზღურბლის სიგანე 2-დან 4 მეტრამდე აიღება, რკინაბეტონის კი — 1 მეტრამდე.



ნახ. 8.6 — თალოვანი კაშხალების სათავეების ზოვადი სკეშები: — ყრუ და ბ—წყალსაშვიანი კაშხალების შემთხვევაში.

თუ კაშხალზე გათვალისწინებულია სავალი გზის მოწყობა, მაშინ საჭიროა მისი ზღურბლის გაგანიერება მოხდეს სპეციალურად მოწყობილი კონსოლების ხარჯზე (ნახ. 8. 6 ა),



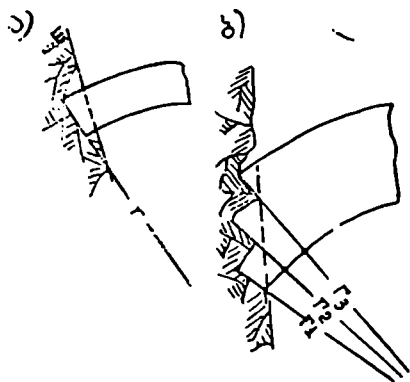
ნახ. 8.7 — ენგურპესის თალოვანი კაშხალის პროფილი (პროექტი): 1—ზედაპირული წყალსაგდები (წყალსაშვი); 2— სიღრმითი წყალსაგდები.

წყალგაუმტარობის მიზნით თალოვანი კაშხალებზე სადაუნეთ მხარეს დებამდე ბიტუმიანი სსნარით ან კიდევ ზოგჯერ, მოპირკეთებენ ხოლმე ბეტონის ფილებით. კაშხალი ქვედა (უკანა) ზედალ უმეტეს შემთხვევაში არაერთი მოპირკეთებას არ საჭიროებს.

ისე როგორც ბეტონის გრავიტაციული კაშხალებზე, თალოვანი კაშხალები შეიძლება იყოს ყრუ (ნახ. 8. 6. ა) და წყალსაშვიანი (ნახ. 8. 6. ბ) ან კიდევ სიღრმითი წყალსაგდებებით (ნახ. 8. 7); თუმცა აქვე შევიშნავთ, რომ სიღრმითი წყალსაგდებების მოწყობა თბელაქდლიან თალოვან კაშხალებში არასასურველია, რადგან ამ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება მათ გარშემო ბეტონის მასივის მძლავრად დაარბათურება.

თალოვანი კაშხალის შეუღლება ხეობის ძირთან და წა-

ნაპირებთან ისეთივე პირობების გათვალისწინებით ხდება, როგორც მაჩიურ კაშხალებში, ხოლო ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ კი ეწყობა ბეტონის კბილი და მის ქვემოთ ცემენტაციური ფარდა. თალოვანი კაშხალების მშენებლობის დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს კაშხალის ტანის შეუღლებას ხეობის ნაპირებთან და მის ძირთან; საჭიროა მოხსნას დამსხვრეული კლდოვანი ფენა, ხოლო ძირითადის კი— მოხდეს ცემენტაცია; გარდა ამისა, დაბეტონების დაწყებამდე აუცილებელია წყლის ჭაელის მეშვეობით მოხდეს კლდოვანი ზედაპირის გასუფთავება. გვერდითი საყრდენების—ქუსლების—ზედაპირი აუცილებელია შეუთავსდეს ქუსლების რადიალურ სიბრტყეს (ნახ. 8.8, ა); როდესაც კლდის პორიზიტალები მიმართულია კაშხალის სიმეტრიულობის ღერძის პარალელურად, ქუსლების საყრდენებს ახორციელებენ 8.8, ბ ნახ.-ზე ნაჩვენები სქემის ანალოგიურად.



ნახ. 8.8 — თალოვანი კაშხალების ქუსლების მოწყობის სქემები.

შორის მანძილი საშუალოდ აიღება 10—20 მეტრის ფარგლებში. შევსების წესის მიხედვით განასხვავებენ ნაკერების ორ ტიპს — დაბეტონებით და დაცემენტებით შევსებული ნაკერები; პირველის სიგანე შეადგენს 0,7—1,2 მეტრს, მეორისა კი—სრულიად უმნიშვნელოა.

დრენაჟს თალოვან კაშხალებში არ ითვალისწინებენ, რადგან, როგორც ზემოთ უკვე აღვნიშნეთ, ფილტრაციული უკუწინეების გავლენა კაშხალის საერთო მდგრადობაზე მეტისმეტად უმნიშვნელოა.

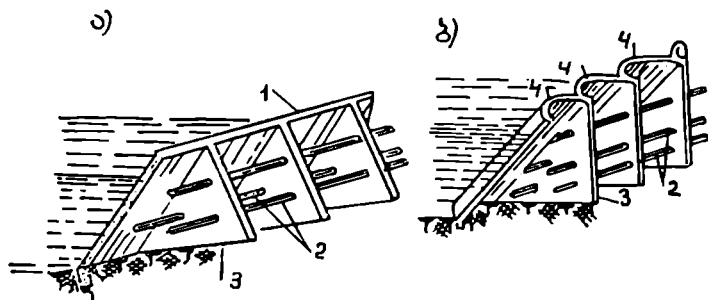
ტემპერატურული ზემოქმედებისაგან გამოწვეული ბზარების თავიდან აცილებია მიზნით თალოვან კაშხალს მშენებლობის პროცესში ცალკეულ ბლოკებად წინასწარ ყოფენ მთლიანი განივი გერტიკალური ნაკერებით; ნაკერების შევსება ბეტონის ხსნარით ხდება 6—8 თვის შექდეგ შექლებისდაგვარად ყველაზე დაბალი ტემპერატურის ( $2^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ ) დროს, რათა კაშხალს ჰქონდეს საპროექტო მონოლითურობა. ნაკერებს



გეოტექნიკისა და რკინა-ბეტონის კონსტრუქციული კაშხალები

§ 9. 1. ზოგადი მონაცემები კონსტრუქციულ კაშხალებზე და მათი კლასიფიკაცია

კაშხალს იმ შემთხვევაში ეწოდება კონსტრუქციული (ნახ. 9.1), როდესაც გადახურვა ბრტყელი, თაღოვანი (მრავალთაღოვანი) ან გუმბათურ-დაწნევიანია და ისინი, ლებულობენ რა თავიანთ თავზე წყლის წნევას, საყრდენ ფუძეს გადასცემენ მას ცალკეული საბრტყენების-კონსტრუქციების მეშვეობით.



ნახ. 9.1 — კონსტრუქციული კაშხალები: ა—ბრტყელი გადახურვით; ბ—მრავალთაღოვანი, 1—სადაწნეო ფილა; 2—გამბრტყენები; 3—კონსტრუქციული ფუძე; 4—თაღები.

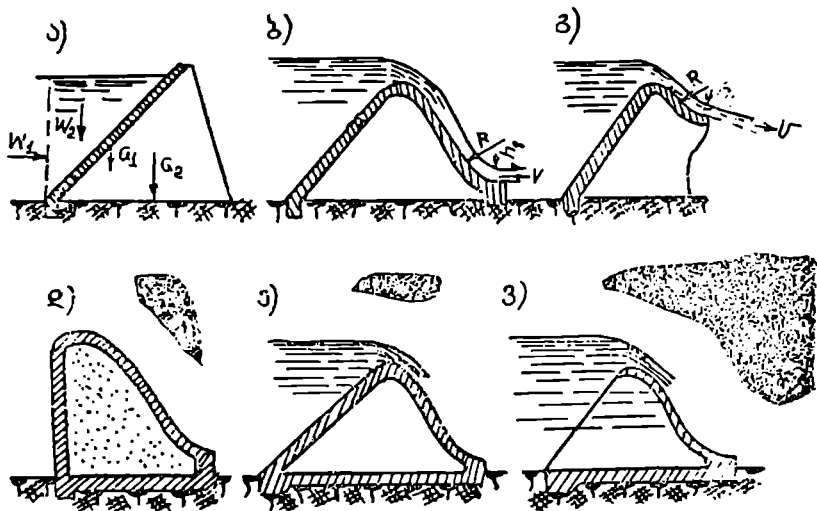
კონსტრუქციული კაშხალები უმთავრესად შენდება რკინაბეტონისაგან, ზოგჯერ ბეტონისაგან ან კიდეც, თუმცა იშვიათად, ლითონისაგან. იმის გამო, რომ რკინაბეტონის კონსტრუქციას შეუძლია იმუშაოს როგორც კუმშვაზე, ასევე გაჭიმვაზე, კონსტრუქციული ტიპის კაშხალებს შეიძლება მიეცეს ნებისმიერი ფორმა.

კონსტრუქციული კაშხალები საკმაოდ ეკონომიურია (ერთი და იგივე პირობებში კონსტრუქციულ კაშხალებში ბეტონის მოცულობა 30—35%-ით ნაკლებია, ვიდრე გრავიტაციულ კაშხალებში), მაგრამ მათი მშენებლობის ორგანიზაცია ძალზე რთულია, ვიდრე გრავიტაციული ბეტონის კაშხალებისა. საკმარისია ითქვას, რომ ამ შემთხვევაში საჭიროა მეტისმეტად რთული და შრომატევადი შეფიცვის სამუშაოების შესრულება და მშენებლობის ჩატარების მეტად მაღალი ხარისხი.

კონსტრუქციული ტიპის კაშხალები შენდება როგორც კლდოვან, ისე არაკლდოვან ფუძეზე. კლდოვან ფუძეზე აშენებენ როგორც ყრუ, (ნახ. 9.2, ა), ასევე წყალსაშვიანი ტიპის (ნახ. 9.2, ბ, გ, დ) კონსტრუქციულ კაშხლებს.

ხალებს. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში აუცილებელია კაშხალი დაიდგას ერთი მთლიანი საძირკვლის ფილაზე, რათა კონტროლსებიდან არაკლდოვან ფუძეზე გადაცემული წნევების სიდიდე დასაშვებს არ აღემატებოდეს.

კონტროლსული ტიპის ყრუ კაშხალებში წყლის უშუალოდ დაწნევას და შესაბამისად ფილტრაციას ადგილი აქვს მხოლოდ გადახურვის ელემენტებში (ფილებში, თალებში), ხოლო რაც შეეხება თვით კონტროლსებს, ისინი ჩვეულებრივ იმყოფებიან წყლის ზონის გარეთ. შესაბამისად ასეთი კაშხალების მშენებლობის დროს განსაკუთრებული ყურად-



ნახ. 9.2—კლდოვან და არაკლდოვან ფუძეებზე ასაშენებლად რეკომენდებული კონტროლსული კაშხალების ტიპები. კლდოვან ფუძეზე: ა-ყრუ; ბ-წყალსაშვიანი; გ-წყალსაშვიანი, წყლის ჰავლის თავისუფალი ვარდნით; დ-წყალსაშვიანი, ბალასტით შევსებული; არაკლდოვან ფუძეზე: ე-წყალსაშვიანი ერთი მთლიანი კონტრული; ე-რევერსიული.

ღება უნდა მიექცეს შემდეგ გარემოებას: სადაწნეო ფილებში გამოყენებული ბეტონი უნდა იყოს პრაქტიკულად წყალგაუმტარი, აგრესიული წყლების ზემოქმედებაზე საკმაოდ მტკიცე, ყინვაგამძლე, ხასიათდებოდეს არმატურასთან სათანადო შეჭიდულობის უნარით და ა. შ. შედარებით მცირედი სისქის მქონე დაწნევიან გადახურვებში წყლის ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ და ამ მოვლენასთან დაკავშირებული ბეტონის გამოტუტვისა და არმატურის დაჟანგვის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა:

ა) გადახურვებში მოეწყოს კონსტრუქციულ-ტემპერატურული ნაკერები სათანადო იზოლაციით, რათა გამოირიცხოს ბზარების გაჩენის შესაძლებლობა;

ბ) ბეტონის გარე ზედაპირის მიმართ არმატურა განლაგებულ იქნეს არა უახლოეს 50 მმ-ის დაცილებით;

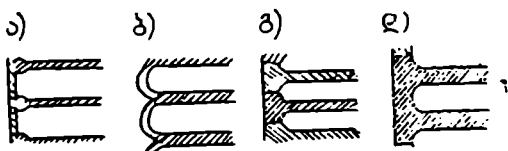
გ) დაბეტონების დაწყებამდე არმატურა შეიღებოს ცემენტის ხსნარით;

დ) დაწნევიანი გადახურვის ზედაპირი დაფარული იქნეს ბიტუმის ხსნარით.

კლასიფიკაციის თვალსაზრისით კონტრფორსულ კაშხალებს განასხვავებენ: გადახურვის, კონტროფორსის და წყალგამტარობის ტიპის მიხედვით, როგორც, მაგალითად:

### 1. გადახურვის ტიპის მიხედვით:

ა) კაშხალები ბრტყელი გადახურვით (ნახ. 9.3, ა);



ნახ. 9.3—კონტროფორსული კაშხალების სქემები: ა—ბრტყელი, რკინაბეტონის ფილებით გადახურვით; ბ—ერთი ან მრავალთაღიანი გადახურვით; გ—მასიური ბეტონის ცალკეული კოჭებით გადახურვით; დ—მასიური ბეტონის კონტროფორსებით გადახურვით.

ბ) კაშხალები თაღოვანი, მრავალთაღოვანი ან კიდევ გუმბათური გადახურვით (ნახ. 9.3, ბ);

გ) კაშხალები მასიური ბეტონის კოჭებით (ნახ. 9.3 გ, დ) ან, როგორც მათ ზოგჯერ უწოდებენ, მასიური კონტროფორსებით გადახურვით.

ამათგან, პრაქტიკაში უფრო გავრცელებულია კაშხალები ბრტყელი გადახურვით და კონტროფორსებს შორის 12 მეტრამდე. მანძილით.

### II. კონტროფორსის ტიპის მიხედვით:

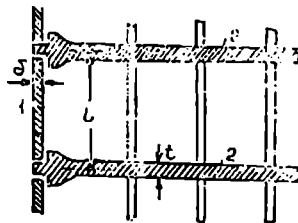
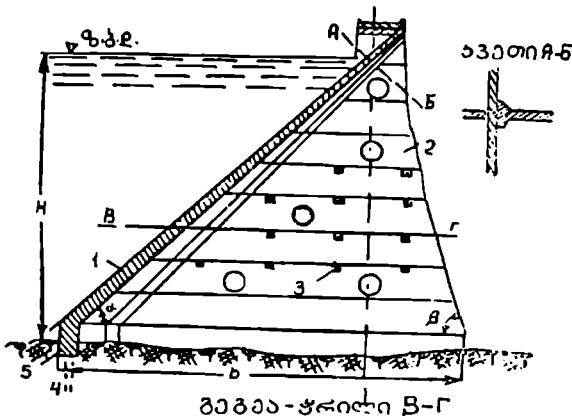
ა) კაშხალები ბეტონის, რკინა-ბეტონის, ლითონის თხელი (მთლიანი ან გამჭოლი ტიპის) კონტროფორსებით.

### III. წყალგამტარობის მიხედვით—ყრუ და წყალ-

საშვიანი ტიპის. კონტროფორსული კაშხალების ყველა აქ ჩამოთვლილი კონსტრუქცია ქვემოთ განხილულია ცალ-ცალკე.

§ 9.2. კონტრფორსული კაშხალეგი რკინაბეტონის ბრტყელი გადახურვით

კონტრფორსულ კაშხალებს შედარებით მცირე საკუთარი წონა აქვს, რის გამოც მათი მდგრადობის უზრუნველყოფა დაძვრაზე ძირითადად ხდება დახრილ სადაწნეო ფერდოზე წყლის დაწნევის ვერტიკალური მდგენელის ხარჯზე. აღნიშნული მოსაზრებიდან გამომდინარე ბრტყელი გადახურვის მქონე კონტრფორსულ კაშხალებში სადაწნეო ფილის დახრილობის კუთხე ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ აიღება  $\psi = 30-45^\circ$ -ის ფარგლებში (ნახ. 9.4), კონტრფორსებს შორის მანძილი (ნახ. 9.4



ნახ. 9.4 — რკინაბეტონის კონტრფორსული კაშხალი ბრტყელი გადახურვით: 1—სადაწნეო, ფილა; 2—კონტრფორსი; 3—გამბრჭენები; 4—ცემენტაციის კაბურღილი; 5—კბილი.

და ნახ. 9.5, ა) —  $l = 5-8$  მეტრი, კონტრფორსის ქვედა ფერდოს დახრილობის კუთხე ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ  $\beta = 70-80^\circ$ , კონტრფორსის სისქე  $t = (0.1 \div 0.2)H$ , სადაც  $H$  წყლის დაწნევა კონტრფორსის განსახილველ კვეთში; აღნიშნულიდან გამომდინარე, კონტრფორსის სისქე ზედა ნაწილში უფრო მცირეა, ვიდრე მის ძირში.

კონტრაფორსების ურთიერთდაკავშირება ხდება პორიზონტალური კოჭებით (გამბრჩენებით), რომელთა განივკვეთის ფორმა უმეტესად სწორკუთხოვანია; გამბრჩენებს შორის მანძილი ვერტიკალურ სიბრტყეში ინიშნება  $3-8$  მეტრი, პორიზონტალურ სიბრტყეში კი  $5-12$  მეტრი. თითოეული კონტრაფორსის სივანე მის ძირში ინიშნება  $b = (1.2 \div 1.3)A$ , სადაც  $A$  არის კაშხალის სიმაღლე.

დაწნევიანი ფილები, ჩვეულებრივ, ნაგებობის დამოუკიდებელ ელემენტებს წარმოადგენს და სტატიკის თვალსაზრისით მუშაობს როგორც ორ საყრდენზე-სპეციალურ კონსოლებზე—თავისუფლად მდებარე კოჭები (ნახ. 9.4). ფილების სისქე ინიშნება  $0,2-0,25$  მეტრის ფარგლებში და სიმაღლეზე იცვლება  $\sqrt{H}$ -ის პროპორციულად, სადაც  $H$  წყლის დაწნევაა კაშხალის წინ პირველი მიახლოებით დაწნევიანი ფილის სისქე კაშხალის ნებისმიერ კვეთში შეიძლება გამოთვალეთ ნ. ლადიგინის მიერ რეკომენდებული ემპირიული ფორმულით

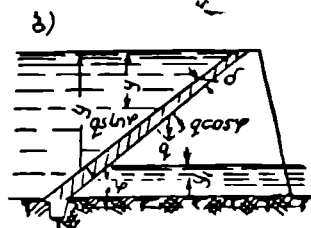
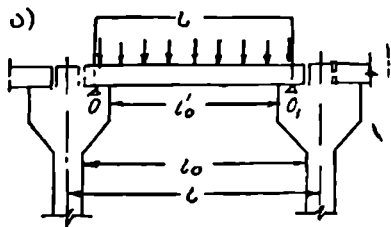
$$b_0 = 0,114 \alpha l \sqrt{H}, \quad (9.1)$$

სადაც  $\alpha$  არის არმირების კოეფიციენტი, პროცენტობით, ფილის ნელობა დამოკიდებულია ბეტონისა და არმატურის მარკაზე და მარაგის კოეფიციენტზე;  $l$  — ფილის საანგარიშო მალი;  $H$  — წყლის საანგარიშო დაწნევა.

არმატურის რაოდენობა  $F_a$  (სმ<sup>2</sup>-ობით) გამოითვლება ფორმულით

$$F_a = \mu e_0, \quad (9.2)$$

სადაც  $\mu$  არის არმირების კოეფიციენტი, პროცენტობით, ფილის ყოველ გრძივ მეტრზე;  $e_0$  — ფილის სასარგებლო სისქე სმ-ობით (დამკვეთის შრის გარეშე). ერთმაგი არმატურისათვის, რომელიც დამზადებულია მარკა 3 ფოლადისაგან, ვლებულობთ  $\alpha$  —სა და  $\mu$  —ს შემდეგ რიცხვით მნიშვნელობებს (ცხრილი 9.1).



ნახ. 9.5 — კონტრაფორსული კაშხალის დაწნევიანი ფილის საანგარიშო სქემა.

ნ. ლადიგინის მიერ რეკომენდებული ემპირიული ფორმულით

ბეტონის მარკა	110	140	170	200	250
$\alpha$	0,524	0,485	0,452	0,431	0,393
$\mu_{\%}$	0,30	0,35	0,40	0,44	0,52

შესაბამისად, თუ გვეცოდინება  $\delta_0$ , შეგვეძლება გამოვითვალოთ ფილის ძთლიანი სისქე  $= \delta_0 + \delta'$ , სადაც  $\delta'$  არის არმატურის დამცველი ფენის სისქე და, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, აიღება 5—6 სმ-მდე.

დაწნევიანი ფილის სისქის უფრო ზუსტი გაანგარიშებისათვის საჭიროა წინასწარ გამოვთვალოთ მასზე მოქმედი მლუნავი მომენტი  $M$  და გადამკრეული ძალა  $N$ . ასეთი გაანგარიშებების ჩატარება შემდეგი თანმიმდევრობით ხდება:

9.5, ბ ნახ-ის თანახმად, დაწნევიან ფილაზე მოქმედი ძალებია:

ა) წყლის  $P$  წნევა, რომელიც მიმართულია ფილის ნორმალურად;

ბ) ფილის  $q$  საკუთარი წონა; ზოგჯერ აღნიშნულ ძალებს შეიძლება დაემატოს ისეთი დატვირთვებიც, რომელთაც ადგილი აქვს ცალკეულ კერძო შემთხვევებში (კაშხალის წინ დალექილი ნატანი მასალის წნევა, ყინულის წნევა, სეისმური ძალების ზემოქმედება და ა. შ.).

გაანგარიშების ჩატარებისას განიხილება ფილის 1 მ სიგანის ზოლი, რომელიც ზედა ბიეფის წყლის ზედაპირიდან დაშორებულია  $y'$  სიღრმეზე. შესაბამისად, წყლის დაწნევა  $y$  სიღრმეზე ტოლია  $P = \gamma y'$ ; თუ ფილის იმ მონაკვეთს ვიხილავთ, რომელიც ქვედა ბიეფის მხრიდან შეტბორილია (ნახ. 9.5, ბ)  $y_1$  სიღრმეზე, მაშინ ფილაზე მოქმედი წყლის დაწნევა  $P = \gamma(y - y_1)$ .

ფილის საკუთარი წონის ნორმალური მდგენელი არის  $q \cos \psi$ , სადაც  $q = \gamma_1 z$  არის ფილის 1 მ<sup>2</sup> ზედაპირის შესაბამისი წონა,  $\psi$  — პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ ფილის დახრილობის კუთხე. რაც შეეხება  $q \sin \psi$  მდგენელს, რომელიც იწვევს ფილის გრძივ კუმშვას, გათანასწორებულია კონტრფორსთან ფილის ხახუნით.

ფილის საანგარიშო მალის განსაზღვრა ხდება პირობითად აღებული (ნახ. 9.5, ა) „0“ და „0<sub>1</sub>“ საყრდენების ადგილმდებარეობის მხედველობაში შილებით, რომლებიც პირველი მიახლოებით შეიძლება მივიჩნიოთ საყრდენი რეაქციების  $R$  სამკუთხედოვანი ფორმის ეპიურების სიმძიმის ცენტრებში მოთავსებულად (ნახ. 9.6). შესაბამისად, თუ კონტრფორსების

კონსოლებს შორის მანძილს (ნახ. 9.5, ა) აღვნიშნავთ  $l_0$  -ით, კონსოლის სიგანეს (ნახ. 9.6)  $b$ -თი, მაშინ ფილის საანგარიშო ძალი

$$l_1 = l_0 + \frac{2}{3}b, \quad (9.3)$$

ხოლო ფილის მთლიანი სიგრძე  $l_0$  კი ტოლია კონტრაფორსებს შორის მანძილის.

$$l_0 = l_0' + 2b. \quad (9.4)$$

შესაბამისად, ფილის საანგარიშო ზღვისათვის ( $\gamma$  სიმაღლეზე) მღვინეების მომენტის სიდიდე

$$M = M_{E\gamma} + M_{\eta} = \frac{Pl^2}{8} + \frac{q\cos\psi l_1^2}{8} = \frac{(\gamma\psi + \gamma_1 b \cos\psi) l_1^2}{8}, \quad (9.5)$$

ხოლო გადანჭრელი ძალა

$$N = R = 0,5(\gamma\psi + \gamma_1 b \cos\psi) l_1^2 + 2b. \quad (9.6)$$

რადგან (9.5) ფორმულაში შედის  $b$  სიღრმე,

რომელიც გაანგარიშების ჩატარებამდე უცნობია, ამიტომ მათ წანასწარ ავარიზობენ

$$M_{E\gamma} = \frac{1}{8} Pl_1^2 \quad \text{ფორმულით გამოთვლილი}$$

მომენტის სიდიდით. რომელსაც შემდგომ ოდნავ გაზრდიან და საბოლოოდ შეამოწმებენ (9.5) ფორმულით.

გადაუჭრელი ფილების შემთხვევაში  $M$  და  $N$  სიდიდეების გამოთვლას ახდენენ გაუჭრელი კოჭების თეორიის საფუძველზე.

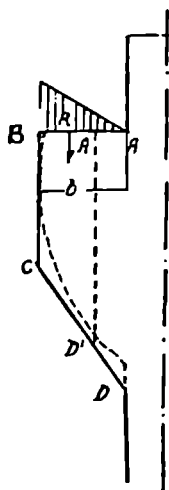
ზემოთ მოყვანილი გაანგარიშების ჩატარება ხდება  $\psi$  -ის რამდენიმე მნიშვნელობისათვის (მაგალითად, ყოველ 5—10 მეტრზე), ხოლო მათი შუალედი სიდიდეები გამოითვლება ხაზობრივი ინტერპოლაციის წესით.

ასეთივე მეთოდით ხდება კონტრაფორსული კაშხალების წყალსაშვიანი ფილების (ნახ. 9.2, ბ, გ) გაანგარიშებაც. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ განსახილველ შემთხვევაში დაწნევიან ფილაზე მოქმედებს:

ა) ფილის საკუთარი წონა;

ბ) ფილაზე გადადინებული წყლის დაწნევა, რომელსაც ზოგჯერ ღებულობენ (გარკვეული მარაგით) გადადინებული წყლის ფენის წონის ტოლად;

გ) ცენტრიდანული ძალის გავლენის სიდიდე (ნახ. 9.2, ბ, გ), რომელიც



ნახ. 9.6 — კონტრაფორსების კონსოლების საანგარიშო სქემა.

პირველ მიახლოებით გამოითვლება ფორმულით

$$W_0 = \gamma \left( 1 + \frac{V^2}{gR} \right) h_1, \quad (9.7)$$

სადაც  $\gamma$  არის წყლის მოცულობით წონა,  $V$  და  $h_1$  წყლის ქავლის სიჩქარე და სიღრმე წყალსაშვიანი ფერდოს ბოლო კვეთში;  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარება,  $R$  — წყლის ქავლის სიმრუდის რადიუსი წყალსაშვიანი ფერდოს ბოლო უბანზე.

§ 9. 3. პრატეკლადანაზრუნიანი კონტროლისული კაშხალაჲის კონტროლისაჲის სტატიკური განაზარინაჲის არსი

1. კონტროლის კონსოლები სტატიკური განაზარინაჲის კონტროლის კონსოლები განიცდის ფილის  $R$  რეაქციის ზემოქმედებას, რომლის განაწილება კონსოლის  $b$  სიგანეზე მიღებული სამკუთხედის ფორმის სახით (ნახ. 9.6). შესაბამისად, კონსოლს ფუძეზე მოქმედი მღუნავი მომენტი

$$M_3 = \frac{2}{3} b R \quad (9.8)$$

ან კიდევ (9.4) და (9.5) გამოსახულებების მხედველობაში მიღებით

$$M_3 = \frac{1}{3} \left( \gamma y + \gamma_1 b \cos \psi \right) b l_0. \quad (9.9)$$

კონსოლის  $AB$  ხაზის გასწვრივ (ნახ. 9.6) მაქსიმალური გამჭიმავი დაბეჭდვის სიდიდე ასევე იზრდება ხახუნის ძალების ხარჯზე, რომლებიც ტემპერატურის დაცემის დროს წარმოიქმნება ფილის სიგრძის შემცირების გამო. განსახილველ შემთხვევაში ხახუნის ძალა გამოითვლება ფორმულით

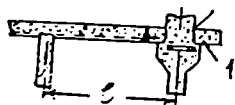
$$S = fR, \quad (9.10)$$

სადაც  $f$  არის ხახუნის კოეფიციენტი და პირველ მიახლოებით აიღება 0,5-ის ტოლად (ამ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ სრიალის  $AB$  ზედაპირი დაფარულია ბიტუმის ხსნარით). უდიდესი კუმშვა შეიმჩნევა  $B$  წერტილში, ხოლო უდიდესი გაჭიმვა კი  $A$  წერტილში; ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია წერტილ  $A$ -თან სწორი კუთხე ჩამოიჭრას ან დამრეგვალდეს. კონსოლის ფორმა თეორიულად სასურველია იყოს პარაბოლის მოხაზულობის (პუნქტირი 9.6 ნახ-ზე), მაგრამ წარმოების ორგანიზაციის



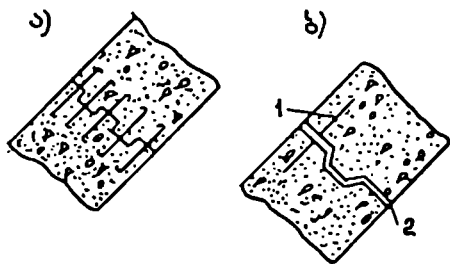
სირთულს გამო პრაქტიკაში მისი განხორციელება ხდება  $ABCD$  ტენილი ხაზით; ამ მოხაზულობის დადგენის დროს  $CD$  ხაზის დახრილობა ისეთნაირად უნდა შეირჩეს, რომ  $AD$ ,  $A'D$  და ა. შ. კვეთებში წინააღმდეგობა დაახლოებით ერთნაირი იყოს.

კონტროლისთან ფილის შეერთება ხდება ფეხურის მსგავსად (ნახ. 9.7) ერთი ან რამდენიმე შევრილით (ნაკერში წყლის ფილტრაციის მაქსიმალურად შემცირებას მიზნით), რომელსაც ავსებენ ბიტუმის ხსნარით, ზოლო თვით კონსოლის ზედაპირა ფარავენ ბიტუმის საცხით.



ნახ. 9.7 — კონტროლისთან ფილის შეერთების სქემა ფეხურის მსგავსად; 1 — ფეხურა.

ფილებში შეიძლება იყოს ორი სახის ნაკერი: ა) ჰორიზონტალური — სამშენებლო, რომელიც მშენებლობა პროცესში ფილას ჰყოფს დაბეტონების ცალკეულ ეტაპებად; ასეთი ნაკერი სრულდება ფეხურის მსგავსად, (9.8 ა); ბ) ვერტიკალური — ტემპერატურული, რომელიც მაღლივი კაშხალების ფილებს სიმაღლეზე ჰყოფს 15—25 მეტრის ცალკეულ სექციებად (ნახ. 9.8, ბ); ასეთ ნაკერებში, სადაწნეო ფერდოსთან ახლოს, ითვალისწინე-



ნახ. 9.8 — ნაკერების კონსტრუქციები კონტროლისთან კაშხალების გადახურვაში.

ა) წყლის დაწნევა უშუალოდ კონტროლისზე და დაწნევიანი ფილის საანგარიშო მალის ნახევარზე (კონტროლისს ყოველი მხრიდან);

ბ) ფილის საკუთარი წონა;

გ) კონტროლისის საკუთარი წონა.

გარდა აქ ჩამოთვლილი ძალებისა, ზოგიერთ განსაკუთრებულ შემთხვევებში ითვალისწინებენ აგრეთვე დამატებით დატვირთვებს — სეისმურ ძალებს, ყინულისა და ნატანი მასალის წნევებს და ა. შ.

წყლის წნევა განისაზღვრება ორი მდგენელით:

ბენ ფილტრაციის სიწინააღმდეგო ღონისძიებებს სპილენძის ფურცლის სახით და ბიტუმის ხსნარის შევსებით ისეთივე სახით, როგორც ეს აღნიშნული იყო ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების განხილვისას.

2. კონტროლისზე მოქმედი ძალების განსაზღვრა. კონტროლისზე ძირითადად, მოქმედებს:

ა) პორიზონტალური (ნახ. 9,9)

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma h^2 l; \quad (9.11)$$

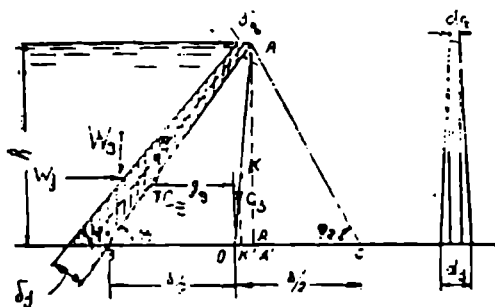
ბ) ვერტიკალური

$$W_2 = \frac{1}{2} \gamma h^2 l \operatorname{ctg}^2 \psi_0. \quad (9.12)$$

სადაც  $h$  არის წყლის სიღრმე ზედა ბიეფში (ნახ. 9.9),  $l$  — კონტრორსებს შორის მანძილი (ნახ. 9.5, ა),  $\psi_0$  — პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ დაწნევიანი ფერდოს დახრილობის კუთხე. სადაწნეო ფილაზე  $W_1$  და  $W_2$  ძალების მოღებვის წერტილი კაშხალის ძირიდან იწყობება  $1/3$  სიმაღლეზე, დაწნევიანი ფილის წონა

$$G_3 = \frac{1}{2} \frac{\gamma_1 (b_6 + b_3) h l}{\sin \psi_0}, \quad (9.13)$$

სადაც  $b_6$  და  $b_3$  აღნიშნულია ფილის სისქე, შესაბამისად, მის ზედა ( $b_6$ ) უბანში და ძირში ( $b_3$ ). ამ შემთხვევაში ფილის სიძიმის ცენტრის ადგილმდებარეობას.



ნახ. 9.9 — კონტრორსის საანგარიშო სქემა.

კონტრორსის წონა (ნახ. 9.9 ა)

$$\begin{aligned} G_3 &= \gamma_2 V_3 = \gamma_2 \left[ \frac{bh}{2} d_6 + \frac{h}{3} b (d_3 - d_6) \right] = \frac{\gamma_2 b h}{6} d_6 \left( 1 + \frac{2d_3}{d_6} \right) = \\ &= \frac{\gamma_2 b h}{2} d_6 (1 + 2\eta). \end{aligned} \quad (9.14)$$

სადაც  $\gamma_2$  არის კონტრორსში გამოყენებულ ბეტონის (ქვის წყობის) მო-

ცულობითი წონა  $V_3$  — კონტროლის მოცულობა:  $d_2$  და  $d_3$  — კონტროლის სისქე, შესაბამისად, ზედაპირზე ( $d_2$ ) და შიდაპირზე ( $d_3$ ): კონტროლის სიმძიმის ცენტრი  $K$ , რომელიც მოთავსებულია  $AO$  მედიანაზე, განისაზღვრება ამ წერტილის დაცილებით მისი ფუძიდან, ხოლო  $G_3$  ძალის მხარი  $q_3 \cdot 0$  წერტილის მიმართ გამოითვლება  $OAA'$  და  $OKK'$  სამკუთხედების მსგავსებლიდან:

$$q_3 = \overline{OK'} = \overline{KK'} \frac{\overline{OA'}}{\overline{AA'}} = \frac{h}{2} \cdot \frac{1+\gamma_1}{1+2\gamma_1} \frac{\frac{b}{2} - h \operatorname{ctg} \psi_2}{h} =$$

$$= \frac{(1+\gamma_1) \left( \frac{b}{2} - h \operatorname{ctg} \psi_2 \right)}{2(1+2\gamma_1)}. \quad (9.15)$$

3. კონტროლის სიმტკიცის გაანგარიშება ელემენტარული მეთოდით. ზემოთ გამოთვლილი ვერტიკალური ძალების ჯამი

$$\Sigma P = W_3 + G_{\Phi} + G_3, \quad (9.16)$$

ხოლო ყველა ძალის მომენტი „0“ წერტილის მიმართ (ნახ. 9.9)

$$\Sigma M = W_3 \frac{h}{3} + G_3 g_3 - W_3 \left( \frac{b}{2} + \frac{b}{\sin \psi_0} - \frac{h}{3} \operatorname{ctg} \psi_0 \right) - G_{\Phi} \cdot g_{\Phi}. \quad (9.17)$$

ნორმალური ძაბვა  $BOC$  ნაკერში

$$\sigma = \frac{\Sigma P}{bd_3} \pm \frac{6 \Sigma M}{b^2 d_3}, \quad (9.18)$$

სადაც დაწნევიანი ფერდოსათვის ძაბვის გამოსათვლელად აიღება ნიშანი „-“, ხოლო ქვედა ფერდოსათვის კი ნიშანი „+“.

9.2. ცხრილში მოყვანილია კონტროლის ზედა სადაწნეო და ქვედა წახნაგებზე (ნახ. 9.9) მოსული ძაბვების გამოსათვლელი ფორმულები.

$N'_3$  -სათვის (9.20) ფორმულიდან ჩანს, რომ გამჭიმავი ძაბვების გამოსარიცხავად აუცილებელია შესრულდეს პირობა

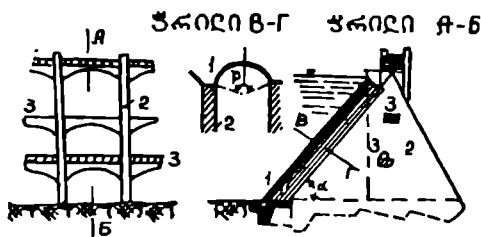
$$N'_3 > 0 \text{ ან } \frac{\sigma'}{\sin^2 \psi_1} > \gamma \frac{l}{d} \operatorname{ctg} \psi_1, \text{ ან } \sigma' > \gamma \frac{l}{d} \cos^2 \psi_1, \quad (9.22)$$

რაც, თავის მხრივ, ზღუდავს კონტროლის დაწნევიანი წახნაგის  $\psi_1$  კუთხის დანიშნას.

№ რიგზე	ძაბვების დასახელება	დაწნევიან წახნაგებზე	ქველი წახნაგზე
1.	ამხლეჩი, ჰორიზონტალურ ნაქერებში	$\tau^1 = \left( \sigma^1 - \gamma y \frac{l}{d} \right) \text{ctg} \psi_1$	$\tau'' = \sigma'' \text{ctg} \psi_2;$ (9.19)
2.	მთავარი ნორმალური	$\left. \begin{aligned} N_1^1 &= \gamma y \frac{l}{d} \\ N_2^1 &= \frac{\sigma^1}{\sin^2 \psi_1} \\ &- \gamma y \frac{l}{d} \text{ctg}^2 \psi_1 \end{aligned} \right\}$	$\left. \begin{aligned} N_1'' &= \frac{\sigma''}{\sin^2 \psi_2} \\ N_2'' &= 0 \end{aligned} \right\};$ (9.20)
3.	მთავარი ამხლეჩი	$T^1 = \frac{\sigma^1 - \gamma y \frac{l}{d}}{2 \sin^2 \psi_1}$	$T'' = \frac{N_1''}{2} = \frac{\sigma''}{2 \sin^2 \psi_2}$ (9.21)

§ 9. 4. კონტრფორსული კაშხალაში ერთი ან მრავალთალოვანი გაღახურავით

მრავალთალოვან კონტრფორსულ კაშხალებში კონტრფორსებს შორის გათვალისწინებული მალეების გადახურვა (გადაღობვა) ხდება არა ფილე-



ნახ. 9.10 — რკინაბეტონის მრავალთალოვანი კონტრფორსული კაშხალები: 1—დაწნევიანი თალოვანი გადახურვა; 2—კონტრფორსები; 3—გამბრჩენები.

ბით, არამედ თალებით ან გუმბათებით (ნახ. 9. 10), რომელთა ღერძების დახრილობის კუთხე ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ  $\alpha = 45^\circ - 68^\circ$ .

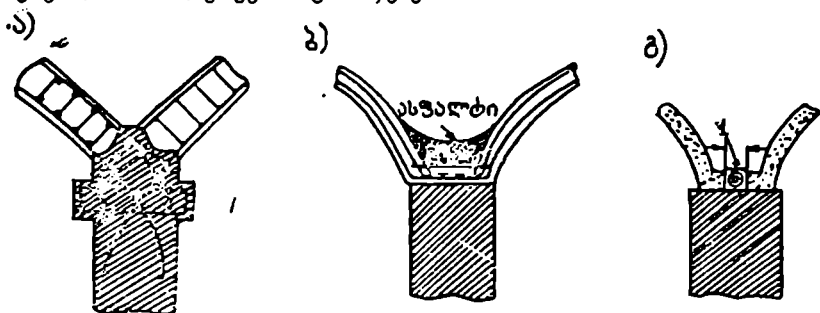
თალოვანი გადახურვა საშუალებას იძლევა გავზარდოთ კონტრფორსებს შორის მანძილი და ავიღოთ 10—18 მეტრის ფარგლებში. დაწნევიანი ფერდოს თალების ფო-

ტმა ჩვეულებრივ ცილინდრულია და მისი ცენტრალური კუთხე შეადგენს  $140^\circ - 150^\circ$ . თაღის სისქე კაშხალის ზედაპირთან

აიღება 0,3—0,4 მ, რომელიც კაშხალის ძირთან ზოგჯერ 1.5 მეტრსა და უფრო მეტსაც აღწევს. თაღების დაარმატურება ხდება ორმაგი არმატურით, უმეტესად შედუღების გზით.

თაღების შეერთება კონტრფორსებთან 2 (ნახ. 9.10) წარმოებს ხისტად, რის გამოც მრავალთაღიანი კონტრფორსული კაშხალები მგრძობიარეა კონტრფორსების ყოველგვარ ჯდენასთან და ამიტომ ასეთი ტიპის კაშხალები შეიძლება აშენდეს მხოლოდ კლდოვან ფუძეზე, რომლის დროსაც გამოირიცხება კონტრფორსების არათანაბარი ჯდენა.

კონტრფორსის სისქე მის ზემო ნაწილში აიღება  $b_1 = (1.5—2.0) c$ , ხოლო მის ძირში  $(0,07—0,1) H b_1$ , სადაც  $c$  არის თაღის სისქე მის ცენტრალურ ნაწილში,  $H$ —კაშხალის სიმაღლე. ისე როგორც ბრტყელგადახურვიან კონტრფორსულ კაშხალებში, აქაც კონტრფორსებს შორის ითვალისწინებენ (ნახ. 9.10) კოჭებს—გამბრჭენებს.

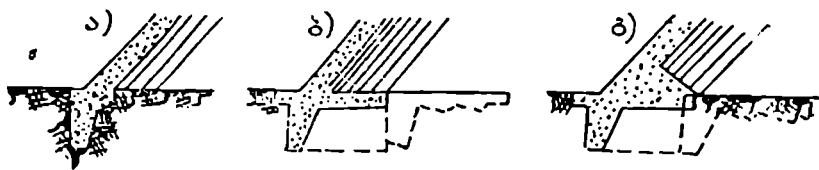


ნახ. 9.11—კონტრფორსებთან თაღების ქუსლების შეუღლების სხვადასხვა სქემები.  
1—ხის ძელი.

9.11 ნახ.-ზე ნაჩვენებია კონტრფორსთან თაღების ხისტი შეუღლებების სხვადასხვა სქემები. სახელობა: 9.11, ა ნახ.-ზე თაღის არმატურა გადადის კონტრფორსში: 9.11, ბ ნახ.-ზე თაღები დაყრდნობილია შეპართებელ რკინა-ბეტონის ფილაზე, რომელიც ხისტად არაა დაკავშირებული კონტრფორსთან (ასეთი შეერთების გამოყენება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია, თუ კონტრფორსის აშენება ხდება ქვის წყობისაგან). ზოგჯერ თაღებსაც არ აკავშირებენ ერთმანეთთან და ამ მიზნით მათ შორის ითვალისწინებენ ნაკერს (ნახ. 9.11, გ), ხოლო თაღების ქუსლების დაძვრა რომ არ მოხდეს, აღნიშნულ ნაკერში ჩადებენ ხის ძელს 1. ამ შემთხვევაში ნაკერის წყალგაუმტარობის უზრუნველსაყოფად ითვალისწინებენ ბიტუმის საფენის მოწყობას (იხ. ნახ. 9.11, ბ).

9.12 ნახ.-ზე ნაჩვენებია კლდოვან ფუძესთან დაწნევიანი თაღების შეუღლების სხვადასხვა სქემები, რომელთა შორის ყველაზე მარტივად ითვლება ჩვეულებრივი კბილით შეერთება (ნახ. 9.12, ა); ზოგჯერ, კლდოვან

ფუძეზე თაღების საკუთარი წონის თანაბრად გადაცემის მიზნით, კბილის ზედა ნაწილს აფართოებენ (ნახ. 9.12 ბ, გ).



ნახ. 9.12 — კლოვან ფუძესთან თაღების შეუღლების ზოგიერთი სქემა.

### მ ა თ ე თ ა ვ ი

## რბილბარსპნიანი და ზოგიერთი სხვა ტიპის დაბალდაწნევიანი კაუსალეზი

### § 10. 1. ზოგადი ცნობები რბილბარსპნიანი ტიპის კაუსალეზო

ცნობილია, რომ ჰიდროტექნიკური მშენებლობის განვითარება დაახლოებით უკანასკნელი ასი წლის მანძილზე მიმდინარეობდა და, შეიძლება ითქვას, საქართველოში ამჟამადაც მიმდინარეობს უკიდურესად ხისტი მასალებისაგან (ბეტონი, რკინა-ბეტონი, ქვა და სხვა) კონსტრუქციების შექმნისა და სრულყოფის გზით. ასეთი კონსტრუქციების თავისებურებანია მაღალი სიმტკიცის შერწყმა მის სიხისტესთან. ეს თვისება, რომელიც აუცილებელია მთელი რიგი ნაგებობების ნორმალური მუშაობისათვის, რიგ შემთხვევაში უარყოფით როლს ასრულებს. არ გვაძლევს საშუალებას დავაპროექტოთ ნაგებობა მსუბუქი წონით. ხისტ კონსტრუქციებს (ტრადიციული მასალისაგან) ჩვეულებრივ გააჩნიათ ერთნაირი მოცულობები როგორც მუშა, ასევე არამუშა მდგომარეობაში და ამიტომ მათი ტრანსპორტირება და მონტაჟი მოითხოვს მძიმე ამწე სატრანსპორტო მოწყობილობას. გარდა ამისა, ასეთი ნაგებობის ავტომატიზაციის პროცესი გაძნელებულია სწორედ მათი სიხისტის გამო.

მხოლოდ უკანასკნელი დროის მსოფლიო მშენებლობის პრაქტიკაში გამოჩნდა ახალი მიმართულება, რომელიც დაკავშირებულია რბილი მასალებისაგან შექმნილი კონსტრუქციების გამოყენებასთან; მათ პირობითად რბილი კონსტრუქციები ეწოდება.

რბილი კონსტრუქციები წარმოადგენენ ცილინდრულ გარსებს, რომლებიც დამზადებულია ელასტიკური მაღალი სიმტკიცის მასალისაგან, ხო-

ლო დატვირთვის ქვეშ ფორმის მიღება და სტაბილიზაცია წარმოებს ჰარბო წნევის ხარჯზე, რომელსაც ქმნის შემესები (წყალი, ჰაერი, წყალი და ჰაერი სხვადასხვა შეფარდებით). მიუხედავად კონსტრუქციული სიმარტივისა, მათი მასიური წარმოება შესაძლებელი გახდა არაუადრეს იმ პერიოდისა, სანამ სინთეზური ბოჭკო, ფისები და კაუჩუკი არ გახდა პოლიმერული ქიმიის წარმოების პროდუქცია. უპირველესად ათვისებული უნდა ყოფილიყო მასალის სამრეწველო გამოშვება, რომელიც მოიცავდა ადრე ერთიმეორესთან შეუთავსებელ თვისებებს: გარღვევაზე მაღალ წინააღმდეგობას და ცვეთას, ხანგამძლეობას, ჰაერ და წყალშეუღწევადობის სიიფეს.

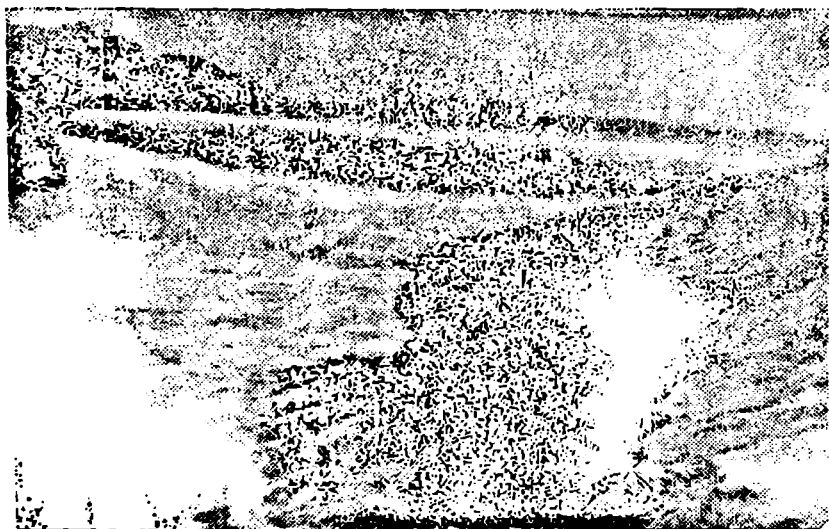
რბილი კონსტრუქციები საესებით პასუხობენ ჰიდრომელიორაციული სისტემების მშენებლობის ტექნიკის თანამედროვე ტენდენციებს, კონსტრუქციის მაქსიმალურ შემსუბუქებას. ისინი ყველაზე მსუბუქია იმათ შორის, რაც ადამიანთა საზოგადოებას შეუქმნია თავისი განვითარების ისტორიის მანძილზე და ამიტომ მათი გამოყენების სფერო ძალზე ფართოა. რბილი კონსტრუქციების დახმარებით შეიძლება მოვძებნოთ წყალსაშვიანი კაშხალების მოხაზულობის ოპტიმალური ფორმები, სხვადასხვა სახის გადაშობის ნაგებობანი, საკეტები და დაბალდაწნევიანი ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სხვადასხვა სახე. ასეთი კონსტრუქციები ადვილად ემორჩილება ავტომატიზაციას, ისინი ქიმიურად მდგრადია. გამოირჩევიან მკირე წონით, დამონტაჟების სისწრაფით და პრაქტიკულად ნებისმიერ ადგილზე დამატებითი დანახარჯების გარეშე ექსპლუატაციაში შეყვანით. ყოველ ლავე ამის გარდა, რბილი კონსტრუქციების დამახასიათებელ თავსებურებას წარმოადგენს უპირატესად მათი მუშაობა გაუიჟვაზე. რაც საშუალებას გვაძლევს უფრო სრულყოფილად გამოვიყენოთ თანამედროვე პოლიმერული მასალების თვისებები.

ფორმის მიხედვით რბილი კონსტრუქციები დაყოფილია ტიპებად: შე მ ვ ს ე ბ ი ა ნ ი (წყალი, ჰაერი ან კიდევ წყალი და ჰაერი), მ ე მ მ რ ა ნ უ ლ ი და კ ო მ ბ ი ნ ი რ ე ბ უ ლ ი. ჰიდროტექნიკური მშენებლობის მსოფლიო პრაქტიკაში ყველაზე მეტი გავრცელება მოიპოვა რბილმა შემესებთან კონსტრუქციამ (რშკ). ისინი გამოყენებულია წყალგამტარ და წყალშემკრებ ნაგებობებად ჰიდრომელიორაციული სისტემების არხებზე, საკეტებად და წყალგადასაშვებ ნაგებობად ცალკეულ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძებში, მიმმართველ და სარეგულაციო ნაგებობებად, დამცველ დამბებად და სხვა.

მაგალითისათვის შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ამერიკაში დღეისათვის აგებულია რამდენიმე ათეული ავსებადობის კონსტრუქციის წყალსაშვები სიგანით 20-დან 200 მეტრამდე, ხოლო საზღვარგარეთის ბევრმა ფირმამ დაიწყო ასეთი კონსტრუქციების სერიული გამოშვება. საბჭოთა კავშირში, სახელდობრ, მდინარე ბელაიაზე როსტოვის ოლქში (ნახ. 10.1) და მდინა-



ნახ. 10.1 — რბილი კონსტრუქციის წყალსაგდები კაშხალი შდინარე ბელაიაზე (როსტოვის ოლქი)



ნახ. 10.2—რბილი კონსტრუქციის წყალსაგდები კაშხალი შდინარე კიტარნიაზე (ტიუმენის ოლქი)

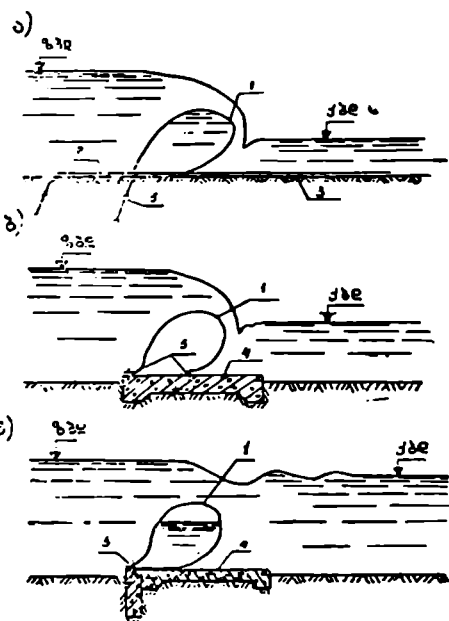


რე კიტერნაზე ტიუმენის ოლქში (ნახ. 10.2) აშენებულია რბილი კონსტრუქციის წყალსაშვიანი კაშხალები.

ამჟამად, ქიმიური მრეწველობის წარმატებებმა შესაძლებელი გახადა ახალი მაღალი სიმტკიცის სამშენებლო მასალების გამოყვება წინასწარ დასახული თვისებებით. უფრო მეტი გაზრდილი რაოდენობით, რაც, თავის მხრივ, საშუალებას იძლევა რბილი კონსტრუქციები ფართოდ იქნეს გამოყენებული სამშენებლო პრაქტიკაში, მათ შორის ჰიდრომელიოორაციული ობიექტების მშენებლობისას. უახლოეს პერიოდში განსაკუთრებით ეფექტური იქნება რბილი შევსებადობის კონსტრუქციის გამოყენება ჰიდრომელიოორაციულ მშენებლობაში იმ შემთხვევაში, როცა მათი გამოყენება შედარებით მოკლევადიანია და საწარმოო მდგომარეობა მოითხოვს ამა თუ იმ ნაგებობის სწრაფად დაპონტაჟებას. ყოველივე ეს საშუალებას გვაძლევს დავასახელოთ ისეთ პერსპექტიულ კონსტრუქციას ტიპები, რომლებშიც უფრო მეტწილად არის გამოხატული მათი უპირატესობანი და უმნიშვნელო ნაკლოვანებანი, სახელობრ, მათ მიეკუთვნება ყოველგვარი ტიპის წყალსაგდებები და წყალმიღებები, შემაღლებული ნაგებობები, საკეტები და

ა. შ. 10.1 ცხრილში მოცემულია ძირითადი მონაცემები ზოგიერთ უკვე აშენებულ რბილგარსებიან კაშხალებზე და საკეტებზე.

ქვემოთ განვიხილავთ მხოლოდ გარსების ტიპის წყალგადასაშვებ კაშხალებს, როდესაც გარსების შემსვებად გამოყენებულია წყალი (ნახ. 10.3,ა), ჰაერი (ნახ. 10.3,ბ), წყალი და ჰაერი ერთად (ნახ. 10.3,გ).



ნახ. 10.3 — გარსების ტიპის რბილი შემსვებადი კონსტრუქციის წყალგადასაშვები კაშხალების ზოგადი სქემები: ა—რბილი შემსვებადი კონსტრუქციის წყალგადასაშვები კაშხალი, სადაც გარსის შემსვებად გამოყენებულია წყალი; ბ—იგივე, ჰაერით შევსებული; გ—იგივე, წყლით და ჰაერით შევსებული; 1—გარსი; 2—ძირული; 3—რისბერმა; 4—ფლუტბები; 5—ანკერი.

§ 10. 2. რბილგარსებიანი ტიპის წვალგადასასვავი კაშხალების სტაბილური  
გაანგარიშება (ა. ნაზაროვის მეთოდი)

1. ძირითადი დაშვებები და წინაპირობები: ამ ამოცანის გადასაჭრელად აუცილებელია დრეკადობის თეორიის, პლასტიკურობის, დენადობის და სხვა თეორიების გამოყენება. ამიტომ, გაანგარიშების გასამართლებლად ავტორს შემოაქვს მთელი რიგი დაშვებები და წინაპირობები:

ა) გარსის უმომენტობის დაშვება; რადგან რშკ კაშხალებს გააჩნია მცირე სისქე და დიდი დრეკადობა, ისინი შეიძლება განხილულ იქნეს, თითქმის როგორც იდეალურად უმომენტო.

ბ) გარსის დაძაბული მდგომარეობის გაანგარიშება ხდება ბრტყელი ამოცანის სახით, ე. ი. პირობითად დაიშვება, რომ მდინარის (არხის) სივანე, მეტისმეტად სწარბოვს კონსტრუქციის სივანეს. ამ შემთხვევაში ანგარიშში დაიყვანება ერთეული სივანის ბრტყელი დრეკადი რგოლის გაანგარიშებაზე, ნორმალური  $P$  წნევით ჩაძირული და სიმძიმის ძალის ხასიათის მქონე  $q$  დატვირთვით;

გ) რშკ განივი კვეთის ფორმაზე გრძივი დაქიმულობის გავლენის და განივი ძალების გამორიცხვის დაშვება; ეს დაშვება მისაღებია იმ მოსაზრებებით, რომ რშკ აქვს წაგრძელებული ფორმა და ექსპლუატაციის პროცესში ინარჩუნებს ცილინდრულ მოხაზულობას;

დ) რშკ მასალა მუშაობს დრეკადი დეფორმაციების ზონაში, რომელიც ემორჩილება ჰუკის კანონს;

ე) მასალის დაქიმულობა არ არის გათვალისწინებული;

ვ) გარსის მასალაში ძალების წარმოქმნა მისალოდნელია მის შუაზე დაპირზე, რადგანაც გამოყენებული მასალის სისქე უმნიშვნელოა (1—4 მმ) და გარეგანი და შინაგანი ფარდობითი დეფორმაციების სხვაობა ქსოვილის ფენებში აგრეთვე უმნიშვნელოა;

ზ) მდინარის (არხის) ნაპირებთან გარსის შეუღლების კონსტრუქციის გავლენა განივი დაძაბულობის სიდიდეზე პირობითად მიღებულია ნულის ტოლად;

თ) დაძაბულობის ნაზრდი, რომელიც გამოწვეულია მასალის სისქის შემცირებით გარსის პერიმეტრის დაგრძელების გამო, არ არის გათვალისწინებული, რადგანაც ეს მოვლენა ქსოვილებში დაკავშირებულია არა იმდენად ძალების შემცირებაზე, რამდენადაც მათ გასწორებაზე;

ი) სითხის წნევის მხები შემდგენების გამორიცხვის დაშვება, რომელიც გარსზე მოქმედებს გარე და შიგა მხრიდან;

კ) გარსზე გადადინებული ნაკადის გარეგანი ჰიდროდინამიკური წნევის სიდიდის გათვალისწინებისას ა. ნაზაროვის მიერ გამოყენებულია ლაბორატორიული კვლევების შედეგები;

ლ) გარსში შინაგანი დაწნევა შექმნილია წყლისა და ჰაერის საშუალებით. ფარლობაში  $\frac{P}{\gamma_0}$  ჰაერშევსებული გარსებისათვის, მიღებულაა, რომ დაყვანილი ჰარბი წნევის სიდიდე—მანომეტრული წნევა—ტოლია წყლის

ცხრილი 10.1

ზოგიერთი აშენებული რბილგარსებიანი კაშხალებისა და საკეტების ძირითადი პარამეტრები

№ რიგზე	აშენების ადგილი და წელი	ნაგებობის სახე	დაწნევა მ.ობით	მაღი, მ.ობით	გარსის ქსოვილის სისქე, მმ-ით	გარსის ქსოვილის იმპეტოცე, 2 კმ/მწვ	გარსის შემსუბუქები	შენიშვნა
1	მდ. ამსტელი, კოლხეთი, 1970 წელი	კაშხალი	7,0	28,0	~5,0	~250	წყალი	—
2	მდ. კიტერნია, სსრკ, ტიუმენის ოლქი, 1967 წელი	—	2,0	15,0	1,2	100	წყალი	მონსახრების საგარანტიო ვადა 6—10 წ.
3	მდ. ბელაია, სსრკ, როსტოვის ოლქი, 1970 წელი	—	2,0	24,0	2,0	40	წყალი	—
4	მდ. შჩუჩკა, სსრკ, ლენინგრადის ოლქი, 1963 წელი	—	0,5	5,0	—	—	წყალი	ექსპერიმენტალური კაშხალი რბილი ძირულით და რისხერნით
5	მდ. ლოს—ინჯელსი, აშშ, 1959 წელი	საკეტი	1,83	35,6	3,18	90	წყალი	—
6	მდ. კოლორადო, აშშ, 1966 წელი	—	4,0	70,0	~5,0	—	წყალი + ჰაერი	—
7	მდ. სანდ-კრიკ, აშშ, 1967 წელი	—	2,7	24,0	—	—	წყალი	—
8	მდ. ვეზერი, საფრანგეთი, 1961 წელი	—	1,5	46,5	4,5	80	წყალი	დამამზადებელი ფირმა—კენტერ-კოლომბი
9	მდ. კუმბულუშა, ავსტრალია, 1969 წელი	—	1,65	66,0	—	—	წყალი	დამამზადებელი ფირმა—ფაირს-ტონი
10	მდ. ევიშოკა, ჩსსრ, 1963 წელი	—	0,4	7,0	—	—	წყალი	ექსპერიმენტალური საკეტა
11	მულდევერ პენიგის მიდროკენი, გდრ, 1970 წელი	—	1,1	46,0	—	—	ჰაერი	—

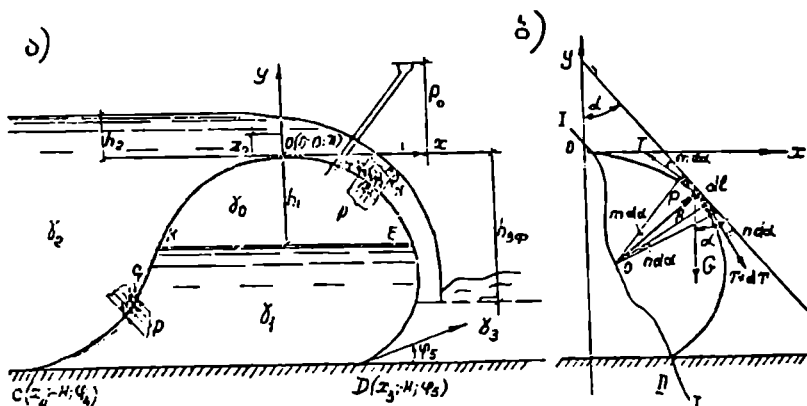
სვეტის სიმაღლის. ლიტერატურაში ასეთი ნაგებობების სტატიკური გაანგარიშების ორი ძირითადი მეთოდი არსებობს: ანალიზური და გრაფიკული. აქ განვიხილავთ გრაფიკულ-ანალიზურ მეთოდს, როგორც შედარებით მარტივს, მოხერხებულს და ამავე დროს, პრაქტიკული მოთხოვნების თვალსაზრისით, საკმაოდ ზუსტს.

2. სტატიკური გაანგარიშების (საკუთარი წონის გათვალისწინებით) გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდი, ანალიზურისაგან განსხვავებით, დაკავშირებულია ნაკლებად შრომატევად მათემატიკურ გამოთვლებთან და დროის მცირე დანაკარგთან. კელვინის მიერ დამუშავებული გადაწყვეტის თანახმად ცნობილია, რომ ნებისმიერი მოხაზულობის მრუდი შეიძლება შედგენილი იყოს წრეხაზის რკალების სასრულო რიგისაგან (ანგარიშის გამარტივებისათვის აქვე პირობითად დაშვებულია, რომ მცირედი უბნის საზღვრებში მრუდის მოხაზვის რადიუსი მუდმივი სიდიდეა).

განვიხილოთ ცილინდრული, ჰორიზონტალურად განლაგებული რბილი გარსი, დამაგრებული ფლიუტბეტზე და დაძირული წყალში ნორმალური  $P$  წნევით და ისეთი  $q$  დატვირთვით, რომელსაც აქვს სიმძიმის ძალის ბუნება (გარსის საკუთარი წონა, წყლისაგან გამოწვეული გარეგანი დატვირთვა და ა. შ.).

წინასწარ დაშვებული პირობის თანახმად, განსახილველ შემთხვევაში რბილი გარსი იმყოფება ბრტყელი დეფორმაციის პირობებში და ამიტომ ამოცანა დაიყვანება ერთეული სიგანის აბსოლუტურად დრეკადი რგოლის გაანგარიშებაზე.

შევადგინოთ წონასწორობის პირობა ერთეულოვანი გრძივი ზომის



ნახ. 10.4 — გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდით რქე გარსიანი წყალგადასაშვებების საანგარიშო სქემები (საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით) — ზოგადი სქემა; ბ — ფრაგმენტი.

ელემენტის მიმართ რკალის სიგრძით განიკვეთში  $dl$  (ნახ. 10.4). ეს ელემენტი შემოწერილია  $R$  რადიუსით; კუთხე გარსის ზედაპირის მხებ და ვერტიკალურ ღერძს შორის არის  $\alpha$ ;  $d$  სკალს შეესაბამება კუთხე  $d\alpha$ . გარსის უმომენტობისაგან გამომდინარე საკმარისია შევადგინოთ წონასწორობის ორი განტოლება.

წონასწორობის პირველი პირობა (განტოლება) შეიძლება ჩაიწეროს, რკალის ელემენტის წნევის ძალების  $P$  ტოლქმედის მიმართულებაზე ყველა ძალის პროექციის ნულთან განტოლებით (გარე  $P_g$  და შიგა  $P_s$ ) ე. ი.

$$Pdl - qdl \sin \alpha - T \sin m d \alpha - (T - dT) \sin d \alpha = 0; \quad (10.1)$$

წონასწორობის მეორე პირობა შეიძლება ჩაიწეროს რკალის ელემენტის ცენტრის მიმართ მომენტებს ნულთან განტოლებით, ე. ი.

$$TR \cos m d \alpha - (T + dT) R \cos n d \alpha - q R d l \cos \alpha = 0, \quad (10.2)$$

საიდანაც,  $\cos m d \alpha = \cos n d \alpha = 1$  დაშვებით ვლებულაობ

$$TR \cos m d \alpha - (T + dT) R \cos n d \alpha - q R d l \cos \alpha = 0, \quad (10.3)$$

სადაც  $dT$  არის ძალების ნაზრდი გარსის  $dl$  სიგრძეზე, ხოლო  $T$  - თვით გრძივი ძალეა.

მათემატიკიდან ცნობილი ტოლობის

$$dl = R d \alpha \quad (10.4)$$

გამოყენებით, შეიძლება (10.3) განტოლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$dT = -q R d \alpha \cos \alpha. \quad (10.5)$$

გამოსახულება (10.4) და (10.5) ჩავსვათ (10.1) განტოლებაში და თუ გავიერთვალისწინებთ, რომ

$$\sin \cdot m d \alpha = m d \alpha \text{ და } \sin \cdot n d \alpha = n d \alpha \quad \text{გვექნება}$$

$$P R d \alpha - q R d \alpha \cdot \sin \alpha - T \cdot m d \alpha - (T - q R d \alpha \cdot \cos \alpha) n d \alpha = 0. \quad (10.6)$$

რადგანაც  $n d \alpha + m d \alpha = d \alpha$  და თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $n d \alpha = m d \alpha =$

$$= \frac{d \alpha}{2}, \text{ განტოლება (10.6) შეიძლება გადაიწეროს ასეთი სახით}$$

$$R d \alpha \left( P - q \sin \alpha + q \frac{d \alpha}{2} \cos \alpha \right) = 2 T \frac{d \alpha}{2}, \quad (10.7)$$

საიდანაც  $dl$  ელემენტის რკალის რადიუსი

$$R = \frac{T}{P - q \left( \sin \alpha - \frac{dx}{2} \cos \alpha \right)} \quad (10.8)$$

ნიშანი „—“ (10.3) გამოსახულებაში გვიჩვენებს, რომ განივ ძალეას (დაჭიმულობას) მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს გარსის ზედა ნაწილში, რადგან იქ  $dT=0$ .

(10.8) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ამოზნექილი ნაწილისათვის საჭიროა დაკმაყოფილდეს პირობა  $p > q$ , ხოლო ჩაზნექილისათვის კი პირობა  $p < q$ , როცა  $p = q$ , გარსის სადაწნეო ქიმი (ან გარსის გარკვეული უბანი) კვეთში წარმოგვიდგება სწორი ზახის სახით.

თუ მივიღებთ, რომ  $\cos \alpha = \frac{dy}{dl}$  და (10.3) განტოლებიდან განვსაზღვროთ

$$dT = -q dl \left( -\frac{dy}{dl} \right) = q dy, \quad (10.9)$$

მივიღებთ (ინტეგრირების შემდეგ) განივი დაჭიმულობის გამოსათვლელ ფორმულას

$$T = qy + c; \quad (10.10)$$

ინტეგრირების  $C$  მუდმივს ვპოულობთ შემდეგი პირობიდან გამომდინარე: თუ  $y=0$ ,  $T=T_0$  ანუ  $c=T_0$ , სადაც  $T_0$  არის გარსის ზედა წერტილში გამოთვლილი განივი დაჭიმულობის სიდიდე.

ამგვარად ერთეულ სიგრძეზე მოსული  $T$  დაჭიმულობა წერტილში, ორდინატით  $y$ , იქნება:

$$T = (T_0 + qy) \cos \varphi, \quad (10.11)$$

სადაც  $\varphi$  ის კუთხეა, რომელიც შექმნილია გარსის ზედაპირზე გავლებულ ვიხებსა და ჰორიზონტალურ ღერძს შორის ( $\varphi = 90^\circ + \alpha$ ).

გარსისა და ფლიუტბეტის სიბრტყის შეხების წერტილში დაჭიმულობა  $T_0$  (გარსის  $H_0$  სიმაღლეზე) ტოლია

$$T_0 = (T_0 - qH_0) \cos \varphi_0. \quad (10.12)$$

ამგვარად, იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ დაჭიმულობა გარსის ნებისმიერ წერტილში, აუცილებელია განვსაზღვროთ დაჭიმულობა  $T_0$  მის ზედა წერ-

ტილში. ეს სიდიდე სხვადასხვაა გარსის სხვადასხვა შემდგომი შეესების დროს; ამიტომ ანგარიშს ვიწყებთ რმკ დაძირვის ზოგადი შემთხვევით, სახელდობრ, როდესაც გარსი შეესებულია წყლით და ჰაერით, მასზე ადგილი აქვს წყლის გადაღინებას და ქვედა ბიეფის მხრიდან ის განიცდის ნაწილობრივ დაწნევას.

ა. წყლით და ჰაერით შეესებული გარსიანი წყალსაშებები. თუ განვიხილავთ გარსის ნაწილის წონასწორობას, მოთავსებულს 1—1 კვეთის მარჯვნივ (ნახ. 10,4, ბ), რომელიც გადის გარსის უმაღლეს 0 და ფსკერთან გარსის შეხების D წერტილებზე, მივიღებთ, რომ გარსის ორი შემდგენით დამაგრებისას

$$T_E + (T_E - qH_E \cos \varphi_E) = \frac{(2P_0 + \gamma_0 h_1) h_1 + [2P_0 + 2\gamma_0 h_1 + \gamma_1 (H_E - h_1)] (H_E - h_1)}{2} - \frac{\gamma_2 z_0 h_{2\text{ფ}} - \gamma_3 (H_E - h_{2\text{ფ}})}{2}, \quad (10.13)$$

ან კიდევ, გარდაქმნის შემდეგ,

$$T_E = \frac{2P_0 H_E + 2\gamma_0 H_E h_1 - \gamma_0 h_1^2 + \gamma_1 H_E^2 - 2\gamma_1 H_E h_1 + \gamma_1 h_1^2}{2(1 + \cos \varphi_E)} \rightarrow \rightarrow \frac{-\gamma_2 z_0 h_{2\text{ფ}} - \gamma_3 H_E^2 + 2\gamma_3 H_E h_{2\text{ფ}} - \gamma_3 h_{2\text{ფ}}^2 + 2qH_E \cos \varphi_E}{2}. \quad (10.14)$$

თუ გარსი დამაგრებულია ერთი მდგენელით, ე. ი. როცა  $\varphi_E = 0$ , გვექნება:

$$T_E = \frac{2P_0 H_E + 2\gamma_0 H_E h_1 - \gamma_0 h_1^2 + \gamma_1 H_E^2 - 2\gamma_1 H_E h_1 + \gamma_1 h_1^2 - \gamma_2 z_0 h_{2\text{ფ}} - \gamma_3 H_E^2 +}{2} - \frac{2\gamma_3 H_E h_{2\text{ფ}} - \gamma_3 h_{2\text{ფ}}^2 + 2qH_E}{2}. \quad (10.15)$$

ზემოთ მოყვანილ ყველა ტოლობაში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:  $H_E$  — წყალსაშების სიმაღლე;  $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  — მოცულობითი მასები, შესაბამისად, ჰაერის გარსში წყლის და სითხის ზედა და ქვედა ბიეფებში;  $h_1$  — გარსის სიმაღლის ნაწილი, რომელიც შეესებულია ჰაერით;  $Z_0$  — წყალგადასაშვების ქიმზე ჰიდროდინამიკური დაწნევა;  $h_{2\text{ფ}}$  — გარსის სიმაღლესა და ქვედა ბიეფის წყლის სიღრმეს შორის სხვაობის ფიქტიური სიდიდე;  $\varphi_E$  — კუთხე გარსის მხებსა ( $D$  წერტილში) და ფლიუტბეტს შორის. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ სიდიდე  $h_{2\text{ფ}}$  დამოკიდებულია შემდგომის და გამოდინების სახეზე.

ასე, მაგალითად, დაუძირავი გამოდინების შემთხვევაში  $h_{\text{ფ}} = H_{\text{ფ}} - (0,535 \div 1,03)h''_{\text{ფ}}$ ; გარსის წყალ-ჰაერით შეესებებისას  $h_{\text{ფ}} = H_{\text{ფ}} - (0,37 \div 0,74)h''_{\text{ფ}}$  და გარსის ჰაერით შეესებებისას  $h_{\text{ფ}} = H_{\text{ფ}} - (0,51 \div 0,86)h''_{\text{ფ}}$ . ამ გამოსახულებებში  $h''_{\text{ფ}}$  არის ქვედა ბიფფის წყლის შექტმშული კვეთის შეუღლებული სიღრმე.

ბ) გარსის განივი პროფილის აგება, როდესაც გარსი შეესებებულია წყლით და ჰაერით. ამ შემთხვევაში გრაფიკულ-ანალიზური მეთოდით გარსის პროფილის აგების მსვლელობა ასეთია. გარსი სიმაღლეზე დაიყოფა ისეთ ერთნაირ  $n$  უბნებად (პრაქტიკულად უფრო მოხერხებულია ასეთი დაყოფა მოხდეს  $5 < n \leq 15$  ნაწილად), რომელთა ფარგლებში გარსის სიმრუდის რადიუსი მიიღება როგორც მუდმივი სიდიდე; ამ შემთხვევაში გარსის კვეთი შეიქმნება წრეხაზის რიგი რკალების (2  $n$ -ის) ურთიერთშერწყმით. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ნებისმიერი  $i$ -ური უბნისათვის შეიძლება დავწეროთ

$$R_i = \frac{T_i}{p - q \left( \sin \alpha_i - \frac{\Delta z}{2} \cos \alpha_i \right)}, \quad (10.16)$$

სადაც  $T_i = T_{i-1} - qR_{i-1} \cdot \Delta z \cdot \cos \alpha_i$ . (10.17)

გარსის პროფილის აგება იწყება გარსის ქიმიდან—ცალ-ცალკე მარცხენა და მარჯვენა ნაწილებისათვის; ამ მიზნით (10.16) განტოლებიდან გამოითვლება  $R_1$  სიდიდე ყველაზე მაღალი უბნისათვის (იმ დაშვებით, რომ

$$T_1 = T_5):$$

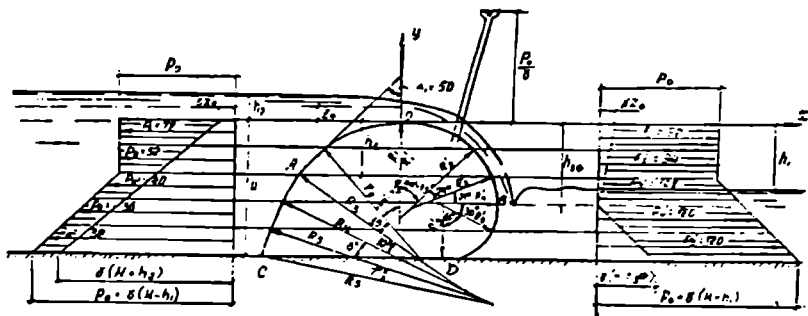
$$R_1 = \frac{T_1}{P - q \left( \sin \alpha_1 - \frac{\Delta a}{2} \cos \alpha_1 \right)} \quad (10.18)$$

$R_1$  რადიუსი, რომელიც გადაიზომება ვერტიკალზე  $O$  წერტილიდან ქვემოთ (ნახ. 10.5), პირველი უბნის ქვედა საზღვრის გადაკვეთამდე გავივლება წრის მრუდი. შემდეგ, პირველი უბნის ანალოგიურად, მეორე უბნისათვის გამოითვლება განივი ძაბვა

$$T_2 = T_1 - qR_1 \cdot \Delta a \cdot \cos \alpha_2 \quad (10.19)$$



და მისი მოხაზვის  $R_2$  რადიუსი, და ა. შ., ხოლო თითოეული უბნის რკალის-სიგრძე  $\Delta l_j = \Delta \sigma R_j$ .

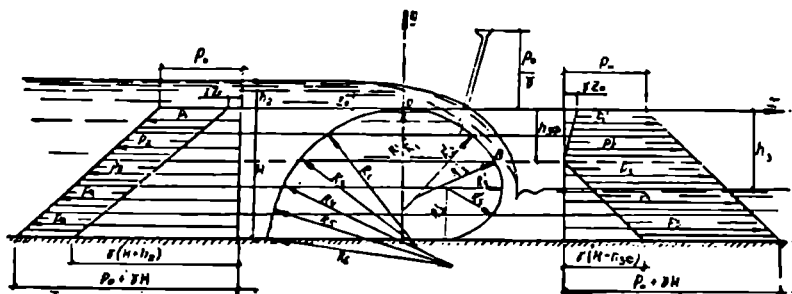


ნახ. 10.5 — წყლითა და ჰაერით შევსებული გარსის აგების საანგარიშო სქემა.

ამ შემთხვევაში გარსის საერთო პერიმეტრი შედგება მისი მარჯვენა და მარცხენა ნაწილების პერიმეტრებისაგან და აგრეთვე ჩამაგრების წერტილებს შორის გაზომილი  $L$  მანძილით, ე. ი.

$$L = l_{oc} + l_{ox} + |X_c| + |X_x|. \quad (10.20)$$

გ. წყლით შევსებული გარსიანი წყალსაშვის ორი მდგენელით ჩამაგრებისას (ნახ. 10.6)  $T_b$  სიდიდე გამოითვლ-



ნახ. 10.6 — წყლით შევსებული გარსის აგების სქემა.

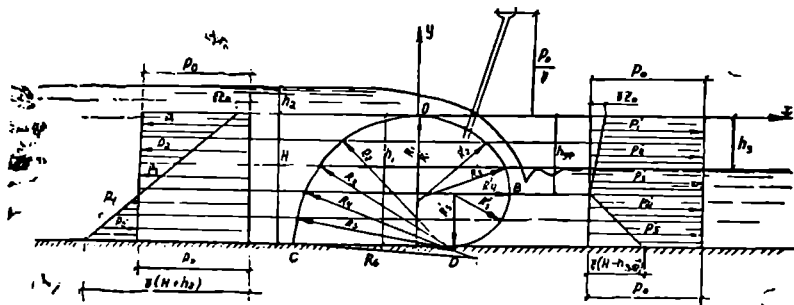
ბა განტოლებით

$$T_b = \frac{2P_0 H_b - \gamma_2 z_0 h_{2\text{ვ}} + \gamma_1 H_b^2 - \gamma_3 H_b^2 + 2\gamma_3 H_b h_{2\text{ვ}} - \gamma_2 h_{2\text{ვ}}^2 + 2q H_b \cos \varphi_b}{2(1 + \cos \varphi_b)} \quad (10.21)$$

ხოლო წყალსაშვის ერთი მდგენელით ჩამაგრებისას, ე. ი. როცა  $\varphi_b = 0^\circ$ , გვექნება

$$T_b = \frac{P_0 H_b}{2} - \frac{\gamma_2 z_0 h_{3\text{ვ}}}{4} + \frac{\gamma_1 H_b^2}{4} - \frac{\gamma_3 H_b^2}{4} + \frac{\gamma_3 H_b h_{3\text{ვ}}}{2} - \frac{\gamma_3 h_{3\text{ვ}}^2}{4} + \frac{q H_b}{2} \quad (10.22)$$

დ. ჰაერით შევსებული გარსიანი წყალსაშვისათვის ( $h_1 = H_b$ ), როცა გარსი დამაგრებულია ორი მდგენელით,  $T_b$  გამოსათვლელად ვღებულობთ შემდეგ დამოკიდებულებას (ნახ. 10.7):



ნახ. 10.7 — ჰაერით შევსებული გარსის აგების სქემა.

$$T_b = \frac{2P_0 H_b - \gamma_2 z_0 h_{3\text{ვ}} - \gamma_3 H_b^2 + 2\gamma_3 H_b h_{3\text{ვ}} - \gamma_3 h_{3\text{ვ}}^2 + 2q H_b \cos \varphi_5 + \gamma_0 H_b^2}{2(1 + \cos \varphi_5)} \quad (10.23)$$

ხოლო წყალსაშვის ერთი მდგენელით ჩამაგრებისას, ე. ი. როცა  $\varphi_5 = 90^\circ$ , გვექნება

$$T_b = \frac{P_0 H_b}{2} - \frac{\gamma_2 z_0 h_{3\text{ვ}}}{4} - \frac{\gamma_3 H_b^2}{4} + \frac{\gamma_3 H_b h_{3\text{ვ}}}{2} - \frac{\gamma_3 h_{3\text{ვ}}^2}{4} + \frac{\gamma_0 H_b^2}{4} + \frac{q H_b}{2} \quad (10.24)$$

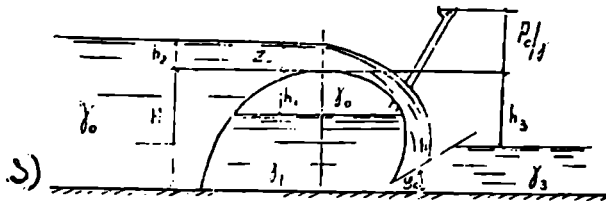
იმასთან დაკავშირებით, რომ ჰაერის მოცულობითი მასა უმნიშვნელოა წყლის მოცულობით მასასთან შედარებით, ეს განტოლება შეიძლება გადაიწეროს ასე

$$T_b = \frac{2P_0 H_b - \gamma_2 z_0 h_{3\text{ვ}} - \gamma_3 H_b^2 + 2\gamma_3 H_b h_{3\text{ვ}} - \gamma_3 h_{3\text{ვ}}^2 + 2q H_b}{4} \quad (10.25)$$

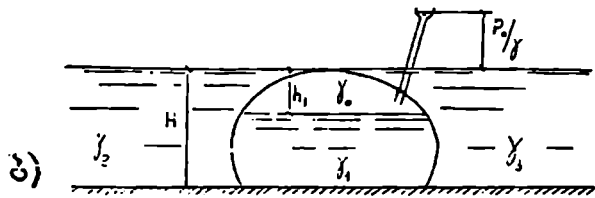
10.5 ÷ 10.7 ნახ.-ზე მოცემული გრაფიკების განხილვიდან ჩანს, რომ ყველა ამ საში შემთხვევისათვის განივი პროფილის აგება ერთნაირია. ამას გარდა, ძირითადი (10.14) განტოლებიდან შეიძლება მივიღოთ  $T_b$ -ს მნიშვნელობა ნებისმიერი დატვირთვისათვის, რომელიც გარსზე მოქმედებს.

გარსის დაძირულობის ზოგიერთი სქემა და  $T_b$ -ს გამოსათვლელი საანგარიში განტოლებები მოცემულია 10.8 ნახ.-ზე. თუ (10.14) განტოლებაში მივიღებთ  $q = 0$ , მაშინ შეიძლება მივიღოთ  $T$ -ს გამოსათვლელი გამო-

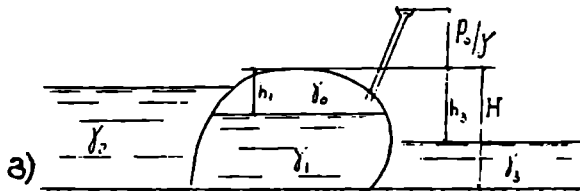
$$T_b = \frac{2\delta_0 H - 2\delta_0 h_1 h_2 - \delta_0^2 h_1^2 - \delta_0^2 h_2^2 - 2\delta_0 H h_1 + \delta_0^2 h_1^2 - \delta_0^2 h_2^2 - \delta_0^2 H^2 - 2\delta_0^2 h_1 h_2 - \delta_0^2 h_2^2 + 2qH \cos \vartheta_s}{2(1 + \cos \vartheta_s)}$$



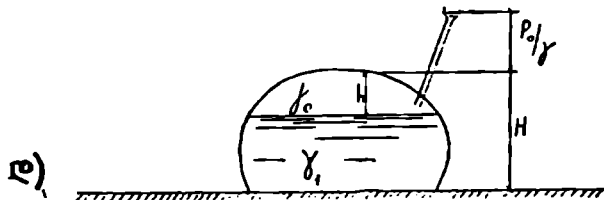
$$T_b = \frac{2P_0 H - \delta_0 h_1^2 + 2\delta_0 H h_1 + \delta_0 H^2 - 2\delta_0 H h_1 + \delta_0^2 h_1^2 + \delta_0^2 H^2 - 2qH \cos \vartheta_s}{2(1 + \cos \vartheta_s)}$$



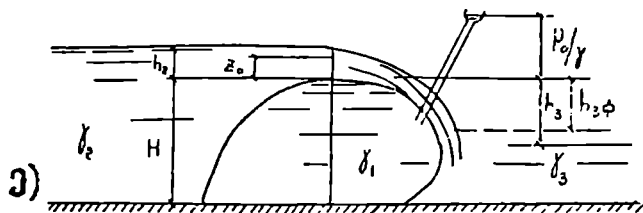
$$T_b = \frac{2P_0 H - \delta_0 h_1^2 + 2\delta_0 H h_1 + \delta_0 H^2 - 2\delta_0 H h_1 + \delta_0^2 h_1^2 + \delta_0^2 H^2 + 2\delta_0 H h_3 - \delta_0^2 h_3^2 + 2qH \cos \vartheta_s}{2(1 + \cos \vartheta_s)}$$



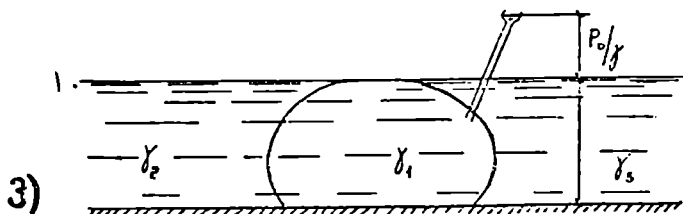
$$T_b = \frac{2P_0 H - \delta_0 h_1^2 + 2\delta_0 H h_1 + \delta_0 H^2 - 2\delta_0 H h_1 + \delta_0^2 h_1^2 + \delta_0^2 H^2 + 2qH \cos \vartheta_s}{2(1 + \cos \vartheta_s)}$$



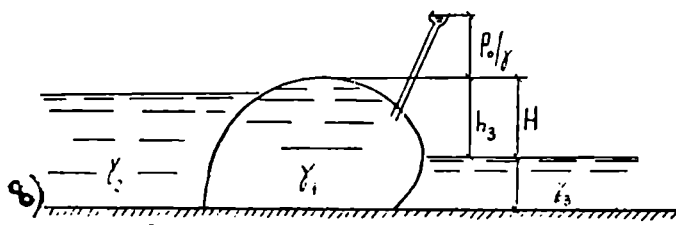
$$T_b = \frac{2P_0 H - \sigma_2 z_0 h_{3p} + \sigma_1 H^2 - \sigma_3 H^2 + 2\sigma_3 H h_{3p} - \sigma_3 h_{3p}^2 + 2q H \cos \vartheta_5}{2(1 + \cos \vartheta_5)}$$



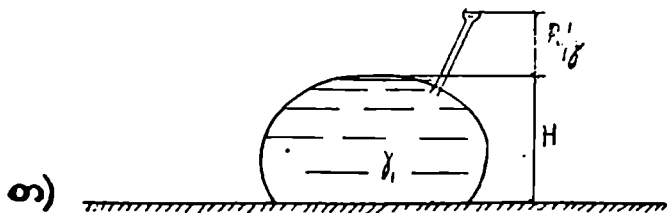
$$T_b = \frac{2P_0 H + 2q H \cos \vartheta_5 + \sigma_1 H^2 - \sigma_3 H^2}{2(1 + \cos \vartheta_5)}$$



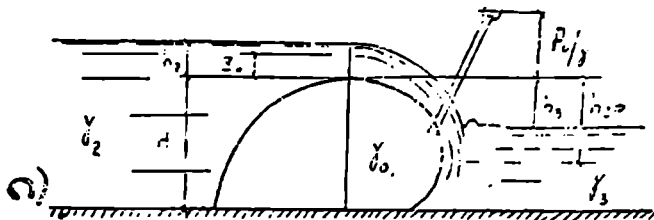
$$T_b = \frac{2P_0 H + \sigma_1 H^2 - \sigma_3 H^2 + 2\sigma_3 H h_3 - \sigma_3 h_3^2 + 2q H \cos \vartheta_5}{2(1 + \cos \vartheta_5)}$$



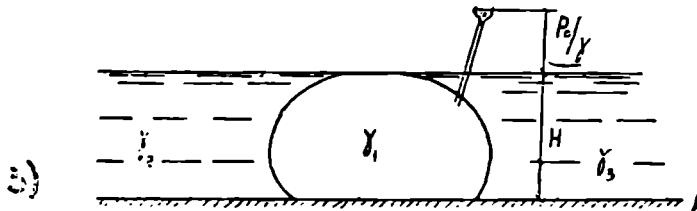
$$T_b = \frac{2P_0 H - \sigma_1 H^2 + 2q H \cos \vartheta_5}{2(1 + \cos \vartheta_5)}$$



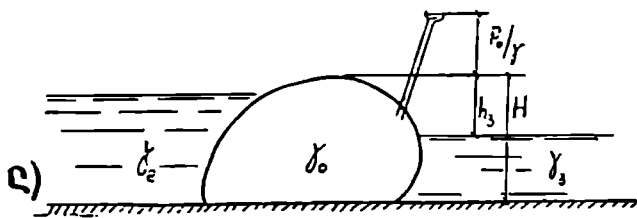
$$T_b = \frac{2P_0 h - \rho_2 \gamma_0 h^2 - \rho_3 H^2 + 2\rho_3 H h_3 - \rho_3 h^2 + \rho_0 H^2 + 2q H \cos \varphi_5}{2(1 + \cos \varphi_5)}$$



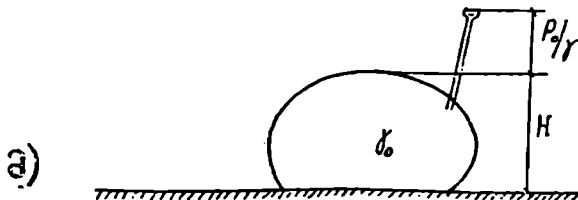
$$T_b = \frac{2P_0 H + \rho_0 H^2 - \rho_3 H^2 + 2q H \cos \varphi_5}{2(1 + \cos \varphi_5)}$$



$$T_b = \frac{2P_0 h + \rho_1 H^2 - \rho_3 H^2 + 2\rho_3 H h_3 - \rho_3 h^2 + 2q H \cos \varphi_5}{2(1 + \cos \varphi_5)}$$



$$T_b = \frac{2P_0 H + \rho_0 H^2 + 2q H \cos \varphi_5}{2(1 + \cos \varphi_5)}$$



ნახ. 10.8 — გარსების დაძირვის ზოგიერთი მახასიათებელი სქემა და მათთვის  $T_b$  სიდიდის გამოსათვლელი ფორმულები.

სახულება გარსის საკუთარი წონის გაუთვალისწინებლად; ასე, მაგალითად, გარსის ორი მდგენელით დამაგრებისას

$$T = \frac{2P_0 H_8 + 2\gamma_0 H_8 h_1 - \gamma_1 h_1^2 - \gamma_2 z_0 h_{3\text{ფ}} + \gamma_1 H^2 - \gamma_3 H^2 + 2\gamma_3 H_8 h_{3\text{ფ}} - \gamma_3 h_{3\text{ფ}}^2}{2(1 + \cos\varphi_8)} - \gamma_1 h_1^2 - 2\gamma_1 H_8 h_1, \quad (10.26)$$

ხოლო ერთი მდგენელით ჩამაგრებისას, ე. ი. როცა  $\varphi_3 = 0$ ,

$$T = \frac{2P_0 H_8 + 2\gamma_0 H_8 h_1 - \gamma_0 h_1^2 - \gamma_2 z_0 h_{3\text{ფ}} + \gamma_1 H^2 - \gamma_3 H^2 + 2\gamma_3 H_8 h_{3\text{ფ}}}{4} \rightarrow \gamma_3 h_{3\text{ფ}}^2 - 2\gamma_1 H_8 h_1 + \gamma_1 h_1^2. \quad (10.27)$$

$T_8$  და  $R$ -სათვის მიღებული გამოსახულებების დახმარებით და ზემოთ მოყვანილი მეთოდის მიხედვით შეიძლება ავაგოთ გარსის განივი პროფილი გარე და შიდა დატვირთვების ნებისმიერი შერწყმისათვის, საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით ( $q=0$ ) და მის გარეშე ( $q=0$ ).

ჩატარებული გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ მასალის საკუთარი წონის მხედველობაში მიღების გაუთვალისწინებლობით გამოწვეული ცთომილების სიდიდე დამოკიდებულია ჰარბი წნევის სიდიდის ფარდობაზე გარსის 1 მ<sup>2</sup> წონასთან  $\frac{P_0}{\gamma}$ , შეესების საწყის ხარისხზე ან  $\frac{T^2}{\gamma H_8}$  ფარდობაზე, გარსის შემგვსებლის სახეზე, გარე დატვირთვაზე და იცვლება 2—3%-დან, როდესაც  $\frac{P_0}{\gamma} \geq 19$ , 15—75%-მდე ფარგლებში, როცა  $\frac{P_0}{\gamma} < 2$ -ზე.

### § 10.3. რბილი კონსტრუქციების გარსის მასალაში

რბილი კონსტრუქციების გარსების დასამზადებელ მასალებს აუცილებელია ჰქონდეთ საკმარისი სიმტკიცე, გააჩნდეთ წყალ და ჰაერგაუმტარებლობის თვისებები და იყვნენ საკმაოდ დრეკადნი.

სიმტკიცე აუცილებელია გარსში წარმოქმნილი ძაბვების თავის თავზე მისაღებად. წყალ და ჰაერშეუღწევადობა თავიდან გვაცილებს გარსიდან წყლის და ჰაერის გაჟონვას, რის გამოც შენარჩუნებულია მასში საჭირო ჰარბი წნევა. დრეკადობა უზრუნველყოფს გარსის მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ეფექტური გამოყენების პირობას, მის თავისუ-

ფალ დახვევას, გაშლას და ჩაწყობას მასალის გატეხვისა და დახეთქვის გარეშე. ამ უკანასკნელ თვისებას პასუხობს პოლიმერული აფსკები და საფეიქრო ქსოვილები, მაგრამ ცალკე თავისი საწყისი სახით ისინი გარსის რბილი კონსტრუქციების დასამზადებლად ნაკლებად ხელსაყრელია, აფსკები არასაკმარისად მტკიცეა, ქსოვილი ატარებს წყალს და ჰაერს.

მტკიცე წყალჰაერგაუმტარი მასალები შეიძლება მივიღოთ, თუ მოვახდენთ აფსკის დაარმატურებას მტკიცე ბადით ან ცალკეული ძაფებით, ან უშუალოდ პოლიმერული აფსკის ქსოვილზე მიერთებით. ეს საშუალებანი გვაძლევენ მასალის ორ ძირითად სახეს—დაარმატურებულ აფსკს და წყალ-ჰაერშეუღწევ ქსოვილს. დაარმატურებულ აფსკებზე მოქმედი ძალები აფსკზე და დაარმატურებულ ფენაზე განაწილებულია სხვადასხვა თანაფარდობით. ასეთი აფსკები მზადდება აფსკის ერთი ან ორი ფენის დუბლირების (დაწებების, შედუღების) გზით დასაარმატრებელ ფენასთან.

წყალ-ჰაერშეუღწევ ქსოვილებში ძირითად როლს ასრულებს ქსოვილი, რომელიც გაუღენთილია ან დაფარულია პოლიმერული ფენით და რომელიც უნარჩუნებს აფსკებს წყალ და ჰაერშეუღწევ თვისებებს. აგრეთვე იცავს მას გარემოს ზემოქმედებისაგან და მექანიკური დაზიანებისაგან, ასეთი ქსოვილები შეიძლება იყოს ერთ, ორ ან ნაწევალფენოვანი. გარსების მასალად შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე თხელი ლითონის ფურცლები.

კონსტრუქციის მუშაობის კონკრეტული პირობებისაგან დამოკიდებულებით ასეთ მასალებს წაყენებული აქვთ სხვადასხვა მოთხოვნები: ცვეთამედევობა, დეფორმირების შეზღუდვის უნარი, მედეგობა ქიმიურად აქტიური ნივთიერებების მიმართ და სხვა.

მასალის ხანგამძლეობის მიმართ მოთხოვნა განისაზღვრება დასაპროექტებელი რბილი კონსტრუქციის მუშაობის ხანგრძლივობით და ეკონომიური მოსაზრებებით.

#### § 10.4. გარსების კონსტრუქცია და დაზაღების ტექნოლოგია

გარსი, დამზადებული თუნდაც ყველაზე მტკიცე და ხანმედეგი მასალისაგან, არ იქნება ჯერ კიდევ რაიმე კონსტრუქცია, რომ შეასრულოს გარკვეული ტვირთმზიდაობა. ამისათვის გარსში აუცილებლად უნდა შეიქმნას ქარბი წნევა სხვადასხვა შემვსების ხარჯზე, რომლებიც გარსთან ერთად შეადგენენ რბილ შემვსებულ კონსტრუქციას. ყველაზე გავრცელებული შემვსებელია ჰაერი და წყალი, რომელიც გამოიყენება როგორც ცალკე, ასევე ერთად.

ამა თუ იმ შემავსებლის გამოყენება ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ნაკარნახევია მუშაობის კონკრეტული პირობით, შესაბამისი მოწყობილობით და ეკონომიური მოსაზრებით. ასე, მაგალითად, გარსის წყლით შევსებისას რბილი კონსტრუქცია უფრო მდგრადია მუშაობისას, ნაკლები ვიბრა-

კაა გააჩნია, მაგრამ წყლის გადაღინებისას ზარჯის კოფიციენტი რამდენადმე მცირეა, ვიდრე მაშინ, როცა გარსი ჰაერით არის შევსებული; ამასთან, ზამთრის პირობებში გარსის სიმალლის რეგულირება შეუძლებელია, როცა ის წყლით არის შევსებული. ზედა ბიფეში წყლის დონის ზუსტად რეგულირებისათვის უპირატესობა ეძლევა ჰაერით შევსებულ გარსებს; წყლის და ჰაერის კომბინაცია, როგორც შემესები, საშუალებას გვაძლევს უფრო სრულყოფილად გამოვიყენოთ ორივე შემესების დადებითი და შევამციროთ მათი უარყოფითი თვისებები.

რბილი შევსებული კონსტრუქციის (რშკ) დამზადება გამოიხატება წინასწარ გამოჭრილი ქსოვილის ინჰერების მიერთებაში. დამზადების დროს ტექნოლოგია, ძირითადად, მასალის სახეზეა დამოკიდებული. რადგანაც გარსის და თვით კონსტრუქციის დამზადებისას ძირითად ელემენტებად ითვლება სამონტაჟო და ქარხნული ნაკერები, შევჩერდეთ მათზე უფრო დაწვრილებით.

ქსოვილის ის სიგანე, რომელიც ქსნის გარსს ან მის სექციას, შეერთებულია ქარხნული ნაკერით. ქარხნულ ნაკერს წაეყენება შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები: სიმტკიცე და დრეკადი დეფორმირება, გარსის მასალას უნდა ახასიათებდეს წყალ და ჰაერშეუღწევადობა, გარემოსადმი მდგრადობა და წინაღობის გაწევის უნარი, ქიმიური აგრესიისა და მზის რადიაციის მიმართ მდგრადობა, ეკონომიური და ტექნოლოგიური უპირატესობა.

სამონტაჟო ნაკერები გამოიყენება გარსის ცალკეული სექციების დასაკავშირებლად. ისინი ყველა შემოჩამოთვლილი თვისების გარდა კონსტრუქციულად იმდენად მარტივი უნდა იყოს, რომ შესაძლებელი გახდეს სექციების სწრაფი შეერთება და დაშლა.

ქარხნული ნაკერები იყოფა შეწებებულ, შეწებებულ-გაკერილ, გაკერილ და შედუღებულ ნაკერებად (ნახ. 10,9). შეწებებულმა და შეწებებულ-გაკერილმა შეერთებამ მიიღო გავრცელება გარეზინიანებული ქსოვილებით გარსის აგებისას.

შეწებებული ნაკერები (ნახ. 10,9, ა) ჰერმეტიულია, მაგრამ სუსტია და გამოიყენება ნაკლებად დაძაბულ კონსტრუქციებში. შეწებებული ნაკერის სიმტკიცის გაზრდა შესაძლებელია ისეთი წებოების გამოყენებით, რომლებიც შედგენილობით ახლოს დგანან დამკველი ფენის მასალასთან.

თვით ვულკანიზებული წებოს (ცივი გამაგრებით) გვაძლევს ნაკლები სიმაგრის შეერთებას ცხლად ვულკანიზებულ წებოსთან შედარებით. წებოს ნაკერები ატმოსფერული და სითბომედგობის მიმართ შედარებით ნაკლები წინააღმდეგობით ხასიათდება (არაუმეტეს 60—80°C), რის შედეგადაც ხშირად ადგილი აქვს ნაკერების ფენებად დაშლას და ჰერმეტიული ლენტის მოწყვეტას.

შეწებებულ-გაკერილი ნაკერები (ნახ. 10,9, დ) გამოიყენება გარსის დასამზადებლად მაღალი სიმტკიცის მასალისაგან. გაკერვის წინ შესაერ-



თებელ ნაწილებს აწებებენ, რაც ხელსაყრელ პირობას ქმნის გაკერვისას და ზრდის ნაკერის ჰერმეტიზაციას. ასეთი ნაკერები, მართალია, ძვირი ჯდება და შრომატევადია, მაგრამ უფრო საიმედოა, ვიდრე მხოლოდ შეწებებული.

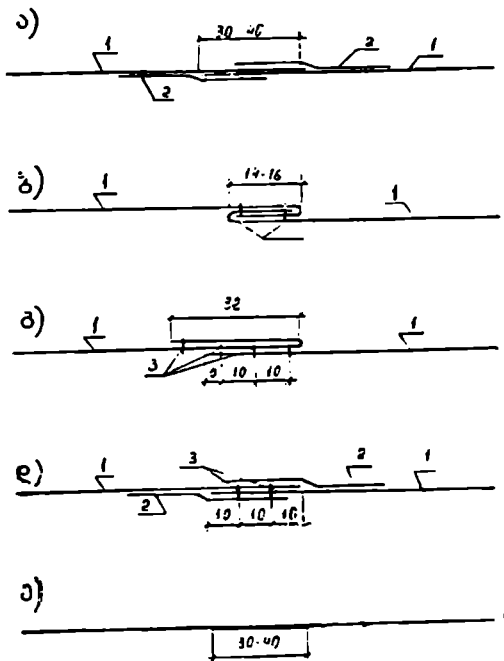
გაკერილი შეერთებებიდან ყველაზე გავრცელებულია ზედდებითი (ნახ. 10.9, გ) და ბოქლომისებური (სურ. 10.9, ბ) ნაკერები.

მათი უპირატესობა, დაწებებულ-გაკერილ შეერთებასთან შედარებით, არის გაკერვის დიდი სისწრაფე მრავალნემსიანი მაქანების გამოყენების დროს და ნაკლებშრომატევადობა. ასეთი ნაკერების უარყოფითი მხარეა გრძელი ნაკერების ერთმანეთზე ზედდების სირთულე, აუცალბებელია ნემსის გაციება, ნაკლებად ჰერმეტიულია შეწებებულთან და შედუღებულთან შედარებით. ამიტომ გაკერილი შეერთებები საჭიროებს ატმოსფერომედეგა ძაუების გამოყენებას ან სპეციალურ დასაცავ მოწყობილობას მათი უარყოფითი ზემოქმედების თავიდან ასაცლებლად. ამ მიზნით გამკაცრ შეერთებებზე უსვამენ სპეციალური შედგენილობის საცხს (ნახ. 10.9, გ, დ).

განაკერი შეერთებები ჩვეულებრივ ხორციელდება ორ ხაზად. მისი სიმტკიცე დაახლოებით გარსის ძირითადი მასალის 30—40% -ს შეადგენს.

შედუღებულ შეერთებას (ნახ. 10.9, ე) აქვს უფრო მაღალი კონსტრუქციული თვისებები, მაგრამ მოითხოვს სპეციალურ მოწყობილობებს. 10.2 ცხრილში ნაჩვენებია საზღვარგარეთული წარმოების გარსების კონსტრუქციები და მათი სიმტკიცე ბოქლომისებური, განაკერი და შედუღებითი შეერთებებისათვის.

15. ბ. ჩიკვაშვილი



ნახ. 10.9 — ქარხნული წესით შესრულებული ნაკერების სხვადასხვა სახე: ა—შეწებებული ნაკერი; ბ—ბოქლომისებური ნაკერი; გ—ზედნადები ნაკერი; დ—შეწებებულ-გაკერილი ნაკერი; ე—შედუღებული ნაკერი.

უსვამენ სპეციალური შედგენილობის საცხს

ნაყერის საზე	მაჩვენებლები		
	მასალის სიმტკიცე მის საფუძველებზე კგძ/5 სმ	ნაყერის სიმტკიცე კგძ/5 სმ	ნაყერის ღარდობითი სიმტკიცე % -ობით
ბოქლომისებური	134	73	39,6
„—“	260	90	34,6
განაყერი	235	85	30,0
შედულებული	250	135	94,0

განაყერი შეერთების სიმტკიცე დამოკიდებულია თვით მასალის სიმტკიცეზე, ნაყერთა რაოდენობასა და მათ შორის მანძილზე, დალიანდაგების ზომებსა და ნემსის სისქეზე, პირგადაღების სახესა და სიგანეზე, გარსის დაძაბულობაზე.

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ იმ მასალებისათვის, რომელთათვისაც სიმტკიცე მეთია 8 ტძ/მ-ზე, ნაყერის სიმტკიცეზე გავლენას ახდენს განაყერთა მწკრივის რაოდენობა და ძაფების ხარისხი. ამასთან დამტკიცებულია, რომ განაყერთა მწკრივის რიცხვთა გადიდებით ნაყერის დარღვევის ბუნება იცვლება. თავდაპირველად ნაყერის სიმტკიცე დიდდება თითქმის მათი რიცხვის პროპორციულად, ხოლო ნაყერის დარღვევა წარმოებს მხოლოდ განაყერი მწკრივის მთლიანობის დარღვევით. ნაყერთა მწკრივის რაოდენობის შემდგომი ზრდით, განსაკუთრებით ისეთი მასალების შეერთებისას, რომელთა სიმტკიცე 4—5 ტძ/მ-ია, ნაყერის სიმტკიცე პრაქტიკულად უცვლელი რჩება.

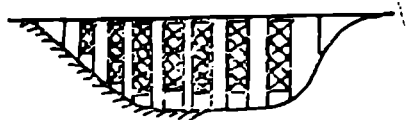
სამონტაჟო ნაყერებს აპროექტებენ გარსის ფორმის, ზომების კონსტრუქციული თავისებურებების გათვალისწინებით და ნაგებობის დანიშნულების მიხედვით. გამოყენებაშია სამონტაჟო ნაყერების შემდეგი სახეები: მარყუჟისებრი, შესაკრავის სახის, „ელვა“ და ზედდებული.

ქარხნული წესით დამზადებული გარსის ან მისი ცალკეული სექციის ქსოვილს ახვევენ სპეციალურ დოლზე, აწყობენ ყუთებში და აგზავნიან რბილი კონსტრუქციის აგების ადგილზე.

### § 10.3. ლითონის კაშხალაჟი

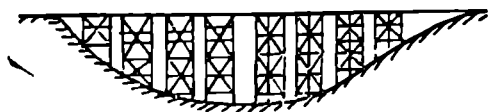
პრაქტიკაში ლითონის კაშხალაჟი არც თუ ისე ხშირად გამოიყენება. რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, საბჭოთა კავშირში, კერძოდ საქართველოში, ერთადერთი ლითონის კაშხალი აშენდა ყარაიაზის სარწყავი სისტემის სათავის ნაგებობათა კვანძში (მდ. მტკვარზე). ცნობილია აგრეთვე საზღვარგარეთ აშენებული ლითონის სამი კაშხალი, სახელდობრ: აშ-ფორ-

კის (ნახ. 10.10), ხოუსერ-ლეიკის და რედრიჯის (ნახ. 10.11). ყველა ეს კაშხალი კონტრფორსული ტიპისაა, რომელთა კონტრფორსები წარმოადგენენ ბრტყელ გამჭოლ ფერმებს დახრილ-დაწნევიანი წახნაგებით, ხოლო მათი გადახურვა კი — ბრტყელი საკეტების შემოკერის ანალოგიურია.



ნახ. 10.10 — ამ-ფორკის ტიპის ლითონის კაშხალი.

ლითონის კაშხალებში კონტრფორსების სხვადასხვა ტიპს განასხვავებენ. ამათგან ყველაზე მარტივია უ. წ. „დონიჯისებური“ კონტრფორსები (10.12), რომლებიც მუშაობენ მხოლოდ მკუმშავი ძალების ზემოქმედებით.



ნახ. 10.11 — რედრიჯის ტიპის ლითონის კაშხალი.

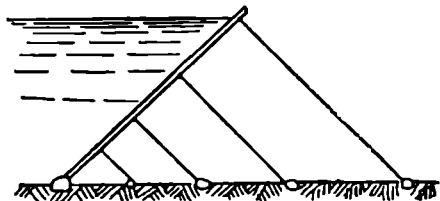
ლითონის კაშხალებს, მასიურ კაშხალებთან შედარებით, აქვს როგორც უპირატესობა, ასევე უარყოფითი მხარეები.

ლითონის კაშხალების უპირატესობა შემდეგში მდგომარეობს:

- ა) მასალის მექანიკური თვისება გამოიყენება უფრო სრულყოფილად;
- ბ) ასეთი კაშხალების გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს საკმაოდ დიდი სიზუსტით და ამიტომ განსახილველ შემთხვევაში სიმტკიცის მარჯავი აღება უმნიშვნელო;



- გ) ლითონის კაშხალის აშენება შეიძლება განხორციელდეს საკმაოდ სწრაფად, რადგანაც ყველა კონსტრუქციული ელემენტი შეიძლება დამზადდეს წინასწარ ქარხანაში, შემოტანილ იქნეს მშენებლობის ადგილზე და იქვე დამონტაჟდეს.



ნახ. 10.12 — ლითონის კაშხალის კონტრფორსის ტიპური სქემა.

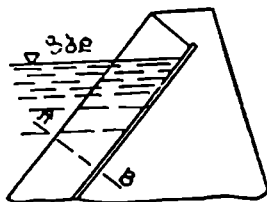
- დ) კაშხალის ღირებულება შედარებით მცირეა;
- ე) კაშხალი შეიძლება აშენდეს ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში და წელიწადის ნებისმიერ დროს;

ლითონის კაშხალის უარყოფით მხარეებს მიეკუთვნება:

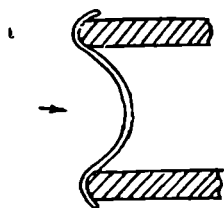
- ა) ექსპლუატაციის პერიოდში განსაკუთრებული ღონისძიების შიღება, რათა არ მოხდეს ლითონის დაცვენა;

ბ) ლითონის დიდი რაოდენობით ხარჯვა, რომელიც გარკვეულ პირობებში შეიძლება უფრო მეტად საჭირო იყოს სხვა დანიშნულებისათვის, ვიდრე მოცემულ შემთხვევაში;

გ) კაშხლის დაანკრების აუცილებლობა, რაც შესაძლებელია მხოლოდ დამზოლოდ საიმედო კლდოვანი ფუძის შემთხვევაში ან საჭიროა, ამ მიზნით მოეწყოს მასიური რკინაბეტონის საძირკვლის ფილა.



ახათი A-B



ნახ. 10.13 — კონტრფორსული კაშხალი ლითონის მოქნადი გადახურვით.

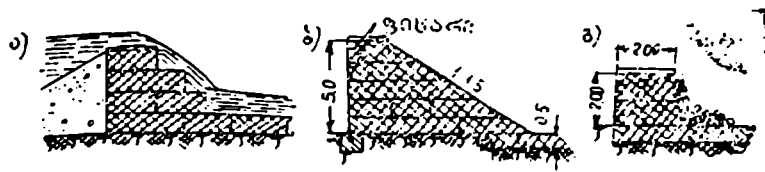
მიუხედავად ზემოთ ჩამოთვლილი მთელი რიგი დადებითი თვისებებისა, უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში ამ ტიპის კაშხალები თითქმის არცერთ ქვეყანაში არ აშენებულა. სწორედ ამიტომ, რომ უკანასკნელ პერიოდში ცდილობენ ლითონის კაშხალების ნაცვლად დააპროექტონ ბეტონის კონტრფორსებიანი ლითონის კაშხალები. მაგალითისათვის 10.13 ნახ.-ზე ნაჩვენებია კაშხალი, რომლის ბეტონის (ან კიდევ რკინაბეტონის) კონტრფორსებს შორია მოთავსებული მალი გადახურულია ფურცლოვანი ლითონით და უკუთაღის მსგავსად მუშაობს მხოლოდ გაჭიმვაზე.

### § 10.8. გაბიონის და ფიჩხონური ტიპის კაშხალები

1. გაბიონის კაშხალების მშენებლობა მიზანშეწონილია ისეთ მთის მდინარეებზე, რომელთა ფსკერი ხრეშოვან-კენჭოვანი შენაერთებისაგან შედგება და როდესაც განსახილველ რაიონში არ მოიპოვება მსხვილი ქვები ნაყარი ქვის ან კიდევ მშრალად ქვის წყობის კაშხალების ასაშენებლად.

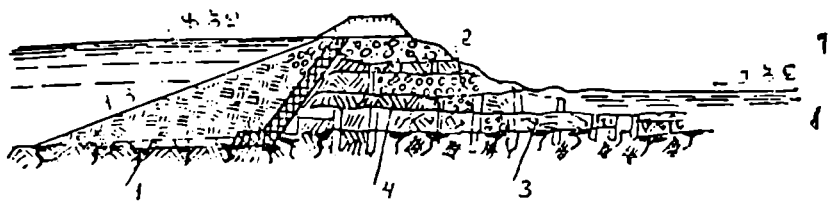
გაბიონის ტიპის კაშხლის პროფილი შეიძლება იყოს: მრავალსაფეხურიანი (ნახ. 10.14, ა), ტრაპეციისებრი (ნახ. 10.14, ბ) და სწორკუთხა (ნახ. 10.14, გ). გაბიონის ტიპის კაშხლის წყალგადასაშვებ ქიმს და აგრეთვე, ზოგჯერ, სადაწნო ფერდოსაც კი, ფარავენ ფიცრებით, ხოლო კაშხლის წყალსაცემ ნაწილს ახორციელებენ გაბიონის ბალიშებით, რომლებსაც ასევე ფარავენ ფიცრებით. რათა არ დაზიანდნენ ისინი ქვების დარტყმებისაგან, მცურავი ხის მასალის დაჯახებისაგან და ა. შ.

ამ ტიპის კაშხალები შეიძლება აშენდეს 5—6 მეტრამდე სიმაღლის.  
 2. ფიჩხკონური კაშხალებს აშენებენ პატარა მდინარეებზე,



ნახ. 10.14 — გაბიონის კაშხალები.

2—3 მეტრამდე სიმაღლის ხევებზე უმეტესად წყალსაშვიანი ტიპის სახით. ფიჩხკონური კაშხალის ქვედა-წყალსაშვიანი ნაწილი (ნახ. 10.15) შედგება



ნახ. 10.15 — ფიჩხკონური კაშხალი; 1 — ქვიშა-თიხოვანი გრუნტი; 2 — ქვის წყობა; 3 — ფიჩხის საფენი წინასწარ მოსწორებულ ფუძეზე; 4 — ფიჩხკონა.

ფიჩხის ან ფიჩხკონის წყობისაგან, რომელიც თავის მხრივ, იფარება ქვიშის, ხრეშის ან ქვის ფენით. კაშხალის ზედა ნაწილი სრულდება თიხნარი გრუნტისაგან და ზემოდან ზოგჯერ დამცველი ფენის სახით აყრიან ფორთოვან მასალას.

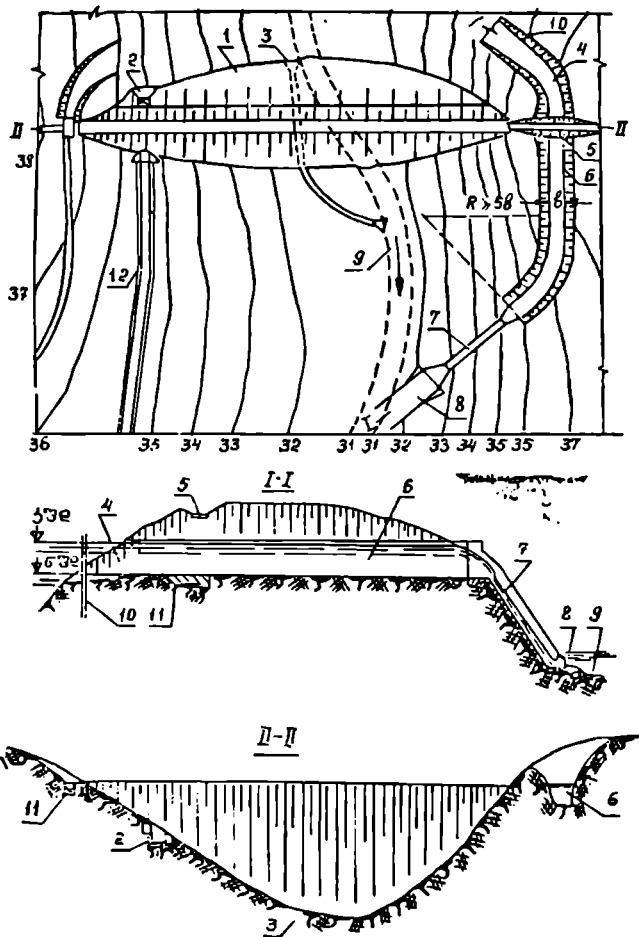
მეთერთმეტე თავი

პრუპაშხალიანი ჰიდროკვანძების წყალგამტარი ნაგებობები

§ 11.1. ზოგადი ცნობები

ჰიდროკვანძების და მათში გათვალისწინებული წყალგამტარი (წყალსაგდები) ნაგებობების კლასიფიკაცია, დანიშნულება, საანგარიშო წყლის ხარჯების დადგენა და სხვა მათ დაპროექტებასთან დაკავშირებული საკითხები ზოგადად უკვე იყო განხილული წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეორე თავში. იქვე განმარტებული იყო, რომ წყალგამტარი ნაგებობები შეიძლება მოეწყოს როგორც თვით კაშხალის ტანში, ასევე მისგან დამოუკიდებ-

ზღად—მდინარის ნაპირებთან (ე. წ. სანაპირო ტიპის წყალსაგდებები) ახ კიდევ კაშხალის ფუძეში. კაშხალის ტანში განლაგებული წყალგამტარი ნაგებობების დაპროექტებასთან დაკავშირებით ყველა ძირითადი საკითხის გარჩევა იხილეთ V—IX თავებში. ქვემოთ განვიხილავთ კაშხალის ტანს გარეთ, მდინარის ნაპირზე განლაგებულ სანაპირო ტიპის წყალსაგდებ და კაშხალის ფუძეში ჩაწყობილ სხვადასხვა ტიპის წყალამღებ ნაგებობებს (ნახ. 11.1).



ნახ. 11.1 — წყალსაგდებიანი პიდროკენანის ზოგადი სქემა: 1—ში-წის ყრუ კაშხალი; 2—წყალმიღები (წყალამღები) ნაგებობა; 3—წყალგასაშვები (ფსკერული წყალგასაშვები); 4—მიმყვანი არხი; 5—ხიდი წყალსაგდებ არხზე; 6—წყალსაგდები არხი; 7—შემაუღლებე-ნი ნაგებობა (სწრაფდენი); 8—გამყვანი არხი; 9—ხეობის ტალევი; 10—ყინულდამტკერი ხიმინჯები; 11—წყალსაშვებიანი ზღურბლი; 12—მაგისტრალური არხი.

წყალამლები ნაგებობების დანიშნულებაა წყლის სასარგებლო მიწოდება მორწყვაზე, წყალმომარაგებაზე, გაწვლავანებაზე, ჰიდროელექტროენერჯის მისაღებად და ა. შ. ნაგებობათა ამ კატეგორიას მიეკუთვნება აგრეთვე წყალჩასაშვები ნაგებობები, რომელთა მიზანს შეადგენს წყალსაცავების მთლიანად ან ნაწილობრივ (მოთხოვნილებისა და მიხედვით) დაკლა, რაც პერიოდულად აუცილებელია ჰიდროკვანძის ზედა ბიფეში განლაგებული ნაგებობის დასათვალისწინებლად, სარემონტო სამუშაოების ჩასატარებლად და ა. შ. ამ ტიპის ნაგებობები ზოგჯერ გამოიყენება როგორც დაპატარავებული წყალსაგდები ექსპლუატაციის პერიოდში.

კაშხალის ტანში წყალსაგდები ნაგებობის მოწყობა, ჩვეულებრივად, საკმაოდ ეკონომიურ გადაწყვეტად ითვლება; მაგრამ ისეთი სპროექტო შემთხვევებიც არის, როდესაც საკითხის ასეთი გადაწყვეტა არ არის მიზანშეწონილი და ზოგჯერ დაუშვებელიც კია: ასე. მაგალითად, მიწის ან ქვაყრილი მაღლივი კაშხალის ტანში განლაგებულ წყალსაგდებ ხვრეტებში (წყლის დიდი სიჩქარით დინების დროს) ადგილი აქვს ვიბრაციული რხევების წარმოქმნას. წყლის ფილტრაციის გაზრდას, რასაც, თავის მხარე, შეუძლია გამოიწვიოს კაშხალის დეფორმირება, დაზიანება და ავარიაც კი. ამიტომ, მიწის კაშხალის ტანში წყალსაგდები ნაგებობების მოწყობის საკითხი ყოველთვის სათანადო სიფრთხილით უნდა იქნეს განხილული (განსაკუთრებით, როდესაც ეს ხდება საშუალო და მაღლვ კაშხალებში). რაც შეეხება სანაპირო წყალსაგდებების მოწყობას, ეს უფრო მიზანშეწონილია მალაღაწნევიან ჰიდროკვანძებში და ისიც იმ შემთხვევაში, როდესაც:

ა) სამშენებლო წყალსაგდებები შენდება მომავალი გვირაბის სახით, რომლებიც შემდგომში ადვილად შეიძლება გადაკეთდეს საექსპლუატაციო ტიპის წყალსაგდებებად;

ბ) თაღოვანი და მრავალთაღოვანი კაშხალების ტანში წყალსაგდებების მოწყობა კონსტრუქციულ სიძნელებთანაა დაკავშირებული;

გ) ხეობა ვიწროა და ამიტომ კაშხალის წყალსაგდები ფრონტი საკმარისი არაა პროექტით დადგენილი მდინარის მაქსიმალური ხარჯების გასატარებლად.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის მიუხედავად, საკითხის საბოლოოდ გადაწყვეტა, თუ როგორი ტიპის წყალსაგდები აშენდეს, უნდა მოხდეს ცალკეული ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე.

ისე როგორც კაშხალის ტანში განლაგებული წყალსაგდებები, სანაპირო ტიპის წყალსაგდებებიც დაყოფილია: ზედაპირულ და სიღრმით. საექსპლუატაციო და სამშენებლო. ავტომატურად მოქმედი და მარეგულირებელი ფარებიანი ტიპის წყალსაგდებებად.

როგორც თვით განმარტებებიდან გამომდინარეობს, ზედაპირულ წყალსაგდებებში წყლის აღება ხდება წყალსაცავის (ზედა ბიფის) წყლის

ზედაპირული ფენებიდან, სიღრმით წყალსაგდებებში კი—წყალსაცავის ზედაპირიდან პროექტით დადგენილ გარკვეულ სიღრმეზე.

საექსპლოატაციო ტიპის წყალსაგდებები ფუნქციონირებას იწყებენ ჰიდროკვანძის ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ, ხოლო სამშენებლო წყალსაგდებები კი—მუშაობენ მხოლოდ მშენებლობის პერიოდში და მათი დანიშნულებაა მდინარეში ჩამოდინებული წყლის მოცილება სამშენებლო უბნიდან; ხშირად საექსპლოატაციო წყალსაგდებ ნაგებობებს უთავსებენ სამშენებლო წყალსაგდებებს. ავტომატურად მოქმედი წყალსაგდებებით წყლი აღება და შეიძლება მისი გადაჯდება ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში ხდება ავტომატურად როგორც კი ზედა ბიეფის წყლის დონე აიწევს ნორმალური შეტბორვის დონეზე მაღლა (ასეთ წყალსაგდებებში ნაგებობის წყალგადასაშვები ზღურბლი ინიშნება ნორმალური შეტბორვის დონის ნიშნულზე). მარეგულირებელი ფარებიანი წყალსაგდებების მუშაობაში ჩართვა ხდება მხოლოდ ფარების გახსნის შემთხვევაში; სწორედ ამიტომ, ასეთი წყალსაგდებების წყალგადასაშვები ზღურბლის ნიშნული ნშდ ნიშნულზე დაბლა ინიშნება; პრაქტიკაში უფრო მეტად გამოიყენება (ეკონომიურობის თვალსაზრისით) მარეგულირებელი ფარებიანი წყალსაგდებები.

#### § 11.2. ზედაპირული სანაპირო ტიპის წყალსაგდებები

ზედაპირული სანაპირო ტიპის წყალსაგდებები პირობათად დაყოფილია ხუთ ძირითად ჯგუფად:

ა) ღია სანაპირო, ფრონტალური ტიპის წყალსაგდებები (წყალგადასაშვებები) (ნახ. 11. 2);

ბ) წყალსაგდები ნაგებობები წყლის გვერდითად გადაგებით (ე. წ. გვერდითი წყალგადასაშვებები) (ნახ. 11.3);

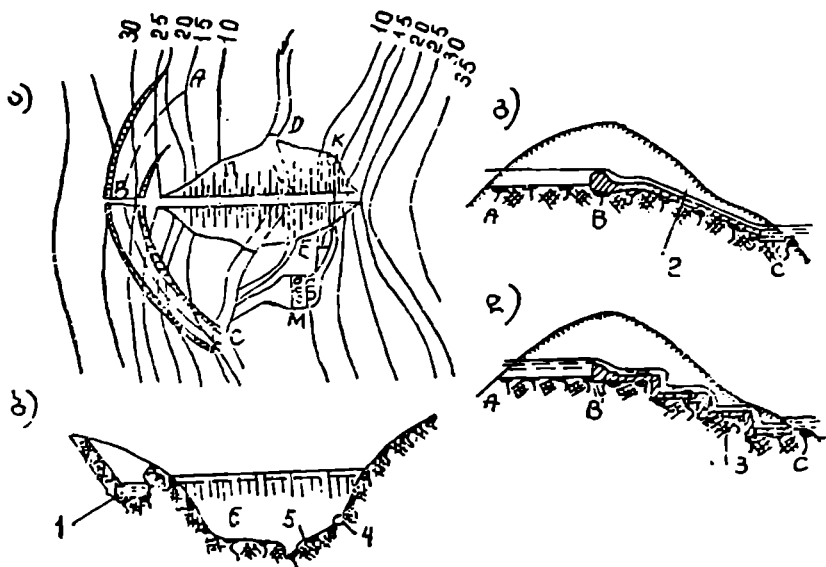
გ) ციცხვისებური წყალსაგდებები (ნახ. 11.4);

დ) შახტური წყალსაგდებები (ნახ. 11.5);

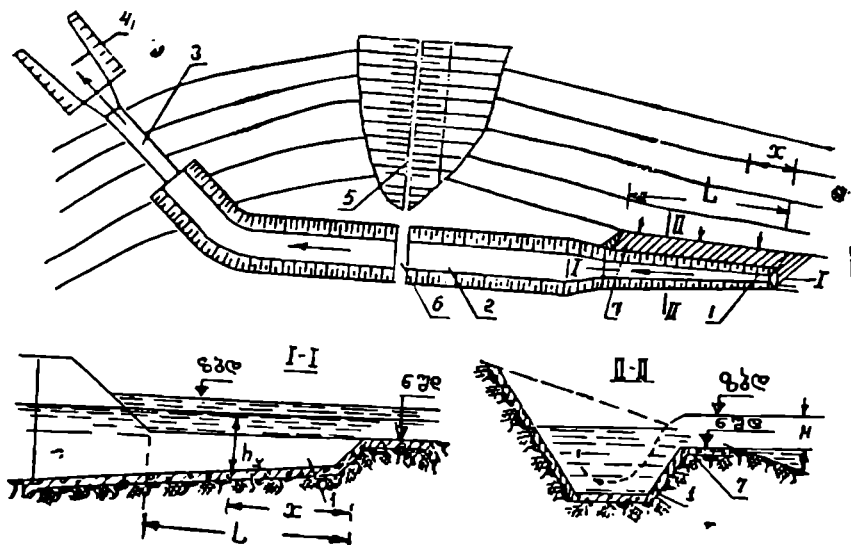
ე) სიფონური წყალსაგდებები (ნახ. 6.9).

1. ღია სანაპირო, ფრონტალური ტიპის წყალსაგდები ერთ-ერთ ყველაზე მეტად გავრცელებულ სახედ ითვლება საერთოდ; ჰიდროტექნიკურ მშენებლობათა პრაქტიკაში და განსაკუთრებით მიწისა და ნაყარი კაშხალების შემთხვევაში. ჰიდროკვანძში (ნახ. 11.2) მას ხშირად ათავსებენ კაშხალთან ახლოს (ნახ. 11.2 ა, ბ) ან, თუმცა იშვიათად, მისგან საკმარის მოცილებით. კონსტრუქციულად ის წარმოადგენს მომგლელ არხს, რომლის შესასვლელ უბანს ვერტიკალურ სიბრტყეში ნიშნავენ წყალსაცავიდან წყლის გადაგდების საპროექტო ნიშნულზე. ამ შემთხვევაში, ღია წყალსაგდები ნაგებობის ტრაქტი შედგება ფრონტალურად განლაგებული AB მიმყვანი არხისაგან, რომელიც სიგრძეზე ნულოვან ან მცირე ქანობით ხასიათდება, ბეტონის ან ხსნარზე ქვის წყობით შესრულებული B



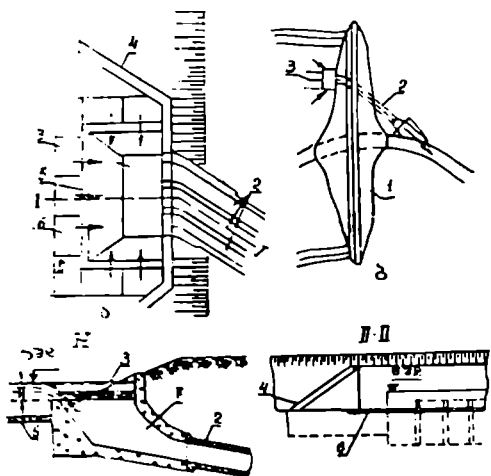


ნახ. 11.2 — ღია სანაპირო წყალსაგდების (წყალგადასაშვების) სქემა: 1—წყალსაშვი; 2—სწრაფდენის ტიპის წყალსაგდები; 3—საუკებურიანი ვარდნილის ტიპის წყალსაგდები; 4—სილოპითი მიღისებური წყალამდები; 5—ფსკერული წყალგასაშვები; 6—მიწის ყრუ კამხალი.



ნახ. 11.3 — ტრანშვიისებური წყალსაგდების სქემა: 1—ტრანშვი; 2—წყალსაგდები არხი; 3—შემავლლებელი ნაგებობა; 4—გამაყვანი არხი; 5—კამხალი; 6—ხიდი; 7—წყალგადასაშვები ზღურბლი.

წყალგადასაშვები ზღურბლისაგან და BC წყალგამყვანი არხისაგან, რომელიც იმისდამხედვით, ტრასის გრძივი ქანობი თუ როგორია, კეთდება



სწრაფდენის (ნახ. 11.2 გ), საფეხურებიანი ვარდნილია (ნახ. 11.2 დ) ან ორივეს-სწრაფდენისა და ვარდნილის შერწყმით. წყალგადასაშვები ზღურბლი წარმოდგენილია ფართო ზღურბლი ან პრაქტიკული მოხაზულობის წყალგადასაშვების სახით.

ტოპოგრაფიული პირობების თვალსაზრისით, ღია საწარმო ტიპის წყალსაგდები მოსაწყობად ყველაზე მოსახერხებელია შედარებით მდოვრე დახრილობის მქონე მდინარის ნაპირები და მათზე სანაპირო ტერასების არსებობა. წყალსაგდების ეს ტიპი შეიძლება გამოიყენებულ იქნეს ნებისმიერ გრუნტებში. თუმცა აუცილებელია ვერიდოთ ხეობის მუყეფროვან ფერდობებ, რადგან ასეთ შემთხ-

ნახ. 11.4 — ციცივისებური წყალსაგდების სქემა: ა—წყალსაგდების საერთო გეგმა; ბ—შესასვლელი უბნის გეგმა; 1—მიწის კაშხალი; 2—წყალგამყვანი ტრაქტი (წყალსაგდები მილები ან კიდევ სწრაფდენები); 3—ციცივი; 4—მიმართული ჩაყვინთული კედელი; 5—წყალგადასაშვები ზღურბლი; 6—ფსკერის ბეტონის ფილებით გამაგრება; 7—გადასასვლელი უბანი (კომპლექსიური წყალამლებიდან წყალსაგდებ მილში).

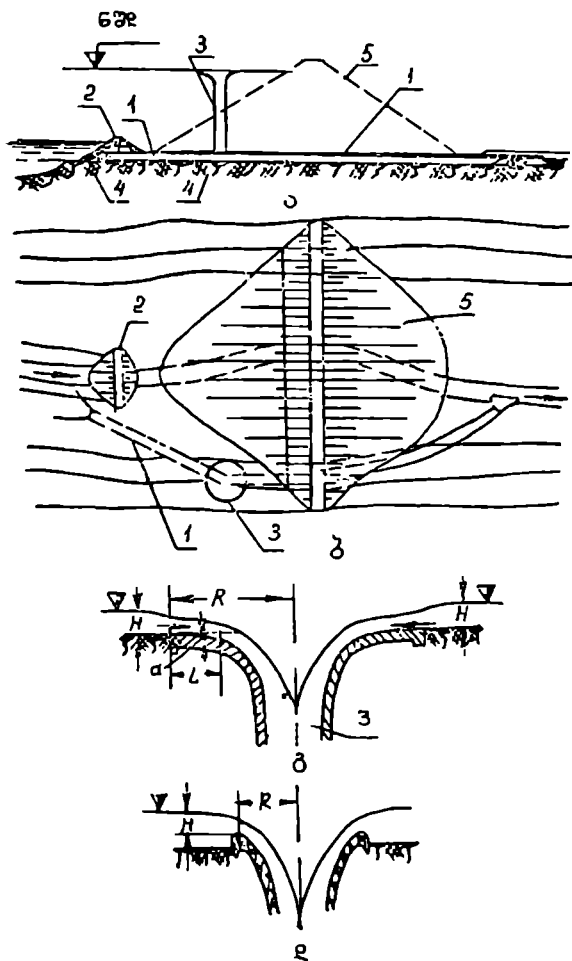
ვევაში ნაგებობის მდგრადობის შესანარჩუნებლად აუცილებელი იქნება საკმაოდ რთული და ძვირადღირებული ღონისძიების გატარება.

წყალგამტარობის თვალსაზრისით, ასეთი ტიპის წყალსაგდები გამოიყენება შედარებით მცირე ხარჯების გასატარებლად.

2. გვერდითი წყალსაგდების მოწყობა, ძირითადად, მიზანშეწონილი და ეკონომიურია მდინარის მკვეთრი დახრილობის მქონე ნაპირებისა და დიდი ოდენობის წყალსაგდები ხარჯების შემთხვევაში, ე. ი. იქ სადაც განხლებულია ღია სანაპირო ფრონტალური ტიპის წყალგადასაშვებების მოწყობა. ამ ტიპის წყალსაგდებებისათვის დამახასიათებელია ნაგებობის წყალსაშვიანი ფრონტის მოწყობა მდინარის სანაპირო ფერდობის პორიზონტალების გასწვრივ (გრუნტის კრილის შემცირების მიზნით) და წყლის გადაგდება წყალგადასაშვების პარალელურად განლაგებულ წყალსაგდებ არხში. თუ ეს არხი შესრულებულია ტრანშეის (თხრილის)

სახით, მაშინ წყალსაგდებს უწოდებენ ტრანშეისებურს.

ტრანშეისებურ წყალსაგდებში (ნახ. 11.3) ტრანშეიდან 1 წყლის ნაკადი ჭერ წყალსაგდებ არხში 2 გადადის და შემდგომ შემუღლებელი ნაგებობის 3 და გამყვანი არხის 4 გავლით ვარდება მდინა-



ნახ. 11.5 — შახტური წყალსაგდები: ა—გრძივი კრილი; ბ—გეგმა; გ—მაბრისებური, დაბრილი ზღერბლით; დ—მდოვრედ მოხაზული (კონოიდალური ნაწილის გარეშე) მაბრით; 1—გეირაბი; 2—ზღუდარი; 3—შახტური წყალსაგდები; 4—ბეტონის საცობები; 5—შიწის კაშხალი.

რის ტალღეებში. თავის მხრივ, წყალგადასაშვებ ზღურბლზე გადადინებული წყლის ნაკადი ხვდება რა წყალსაგდებ ტრანშეაში, იცვლის მიმართულებას (დაახლოებით  $80^{\circ}-90^{\circ}$ -ით) და ამგვარად მასში ადგილი აქვს ხრახნისებურ მოძრაობას, რომლის თეორიულად გაანგარიშება საკმაოდ რთულ ამოცანას წარმოადგენს. სწორედ ამიტომ ლიტერატურაში ძირითადად მოყვანილია ასეთი ნაგებობის ჰიდრავლიკურად გაანგარიშების მიახლოებითი მეთოდები; ამათგან აქ განვიხილავთ მხოლოდ ერთს—პროფესორ ე. ზამარინის მიერ რეკომენდებულ მეთოდს, რომელიც გულისხმობს ტრანშეის გეომეტრიული ზომების წინასწარ, მიახლოებით, დანიშვნას და შემდგომ მის შემოწმებას ჰიდრავლიკის ელემენტარული ფორმულებით. სახელდობრ, ექსპლუატაციური და ეკონომიური პირობების გათვალისწინებით წყალდიდობის პერიოდისათვის დანიშნავენ ნორმალური შეტბორვის დონის შესაბამისი ნიშნულიდან წყლის დონის აწევის  $H$  სიმაღლეს (ტრანშეაში წყლის დონის აწევა არ უნდა აღემატებოდეს  $0,4H$ , რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში ადგილი ექნება წყალგადასაშვები ზღურბლის დატბორვას და შესაბამისად მისი წყალგამტარუნარიანობის შემცირებას), და დაძირული ან დაუძირავი წყალსაშვის განტოლებიდან გამოითვლიან წყალგადასაშვებზე ზღურბლის სიგრძეს:

$$B = \frac{Q}{\varphi h \sqrt{2gz}} \quad (11.1)$$

აბ

$$Q = B m_0 \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (11.2)$$

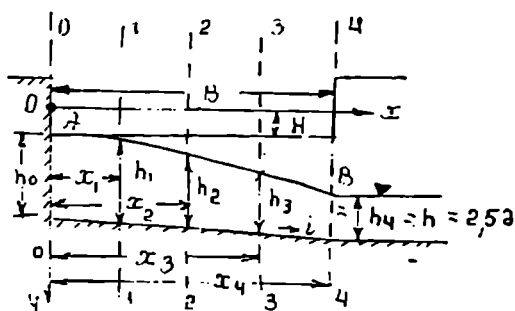
სადაც  $m_0 \approx 0,36$  არის ხარჯის კოეფიციენტი დაუძირავი წყალსაშვისათვის;  $\varphi$ —სიჩქარის კოეფიციენტი;  $h$ —ტრანშეის სხვადასხვა კვეთში გამოთვლილი (დანიშნული) წყლის სიღრმეები, მეტრობით;  $z$  — წყალგადასაშვები ზღურბლის წინ და თვით ზღურბლზე გაზომილი წყლის დონეებს შორის სხვაობის სიღრმე, მეტრობით. პირველ რიგში უნიშნავთ წყლის დონის ნიშნულს განსაზღვრულ—საწყის კვეთში. შემდგომ მეორე კვეთში წყლის დონის ნიშნული, პირველი კვეთისათვის დადგენილი წყლის დონის ნიშნულთან შედარებით, დაიწევს  $h_1$  სიღრმით. ასეთივე თანმიმდევრობით გამოითვლება წყლის დონის ნიშნულები ტრანშეის სხვა კვეთებშიც. ტრანშეის ბოლო კვეთიდან წყალსაგდები არხის საანგარიშო კვეთზე გადასვლა კი უნდა განხორციელდეს მდოვრე მრუდწირული ზედაპირით.

განვიხილოთ კონკრეტულ მაგალითზე ამ მეთოდის გამოყენების წესი. ვთქვათ, მოცემულია: წყალსაგდები ხარჯი  $Q = 100$  მ<sup>3</sup>/წმ, წყლის სიღრმე წყალგადასაშვები ზღურბლის წინ  $H = 1,0$  მეტრს, ტრანშეაში წყლის დონების დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარე  $V = 5$  მ/წმ, წყალგადასაშვები

ზღურბლის  $v = v_{\text{ნმდ}} = 10$  მეტრს (ნახ. 11.6), წყლის სიღრმე გამყვანი არხის დასაწყისში—2,0 მეტრია.

(11.1) ფორმულიდან ვითვლით, როდესაც  $m_0 = 0,36$ , ტრანშეის წყალგადასაშვები ზღურბლის საერთო სიგრძეს  $B = 62,5$  მ.

ქველის თავისუფლად ვარდნის ფორმულით ვპოულობთ წყალსაცავისა და ტრანშეის წყლის დონეთა სხვაობას (როცა  $\varphi = 0,3$ )



ნახ. 11.6 — ტრანშეის გრძივი პროფილის აგების საანგარიშო სქემა.

$$y = \frac{v^2}{\varphi^2 2g} = \frac{5^2}{0,8^2 \cdot 19,62} \approx 2,0 \text{ მ.} \quad (11.3)$$

გამოთვლის გამარტივების მიზნით ტრანშეის განივკვეთს ვღებულობთ ღწორკუთხა ფორმისას, ხოლო წყლის სიღრმეს მასში (ჭერჭერობით) — წყალგამყვანი არხის დასაწყისში მიღებული  $h = 2,5$  მ-ის ტოლად. დავეოფთ წყალგადასაშვების საერთო  $B$  სიგრძეს ოთხ ერთნაირი სიგრძის ინტერვალად, ე. ი. თითოეული  $L: 4 = 62,0 : 4 = 15,5$  მ. ამ მონაცემების მიხედვით, მივიღებთ რა ტრანშეის გასწვრივ, ყოველ ინტერვალში, წყლის დინებას თანაბარი მოძრაობის სახით, გამოვითვლით ხარჯ  $Q = \omega V$ , სიჩქარეს  $v = c\sqrt{Ri}$ , ტრანშეის ძირის  $b$  სიგანეს და მის ქანობს ყოველი ცალკეული ინტერვალისათვის.

გაანგარიშებისათვის კოორდინატთა სისტემის საწყისად ვღებულობთ  $O$  წერტილს (იხ. ნახ. 11.6). გაანგარიშების მსვლელობა უმჯობესია წარვმართოთ ცხრილის სახით (ცხრ. 11.1).

ვიცით რა ქანობები, გამოვთვლით წყლის სიღრმეებს ყოველ ინტერვალში. მაგალითად, საშუალო ქანობი მეოთხე და მეხუთე კვეთებს შორის მოთავსებულ ინტერვალში ტოლია

$$i_{\text{საშ}} = \frac{i_4 + i_5}{2} = \frac{0,002 + 0,0026}{2} = 0,0023.$$

შესაბამისად, წნევის დაცემა  $Z$  მეოთხე ინტერვალის სიგრძეზე ტოლია  $z =$

$=x \cdot h_{33} = 15,5 \cdot 0,0023 = 0,0356$ , ხოლო წყლის სიღრმე  $h_3$  მესამე ინტერვალში, როდესაც  $x = 46,5$  მ და  $h_4 = h = 2,5$  მ, ტოლია

$$h_3 = h_4 + Z = 2,5 + 0,0356 \approx 2,546.$$

ცხრილი 11.1.

კვეთის №№	მანძილები საწყისი ო წერტილადან შესაბამის ინტერვალში, მეტროებით	$Q_x$ მ <sup>3</sup> /წმ-ით	$b = \frac{Q_x}{hV} = \frac{Q_x}{2,5 \cdot 5}$ მ-ით	$i = \frac{V^2 n^2}{R^4  S };$ $n = 0,014$
1	15,5	24,8	2,0	0,005
2	31,0	49,7	4,0	0,003
3	46,5	74,7	6,0	0,0026
4	62,0	100	8,0	0,002

განგარიშების ანალოგიური მსვლელობით, ვლებულობთ  $h_2, h_1$ , და  $h_0$  სიღრმეებს. ამგვარად გამოთვლილი  $h$  სიღრმეების (წერტილების) მიხედვით აიგება წყლის თავისუფალი ზედაპირის  $AB$  მრუდი ტრანშეაში (ნახ. 11.6).

3. ციციხვისებური წყალსაგდები (ნახ. 11.4), ძირითადად, ტრანშეისებური წყალსაგდების პრინციპზე მუშაობს, განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ ამ ტიპის წყალსაგდებში წყალგადასაშვები ზღურბლი, თხელი კედლის სახით, ეწყობა სამი მხრიდან, რაც საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად გავზარდოთ მისი წყალგამტარუნარიანობა.

ამ შემთხვევაში წყალგადასაშვები ზღურბლის სიგრძე იანგარიშება (10.1) ფორმულით, ხოლო წყალსაგდები მილები კი-ფორმულით

$$Q = \mu a \sqrt{2gz}, \quad (11.4)$$

სადაც  $\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma z}}$  არის ხარჯის კოეფიციენტი;  $a$  — მილში ადგილობრივი

კარგების (შესვლაზე, მოხვეულობაზე და ა. შ.) გამომსახველი კოეფიციენტი;  $a$  — მილის ცოცხალი კვეთის ფართი;  $Z$  — ციციხეში და წყალსაგდები მილის შემდგომ უბანზე დამყარებულ წყლის დონეებს შორის სხვაობის სიდიდე.

4. შახტური წყალსაგდები (ნახ. 11.5) გეგმაში წარმოადგენს წრიული მოხაზულობის ძაბრისმაგვარ წყალგადასაშვებს, სადაც ზედა

ბიეფიდან ქვედა ბიეფში წყლის გადავდება ხდება ვერტიკალური შახტისა და გამყვანი გვირაბის გავლით. გამყვანი გვირაბი მშენებლობის პერიოდში გამოიყენება სამშენებლო წყლის ხარჭების გასატარებლად, ხოლო შემდგომ, კამხალის აშენებისას აწყობენ შახტურ წყალსაგდებს 3, რომელსაც უერთებენ გვირაბს 1; ამ შემთხვევაში გვირაბის შესასვლელ ნაწილს (შახტის მიერთების უბანში) გადალობავენ ბეტონის საცობით 4.

შახტური წყალსაგდების დაპროექტების დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს გეგმაში შესასვლელი ძაბრის ტექნიკურად სწორად განლაგებას, სახელდობრ მისი მოხაზულობა ისეთი უნდა იყოს, რომ რგოლური წყალსაშვის მთელ პერიმეტრზე უზრუნველყოფილი იქნეს შახტში წყლის წყნარი და თანაბარი ჩადინება. იმისათვის, რომ შახტში ადგილი არ ექნეს ნაკადის ხაზნახებურ მოძრაობას, წყალსაგდები ძაბრის ზღურბლზე რადიუსებად აწყობენ ნაკადის მიმართველ რკინა-ბეტონის ბურჯებს; ზოგიერთ შემთხვევაში ბურჯებს შორის აყენებენ ავტომატურად მოქმედ ფარებს.

შახტური წყალსაგდების ხარჯს ანგარიშობენ ფორმულით

$$Q = m2\pi R\sqrt{2gH^3}|z, \quad (11.5)$$

სადაც  $m$  არის ხარჯის კოეფიციენტი,  $H$ —დაწნევა წყალგადასაშვებ ზღურბლზე,  $R$ —წყალგადასაშვები ძაბრის რადიუსი, რომელიც წინასწარ მოცემული  $Q$  და  $H$ -ისათვის განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

ა) როდესაც წყალგადასაშვებ ზღურბლზე ბურჯები იდგმება

$$R = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{Q}{\varepsilon m \sqrt{2g}} \frac{1}{H^3|z} + \pi B \right), \quad (11.6)$$

სადაც  $\pi$  არის წყალგადასაშვებ ზღურბლზე დადგმული ბურჯების რაოდენობა,  $B$ —ბურჯის სიგანე,  $\varepsilon$ —წყლის ნაკადის შეკუმშვის კოეფიციენტი, რომელიც საშუალოდ 0,9 უდრის;

ბ) როდესაც წყალგადასაშვებ ზღურბლზე ბურჯები არ იდგმება

$$R = \frac{Q}{m2\pi\sqrt{2gH^3}|z}. \quad (11.7)$$

დიდი ზომის შახტურ წყალსაგდებებში, როდესაც  $R \geq (6 \div 8)H$ , წყალსაგდები შახტის ძაბრს აწყობენ 11.5, გ.ნახ.-ზე ნაჩვენები სქემის ანალოგიურად, რომლის დროსაც ზღურბლის კონოიდალური ნაწილის სიგრძე  $L$  აიღება (3—4)  $H$ -ს ფარგლებში, ხოლო მისი დახრილობის კუთხე  $\alpha = 6 \div 9^\circ$  (ამ შემთხვევაში ხარჯის კოეფიციენტი  $m = 0,36$ ). ხოგჯერ, როდესაც აუცი-

ლებელია შახტური წყალსაგდების წყალგამტარუნარიანობის გაზრდა, ძაბრს ექვსეა 10.5, დ ნახ.-ზე ნაჩვენები მოხაზულობა და  $K$  სიდიდე ინიშნება  $2H < R \leq 5H$  ფარგლებში; ამ შემთხვევაში (11.5) ფორმულაში შემავალი ხარჯის კოეფიციენტი  $m \sim 0,46$ .

5. ს ი ფ ო ნ უ რ ი წ ყ ა ლ ს ა გ დ ე ბ ე ბ ი (ნახ. 6.9) ხასიათდება რა საკმაოდ დიდი წყალგამტარობით (ლია ტიპის წყალსაგდებებთან შედარებით), სულ უფრო მეტად გამოყენებაშია ჰიდროტექნიკურ მშენებლობათა პრაქტიკაში. ამ ტიპის წყალსაგდებების მუშაობის პრინციპი და განაგარების ნეთილი იხილეთ წინამდებარე სახელმძღვანელოს მერვე თავში.

### § 11.8. წაღამომშვევი ნაგომავი

ჰიდროტექნიკურ მშენებლობათა პრაქტიკაში წყალგამომშვევების მრავალნაირ სახეობას განიხილავენ, მაგრამ ისე, როგორც წყალსაგდებები. ისინი შეიძლება დაყოს ორ ძირითად ტიპად: დაბურული (დაწნევიანი) და ლია წყალგამომშვევები.

დაბურული ტიპის წყალგამომშვევები, თავის მხრივ, დაყოფილია მილისებური და გვირაბისებური ტიპის წყალგამომშვევებად. ლია ტიპის წყალგამომშვევები ნაგებობა ძირითადად კაშხალის ტანში გათვალისწინებული ლია ტიპის წყალსაგდები ნაგებობის ანალოგიურია, განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ განსახილველ შემთხვევაში წყალგამომშვევები ზვრეტის ძირი ზედა ბიეფის წყლის დონიდან ჩაღრმავებულია საკმაოდ ღრმა (ამ ტიპის წყალგამომშვევები გამოყენებულია მხოლოდ მცირე დაწნეების შემთხვევაში).

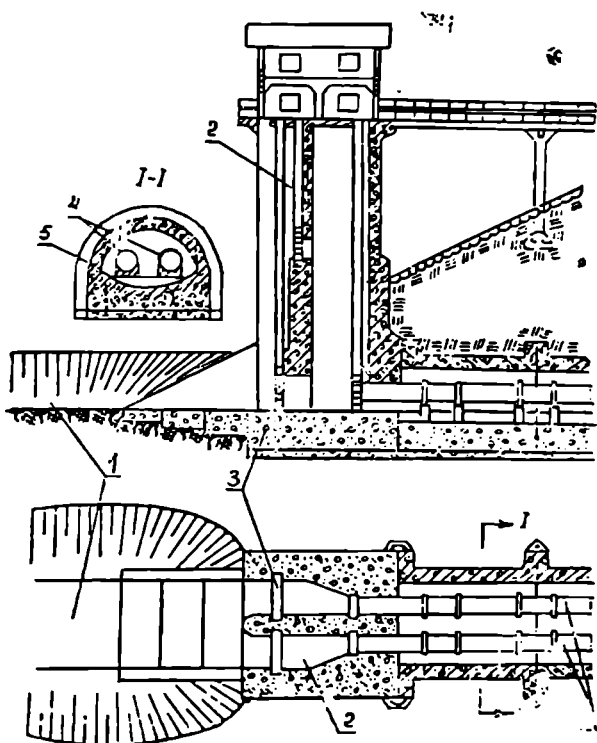
1. მილისებური წყალგამომშვევები შედგება კაშხალის ძირში ან კაშხალის ტანში ჩაწყობილი ერთი ან რამდენიმე დაწნევიანი მილსაგან, რომელზედაც დადგმულია მარეგულირებელი ფარები და მათი მანევრირებისათვის აუცილებელი ამწევი მექანიზმების მოწყობილობა კოშკის ან კამერის სახით. ასეთი კოშკები შეიძლება იყოს მთლიანად დაბურული (როდესაც კოშკში წყლის შედინება გამოირიცხულია) და ლია (გამქოლი) ჩარჩოსებური კონსტრუქციის სახის.

მილისებურ წყალგამომშვევებში წყალგამტარებად გამოიყენება როგორც ლითონის (ნახ. 11.7), ასევე, თუმცა იშვიათად, რკინა-ბეტონის (ნახ. 11.8) მილები. ექსპლუატაციის გაუმჯობესების მიზნით, ხშირად ლითონის მილებს აწყობენ სპეციალური რკინა-ბეტონის გალერეებში (ნახ. 11.7); ასეთ შემთხვევაში კოშკის მოწყობა აუცილებელი არაა, რადგან ფარების რეგულირება შეიძლება განხორციელდეს უშუალოდ გალერეებიდან (ნახ. 11.9. და ნახ. 11.10).

ნაკლებად საპასუხისმგებლო მიწის კაშხალებში ლითონის მილებს ალაგებენ კაშხალის ფუძეში ან კიდევ თვით კაშხალის ტანში (ნახ. 11.11).



მილისებური წყალგამომშვების ბოლოში, როგორც წესი, ითვალისწინებენ წყლის კარბი ენერჯის ჩამქრობ ნაგებობას, უმეტესად ჩამქრობი კის სახით.

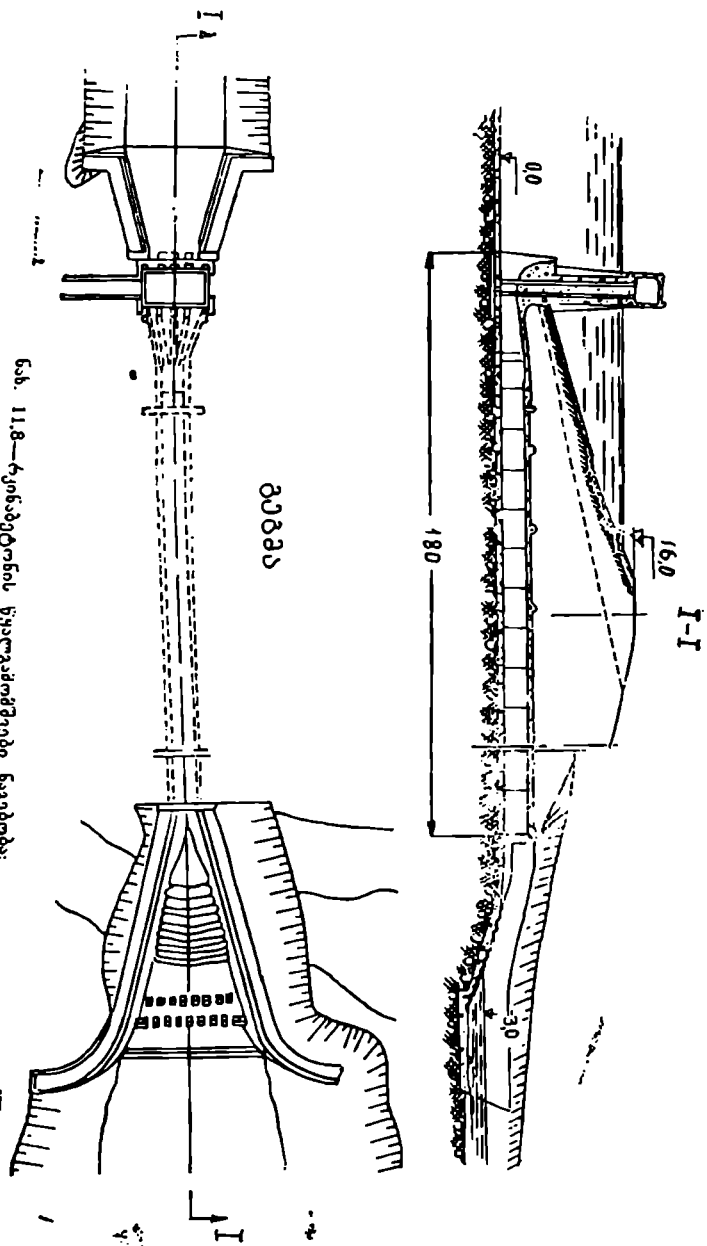


ნახ. 11.7 — წყალგამომშვები ნაგებობა, გალერეებში განლაგებული მილებით: 1—შიშვეანი არხი; 2—კოშკი; 3—ფარები; 4—მილები; 5—გალერეა.

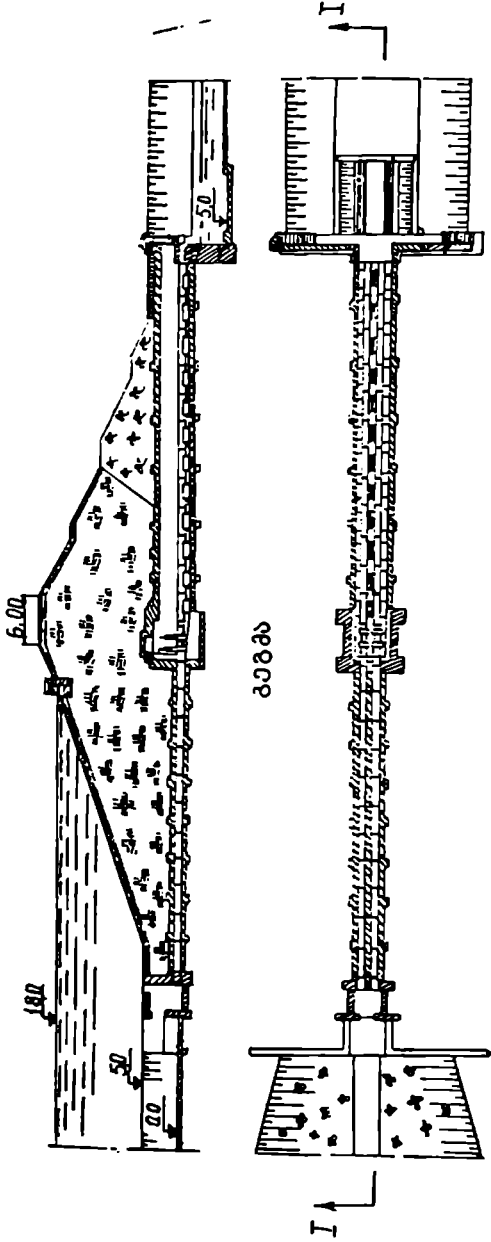
2. გვირაბისებური წყალგამომშვები ძირითადად სადაპირო ტიპისაა და მშენებლობის პერიოდში ასრულებს სამშენებლო წყალსაგდების ფუნქციას. წყალმომარაგების მიზნით წყლის ასაღებად ასეთი ტიპის წყალგამომშვები ნაგებობის კოშკში ითვალისწინებენ რამდენიმე წყალამღებ ხერტს, რომელთა ჩართვა-გამორთვა ხდება სპეციალური საკვალთებით (ნახ. 11.12). ასეთი ტიპის წყალგამომშვებები ჩვეულებრივად გამოიყენება მდინარის კლდოვანი ნაპირების შემთხვევაში.

3. ღია წყალგამომშვებები, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, წარმოადგენს ღრმა ტრანშეის ან არხს, რომლის საწყის უბანზე განლაგებულია ჩაკეტილი

ნახ. 11.8—ჩონხატონის წყალგამომგები ნაგებობა:



I-I

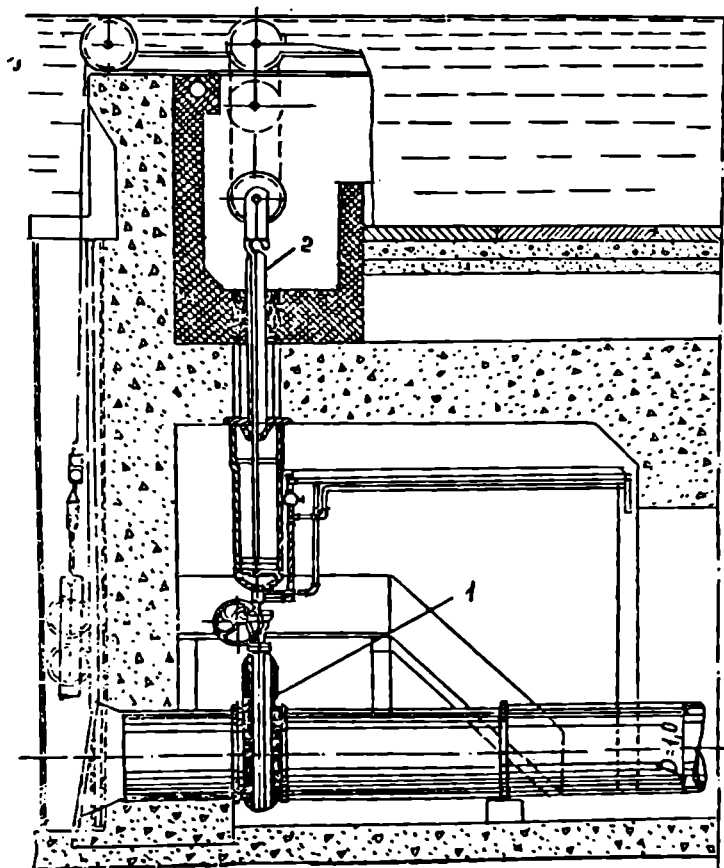


ნახ. 11.9 — უკოშკო მბოსქებური წყალამომეშეპბის მოწყობის ზოგადი სქემა.

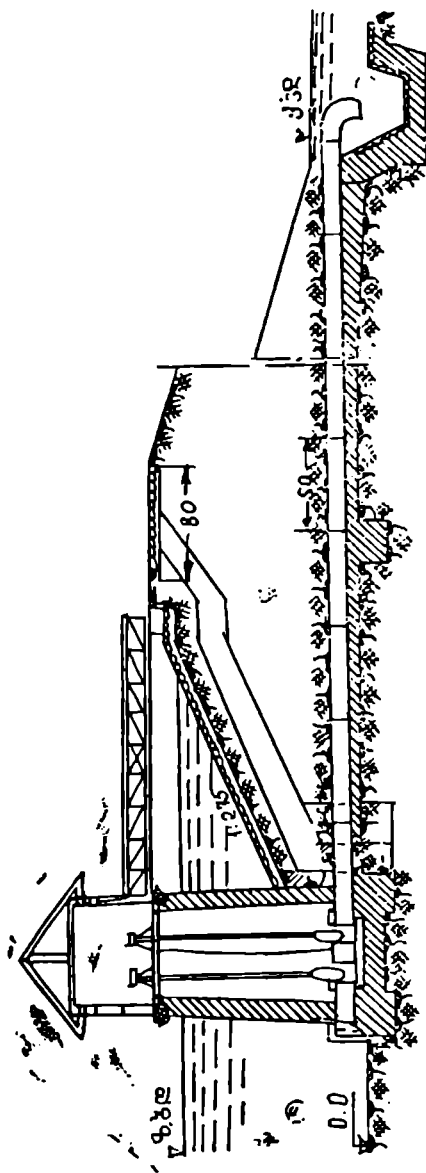
ბულია კოშკი ფსკერული ხერტებით (ნახ. 11. 13), რომლებიც ამავე დროს ასრულებენ წყალამწევი ნაგებობის ფუნქციასაც.

4. წყალგამომშვეები ნაგებობის ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტებია საკეტები, კოშკი ან კამერა, ლიონის ან რკინაბეტონის მილი.

ყოველ წყალგამომშვეებზე, როგორი ტიპისაც არ უნდა იყოს ის, იდგმება ორი საკეტი, რომელთაგანაც ერთი საავარიო-სარემონტო დანიშნულებისაა და მეორე-ძირითადი. ორივე საკეტს შეძლებისდაგვარად ათავსებენ წყალგამომშვეების დასაწყისის უბანში. თუ წყალგამომშვეები ლიონის

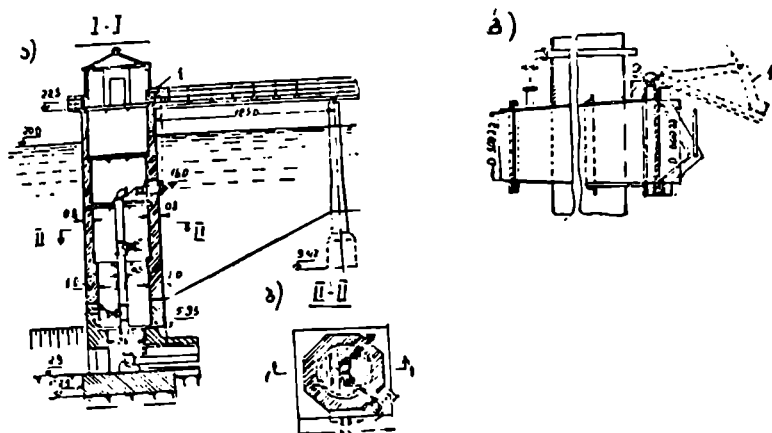


ნახ. 11.10 — უკოშკო მილისებურ წყალგამომშვეებში ფარების მარეგულირებელი მოწყობილობათა განლაგების ტიპური სქემა, 1—ურდული; 2—ამწე შეკანიში.

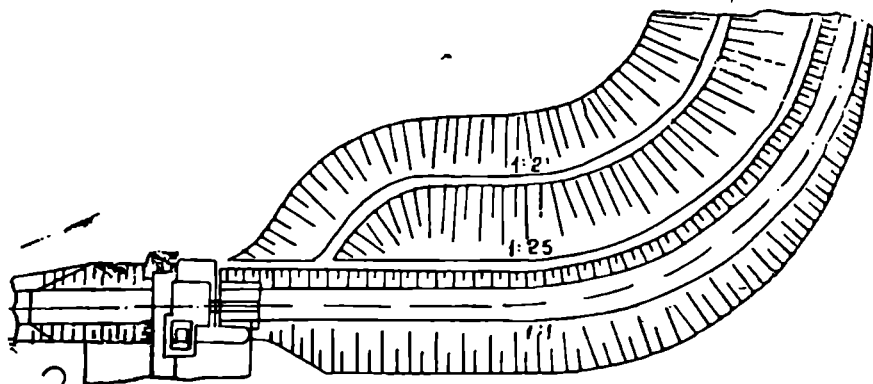


ნახ. 11.11 — კომუნიკაციის წყალგამწევი, კაშხლის ფუძეში ჩაწყობილი ლითონის მილებით.

მიღებისა, მაშინ საკეტები უშუალოდ მიღებში იდგმება (ნახ. 11.9). საკეტების კონსტრუქცია\* შეიძლება იყოს მრავალნაირი და მათი შერჩევა ყოველი კონკრეტული ობიექტისათვის ხდება ტექნიკურ-ეკონომიკური და საბუთების საფუძველზე.



ნახ. 11.12 — წყალგამომშვები ნაგებობების მარეგულირებელი ფარების (საკეტების) მართვის კოშკი. ა—კრილი I—I; ბ—სარემონტო, ტაყუნას პრინციპზე მომუშავე ფარის მოწყობის სქემა; გ—ტაყუნას პრინციპზე მომუშავე ფარი.



ნახ. 11.13 — ღია წყალგამომშვები ნაგებობა.

\* საკეტების კონსტრუქციების განხილვა მოცემულია წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეცამეტე თავში.

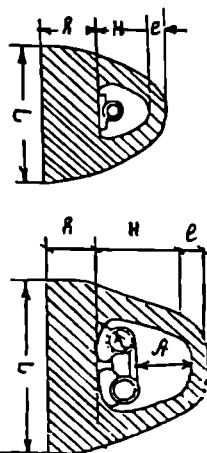
საეკტების სამართავად, კოშკი ან კამერა უმთავრესად იდგმება წყალგამომშვების დასაწყისში (ნახ. 11.7 და ნახ. 11.11), თუმცა ზოგჯერ შეიძლება შეგვხვდეს ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტაც, როდესაც ისინი წყალგამომშვების დასაწყისიდან გარკვეული მანძილითაა დაცულბული; ამ შემთხვევაში კოშკის აშენებას ითვალისწინებენ თვით კაშხალის ტანში, ხოლო მდინარის ნაპირზე ეწყობა შახტა.

თუ წყლის აღება გათვალისწინებულია წყალმომარაგების მიზნით, მაშინ, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კოშკის კედლების სხვადასხვა ნიწნულზე ეწყობა რამდენიმე წყალმღები ხერხტები; ამ შემთხვევაში წყალსაცავის დასაცლელად იყენებენ ყველაზე დაბალ ნიწნულზე განლაგებულ წყალგამომშვებ ხერხტებს ანუ, როგორც მათ ზოგჯერ უწოდებენ, ფსკერულ წყალგამომშვებს (წყალჩასაშვებს).

წყალგამომშვების დახურული კოშკები უმეტესად მრგვალი კვეთის კეთდება; კოშკის შიგა დიამეტრი ინიშნება წყალგამომშვები მილის დიამეტრის მიხედვით, მაგრამ არანაკლები 2,5—3 მეტრი (ნახ. 11.12). კოშკის კედლის სისქე კოშკის ძირითად ზედაპირამდე თანდათანობით მკარდება, მაგრამ ის ნებისმიერ სიმაღლეზე 20 სმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

უდაწნეო გალერეის (ნახ. 11.7 და ნახ. 11.14) შიგა ზომების დანაშენისას მხედველობაში ღებულობენ სამშენებლო პერიოდის წყლის ხარჯების

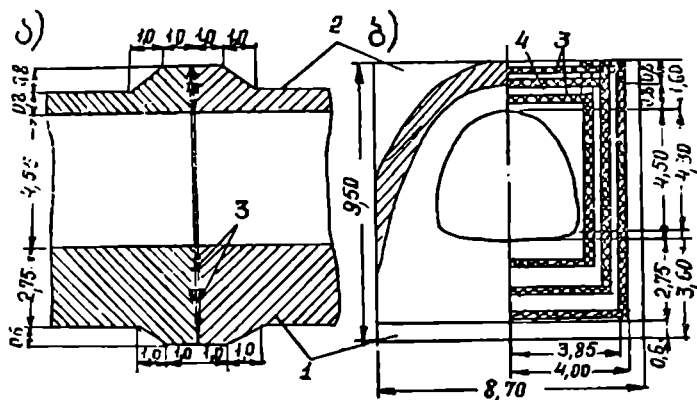
სიდიდეს და მათში დაწიფვანი მილსადენის მოხერხებულად და თავისუფლად შეიძლებოდა მილსადენის დათვლიერება და რეგულირება. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ასეთი გალერეების (ნახ. 11.14) ზომები ინიშნება შემდეგ ფარგლებში: სისაღლე  $A$  ათიჯება  $\geq 1,5$  მ;  $h$  სიდიდე მეტი კნდა იყოს მილსადენის ცალკეული სექციის აოალოდნელ მაქსიმალურ ჯდენახე;  $e$  და  $h$  სიდიდეების დადგენა ხდება სტატიკური გაანგაიშებითა საფუძველზე. ასეთი გალერეების გარე ზედაპირა ჩვეულებრივად ფოაფეა აიდროთააიზოლაციო და წყალგამტარი გრუნტის ფენით. თუ ფუძე კუმშვადი გრუნტისაგან შედგება, მაშინ გალერეის ყოველ 10—15 მეტრ სიგრძეზე ეწყობა ნაკეობი. ამასთანავე ყოველ ხაკერში საჭიროა გავითვალისწინოთ ჯდენისა და ფილტრაციის საწიდაიდგეო მოწყობილობაში კომპენსატორის და სოგმანის (ნახ. 11.15 და ნახ. 11.16) სახით. კომპენსატორი წარმოადგენს ლითონის ფურცელსა და დგმულს მილის ცალკეული სექციის პირაპირებს შორის ღრმად, რო-



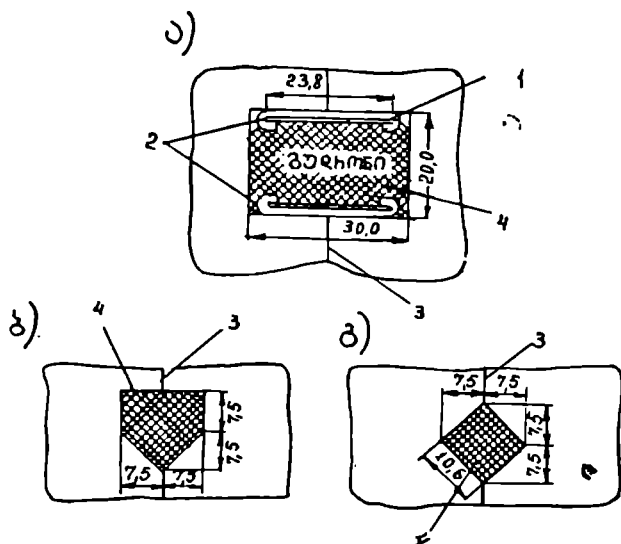
ნახ. 11.14—წყალგამომშვების უდაწნეო გალერეების ტიპური გაიყევებები.

მოწყობილობაში კომპენსატორის და სოგმანის (ნახ. 11.15 და ნახ. 11.16) სახით. კომპენსატორი წარმოადგენს ლითონის ფურცელსა და დგმულს მილის ცალკეული სექციის პირაპირებს შორის ღრმად, რო-

მელიც ზემოდან ივსება ბიტუმის ხსნარით. სოგმანი ეს არის ნაკერებში ფილტრაციის საწინააღმდეგო დამატებითი მოწყობილობა. სოგმანებისა და კომპენსატორების მოწყობის ადგილებში მილის ცალკეული სექციის კედლის სისქე 0.8—1 მეტრზე ნაცლები არ უნდა იყოს.



ნახ. 11.15 — გალერეის ცალკეული სექციების პირაპირებში ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობანი: ა—გრძივი კრილი; ბ—განივი კრილი; 1—გალერეის ძირითადი კვეთი; 2—კვეთი პირაპირების სიბრტყეში; 3—გულრონის სოგმანი; 4—კომპენსატორი.



ნახ. 11.16 — პირაპირების მოწყობის ტიპური სქემა: ა—კომპენსატორი; ბ—პორიზირებული სოგმანი; გ—ვერტიკალური სოგმანი; 1—მოთეთვებული ფოლადი, სისქით 3 მმ; 2—გაფისული ქეჩა; 3—გაფისული მუყაოს ორმაგი საფენი; 4—გულრონის (ბიტუმის) ხსნარი



5. წყალგამომშვების ჰიდრავლიკური გაანგარიშების არსი. წყალგამომშვების მაქსიმალური საანგარიშო წყლის ხარჯი განისაზღვრება ორი — სამშენებლო და საექსპლუატაციო პერიოდისათვის.

სამშენებლო წყლის ხარჯების გატარებას ითვალისწინებენ უშუალოდ გალერეაში (ლითონის მილების გარეშე, რომელთა დამონტაჟება ხდება სამშენებლო პერიოდის ხარჯების გატარების დამთავრების შემდეგ).

საექსპლუატაციო წყლის ხარჯების განსაზღვრისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული:

ა) ექსპლუატაციის პერიოდში ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გასატარებელი წყლის მოთხოვნილი რაოდენობა;

ბ) წყალსაცავის დაცლის პერიოდის ხანგრძლივობა.

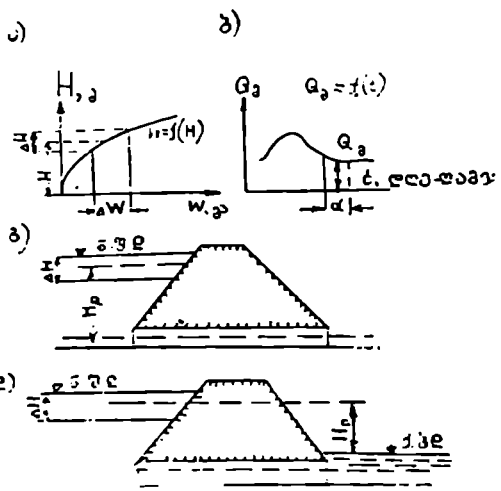
ასეთი ნაგებობების წყალგამტარობის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება ხდება მათი მუშაობის რეჟიმის შესაბამისად, ე. ი. იმისდა მიხედვით, მილსადენი დაწნევით მუშაობს თუ უდაწნეოდ. მილსადენის უდაწნეო რეჟიმზე მუშაობის შემთხვევაში წყალგამომშვების ჰიდრავლიკური გაანგარიშება ისეთივეა, რაც საგზაო უდაწნეო მილების, ხოლო დაწნევიანი რეჟიმისათვის კი — გამოიყენება დაწნევიანი მილების საანგარიშო ფორმულები.

წყალგამომშვები ნაგებობის მეშვეობით (ნახ. 11.17) წყალსაცავის

$T$  დაცლის დროს (ხანგრძლივობა) ანგარიშობენ, ფორმულით.

$$T = \sum \Delta t = \sum \frac{\Delta W}{(\mu \sqrt{2gH_p} - Q_a) \cdot \text{მბ} \cdot \text{ს}}, \quad (11.13)$$

სადაც  $T$  არის წყალსაცავის დაცლის ხანგრძლივობა, დღე — დამობით;  $\Delta W$  —  $\Delta H$  სიმაღლის შესაბამისი წყლის პრიზმის მოცულობა მბ-ობით, რომელიც აიღება  $W = f(H)$  გრაფიკიდან;  $\Delta t$  —



იმავე  $\Delta H$  სიმაღლის წყლის ნახ. 11.17 — წყალგამომშვების საანგარიშო (ჰიდრავლიკურად) სქემები: ა — წყალსაცავის მოცულობის პრიზმის შესაბამისი მოცულობით  $W = f(H)$ ; ბ — წყალსაცავში წყლის მოღიწების დროის დაცლის დრო, დღე — როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არაა; დ — წყალსაცავის დამობით;  $Q_a$  — ჰიდროგრაფის დაცლის სქემა, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალია.

ვის მიხედვით [მრუდ-  $Q=f(t)$  ] იმავე  $\Delta t$  დროში წყალსაცავში მოდი-  
 ნებული წყლის ხარჯი, მ<sup>3</sup>/წმ-ობით;  $H_p$  — წყლის  $\Delta H$  პრიზმის შესაბამისი  
 ვასაშუალებული (იხ. ნახ. 11.17, დ) დაწნევა, მ-ობით;  $\omega$  — წყალგასაშე-  
 ზის განივკვეთის ფართობი, მ<sup>2</sup>-ობით;  $\mu$  — წყალგასაშევის ხარჯის კოეფი-  
 ციენტი (იხ. თავი VI).

## მ ე თ ო რ მ ე ბ ა თ ა ვ ი

### არხები. წყალგამტარი და უმეაულეგელი ნაგებობები არხებში

#### § 12. 1. არხები

1. არხების დანიშნულება, მუშაობის პირობები,  
 განივკვეთის ფორმა და ზომები. დანიშნულების მიხედ-  
 ვით განიხილავენ არხების შემდეგ სახეობებს:

- ა) სარწყავი და დამშრობი;
- ბ) წყალმომარაგების მიზნით გამოყენებული;
- გ) ენერგეტიკული;
- დ) სანაოსნო და ხე-ტყის დასაცურებელი;
- ე) კომბინირებული ტიპის, როგორც მაგალითად, სარწყავ-ენერგეტი-  
 კული, სანაოსნო-ენერგეტიკული და ა. შ.

აქედან გამომდინარე, ყოველ არხს, როგორც რეჟიმის ასევე მუშაო-  
 ბის მიხედვით, წაეყენება სხვადასხვა მოთხოვნა, ასე, მაგალითად:

სარწყავი არხი ისეთნაირად უნდა დაპროექტდეს, რომ მას შეეძლოს,  
 რაც შეიძლება მეტი ფართობის გამგებლობა და წინასწარ დადგენილი  
 წყლის საანგარიშო ხარჯის გატარება.

დამშრობი არხების გატარება უნდა მოხდეს განსახილველი ტერიტო-  
 რიის სრულყოფილად დაწრეტის და წყლის ძირითად წყალმიმღებ არტე-  
 რიაში ჩადინების უზრუნველყოფის გათვალისწინებით.

წყალმომარაგების და ენერგეტიკული არხები ასეთნაირად უნდა დაპ-  
 როექტდეს, რომ უზრუნველყოფილი იყოს მათი მთელი წლის განმავლო-  
 ბაში მუშაობა. გარდა აქ აღნიშნულისა, ენერგეტიკული დანიშნულების  
 არხის ტრასა, ენერჯიის კარგვის შემცირების მიზნით, საჭიროა გატარდეს  
 შექმლებისდაგვარად მინიმალური ქანობით.

სანაოსნო არხებისათვის ძალზე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება არხის  
 ფორმას და განივკვეთის ზომებს, რომლებიც ინიშნება მასში გასატარებე-  
 ლი გემების გაბარიტების და წყლის დენების სიჩქარის მხედველობაში

შილებით (არხში წყლის დინების ისეთი სიჩქარე უნდა დაინიშნოს რომ არ გაძნელებს გემების მოძრაობა). იგივე მოთხოვნები წაყენება ზე-ტყის და ცურებისათვის გამოყენებულ არხებს.

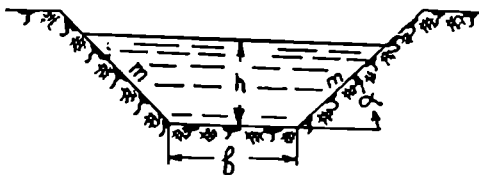
საშუალო ზომის არხების განივკვეთის ყველაზე გავრცელებულ ფორმად ითვლება (თუ მათი გატარება ხდება ქვიშოვან, თიხნარაან, ხრეშოვან ან თიხოვან გრუნტებში) ტრაპეციოიდული. როდესაც არხის განივკვეთი დიდი ზომის და საკმაოდ ღრმაა, გამოიყენება პოლიგონალური (ღარტაფული) ფორმა. არხის კლდოვან გრუნტში გატარების შემთხვევაში განივკვეთს ეძლევა სწორკუთხედის ფორმა.

ყველა ზემოთ განხილულ შემთხვევაში ჰიდრაულიკურად ხელსაყრელ განივკვეთად ის ჩაითვლება, რომლის სველი პერიმეტრა, წინასწარ დანიშნული წყლის სიღრმისათვის, იქნება მინიმალური. ტრაპეციოიდული ფორმის არხებში (ნახ. 12.1) ამ პირობას აკმაყოფილებს ტოლობა

$$\frac{b}{2} = 2' \sqrt{1 + m^2} - m, \quad (12.1)$$

სწორკუთხა ფორმის არხებში კი (ე. ი. როდესაც  $m=0$ ) —  $b=2h$ .

12.1 ცხრილში მოცემულია ჰიდრაულიკურად ხელსაყრელი განივკვეთების შესაბამისი  $\frac{b}{h}$  ფარდობის რიცხვითი სიღრდეები არხის ფერდობების დახრილობის კოეფიციენტის ( $m = ctg \alpha$ ) სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.



ნახ. 12.1 — ტრაპეციოიდული ფორმის არხის განივკვეთის სქემა.

ცხრილი 12.1

m	0	0,10	0,20	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\alpha$	90°00'	84°20'	78°40'	65°30'	53°10'	45°00'	33°40'	26°30'	21°50'	13°30'	16°30'
$\frac{b}{h}$	2	1,81	1,64	1,24	1,00	0,83	0,51	0,47	0,33	0,32	0,28

ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში არხის ფერდოს დახრილობის  $m$  კოეფიციენტის დადგენა უნდა მოხდეს მდგრადობაზე მათი გაანგარიშებით. წინასწარი გაანგარიშებისათვის, როდესაც არხის სიმაღლე არ აღემატება 3—5 მეტრს,  $m$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობა შეიძლება ავიღოთ 12,2 ცხრილიდან.

არხების დაპროექტებისას ყურადღება უნდა მიექცეს განივკვეთების როგორც ჰიდრავლიკურად ხელსაყრელობას, ასევე მათ ეკონომიურობას. ასე, მაგალითად, როდესაც არხში წყლის სიღრმე დაახლოებით ტოლია ჰრილში გატარებული არხის სიღრმის, მაშინ ჰიდრავლიკურად ხელსაყრელი განივკვეთი ამავე დროს იქნება ეკონომიურიც. თუ ტრაპეციის ფორმის არხი უფრო ღრმა ჰრილშია გატარებული, ვიდრე მასში წყლის სიღრმეა, ეკონომიკურად ყველაზე ხელსაყრელ კვეთად ითვლება ისეთი (მოცემული ხარჯისათვის), რომლის დროსაც არხის ფსკერის სიგანე მინიმალურია.

ცხრილი 12.2

წყლით დაფარული არხების ფერდობების დახრილობის კოეფიციენტები

( $m=c/ga$ )

გრუნტის დასახელება	$m$	გრუნტის დასახელება	$m$
მტრისებური ქვიშა	3,0—3,5	თიხნარები და თიხები	1,25—1,5
წერილი, საშუალო და მსხვილი ქვიშა	2,0—2,5	ხრეშოვანი და კენჭოვანი ნახევრად კლდოვანი, წყალგამძლე	1,25—1,5
ა) ფხვიერი და საშუალო სიმკვრივის	1,5—2,0	გამოფიტული კლდე	0,5—1,5 0,25—0,0
ბ) მკვრივი ქვიშნარები	1,5—2,0	განოუფიტევი კლდე	0,1—0,25

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის მიუხედავად, პრაქტიკულად არხის ფსკერის მინიმალური სიგანე ინიშნება სამუშაოთა წარმოების წესის შესაბამისად და აიღება შემდეგ ფარგლებში:

ა) როდესაც არხის გათხრა წარმოებს ხელით— $b \geq 0,5$  მეტრის.

ბ) როდესაც არხის გათხრა მექანიზმებით ხდება— $b \geq 1,5$  მეტრის.

თუ არხის გატარება გათვალისწინებულია ყრილში, მაშინ ეკონომიურობის თვალსაზრისით უმჯობესია წყლის სიღრმის შემცირების ხარჯზე გავზარდოთ არხის ფსკერის სიგანე, რაც, თავის მხრივ, საშუალებას იძლევა შევამციროთ ჯებირის სიმაღლე (თუმცა შევნიშნავთ, რომ ამ შემთხვევაში უარესდება არხის ექსპლუატაციის პირობები ზამთრის პერიოდში).

თუ არხი სანაოსნო დანიშნულებისაა, მაშინ მისი მინიმალური სიგანე  $B$  ინიშნება შემდეგ ფარგლებში

$$B = (2,5 \div 3,0)b, \quad (12.2)$$

სადაც  $b$  არის არხში გასატარებელი ყველაზე დიდი გემის მაქსიმალური სიგანე.

2. არხში წყლის დინების დასაშვები სიჩქარეების შერჩევა, ძირითადად, ხდება იმის მიხედვით, თუ რა დანიშნულებისა ის.

მაგალითად, სარწყავ არხებში წყლის დინების საანგარიშო სიჩქარეები ნაკლები უნდა იყოს არხის მოპირკეთების შესაბამის წარცხვის სიჩქარეებზე და მეტი, ვიდრე დაღმავის სიჩქარეები. ჩვეულებრივ, სარწყავ მოუპირკეთებელ არხებში საანგარიშო სიჩქარეები აიღება  $0,6-1,0$  მ/წმ-ის ფარგლებში, ხოლო ბეტონით მოპირკეთებულ არხებში კი აღწევს  $2,5$  მ/წმ და მეტსაც.

ენერგეტიკული დანიშნულების ხელოვნურად მოპირკეთებულ არხებში წყლის დინების საანგარიშო სიჩქარეების შერჩევა ხდება ეკონომიური გაანგარიშების საფუძველზე, მიწის არხებში კი—გრუნტის რეცხვადობის პირობიდან გამომდინარე. გარდა აღნიშნულისა, ენერგეტიკული დანიშნულების არხებში წყლის დინების საანგარიშო სიჩქარეები უნდა აკმაყოფილებდეს მათ ნორმალურ მუშაობას ზამთრის პირობებში (გამორიცხული უნდა იყოს სიღრმისეული ყინულისა და თოშის წარმოქმნა). ჩვეულებრივ, ასეთ არხებში წყლის დინების სიჩქარე ინიშნება  $1$  მ/წმ— $3$  მ/წმ-ის ფარგლებში.

სანაოსნო არხებში წყლის დინების სიჩქარე უნდა იყოს ნეძღებისდაგვარად მცირე და არ უნდა აღემატებოდეს  $1$  მ/წმ-ში; თუმცა აქაც, ისე როგორც წინა შემთხვევებში, დატული უნდა იყოს კალაპოტის დაულამაობის და წაურეცხვადობის მოთხოვნები.

არსებული ნორმატიული დოკუმენტაციის (ТУ 24—108—48) თანახმად, წყლის დინების ის კრიტიკული სიჩქარე, რომლის დროსაც დაღმავს ადგილი არ ექნება, შეიძლება გამოთვლილ იქნეს პროფესორ ი. ლევის ფორმულით

$$V_{კრ} = e\sqrt{R}, \quad (12.3)$$

სადაც

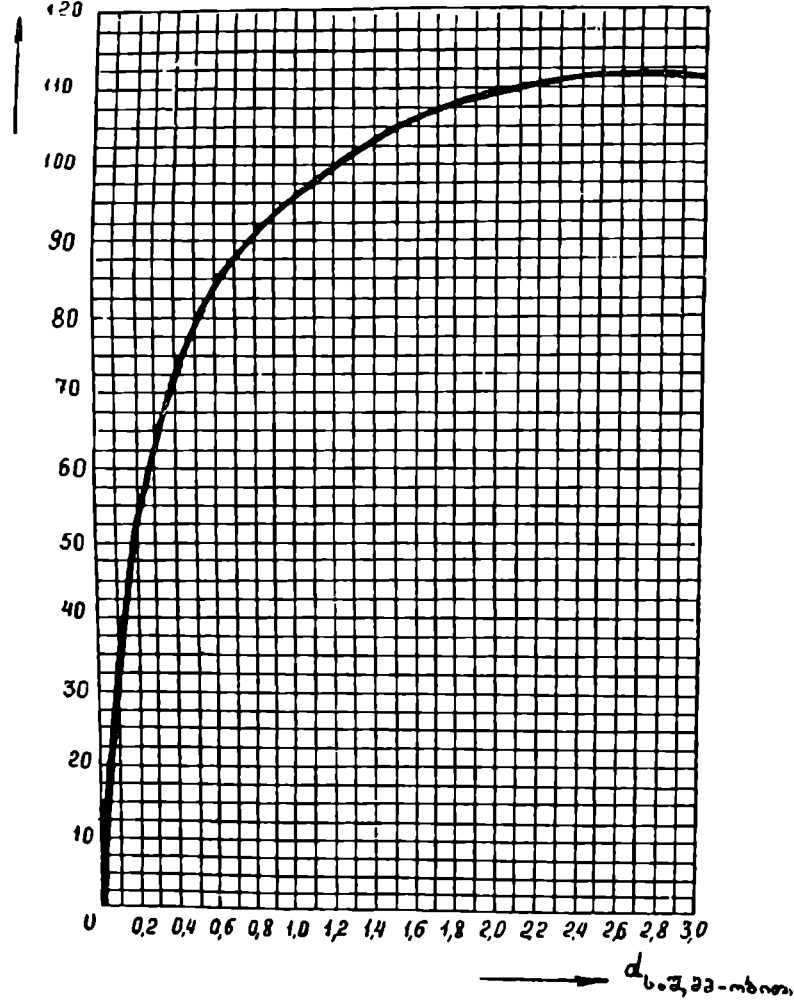
$$e = 0,01 \frac{\omega_{საა}}{\sqrt{d_{საა}}} - \frac{0,3225}{n}. \quad (12.4)$$

ამ გამოსახულებებში  $R$  არის არხის ჰიდრაულიკური რადიუსი, მეტრობით;  $\omega_{საა}$  —საშუალო დიამეტრის ( $d_{საა}$ , მმ-ობით) მქონე ტივტივა ნატანის ნაწილაკების შესაბამისი ჰიდრაულიკური სიმახო, მმ/წ-ობით;  $n$  —ხორკლიანობის კოეფიციენტ-როდესაც წყლის ნაკადში  $0,25$  მმ-ზე მეტი ზომის მქონე ნაწილაკები (წონის მიხედვით)  $0,01\%$ -ს აჭარბებს, მაშინ გამოსახულება

(12.4)-ის მარჯვენა ნაწილში შეყავთ დამატებითი მამრავლი  $\alpha = \left(\frac{P}{0,01}\right)^{1/4}$

სადაც  $P$  არის 0.25 ნმ-ზე მეტი სიმსხოს მქონე ტივტოვა ნატანის რაოდენობა (წონის მიხედვით), გამოსახული პროცენტობით. წინასწარ ცნობილი  $d_{საშ}$ -ს მიხედვით, (12.4) ფორმულაში შემავალი პარამეტრი  $\frac{a_{საშ}}{\sqrt{d_{საშ}}}$  შეიძლება განვსაზღვროთ ნახ. 12.2-ზე მოცემული გრაფიკიდან.

$$\frac{a_{საშ}}{\sqrt{d_{საშ}}}$$



ნახ. 12.2 — დამოკიდებულების გრაფიკი  $\frac{a_{საშ}}{\sqrt{d_{საშ}}} = f(d_{საშ})$

3. არხებიდან წყლის ფილტრაციის გაანგარიშება შეიძლება ჩავატაროთ ნ. პავლოვსკის ფორმულით (არსებობს აგრეთვე სხვა ავტორების მიერ შემუშავებული თეორიული და ემპირიული ფორმულებიც), რომელსაც, გრუნტის წყლების დონის უსასრულო სიღრმეზე მდებარეობის შემთხვევაში, ასეთი სახე აქვს

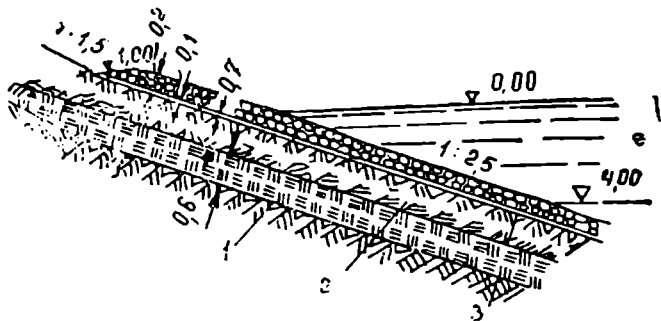
$$q = 0,0116 K_{ფ} B + 2h, \quad (12.5)$$

სადაც  $q$  არის წყლის დანაკარგი ფილტრაციაზე არხის ერთ კმ სიგრძეზე, მ<sup>3</sup>/წმ-ობით;  $K_{ფ}$ —ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღე-ღამეში;  $B$ —არხის სიგანე (ნახ. 12.1) წყლის სარკის ზედაპირის დონეზე, მ-ობით;  $h$ —წყლის სიღრმე არხში, მ-ობით.

4. არხების სამოსის დანიშნულებაა ფსკერის და ფერდობის დაცვა წარეცხვისა და მექანიკური ზემოქმედებისაგან (სანაოსნო არხებში კი—გემებისაგან წარმოქმნილი ტალღების ზემოქმედებისაგან). ამჟამად ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის პრაქტიკაში გამოიყენება არხების სამოსის შემდეგი სახეები

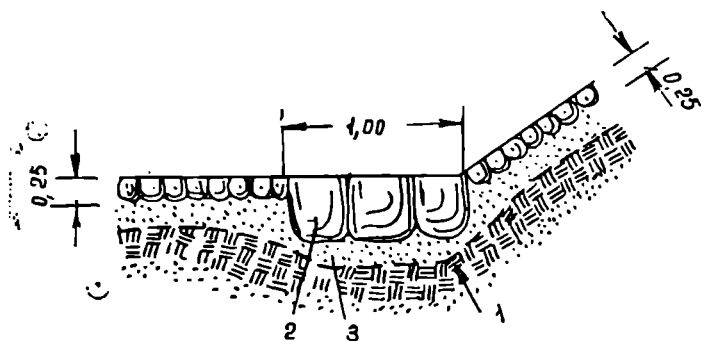
- ა) ქვაყრილის;
- ბ) ქვაფენილის;
- გ) ხსნარზე ქვით მოკირწყელა;
- დ) ბეტონის, რკინა-ბეტონის და ასფალტ-ბეტონის მოპირკეთებები;
- ე) ტორკრეტირება.

ქვაყრილის სამოსი (ნახ. 12.3) ეწყობა წინასწარ მომზადებული (15—20 სმ სისქით) ხრეშის ან მსხვილმარცვლოვანი ქვიშის ფენაზე. ამ შემთხვევაში ნაყარის სისქე აიღება 30—60 სმ-დან, ზოგჯერ კი 1 მეტრამდე. ქვაყრილის სამოსის ანალოგია დაახლოებით ქვაფენილის მშრალად წყობა (ნახ. 12.4) და ხსნარზე ქვით მოკირწყელა (ნახ. 12.5); ეს უკანასკნელნი



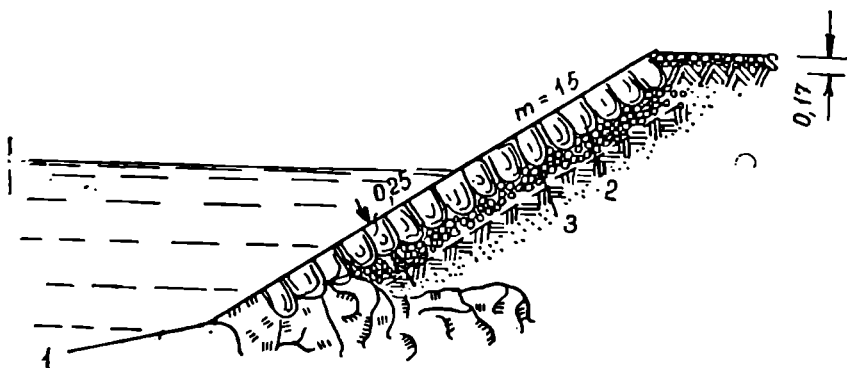
ნახ. 12.3 — ქვაყრილის სამოსი: 1 — თიხა; 2 — ღამეული ფენა; 3—ქვაყრილის საფენი.

უმეტესად გამოიყენება დიდი განივი კვეთის მქონე არხებში, სადაც ხორკლიანობის გავლენა წნევის კარგვებზე შედარებით მცირეა. იმ არხებში, სადაც ფილტრაციაზე წყლის დიდი რაოდენობით კარგვაა მოსალოდნელი



ნახ. 12.4 — ქვაფენილის სამოსი: 1—მსუბუქ-თიხოვანი გრუნტი; 2—ცალკეული მსხვილი (0,3—0,4 მ) ქვებისაგან შემდგარი მისაბრჭენი ბლოკი; 3—ქვის საფენით მომზადება.

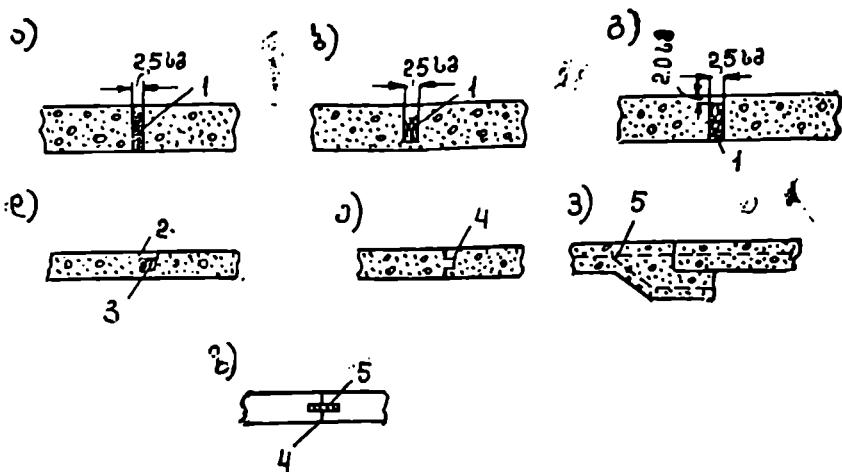
ან კიდევ წყლის დინება დიდი სიჩქარეებით ხასიათდება, ითვალისწინებენ ბეტონის და რკინა-ბეტონის მოპირკეთებას. ბეტონის მოპირკეთებაში ტემპერატურული და არათანაბარი ჯდენისაგან გამოწვეული ბზარების თავიდან



ნახ. 12.5 — ხსნარზე შესრულებული მოკირწყვლის სამოსი: 1 — ბზარების და ნაკერების ამოქოლვა ცემენტის ხსნარით; 2—ქვით მოკირწყვა ცემენტის ხსნარზე; 3—ლორღით მომზადება (15—20 სმ ფენით).

აცილებს მიზნით ითვალისწინებენ ტემპერატურულ ნაკერებს (ნახ. 12.6), რომელთა შემავსებლად იყენებენ პლასტიკურ მასალებს—ასფალტს, გაფისულ მუყაოს ფურცლებს, ხის მასალას და ა. შ. ბეტონის სამოსის ალაგებენ





ნახ. 12.6 — არხის ფერღობის ბეტონით მოპირკეთებისას გამოყენებული ნაკერების კონსტრუქციები ხის (ა, ბ, გ), გაფისული მუყაოს ფურცლის (დ, ე, ვ) ან კიდევ ლითონის ფიფიტის (ზ) საღებავით. 1—ხის ძეღები; 2—ცეპების ხსნაოი; 3—ქუღრონი; 4—ბითუმის საცხი; 5—ლითონის ფირფიტა, ზომით 150X6 მმ;

ლორღის, ხრეშის ან მსხვილმარცვლოვანი ქვიშის 10 სმ-იანი სისქის საფენზე.

ასფალტბეტონის მოპირკეთება წარმოადგენს ასფალტის ბიტუმისა და ხრეშის (ან ქვიშისა და ლორღის) ნარევეს, რომელთა დანიშნულებისამებრ ჩაწყობა ხდება 140°—150° ტემპერატურაზე გაცხელებულ მდგომარეობაში. ამ ტიპის მოპირკეთების გამოყენება მიზანშეწონილია იქ, სადაც გრუნტის წყლების საშიშროება არსებობს და გრუნტს აქვს მიღრეკილება გამობურცვისაკენ. განასხვავებენ ასფალტ-ბეტონის სხვადასხვა ტიპებს (ცხრილი 12.3).

ცხრილი 12.3

ასფალტბეტონში ასფალტის ბიტუმის შემცველობა, %-ობით

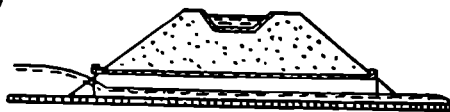
ასფალტბეტონის ტიპი	ასფალტ-ბეტონში გამოყენებული ლორღის სიხსნო, მმ-ობით	წონობით გაიოსახული ასფალტ-ბეტონის მღლიან მიჩეოალურ მასაში ასფალტის ბიტუმის შემცველობა, %-ობით
მსხვილმარცვლოვანი	≥ 35	5—7,5
საშუალომარცვლოვანი	≥ 25	6—8,5
წვრილმარცვლოვანი	≥ 15	7,5—9,5

წყალგამტარ ნაგებობებს მიეკუთვნება: მილები, ლარები, აკვედუკები, დიუქრები, გვირაბები და ა. შ.

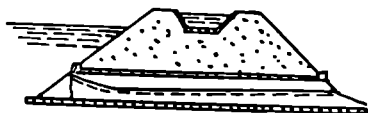
ქვემოთ განვიხილავთ ყველა მათგანს ცალ-ცალკე.

1. მილები. თუ არხი კვეთავს შედარებით მცირე სიგანის და სიკმაღლის ხევს, მაშინ არხის ქვეშ, ხევის წყლის გასატარებლად აშენებენ მილებს (ნახ. 12.7) ან მილისებურ უდაწნეო ღვარსაშვებს.

ა)



ბ)



გ)



ნახ. 12.7 — მილებში წყლის მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმები: ა—უდაწნეო; ბ—ნახევრად დაწნევიანი; გ—დაწნევიანი.

ბების დაწნევიან რეჟიმზე მუშაობა დაიშვება მხოლოდ გამონაკლის შემთხვევაში—კატასტროფული წყლის ხარჯის გასატარებლად და იქ, სადაც მილის (ღვარსაშვის) წინ წყლის დონის აწევა უარყოფითად არ იმოქმედებს არხის ნორმალურ მუშაობაზე. მილში დაწნევიანი რეჟიმის შესაქმნელად აუცილებელია მის წინ წყლის სიღრმე (შესასვლელი უბნის ფსკერის მიმართ)

$$h = 1,5d + 0,25 \frac{V^2}{2g}, \quad (12.6)$$

სადაც  $d$  არის წრიული მილის დიამეტრი ან სწორკუთხოვანი მილის სიმაღლე;

$V$  — მილში წყლის დინების სიჩქარე.

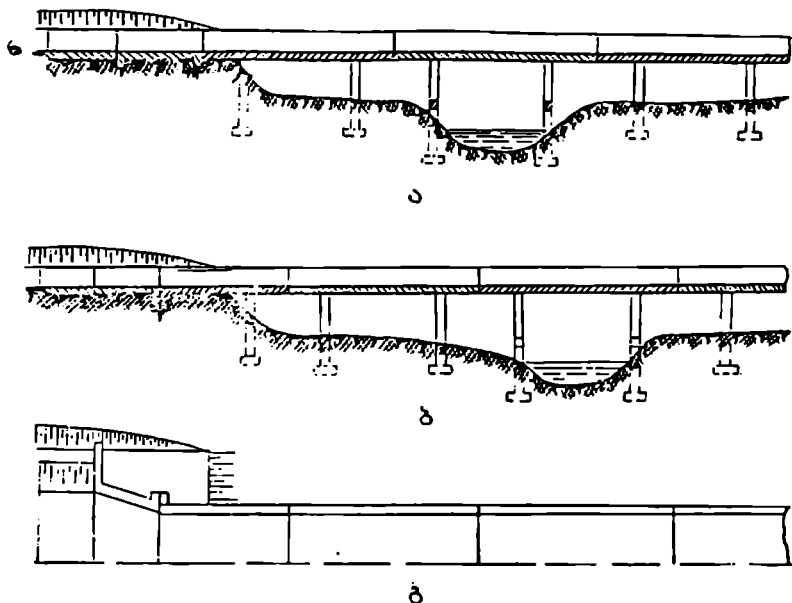
წყლის მცირე ხარჯების გასატარებლად ჩვეულებრივ იყენებენ ანაკრები კონსტრუქციის წრიული კვეთის მილებს, 1—1,5 მეტრის დიამეტრით, ხოლო წყლის დიდი ხარჯების გასატარებლად კი—სწორკუთხოვანი განიკვეთის მქონე ე.წ. ან რამდენიმეთლიან მილებს (ღვარსაშენებებს).

2. ლარებს, როგორც წყალგამტარ ნაგებობას, აშენებენ შედარებით დიდი დახრილობის მქონე ფერდობებზე მიწის არხის ნაცვლად ისინი განიკვეთიში წარმოადგენენ რკინა-ბეტონის ან ბეტონის კოლოფს საყრდენი კედლის მსგავსი გვერდებით და ბეტონის ფილებით ან სხვა სახის კონსტრუქციით გამაგრებული ფსკერით.

3. აკვედუკები. აკვედუკის ლარში წყლის მოძრაობა, ძირითადად, ისეთივე რეჟიმით ხდება, როგორც ჩვეულებრივ არხებში.

აკვედუკი, როგორც წყალგამტარი ნაგებობა, გამოიყენება იმ შემთხ-

ვევაში, როდესაც მდინარე (ხეობა) განიერი ჰალოთ და შედარებით მცირე წყალსადინარით ხასიათდება (ნახ. 12.8).



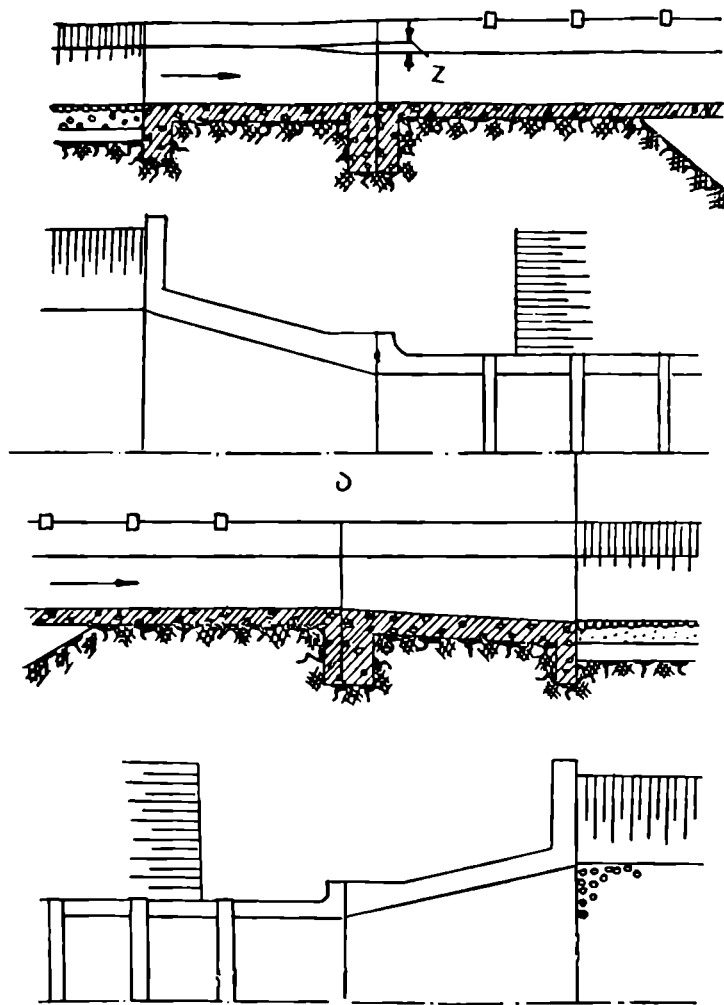
ნახ. 12.8—აკვედუის სქემა ჩარჩოს კონსტრუქციის საყრდენებზე.

აკვედუის შესასვლელი (ნახ. 12.8) და გამოსასვლელი (ნახ. 12.9, ბ) სათავეები ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ იმით, რომ გამოსასვლელი სათავესი გამყვან არხთან შეუღლების უბანზე დახრილი და ამავე დროს გაგანიერებულია აკვედუკში გათვალისწინებული წყლის დონების შედარებით დიდი სიჩქარეებიდან გამყვანი მიწის არხის შესატყვის სიჩქარეებზე გადასვლის მიზნით.

გრუნტში აკვედუის საყრდენების ჩაღრმავება ინიშნება გრუნტის გაყინვის სიღრმის და აკვედუის განლაგების უბანში წყალდენის მიერ გრუნტის შესაძლო მაქსიმალური გამორეცხვის სიღრმის მხედველობაში მიღებით.

აკვედუის ღარის კედლების თხემის ამაღლება, მასში საანგარიშო წყლის დონესთან შედარებით, წყლის საანგარიშო ხარჯის შესაბამისად ინიშნება შემდეგ ფაზგლებში (იხ. ცხრილი 12.4).

სამშენებლო მასალის მიხედვით განიხილავენ ბეტონის, ხის და ზოგჯერ ლითონის აკვედუებს. ბეტონის და ხის აკვედუეები კონსტრუქციულად ხიდების ანალოგიურია, სახელდობრ, საყრდენები თითქმის ისეთივეა, რო-



ნახ. 12.9

ბ

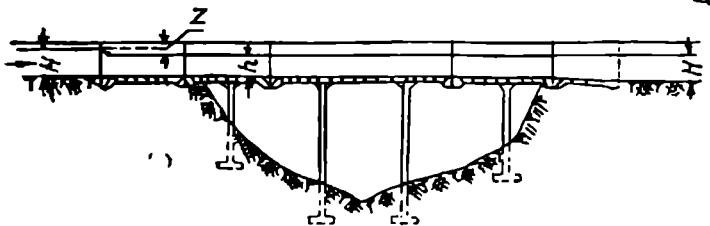
ნახ. 12.9 — აკვედუკის არხთან შეუღლების სქემა; ა—შესასვლელი სათაფისი; ბ—გამოსაცვლელი სათაფისი.

ცხრილი 12.4

წყლის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ-ობით	<1	1-10	10-30	30-50
--------------------------------------	----	------	-------	-------

ღარის კედლების თხემის ამალევა წყლის საანგარიშო მექანიზმურ ღონისთან შედარებით, სმ-ობით

10	20	30	35
----	----	----	----



ნახ. 12.10 — აკვედუკის ჰიდრაულიკურად განაგარიშების სქემა.

გორც ხიდისებურ გადასასვლელებში, ხოლო ხიდის სავალი ნაწილის ნაცვლად აკვედუკებში გვაქვს წყალგამტარი მოწყობილობა ღარების ან მილების სახით.

ჰიდრაულიკური თვალსაზრისით აკვედუკის შესასვლელ უბანში (ნახ. 12.10) წყლის დინების რეჟიმი პრაქტიკულად იგივეა, რაც ფართო ზღურბლიანი დაძირული წყალგადასაშვების შემთხვევაში და ამიტომ წყლის ხარჯის საანგარიშოდ სარგებლობენ ფორმულით

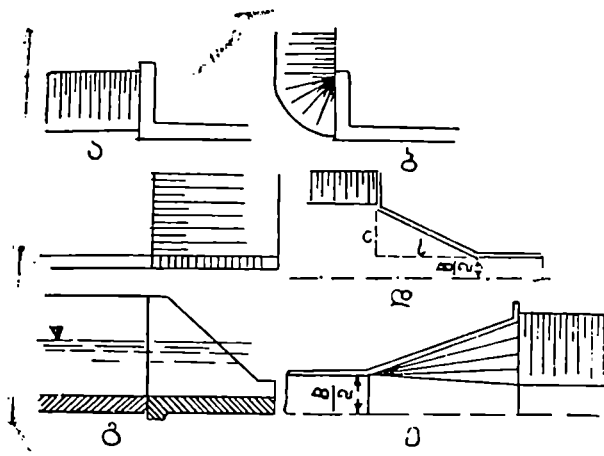
$$Q = \epsilon \phi b h \sqrt{2gz} \quad \text{ან} \quad Q = m b a H \sqrt{2gH}, \quad (12.7)$$

სადაც  $m \approx 0,35$  არის ხარჯის კოეფიციენტი;  $H$ —წყლის სიღრმე არხში აკვედუკის წინ;  $h$ —წყლის სიღრმე აკვედუკის ღარში;  $z = H - h$ ;  $\phi$  —სიჩქარის კოეფიციენტი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა დაახლოებით უდრის 0,98;  $b_a = \epsilon b$ ;  $b$  —აკვედუკის ღარის სიგანე;  $\epsilon$ —ნაკადის გვერდითი შევიწროების კოეფიციენტი, რომელიც გამოითვლება გამოსახულებით:

$$\epsilon = 1 - a \frac{H}{H - b}, \quad (12.8)$$

სადაც  $a$  არის არხის აკვედუკის ღართან შეუღლების ფორმის მახასიათებელი კოეფიციენტი; რაც მეტია  $a$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობა, მით მეტია ნაკადის შევიწროება და მით უფრო არახელსაყრელია, ჰიდრაულიკური თვალსაზრისით, არხის აკვედუკის ღართან შეუღლების კონსტრუქცია. 12.11 ნახ.-ზე მოცემულია აკვედუკთან არხის შეუღლების ძირითადი სქემები და თითოეული მათგანისათვის  $a$  პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობანი (12.11, დ ნახ.-ზე ნაჩვენებია  $c:l$  ფარდობა პრაქტიკულად აიღებო  $\leq 1:2$  და ამ შემთხვევაში  $a = 0,013$ ; როდესაც  $c:l = 1:4$ , მაშინ  $a = 0,07$ ).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, აკვედუკის ღარში წყლის დინება, ძირითადად, თანაბარი რეჟიმით ხასიათდება და ამიტომ მისი ფსკერის ქანობა



ნახ. 12.11 — აკვედუკთან ან წყალგამტარ ნაგებობასთან არხის შეუღლების ძირითადი სქემები: ა — უკუკედელი ( $a \approx 0,2$ ); ბ — უკუკედელი კონუსით ( $a \approx 0,07$ ); გ — ჩაყენილი კედელი ( $a \approx 0,075$ ); დ — მიღძაბრის ფორმის შეუღლება ( $a \approx 0,07-0,13$ ); ე — მრუდწირული სიბრტყით შეუღლება ( $a \approx 0,06-0,05$ ).

წინასწარ მოცემული საანგარიშო ხარჯისათვის გამოითვლება გამოსახულებით

$$i = \frac{V^2}{C^2 R}, \tag{12.9}$$

სადაც  $V$  არის აკვედუკის ღარში წყლის დინების სიჩქარე,  $C$  — შეზის კოეფიციენტი,  $R$  — აკვედუკის ღარის ჰიდრაულიკური რადიუსი.

აკვედუკის სტატიკური გაანგარიშების ძირითად მიზანს შეადგენს საყრდენების და ღარის კონსტრუქციული ზომების დადგენა. თუ საყრდენები და ღარი ურთიერთ შორის დაკავშირებულია ხისტად და ამგვარად ისინი წარმოადგენენ ერთ მთლიან კონსტრუქციას, მაშინ ასეთი ნაგებობა განიხილება როგორც საყრდენებით (დგარებით) და ღარებით (რიველებით) შექმნილი ჩარჩოები. პირველად, ე. ი. როდესაც ღარი საყრდენზე თავისუფლად დევს, მაშინ თითოეული მათგანის გაანგარიშებას აწარმოებენ ცალ-ცალკე. ორივე შემთხვევაში გაანგარიშების საბოლოო მიზანია საყრდენების საძირკვლის ზომების შერჩევა.

ზემოთ მიღებული დაშვების საფუძველზე ღარი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც კოჭი (რა თქმა უნდა, თუ საყრდენების სიხისტე გაცილებით უარესად რიველის—ღარის სიხისტეს), ხოლო მთლიანი კონსტრუქცია

ქი ჩავთვალოთ როგორც კონსოლურ-კოკოვანი სისტემა; შესაბამისად, მომენტის სიდიდე თითოეულ საყრდენზე

$$M_1 = \frac{qa^2}{2} \quad (12.10)$$

ხოლო საანგარიშო მალზე მოქმედი მაქსიმალური მომენტი

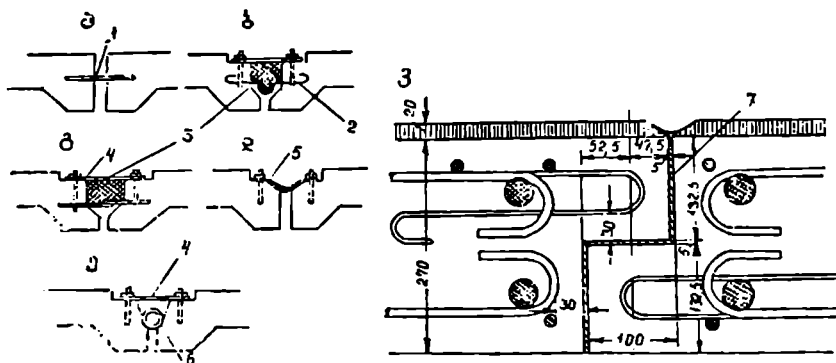
$$M_{\text{მაქს}} = \frac{ql^2}{8} - \frac{qa^2}{2}, \quad (12.11)$$

სადაც  $a$  არის კონსოლის სიგრძე და მომენტების ტოლობის (მალზე და საყრდენებზე) პირობიდან გამომდინარე ტოლია  $0,35 l$ ;  $l$  — საანგარიშო მალის სიგრძე;  $q$  — ღარისა და მასში წყლის საკუთარი წონისაგან გამოწვეული თანაბრად განაწილებული დატვირთვა. შესაბამისად  $a = 0,35 l$  სიდიდის გათვალისწინებით, (12.11) ფორმულა ასეთნაირად გადაიწერება

$$M_{\text{მაქს}} = \frac{qa^2}{0,35^2 \cdot 8} - \frac{qa^2}{2} \approx -\frac{qa^2}{2}. \quad (12.12)$$

განსახილველ შემთხვევაში საყრდენები, განიხილება რა როგორც ცალკე მდგომი სვეტები ან ჩარჩოები (ეს დამოკიდებულია მათ კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე), აუცილებელია აგრეთვე შემოწმდეს ქარისაგან გამოწვეულ გვერდით დატვირთვაზე და სეისმური მოვლენების ზემოქმედებაზე.

აკვედუკის ცალკეული სექციის ურთიერთდაკავშირება ხდება სპეციალური წყალგაუმტარი ნაკერების მოწყობით. მაგალითისათვის 12.12 ნახ.-ზე



ნახ. 12.12 — აკვედუკის ნაკერების კონსტრუქციები; 1—ლითონის ფურცელი, რომლის ერთი ბოლო გაგოზილია ზეით. საწოლით ან საპნით; 2—ლითონის ფურცელი მოლუნული ბოლოებით; 3—ბითუმი; 4—ლითონის ფირფიტები ოვალური ხვრეტებით ქანჭიკებისათვის; 5—გარეზინებული ქსოვილი; 6—გარეზინებული სურეტებიანი მილი (დიამეტრით 3—7 სმ).

მოცემულია პრაქტიკაში გამოყენებული ნაკერების ძირითადი ტიპები. როგორც ნახაზიდან ჩანს, წარმოდგენილი ნაკერების კონსტრუქციებს შორის ყველაზე მარტივია ლითონის ფირფიტით შეერთების კონსტრუქციული გადაწყვეტა (ნახ. 12.12 ა) ზეთით, საპნით ან სანთლით გაპოხილი ერთი ბოლოთი; გაპოხვა აუცილებელია იმისათვის, რომ ლითონის ფირფიტის თავისუფლად გადაადგილების შემთხვევაში არ დაიარღვეს ნაკერის საერთო წყალგამტარობა.

4. დიუკერები წარმოდგენს დაწნევიან მილსადენებს, რომელთა აშენება ხდება წყალსატარი არხების მდინარეებთან, შშრალ ხევეებთან, სელურ კალაპოტებთან ან გზებთან გადაკვეთის ადგილებში.

წყალგამტარობის თვალსაზრისით დიუკერების დაწინაშელება იგივეა, რაც აკვედუკის, თუმცა აკვედუკისაგან განსხვავებით დიუკერები შეიძლება აგრეთვე მოეწყოს იმ შემთხვევაშიც, როდესაც არხისა და გზის ან ორთ არხის (ნახ. 12.13 ა, ბ, გ) ურთიერთგადაკვეთა ხდება. ერთ ნიშნულზე წყალსატარი არხი კვეთს სანაოსნო მდინარეს და საჭიროა სანაოსნო ვაბაჟ რიტების აუცილებლად დაცვა, წყალსატარი არხი კვეთს ღრმა და განიერ ხეობებს (ნახ. 12.13 დ, ე).

სამშენებლო მასალის გამოყენების თვალსაზრისით დიუკერები დაყოფილია ბეტონის, რკინა-ბეტონის, ხის, ლითონის და კომბინირებულ (მაგალითად ზედა ნაწილში რკინა-ბეტონის, ქვედაში ლითონის) ტიპის ნაგებობად.

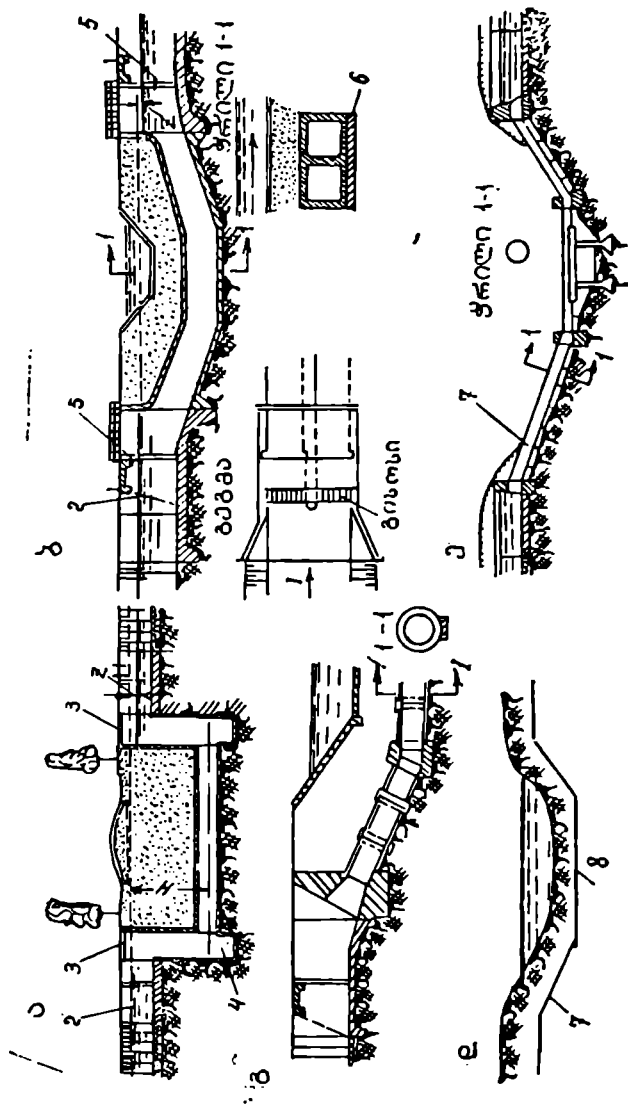
ბეტონის დიუკერები უმეტესად წრიული განივკვეთისაა და გამოიყენება წყლის მცირე (3—5 მ) წნევის დროს, რკინა-ბეტონის—60 მეტრამდე და ხის—100 მეტრამდე წნევების შემთხვევაში. ლითონის დიუკერები გამოიყენება იშვიათად და ისიც საკმაოდ დიდი წნევების შემთხვევაში. ზოგჯერ, წყლის მცირე წნევებისას, დიუკერები შენდება სხვადასხვა მასალისაგან, როგორც მაგალითად დიუკერის შახტები (ნახ. 12.13, ა) აგურის ან ბეტონისაგან\*, ხოლო მილები—რკინა-ბეტონისაგან, ლითონისაგან და ა. შ.

ზოგადად, დიუკერები დაყოფილია ორ ძირითად ტიპად: მიწაში ჩაფლულად და მიწის ზედაპირზე განლაგებულად. პირველ შემთხვევაში დიუკერის მილების ჩაწყობა ხდება ამ მიზნით სპეციალურად გათხრილ ტრანშეაში, რომელიც შემდგომ ივსება გრუნტის უკუჩაყრით; მეორე შემთხვევაში, მდინარის ხეობის ღრმა და განიერ ფერდობებსა და ძირზე მილების დამონტაჟება ხდება ღიად, ხოლო უშუალოდ წყალსადენ კალაპოტში კი — საყრდენ ესტაკადებზე (ნახ. 12.13, ე).

წყლის საანგარიშო ხარჯისა და ადგილობრივი პირობების მხედველობაში მიღებით დიუკერებს აპროექტებენ როგორც; ერთ, ისე რამდენიმე

\* უკანასკნელ წლებში ასეთი ნაგებობები უმეტესად შენდება ანაკრები. რკინა-ბეტონის კონსტრუქციებისაგან.





ნ.ბ. 12.13 — დიუვერების ტიპური სექციები. 1—არხი; 2—გისოპი; 3—საბუჩაი; 4—შაბატი; 5—სამანდლოე კილო; 6—მწიფე (მკლე) ბეტონისაგან მომზადებული ფსკერი; 7—მილები; 8—დაბეჭედი ფენა.

პარალელურად გატარებული, მიღების სახით. ამ უკანასკნელის ძირითად უპირატესობას, ერთდროიანი დიდი დიამეტრის მქონე დიუქერისაგან განსხვავებით, შეადგენს ის, რომ განსახილველ შემთხვევაში გამარტივებულია მიღების ერთი სექციის დათვალიერება და რემონტი მეორე სექციის მუშაობის პერიოდში, შემცირებულია მიღების ცალკეული რგოლის წონა და ასე შემდეგ.

ყველი დიუქერის ძირითადი შემადგენელი ელემენტებია:

ა) დიუქერის არხთან შეუღლება, რომელიც წნევის კარგების შემცირების მიზნით სასურველია განხორციელდეს შეძლებისდაგვარად მდოვრე მოხაზულობის (ნახ. 12.13, ბ).

ბ) გისოსი (ნახ. 12.13, ბ), რომლის მიზანია დიუქერის დაცვა მასში მტურავი სხეულების მოხვედრისაგან;

გ) საშანდორე კილოები სარემონტო დანიშნულების ფარების დასაყენებლად (ნახ. 12.13, ბ) დიუქერის შესასვლელ და გამოსასვლელ უბნებში;

დ) ქვიშადმკერი კები (ნახ. 12.13, ა).

ე) დიუქერის წყალდამცელი მოწყობილობა, რომლის გათვალისწინება აუცილებელია დიუქერის ყველაზე დაბალ წერტილში იმ შემთხვევაში, როდესაც ხევი საკმაოდ ღრმაა და რემონტის დროს დიუქერიდან წყლის მექანიკურად ამოტუმბვა გაძნელებულია.

3. კონსტრუქციული ნაკერები (ნახ. 12.14), რომლის მიზანია დიუქერის ცალკეული სექციის ურთიერთდაკავშირება და ამავე

დროს დიუქერიდან წყლის ფილტრაციის გამორიცხვა.

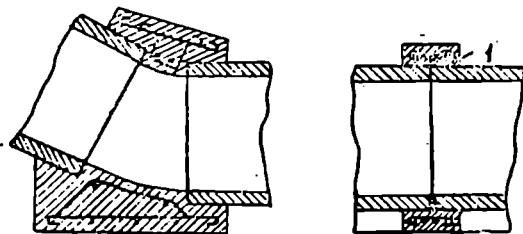
დიუქერების ჰიდრავლიკური გაანგარიშების ჩატარება საჭიროა შემდეგი სამი შემთხვევისათვის.

1. დიუქერის მილის განიკვეთის, სიგრძის, გრძივი პროფილის და წყლის ხარჯის

შონაცემების საფუძველზე საჭიროა დადგინდეს დიუქერში წნევის კარგვის სიდიდე ან, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, არხში—დიუქერის საწყის და ბოლო კვეთებში (ნახ. 12.15)—წყლის ღონეთა  $Z$  სხვაობა;

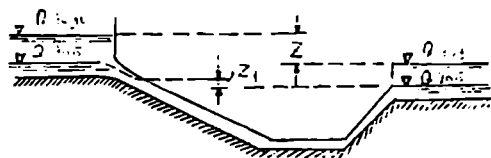
2. წინასწარ მოცემული წნევის კარგვის  $Z$  სიდიდის, წყლის ხარჯის, დიუქერის სიგრძისა და გრძივი პროფილის მიხედვით საჭიროა დიუქერის მილის განიკვეთის ზომების დადგენა;

ნახ. 12.14 — რკინბეტონის სექციების ურთიერთშერთების სქემები.



3. წინასწარ მოცემული დიუქერის გრძივი პროფილის, წნევის კარგვის სიდიდის და განიკვეთის ზომების მიხედვით განისაზღვროს დიუქერის წყალგამტარუნარიანობა.

ყველა აქ ჩამოთვლილი სამი საანგარიშო შემთხვევის განსახილველად დავწერთ ბერნულის განტოლება დიუქერის შესასვლელი და გამოსასვლელი ორი კვეთისათვის (ნახ 12.15)



ნახ. 12.15 — დიუქერის ჰიდრაულიკურად გაანგარიშების სქემა.

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Z = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} \left( \zeta_{\text{შეს}} + \zeta_{\text{გამოს}} + \zeta_{\text{სახ}} + \zeta_{\text{მოხკ}} \right). \quad (12.13)$$

სადაც  $h_1, V_1, h_2$  და  $V_2$  წყლის სიღრმეები და სიჩქარეებია შესაბამისად არხის მიმყვან და გამყვან უბნებში:  $V$  — წყლის დინების სიჩქარე დიუქერის მილში;  $Z$  — მიმყვანი და გამყვანი არხების წყლის დონეთა სხვაობის სიდიდე. თუ არხის მიმყვანი და გამყვანი უბნები ერთნაირი განიკვეთით და ქანობით ხასიათდებიან, მაშინ  $h_1 = h_2, v_1 = v_2$  და ამიტომ (12.13) განტოლება ასეთ სახეს ღებულობს

$$Z = \left( \zeta_{\text{შეს}} + \zeta_{\text{გამოს}} + \zeta_{\text{სახ}} + \zeta_{\text{მოხკ}} \right) \frac{V^2}{2g} = \Sigma \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (12.14)$$

სადაც  $\Sigma \zeta$  არის წნევის კარგვების წინალობის კოეფიციენტები შესაბამისად დიუქერში წყლის შესვლაზე, მისგან გამოსვლაზე, ხახუნზე და მოხვეულობაზე.

თავის მხრივ (12.14) განტოლებიდან გამომდინარეობს

$$V = \frac{1}{\sqrt{\Sigma \zeta}} \sqrt{2gz} = \mu \sqrt{2gz}, \quad (12.15)$$

სადაც  $\frac{1}{\sqrt{\Sigma \zeta}}$  არის სისტემის ხარჯის კოეფიციენტი.

ამგვარად, (12.14) განტოლებით შეიძლება გადავწყვიტოთ ზემოთ ჩამოთვლილი საანგარიშო შემთხვევების პირველი ამოცანა, (12.15) განტოლების და  $Q = \omega V$  ფორმულის გამოყენებით მეორე ამოცანა, ხოლო თუ (12.15) განტოლებაში  $V$  -ს შევცვლით მისი მნიშვნელობით  $V = \frac{Q}{\omega}$  ვღე-

ბულობით:

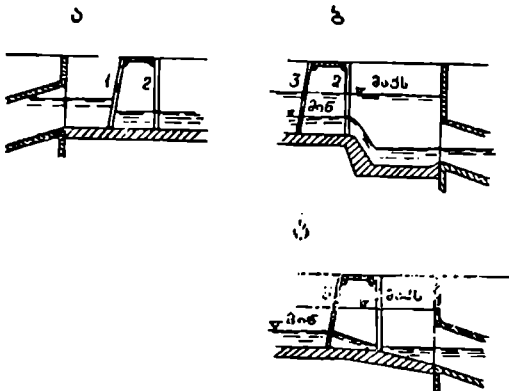
$$Q = \mu a \sqrt{2gz} ,$$

(12.16)

რომელიც საშუალებას იძლევა გადავწყვიტოთ შესამე ამოცანა.

განხილული განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ დიუქერის მილში წყლის დინების სიჩქარის მომატება განაპირობებს წნევის კარგვების გაზრდას; მეორე მხრივ, მისმა საგრძნობლად შემცირებამ შეიძლება გამოიწვიოს ის ნატანი მასალის დალექვა მილში. აღნიშნულიდან გამომდინარე, დიუქერის მილში წყლის დინების ოპტიმალური სიჩქარეები აიღება 1,5—2,0 მ/წმ-ის ფარგლებში.

დიუქერების ჰიდრავლიკურ გაანგარიშებას ორ-მაქსიმალურ და მინიმალურ ხარჯებზე ახდენენ\*. პირველის მიზანია მილის ისეთი დიამეტრის შერჩევა, რომელიც უზრუნველყოფს წყლის საანგარიშო მაქსიმალური ხარჯის გატარებას წინასწარ დადგენილი  $z$  -ის დროს; წყლის საანგარიშო



ნახ. 12.16 — სხვადასხვა საანგარიშო წყლის ხარჯზე მომუშავე დიუქერების სათავისების სქემები: 1—ქელები; 2—საშანდორე კილო სარემონტო ფარების (შანდორების) დასაყენებლად; 3—გისონი.

მინიმალურ ხარჯებზე დიუქერების შემოწმება აუცილებელია, რადგან განსახილველ შემთხვევებში ღრმა დიუქერის მილის საწყის უბანში მოსალოდნელია ჰიდრავლიკური ნახტომის წარმოქმნა მილის კედლებზე ნიშანცვლადი პულსაციური დარტყმებით, რამაც, თავის მხრივ, შეიძლება გამოიწვიოს ნაკერები სიმტკიცის დაქვეითება წყალგაუმტარობაზე და ასე შემდეგ.

დიუქერის მილში ნახტომის წარმოქმნის საწინააღმდეგოდ სხვადასხვა სახის კონსტრუქციებს იყენებენ. ასე, მაგალითად, დიუქერის გამოსასვლელ სათავისში (ნახ. 12.16) ქელების ან ფარის ძოწყობა შესაძლებლობას იძლევა გავზარდოთ წნევის კარგვები და ამგვარად გამოვირიცხოთ ჰიდრავლიკური ნახტომის წარმოქმნა დიუქერის მილში; ამ კონსტრუქციის გამოყენება

\* ვარდა მკიერ სიგრძის და სიღრმის მქონე დიუქერებისა, რომელსაც ანგარიშობენ მხოლოდ ერთ-მაქსიმალურ ხარჯზე.

უფრო მიზანშეწონილია ფარების ავტომატურად რეგულირების შემთხვევაში. თუ წყლის მცირე ხარჯების დროს დონეთა სხვაობა  $z$  (იხ. ნახ. 12.15) არც თუ ისე დიდია, უმჯობესია დიუქერის შესასვლელ სათავსში მოეწყოს წყალსაცემი ჭა (ნახ. 12.16, ბ) ან შესასვლელი სათავისის ფსკერი ოდნავ დაეწიოს ქვემოთ (ნახ. 12.16, გ), რაც, აგრეთვე, ხშირად კეთდება (ნახ. 12,13) დიუქერის მილებში წყლის მდოვრედ შედინების მიზნით.

5. ჰიდროტექნიკური გვირაბების სახით წყალგამტარ ნაგებობებს აშენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც:

I. არხის ტრასა მოცემულ უბანზე კვეთს მთას ან ამაღლებულ ადგილს და მის ფერდობზე შემოვლით არხის გატარება ტექნიკური და ეკონომიკური მოსაზრებით ნაკლებად მისაღებია, ხოლო ღრმა ჭრილებში მისი გაყვანა კი პრაქტიკულად შეუძლებელია;

II. არხის ტრასა გადის ციცაბო ფერდობზე და სადაც ადგილი აქვს ისეთ ხელშემშლელ მოვლენებს (მეწყერი, ქვების ცვენა და ასე შემდეგ), რომლებიც აძნელებენ ან შეუძლებელს ხდიან არხის ნორმალურად აშენებას და ექსპლუატაციას;

III. არხის ტრასა გადის მკიდროდ განაშენიანებულ დასახლებულ ადგილებში.

წყალსამეურნეო დანიშნულების მიხედვით ჰიდროტექნიკური გვირაბები დაყოფილია:

ა) სამელიორაციო და გაწყლოვანების (ზემო აღაზნის, ტაშისკარის და ასე შემდეგ მაგისტრალური არხების ტრასებზე გათვალისწინებული გვირაბები);

ბ) ჰიდროენერგეტიკული, რომელიც ეწყობა სადერივაციო არხებზე (რიონჰესზე და ასე შემდეგ);

გ) წყალსადენ—საკანალიზაციო;

დ) სანაოსნო და ხე-ტყის დასაცურებელი.

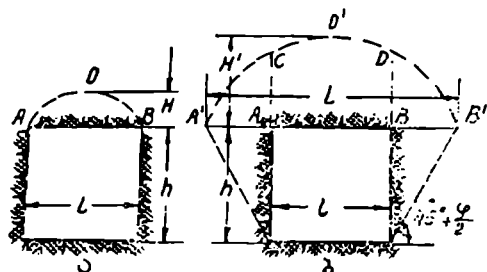
გარდა აღნიშნულისა, გვირაბები დაყოფილია აგრეთვე უშუალოდ გვირაბებად, რომელთა ღერძები ჰორიზონტალური ან ოდნავ დახრილია; შტოლნები, როდესაც გვირაბი დამხმარე დანიშნულებისაა; შტრეკები — სამოსამსახურო დანიშნულების მოკლე და მცირე დიამეტრის გვირაბები და შახტები, როდესაც მათი ღერძები ვერტიკალური ან მკვეთრად დახრილია.

წყლის გატარების თვალსაზრისით განიხილავენ დაწნევიან, ნახევრად დაწნევიან და უდაწნეო გვირაბებს. მათი ჰიდრაულიკური გაანგარიშებისათვის გამოიყენება იგივე ფორმულები, რომლებიც არხებისათვის და მილებისათვის იყო ზემოთ აღნიშნული. რაც შეეხება მათ სტატიკურ გაანგარიშებას, ამ მიზნით ლიტერატურაში მრავალი მეთოდი განხილული. ქვემოთ განვიხილავთ მხოლოდ ერთს—პროფესორ მ. პროტოდიაკონოვის მეთოდს, რომელიც შესაძლებლად თვლის მთის ქანებისათვის გამოყენებულ იქნეს ფხვიერი სხეულების საანგარიშო

კანონები იმ განსხვავებით, რომ ანგარიშში შეჰყავთ გრუნტის ცალკეული ნაწილაკების ურთიერთხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების გამომსახველი შემასწორებელი ანუ როგორც მას თვით მ. პროტოდიაკონოვი უწოდებს—ქანების სიმაგრის  $f_s$  კოეფიციენტი.

მ. პროტოდიაკონოვი გვირახებში მთის ქანების დაწნევის (დატვირთვის) ორ ძირითად სქემას განიხილავს:

1) მაგარი ჭიშის ქანებისათვის (ნახ. 12. 17, ა), როდესაც ქანების გვერდითი დაწნევა საერთოდ გამორიცხულია ან მეტისმეტად უმნიშვნელო;



ნახ. 12.17 — ჰიდროტექნიკური გვირახების სტატიკურად გაანგარიშების სქემები მ. პროტოდიაკონოვის მიხედვით: ა — მაგარი ჭიშის ქანების შემთხვევაში; ბ — რბილ ქანებში გათხრილი გვირახებისათვის.

სიკაწით გათხრა. ამგვარად, თალის ელემენტის წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე (როდესაც თალზე მოქმედებს მხოლოდ მკუმშავი ძალები) მ. პროტოდიაკონოვი იძლევა  $H$  და  $l$  პარამეტრების მქონე თალის ღერძის მოხაზვის განტოლებას

$$H = \frac{l}{2f_s} \quad (12.17)$$

და გვირახის გამომუშავების ერთეულ სიგრძეზე მოსული ვერტიკალური სამთო  $P$  წნევის სიდიდის გამოსათვლელ ფორმულას

$$P = \frac{2}{3} l H f_s \cdot 1, \quad (12.18)$$

სადაც  $H$  არის თალის ჩამონგრევის სიმაღლე,  $l$  — გვირახის გრუნტის გამომუშავების სიგანე;  $f_s$  — ქანების სიმაგრის კოეფიციენტი, რომელიც იცვ-

ლება 0,3—0,6-დან (რბილი ჭიშის ქანებში)—20-მდე (მაგარი ჭიშის ქანებში);  $\gamma_3$ —ქანის მოცულობითი წონა; რიცხვი „2“ (12.17) განტოლებას მნიშვნელში აღნიშნავს თალის ორმაგ მდგრადობის წინასწარ დაშვებას. (12.18) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ გვირაბის გამომუშავების ერთეულ სიგრძეზე მოსული ქანების ვერტიკალური წნევა ტოლია ჩამონგრევის თალის წონის, რომელიც, თავის მხრივ, უდრის  $AOB$  პარაბოლის ფართობს. გამრავლებულს ქანის მოცულობით  $\gamma_3$  წონაზე და ერთეულ სიგრძეზე. (12.17)-ის ჩასმა (12.18)-ში საბოლოოდ ვლებულობთ

$$P^1 = \frac{\gamma_3 l^2}{3f_1}, \quad (12.19)$$

როდესაც მაგარი ჭიშის ქანებისათვის  $f_1 > 2 \div 6$ .

მეორე საანგარიშო სქემის (ნახ. 12.17, ბ) შემთხვევაში ჩამონგრევის საანგარიშო თალის მალი

$$L = l + 2htg\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (12.20)$$

ხოლო ჩამონგრევის  $AOB$  თალის სიმაღლე

$$H^1 = \frac{L}{2f_1}. \quad (12.21)$$

სადაც  $L$  არის ჩამონგრევის თალის მალი,  $h$  — გვირაბის საანგარიშო სიმაღლე,  $\varphi$  — გრუნტის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი.

შესაბამისად გვირაბის გამაგრების ზედა ნაწილის ერთეულ სიგრძეზე მოსული ვერტიკალური  $P^1$  დაწნევა ტოლია  $ACDB$  თალის ფართობისა და ქანის მოცულობითი წონის ნამრავლის, ესე იგი

$$P^1 = \frac{2}{3} \gamma_3 Hl + \gamma_3 (H_1 - H) l, \quad (12.22)$$

რომელიც, (12.17) და (12.18) გამოსახულებების მხედველობაში მიღებით, საბოლოოდ ასეთნაირად გადაიწერება

$$P^1 = \gamma_3 l \left[ \frac{2}{3} H + \left( \frac{l + 2htg\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{2f_1} - H \right) \right] \quad (12.23)$$

რაც შეეხება, წნევის  $E$  სიდიდეს, მის გამოსათვლელად მ. პროტოდიაკონოვი იძლევა ასეთ ფორმულას

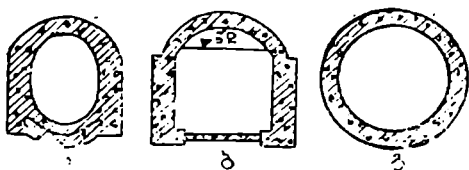
$$E = \frac{h}{2} (2g + \gamma_3 h) \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (12.24)$$

სადაც  $q$  ჩამონგრევის პრიზმაზე დატვირთვის სიდიდეა და გაჭრივლება ფორმულით

$$q = \frac{\frac{2}{3} \gamma_3 L H^3 - P^1}{2 \frac{L-l}{2}} = \frac{\frac{2}{3} \gamma_3 L H^3 - P^1}{L-l} \quad (12.25)$$

ჰიდროტექნიკური გვირაბების განივკვეთის ფორმის შერჩევაზე ერთ-ერთ გადამწყვეტ გავლენას ახდენს მასში წყლის დინების ჰიდრავლიკური რეჟიმი და აგრეთვე საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები. ასე, მაგალითად, დაწნევიანი გვირაბებისათვის, როგორც წესი, ირჩევენ წრიულ კვეთს, რომელიც წყლის შინაგანი წნევის პირობებში ყველაზე რაციონალურად ითვლება. წრიულ კვეთს ასევე ხშირად ირჩევენ უდაწნეო გვირაბებში, როდესაც ექსპლუატაციის პერიოდში წყლის დონეთა რყევადობის დიაპაზონი უმნიშვნელოა და გვირაბის გათხრა გათვალისწინებულია შესრულდეს ე. წ. ფ ა რ ე ბ ი ს წ ე ს ი თ. თუ უდაწნეო გვირაბში წყლის დონეთა რყევადობა დიდად იცვლება, უპირატესობა ეძლევა კვერცხისებურ ან სწორკუთხოვან ფორმებს (ნახ. 12.18, ა, ბ).

საბოლოოდ აღვნიშნავთ, რომ ჰიდროტექნიკური გვირაბების დაპროექ-



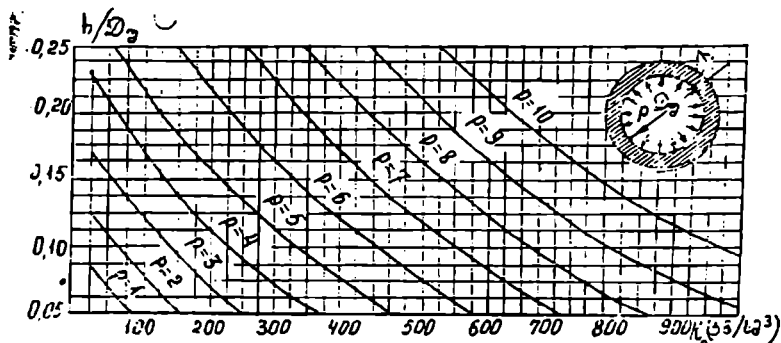
ნახ. 12.18 — გვირაბების განივკვეთების სქემები: ა—კვერცხისებური; ბ—სწორკუთხოვანი; გ—წრიული.

ტება და მძეხებლობა წარმოადგენს ერთ-ერთ საბასუქისმგებლო და რთულ ამოცანას; ამიტომ საჭიროების შემთხვევაში მათ დასაპროექტებლად აუცილებელია გამოვიყენოთ სპეციალური ცნობარები და კვლევითი ინსტიტუტების

მასალები. წინასწარი დაპროექტების შემთხვევაში კი ჰიდროტექნიკური გვირაბების კედლების სისქე შეიძლება დავადგინოთ 12.19 და 12.20 ნახ.-ზე მოყვანილი გრაფიკებით. სახელდობრ, 12.19 ნახ.-დან შეგვიძლია წინასწარ მოცემული გვირაბის შიგა დიამეტრის  $D$ , წნევის  $P$  სიდი-

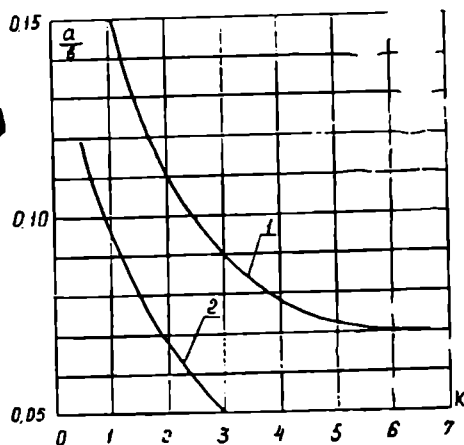


ღის და გრუნტის ხვედრითი რეაქტიული  $K_0$  კოეფიციენტის მიხედვით (პირველი მიახლოებით  $K_0$  კოეფიციენტი აიღება 1—1,2 ფარგლებში) დავადგინოთ რკინა-ბეტონის გვირაბის მოსახვის  $\mu$  სისქე, ხოლო 12.20 ნახ-დან კი—უდაწნეო გვირაბის ბეტონით ან რკინაბეტონით მოსახვის სისქეები.



ნახ. 12. 19. — დაწნევიანი გვირაბის რკინაბეტონის მოსახვის სისქის საანგარიშო

გრაფიკი  $\frac{h}{D} = f(P, K_0)$



ნახ. 12.20 — უდაწნეო გვირაბის მოსახვის სისქის საანგარიშო გრაფიკი  $\frac{a}{b} = f(K)$ ,

სადაც  $a$  — თლის მოსახვის სისქეა მის ზედა ნაწილებში;  $b$  — გვირაბის სიგანე,  $K$  — ქანის სიმკვრივის კოეფიციენტი; 1—ბეტონით მოსახვის შემთხვევაში; 2—რკინა-ბეტონის მოსახვისას.

18. ბ. ჩიკვაშვილი.

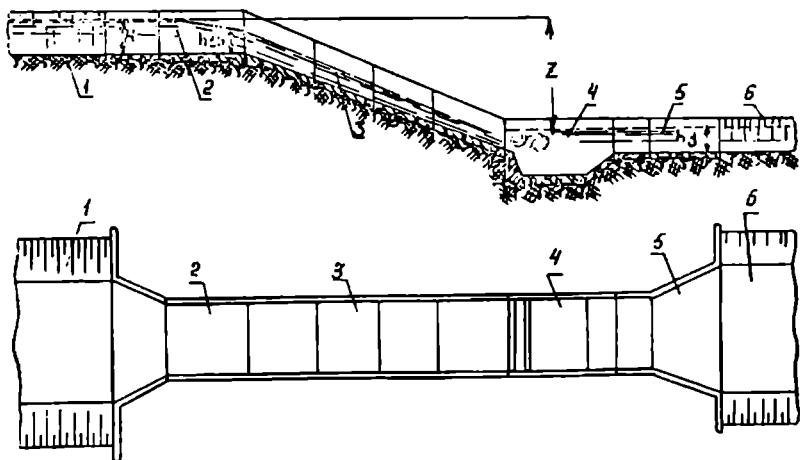
§ 12. 8. შემაუღლებელი ნაგებობები

1. ზოგადი მონაცემები. შემაუღლებელი ნაგებობები საკმაოდ გავრცელებულ ნაგებობათა რიცხვს მიეკუთვნება. მათ სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში სხვადასხვა დანიშნულება აქვს. ასე, მაგალითად, მელიორაციულ პრაქტიკაში შემაუღლებელი ნაგებობის მიზანია სარწყავი არხის ტრასის გადაყვანა გადასაცემით ადგილის მაღალი ნიშნულიდან შედარებით დაბალ ნიშნულზე; ჰიდროენერგეტიკაში—როგორც წყალსაგდები ნაგებობა; წყლის ტრანსპორტში—როგორც ხე-ტყის დასაცურებელი მოწყობილობა ან ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობა რაბების შევსების და დაცლის დროს. შემაუღლებელი ნაგებობები გამოიყენება აგრეთვე წყალსაცავებიდან ზედმეტი წყლის გადასაგდებად და ასე შემდეგ.

შემაუღლებელ ნაგებობებს, ძირითადად, მიეკუთვნება სწრაფდენები და ვარდნილები. თავის მხრივ, კონსტრუქციული თვალსაზრისით, ვარდნილებში განასხვავებენ ჩვეულებრივ, მილისებურ, შახტურ, კოშკურ, კონსოლიან და სხვა ტიპის ვარდნილებს. ზოგჯერ შემაუღლებელ ნაგებობებს მიაკუთვნებენ ხოლმე მორსაშვებებს, თევზსავალებს, გამრეცხ გაღებებს და სხვა.

წინამდებარე პარაგრაფში განვიხილავთ სწრაფდენებს და ვარდნილებს. მორსაშვებები, თევზსავალები და გამრეცხი ნაგებობები, ძირითადად, წარმოადგენს სპეციალური დანიშნულების ნაგებობებს და ამიტომ მათი გარჩევა გათვალისწინებულია სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილში.

2. სწრაფდენები. სწრაფდენი (ნახ. 12.21) შემაუღლებელ ნა-



ნახ. 12.21 — სწრაფდენის საერთო სქემა: 1—მიმყვანი არხი; 2—შესასვლელი ნაწილი; 3—სწრაფდენის ლარი; 4—წყალსაცემი (ენერჯის ჩამქრობი) კა; 5—ნაგებობის გამოსასვლელი უბანი; 6—გამყვანი არხი.

გებობათა ერთ-ერთი უმარტივესი ტიპია. სწრაფდენის ზომებს და ქანობს უმეტეს შემთხვევაში განაპირობებს წყლის დინების ის მაქსიმალური სიჩქარე, რომლის დროსაც გამორიცხული იქნება ლარის ზედპირის გადახეხვა.

სწრაფდენის ძირითადი ელემენტებია (ნახ. 12.21): შესასვლელი 2 და გამოსასვლელი 5 უბნები, სწრაფდენის ლარი 3 და წყალსაცემი (ენერჯის ჩამქრობი) 4.

ამა თუ იმ მასალისაგან აშენებული სწრაფდენის ლარის მაქს-მალური ქანობის შერჩევა ხდება ასეთი გამოსახულებით

$$i = \frac{V_{\text{ლარ}}^2}{C^2 R}, \quad (12.26)$$

სადაც  $v_{\text{ლარ}}$  არის სწრაფდენის ლარის ასაშენებლად გამოყენებულ სამშენებლო მასალაზე წყლის დინების დასაშვები სიჩქარე,  $C$  — შეზის ფორმულაში შემავალი კოეფიციენტი,  $R$  — სწრაფდენის ლარის ცოცხალი კვეთის ჰიდრავლიკური რადიუსი.

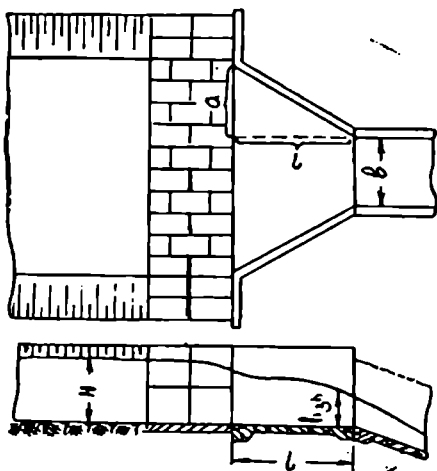
სწრაფდენის შესასვლელი უბანი კონსტრუქციულად ღია აკვედუკის შესასვლელი ნაწილის ანალოგიურია და ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით მუშაობს როგორც ფართობღებრიანი დაუძირავი წყალსაშვი, როდესაც  $\frac{a}{l} \leq 0,5$  (ნახ. 12.22). პირიქით შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც შესასვლელი

$$\frac{a}{l} > 0,5,$$

უბანი გაიანგარიშება არათანაბარი მოძრაობის გატოლებით, როგორც გარდამავალი უბანი.

არათანაბარი მოძრაობის გატოლებით იანგარიშება აგრეთვე სწრაფდენის ლარიც (ნახ. 12.21), რომელიც ზოგადად ჩაიწელება ასეთი სახით

$$\frac{i_0 L}{h_0} = F(\eta_2) - F(\eta_1) - N \left[ \Phi(\eta_2) - \Phi(\eta_1) \right], \quad (12.27)$$



ნახ. 12.22 — სწრაფდენის შესასვლელი ნაწილის მოწყობის ზოგადი სქემა.

სადაც  $i_0$  არის სწრაფდენის ფსკერის ქანობი;  $L$  — დაცემის წირის სიგრძე სწრაფდენის ღარის დასაწყისიდან პირობითად აღებულ რომელიმე საანგარიშო კვეთამდე;  $h_0$  — წყლის ნაკადის ნორმალური სიღრმე, ე. ი. ის სიღრმე, რომელიც შეესაბამება წყლის თანაბარ მოძრაობას;  $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0}$ ;  $h_1 = h_{3r}$ ;

$$h_2 \approx (1,01 \div 1,05) h_0; \quad N = \frac{\alpha Q^2 B_0}{g \omega^3} ; \quad \alpha - \text{ნაკადის ცოცხალ კვეთში}$$

სიჩქარეთა განაწილების არათანაბრობის კოეფიციენტი, რომელიც დაახლოებით იცვლება 1,0—1,1-ის ფარგლებში;  $B_0$  არის სწრაფდენის ღარში ნორმალური სიღრმის შესაბამისი წყლის ზედაპირის სიგანე;  $\omega_0$  — ნორმალური სიღრმის შესაბამისი ცოცხალი კვეთის ფართობი;  $F(\eta)$  და  $\Phi(\eta)$  — ფუნქციები, რომელთა დადგენა ხდება სპეციალური ცხრილებიდან წინასწარ მოცემული  $\beta_0 = \frac{b}{h_0}$  და  $\eta = \frac{h}{h_0}$  მისედვით;  $b$  — ღარის ფსკერის სიგანე;  $h$  სწრაფდენის ღარში მოძრაობის არათანაბარი რეჟიმის დროს გამოითვლილი წყლის სიღრმე.

(12. 27) განტოლების გადასაწყვეტად წინასწარ აუცილებელია თანაბარი მოძრაობის პირობიდან გამომდინარე განესაზღვროთ  $i_0$  ქანობი და წყლის ნორმალური სიღრმე  $h_0$ , ხოლო სწრაფდენის ღარის დასაწყის კვეთში წყლის საანგარიშო სიღრმედ აიღება კრიტიკული ( $h_{3r}$ ) სიღრმე. ამის შემდეგ გვეცოდინება რა სწრაფდენის ღარის ფსკერის სიგანე  $b$  და დავეშვებით რა  $h_2$  წყლის სიღრმეს (წინასწარი მიახლოებით  $h_2$  აიღება 1,03  $h_0$ -ის ტოლი), გამოვითვლით  $\beta_0 = \frac{b}{h_0}$ ;  $\eta_1 = \frac{h_1}{h_0} = \frac{h_{3r}}{h_0}$ ;  $\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}$  და ცხრი-

ლებიდან დაეადგენთ მათ შესაბამის  $F(\eta_1)$ ,  $F(\eta_2)$ ,  $\Phi(\eta_1)$  და  $F(\eta_2)$  ფუნქციებს. ყველა ამ მოწაკემის ჩასმით, (12. 27) განტოლებიდან განესაზღვრავთ წყლის თავისუფალი ზედაპირის დაცემის წირის  $L$  სიგრძეს; თუ ამგვარად გამოთვლილი  $L$  სიგრძე ნაკლები იქნება სწრაფდენის ღარის ფაქტიურ სიგრძეზე, მაშინ იგულისხმება, რომ სწრაფდენის სიგრძის ფარგლებში წყლის ნაკადი ასწრებს ნორმალურ სიღრმეზე გადასვლას, ამიტომ სწრაფდენის შემდგომი უბანი გაიანგარიშება თანაბარი მოძრაობის განტოლებით და სწრაფდენის ბოლო კვეთში წყლის საანგარიშო სიღრმედ აიღება ნორმალური  $h_0$  სიღრმე; ამავე დროს ეს სიღრმე შეესაბამება სწრაფდენის ბოლოს გათვალისწინებულ წყალსაცემ ქაში ნახტომის წარმოქმნის პირველ

\* იხ. ჰიდრაულიკის ნებისმიერი სახელმძღვანელო.

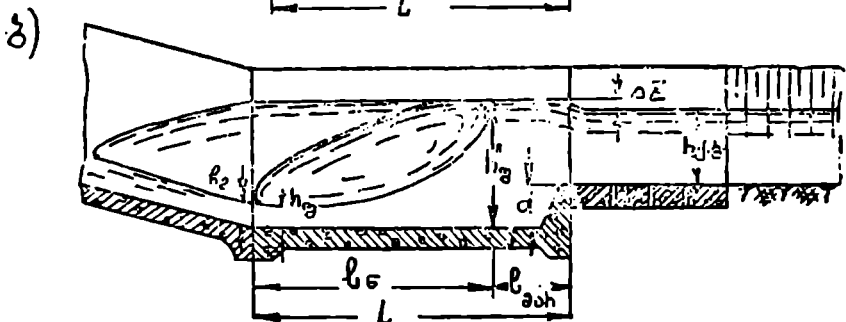
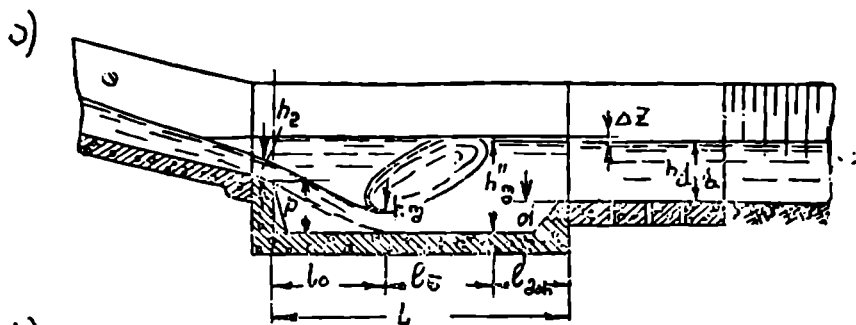
შეუღლებულ-შევიწროებულ  $h_a$  სიღრმეს. როდესაც სწრაფდენი შედარებით მოკლეა (30—50 მეტრზე ნაკლები) და წინასწარ ცნობილია, რომ მის სიგრძეზე წყლის ნაკადი თანაბარი მოძრაობის შესაბამის ნორმალურ სიღრმეზე გადასვლას ვერ ასწრებს, მაშინ (12.27) განტოლებაში შემავალი  $i$  ქანობი იანგარიშება (12.26) ფორმულით, ხოლო (12.27) განტოლების ამოხსნა უნდა მოხდეს  $h_2$  სიღრმის მიმართ (ამ შემთხვევაში  $L$  სიდიდე აიღება სწრაფდენის ღარის მთლიანი სიგრძის ტოლი). ამგვარად გამოთვლილი  $h_2$  წყლის სიღრმე ტოლი იქნება სწრაფდენის ბოლოში წარმოქმნილი ჰიდრაულიკური ნახტომის პირველი შეუღლებული  $h_a$  სიღრმის (ნახ. 12.23, ბ). რაც შეეხება ამ უკანასკნელის მეორე შეუღლებულ სიღრმეს  $h''_a$ -ის გამოითვლება ფორმულით

$$h''_a = \frac{h_a}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{q h_a^3}} - 1 \right], \quad (12.28)$$

სადაც  $q = \frac{Q}{b}$  წყლის ხვედრითი ხარჯია.

თუ გვეცოდინება  $h''_a$  და  $h_3$  ( $h_3$ —ქვედა ბიეფში ან განსახილველ შემთხვევაში ქვედა არხში წყლის სიღრმეა), შეგვიძლია განვსაზღვროთ წყლის ქარიზი ენერჯის ჩამქრობის ნაგებობის გათვალისწინების საჭიროება სწრაფდენის ბოლოში. სახელდობრ, როდესაც ჰიდრაულიკური ნახტომი დაძირულია  $h''_a < h_3$ , ან კრიტიკულ მდგომარეობაში ( $h''_a = h_3$  ენერჯის ჩამქრობის ნაგებობის მოწყობა სწრაფდენის ბოლოში საჭირო აღარაა, პირიქით შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც  $h''_a > h_3$ , ჰიდრაულიკური ნახტომი განდევნილია და აბიტომ მის დასაძირად აუცილებელია სწრაფდენის ბოლოში მოეწყოს ენერჯის ჩამქრობი ქა ან ჰიდროტექნიკურ პრაქტიკაში გავრცელებული სხვა რომელიმე კონსტრუქცია. ჩვენ აქ განვიხილავთ მხოლოდ ენერჯის ჩამქრობ ქას, როგორც საკმაოდ გავრცელებულ და საიმედო კონსტრუქციას.

ზოგადად, პრაქტიკაში ენერჯის ჩამქრობი ქის ორ ვარიანტს განიხილავენ: ქის დასაწყისში  $P$  კედლით (ნახ. 12.23, ა) და მის გარეშე (ნახ. 12.23, ბ). ორივე შემთხვევაში ჰიდრაულიკური ვანგარიშების ამოცანას შეადგენს ქის სიღრმის და სიგრძის დადგენა; ქის სიგანეს კი ჩვეულებრივად იგივეს იღებენ, რაც სწრაფდენის ღარის სიგანეა (გაფართოებას ითვალისწინებენ მხოლოდ ქის შემდგომ უბანზე გამყვან არხთან შეუღლების მიზნით), რადგან ღინების ბობოქარი რეჟიმის ზონაში ნაკადის გაფართოებამ შეიძლება წარმოქმნას ეგრეთ წოდებული გეზშეცვლილი ღინება, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს ნაგებობის საერთო მდგრადობაზე.



ნახ. 12.23 — სწრაფდენის წყალსაცემი (ენერჯის ჩამქრობი) ქვების სქემები. ა — P კედლით, ბ — კედლის გარეშე ( $h_2 = h_3$ )

ენერჯის ჩამქრობი ქის  $d$  სიღრმეს და  $L$  სიგრძეს ანგარიშობენ ასეთი ფორმულებით:

$$d = h/h_2'' - h_3 \quad (12.29)$$

$$L = l_0 + l_1 + l_2 \quad (12.30)$$

ამ გამოსახულებაში  $K$  არის მარაგის კოეფიციენტი და აიღება 1,1 — 1.15 ფარგლებში;  $l_0$  — წყლის ჰაერის გადატვირთვის სიგრძე\* (ნახ. 12, 23, ა);  $l_1$  — პილრაელიკური ნახტომის სიგრძე, რომელიც ტოლია  $(3.5 \div 4) h_2''$ ;  $l_2 = (1 - 2) h_3$  ენერჯის ჩამქრობი ქის სიგრძეში აღებული მარაგი.

ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ 12.23, ბ ნახ.-ზე მოცემული სქემის შემთხვევაში პილრაელიკური ნახტომის პირველ შეუღლებულ სიღრმედ —  $h^3$

\* 12.23, ბ ნახ.-ზე ნაჩვენები ქის სქემის განხილვისას  $l_0$  პარამეტრი თავისთავად გამოირიცხეული იქნება, ხოლო 12.23, ა ნახ.-ზე მოცემული სქემისათვის კი მის გამოსათვლელად სარგებლობენ სხეულის თავისუფალი ვარდნის განტოლებით.

აიღება სწრაფდენის ბოლოში გაანგარიშებით მიღებული წყლის სიღრმე  $h_2$  ან გრძელი სწრაფდენის შემთხვევაში თანაბარი მოძრაობის ფორმულით გამოთვლილი წყლის  $h_0$  სიღრმე. აღნიშნულაგან განსხვავებით, 12.23 ა. ნახ.-ზე მოცემული სქემისათვის  $h_3$  სიღრმე გამოითვლება ფორმულით

$$h_3 = \frac{Q}{4b \sqrt{2g(P + h_2 + \frac{av_1^2}{2g} - h_3)}} \quad (12.31)$$

სადაც  $v_2$  სწრაფდენის ბოლოში დადგენილი  $h_2$  (ან  $h_0$  — გრძელი სწრაფდენის შემთხვევაში) სიღრმის შესაბამისი წყლის დინების სიჩქარე:  $\varphi = 0,97$  — სიჩქარის კოეფიციენტი; დანარჩენი აღნიშვნები იგივეა, რაც ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში.

სწრაფდენებს აშენებენ ბეტონისაგან, რკინა-ბეტონისაგან, ყორე-ბეტონისაგან და სხვა სამშენებლო მასალისაგან.

სწრაფდენის განივკვეთის შერჩევის დროს, შესრულების თვალსაზრისით ხშირად უპირატესობა ეძლევა სწორკუთხოვან და ტრაპეციოდალურ მოხაზულობას, თუმცა ტალღების წარმოუქმნელობის თვალსაზრისით უმჯობესია სამკუთხოვანი, პარაბოლური და ნახევრად წრიული მოხაზულობის განივკვეთები.

სწრაფდენის ღარის ფერდობის დახრილობას იღებენ 1:0,5-დან 1:1-მდე ფარგლებში; დიდი ზომის სწრაფდენებში ღარის ფერდობები ხშირად საყრდენ კედლებს წარმოადგენენ. სწრაფდენის ღარის სამშენებლო სიმაღლე ისეთი ზომის უნდა იყოს, რომ აერაციისა და ტალღების წარმოქმნის შემთხვევაში მის ფერდობებზე (კედლებზე) წყლის გადადინებას ადგილი არ უნდა ექნეს.

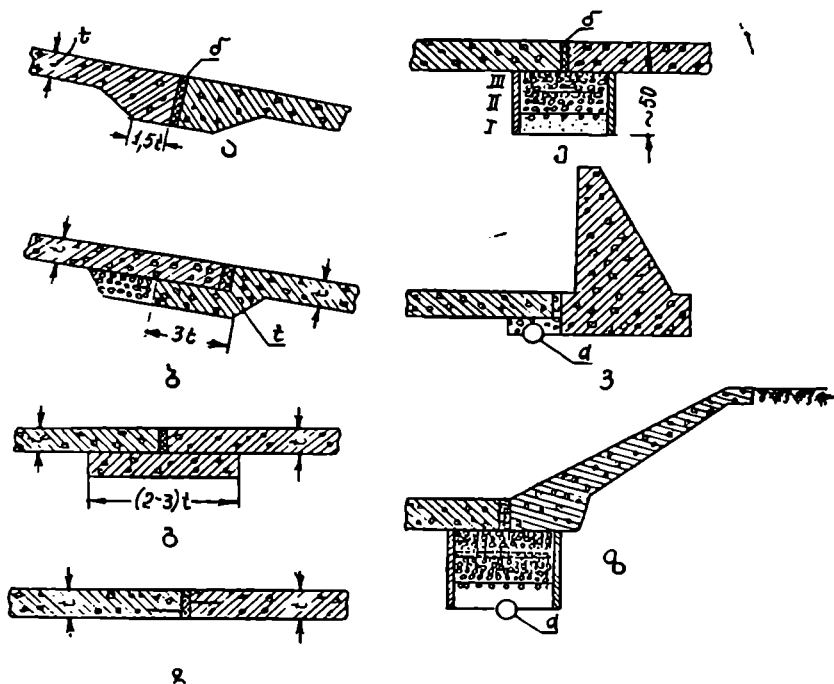
სწრაფდენის ღარს ყოველ 5—15 მეტრ მანძილზე (ეს დამოკიდებულია ღარის გვერდითი კედლების ან ფერდობების მოსახვის სისქეზე) ყოფენ ნაკერებით (ნაკერების სხვადასხვა კონსტრუქციები მოცემულია 12.24 ნახ.-ზე), რომლის მოწყობის ძირითად მიზანს შეადგენს:

ა) სწრაფდენის ღარის ცალკეული ელემენტების (მოსახლვრე ნაკერებს შორის მოთავსებული უბნების) მდგრადობის გაზრდა დაძვრაზე;

ბ) წინააღმდეგობის გაწევა წყლის ფილტრაციაზე უშუალოდ ნაკერებში.

სწრაფდენის ღარის ფერდობებსა და ძირს ბეტონით მოსახვის სისქე აიღება კონსტრუქციული მოსაზრებით 10—40 სმ-ის ფარგლებში, საყრდენი კედლის სისქის შერჩევა კი წარმოებს სტატიკური გაანგარიშების ჩატარების საფუძველზე.

3. დ ი ა ტ ი პ ი ს ვ ა რ დ ნ ი ლ ე ბ ი. იქ, სადაც ადგილმდებარეობის რელიეფი საშუალებას არ იძლევა აშენდეს სწრაფდენი (დიდი ქანო-



ნახ. 12.24 — სწრაფდენის ლარის ნაკერების კონსტრუქციები: ა, ბ — დიდი ქანობით გატარებულ სწრაფდენებში; გ, დ — იგივე. შედარებით მცირე ქანობის დროს; ე — განივი ნაკერი (მცირე ქანობის დროს) უკუფილტრით; ვ — გრძივი ნაკერი საყრდენი კედლით; ზ — იგივე, მოსახვით; ბ = 10—2,5 მმ; 1—1—1,5 მმ; II—5—20 მმ, III — 25 მმ; d = 100 მმ.

ბის გამო), როგორც წესი, აშენებენ ერთ ან მრავალსაფეხურიან ღია ტიპის ვარდნილებს.

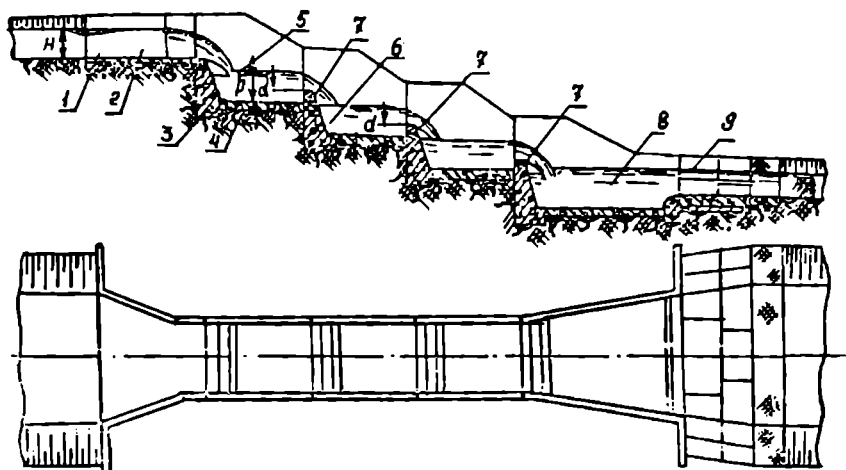
ღია ტიპის ვარდნილის ძირითადი ელემენტებია (ნახ. 12.25): შესასვლელი უბანი, წყლის ვარდნის კედლები და საფეხურები, გამოსასვლელი უბანი.

ქვემოთ განვიხილავთ მრავალსაფეხურიანი ღია ტიპის ვარდნილის ჰიდრავლიკური გაანგარიშების საფუძვლებს (ერთსაფეხურიანი ღია ტიპის ვარდნილის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება ანალოგიურია მრავალსაფეხურიანი ღია ტიპის ვარდნილის ბოლო საფეხურის გაანგარიშების).

მრავალსაფეხურიანი ღია ტიპის ვარდნილის გაანგარიშებას იწყებენ საფეხურების  $n$  რიცხვის დადგენით

$$n = \frac{z}{p-d}, \quad (12.32)$$





ნახ. 12.25 — შრავალსაფეხტრინი ლია ტიპის ვარდნილის ზოგადი სქემა: 1—ძირული; 2—შესასვლელი ნაწილი; 3—წყლის ვარდნის კედელი (P); 4—წყალსაცემი ფლუტბეტი, 5—პირველი საფეხური; 6—მეორე საფეხური; 7—წყლის გამოსაშვები ხერტი; 8—ბოლო საფეხური; 9—გამოსასვლელი უბანი; d—შუალედური საფეხურების ენერჯის ჩამქრობი კის სიღრმეები.

სადაც  $z$  არის მიმყვან და გამყვან არხებში გაზომილი წყლის დონეთა ნიშნულებს შორის სხვაობა;  $P$ —წყლის ვარდნის კედლის სიმაღლე;  $d$  — ვარდნილის შუალედ საფეხურებზე წინააწარ მიღებული ენერჯის ჩამქრობი კის გასაშუალოებული სიღრმეები.

საორიენტაციოდ აიღება:

$$\left. \begin{aligned} P &\approx 1,5h_{კ} \\ d &\approx 1,22 \left( P + h_{კ} + \frac{z^2 v_{კ}^2}{2g} \right) \end{aligned} \right\} \quad (12.33)$$

სადაც  $h_{კ}$  და  $v_{კ}$  შესაბამისად არიან კრიტიკული სიღრმე და სიჩქარე ვარდნილის პირველი საფეხურის დასაწყის კვეთში (ნახ. 12.26). გვეცოდინება რა  $P$  და  $d$  სიდიდეები, (12.32) ფორმულიდან დავადგენთ საფეხურების  $n$  რიცხვს, რომელსაც უახლოეს მთელ რიცხვამდე დამრგვალებს შემდეგ მიიღებენ საანგარიშოდ.

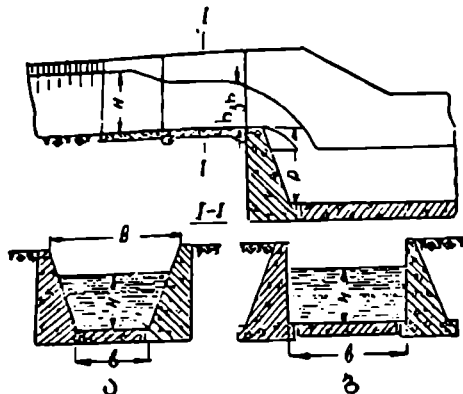
ლია ტიპის ვარდნილის შესასვლელი ნაწილის სიგანე გამოითვლება ფართობლურბლიანი დაუძირავი წყალსაშვის ფორმულით

$$b = \frac{Q}{\epsilon m H_0 \sqrt{2gH_0}} \quad (12.34)$$

სადაც  $Q$  არის წყლის საანგარიშო ხარჯი;  $m$  — ხარჯის კოეფიციენტი;

$$H_0 = H + \frac{av_0^2}{2g}; \quad a \text{ — მიმევან არხში წყლის დინების სიჩქარის კორექტივი.}$$

$\varepsilon$  — წყლის ნაკადის გვერდითი შევიწროების კოეფიციენტი, რომლის სიდიდეს დამოკიდებულია ბურჯების ფორმაზე.\*



ნახ. 12.26 — ღია ტიპის ვარდნილის შესასვლელი ნაწილის მოწყობის სქემა; ა — ტრაპეციოდალური; ბ — სწორკუთხედიანი.

როდესაც ღია ტიპის ვარდნილის შესასვლელ ნაწილში მარეგულირებელი ფარია გათვალისწინებული,  $b$  სიდიდის საანგარიშოდ სარგებლობენ ფარის ქვემოდას წყლის ნაკადის თავისუფლად გამოდინებას ფორმულით:

$$b = \frac{Q}{\mu_{\text{ფ}} \sqrt{2g(H_0 - ah_{\text{ფ}})}} \quad (12.35)$$

სადაც  $\mu_{\text{ფ}}$  არის ხარჯის კოეფიციენტი;  $h_{\text{ფ}}$  — ფარის აწევის (წყლის გამოდინების სერეტი) სიმაღლე.

თუ ღია ტიპის ვარდნილის მუშაობა გათვალისწინებულია სხვადასხვა ხარჯზე და ამიტომ მიმევან არხში მოსალოდნელია წყლის დონის მკვეთრი ქანობით დაცემა, ვარდნილის შესასვლელ ნაწილს აპროექტებენ ტრაპეციული ფორმით (ნახ. 12.26 ა), რომლის წყალგამტარუნარიანობა გამოითვლება ფორმულით

$$Q = z(b + 0,8n'H)m\sqrt{2gH_0}^{3/2}, \quad (12.36)$$

სადაც  $n'$  არის ვარდნილის შესასვლელი ნაწილის ფერდობების დახრილობის კოეფიციენტი. რომლის სიდიდეს ლებულობენ მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯების შესაბამისად; რაც მეტია მათ შორის სხვაობა, მით უფრო დახრილი უნდა იყოს ფერდობები. პრაქტიკულად  $n'$ -ის რიცხვით მნიშვნელობას ლებულობენ 0,25—1,0-ის ფარგლებში (ამ საკითხის დაწვრილუბითი განხილვა მოცემულია ჰიდრაულიკის ნებისმიერ კურსში).

ღია ტიპის ვარდნილის პირველ საფეხურს ანგარიშობენ სწრაფდენისათვის გათვალისწინებული ენერჯის ჩაშქრობი ჰის (ნახ. 12.23. ა) ანალო-

\* იხ. ჰიდრაულიკის კურსის ნებისმიერი სახელმძღვანელო.

გეურად, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ (12.31) ფორმულაში  $h_2$  და  $v_2$ -ს ნაცვლად ლებულობენ  $h_3$  და  $v_3$  ა. ი.

$$Q = \varphi b h_2 \sqrt{2g \left( P + h_3 + \frac{v_3^2}{2g} - h_2 \right)}, \quad (12.37)$$

სადაც სიჩქარის კოეფიციენტი  $\varphi \approx 0,98-0,99$

ამ განტოლებიდან შერჩევით განესაზღვრავთ  $h_2$ , ხოლო მის შეუღლებულ  $h_2$  სიღრმეს გამოვითვლით (12.28) ფორმულიდან. თუ ვარდნილის საფეხურები ტრაპეციული ფორმის განივკვეთით პროექტდება (რაც იშვიათად გვხვდება), მაშინ  $h_2$  სიღრმის განსაზღვრისათვის (12.37) ფორმულაში  $b$  სიღრმის მაგივრად შეყავთ ცოცხალი კვეთის საშუალო სიგანე.

გვეცოდინება რა  $h_2$ , ენერჯის ჩამქრობი ჰის  $d$  სიღრმეს განესაზღვრავთ ფორმულით

$$d = h_2' - H_1. \quad (12.38)$$

სადაც  $\sigma$  არის შემამცირებელი კოეფიციენტი და აღება  $0,85-0,9$  ფარგლებში;  $H_1$  — წყლის ის სიღრმეა, რომლითაც წყალი გადაედინება ვარდნილის პირველი საფეხურიდან მეორეზე.

ვარდნილის პირველ საფეხურზე ენერჯის ჩამქრობ ჰის  $L$  სიგრძე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$L = l_0 + 2,3l_6, \quad (12.39)$$

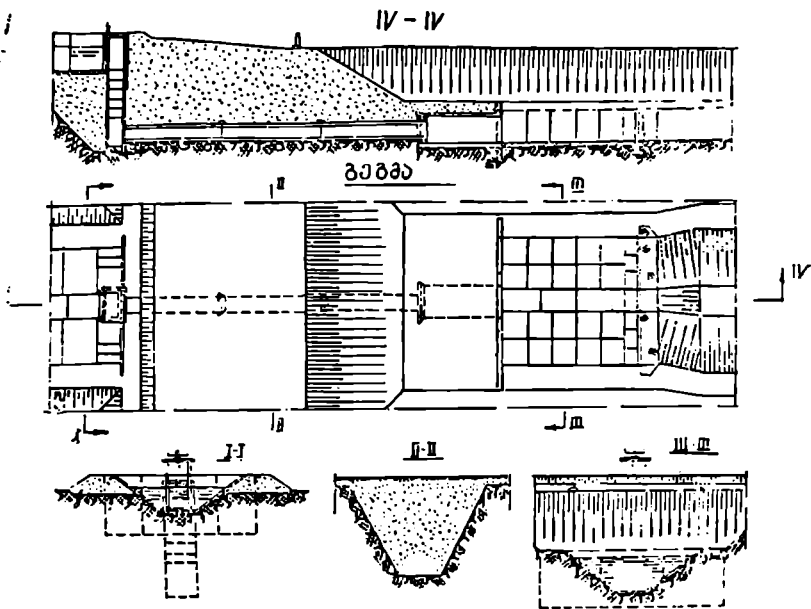
სადაც  $l_0$  არის წყლის ჰაელის გადატყორცნის სიგრძე, ხოლო  $l_6$  — ჰიდრავლიკური ნახტომის სიგრძე. ორივე ეს პარამეტრი გამოითვლება იმავე ფორმულებით, რომლებიც მოცემულია ზემოთ-სწრაფდენის ენერჯის ჩამქრობი ჰის საანგარიშოდ.

ღია ტიპის ვარდნილის მეორე საფეხურს ანგარიშობენ ისევე, როგორც პირველს, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ  $h_2$  სიღრმეს ანგარიშობენ ფორმულით

$$Q = \varphi b h_2 \sqrt{2g \left( H_1 + P + \frac{v_0^2}{2g} - h_2 \right)} \quad (12.40)$$

სადაც  $v_0 = \frac{Q}{b(H_1 + d)}$  არის წყალსაშვის წინ წყლის მოდინების სიჩქარე.

ღია ტიპის ვარდნილის ყველა დანარჩენი საფეხური (გარდა ბოლო საფეხური) გაანგარიშებას არ საჭიროებს, რადგან ის ზუსტად ისეთივე ექ-



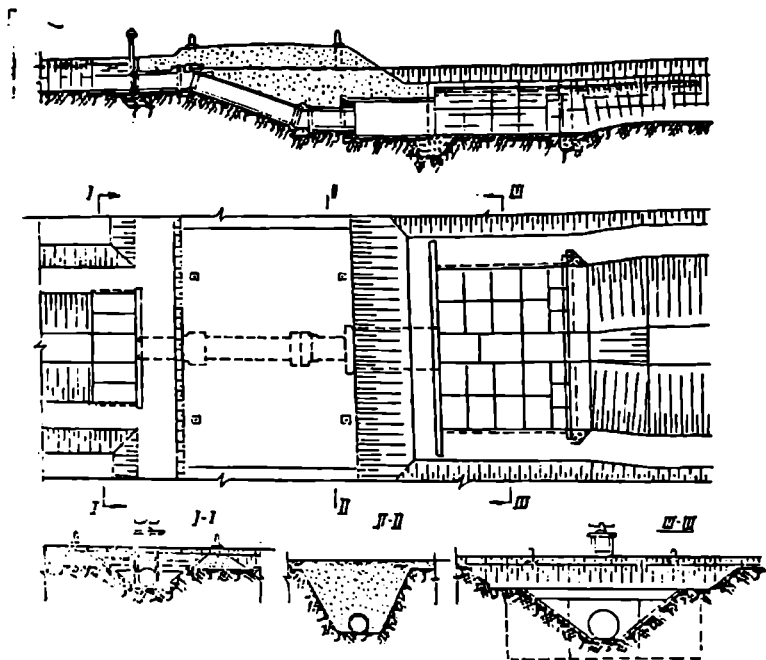
ნახ. 12.27 — „სამხრეთსახწყალპროექტი“-ს (ჭ. როსტოვი) მიერ რეკომენდებული შახტური ვარდნილის სქემა.

ნება, როგორც მეორე საფეხური. ღია ტიპის ვარდნილის ბოლო საფეხურის ჰის სიღრმე და სიგრძე გაიანგარიშება სწრაფდენისათვის გათვალისწინებული ენერჯის ჩამქრობი ჰის ანალოგიურად (12.29) და (12.30) ფორმულებით.

ღია ტიპის ვარდნილებს აშენებენ ბეტონისაგან, რკინა-ბეტონისაგან, ყორე-ქვისაგან და ასე შემდეგ.

როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, სწრაფდენები და ღია ტიპის ვარდნილების მოწყობა საკმაოდ შრომატევად და ძვირადღირებულ სამუშაოს წარუმოადგენს. სწორედ ამიტომ უკანასკნელ პერიოდში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ვარდნილების ახალი კონსტრუქციების დამუშავებას და მათ ლაბორატორიულად გამოკვლევას, რომლის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ „სამხრეთსახწყალპროექტის“ (ჭ. როსტოვი) მიერ რეკომენდებული შახტური ვარდნილის (ნახ. 12.27) და მილისებური სწრაფდენის (ნახ. 12.28) პროექტები. იგივე შეიძლება ითქვას ჩვენს მიერ რეკომენდებულ შახტური ვარდნილის კონსტრუქციაზე (ნახ. 12.29), რომლის ტიპური პროექტი დაამუშავა „საქსახწყალპროექტმა“.

ქვემოთ განვიხილავთ დასახელებული ვარდნილის მუშაობის პრინციპს და ჰიდრაულიკური გაანგარიშების მეთოდს.

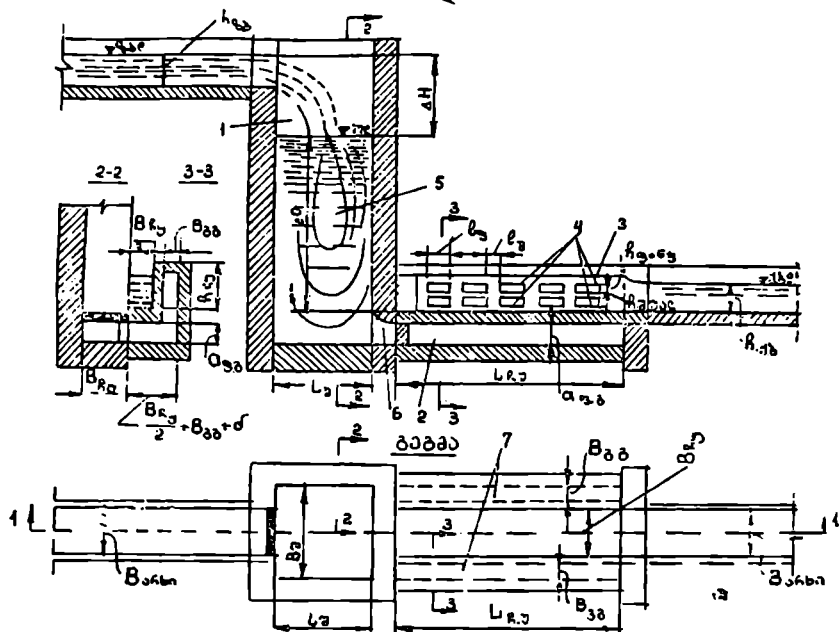


ნახ. 12. 28 — „სამხრეთსახწყალპროექტი“-ს (ქ. როსტოვი) მიერ რეკომენდებული მილისებური სწრაფდენის სქემა.

4. შახტური ვარდნილის რეკომენდებული კონსტრუქცია\* (ნახ. 12.29) შედგება ვერტიკალური შახტისაგან 1, რომელიც ასრულებს ენერჯის ჩამქრობ ქის ფუნქციას, წყალგამტარი ხერტისაგან 6, ფსკერული წყალგამყვანი გალერეისაგან 2, რომელიც დიუქერის პრინციპზე მუშაობს, ენერჯის ჩამქრობი არხის უბნისაგან 3, წყლის გამომშვები ხერტისაგან 4 და გვერდითი გალერეებისაგან 7.

ვარდნილის ზედა არხიდან ქვედა არხში წყლის ჩაღინების პროცესში წყალი ჭერ ჩაედინება შახტში 1 (იხ. ნახ. 12.29), სადაც ე. წ. შუალედ ბიფეში 5 წყლის ნაკადის ინტენსიური არევის გამო ადგილი აქვს ჭარბი ენერჯის ნაწილობრივ კარგვას, შემდგომ ფსკერული წყალგამტარი გალერეის 2 გავლით გადადის გვერდით—მარცხენა და მარჯვენა—გალერეებში 7, მათგან კი, სპეციალური ხერტების (ფანჯრების) 4 მეშვეობით, გამოედინება საკმაოდ დიდი სიჩქარეებით ენერჯის ჩამქრობ 3 უბანზე, სადაც მარცხენა და მარჯვენა გალერეებიდან გამოდინებული ნაკადების 180°-ით

\* საავტორო მოწმობა № 143354.



ნახ. 12.29 — შახტური ვარდნილის სქემა (საავტორო მოწმობა № 143354: ავტორი ბ. ჩიკვაშვილი). 1—შახტა; 2—ფსკერული წყალგამყვანი გალერეა; 3—ენერჯის ჩამქრობი უბანი; 4—გამომყვანი ფახჩრები (ხვრეები); 5—ძულელი ბიფი (შ. ბ.); 6—წყალგამტარი ხვრეტი; 7— გვერდითი ვალვები.

ურთიერთდაჯახების\* შედეგად ადგილი აქვს ქარბი ენერჯის დარჩენილ ნაწილის (უმეტესი) ინტენსიურ (85—90%-ით) შთანთქმას.

ექსპერიმენტალური ცდებით და „საქსახწყალპროექტის“ მიერ ჩატარებული ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე დადგენილია, რომ ვარდნილის განსახილველი კონსტრუქცია საკმაოდ ეფექტურ და ეკონომიკურ ნაგებობას წარმოადგენს ღია ტიპის შემთავლებელი ნაგებობების ნებისმიერ კონსტრუქციასთან შედარებით.

როგორც ვარდნილის სხვა კონსტრუქციების განხილვის დროს, განსაკუთრებულ შემთხვევაშიც ჰიდრაულიკური გაანგარიშების ძირითად მიზანს შეადგენს: ბიფების შეუღლების ტიპის დადგენა, მის საფუძველზე ენერჯის ჩამქრობი დამატებითი ნაგებობის მოწყობის აუცილებლობის შემოწმება და აგრეთვე ვარდნილის წყალგამტარუნარიანობის გაანგარიშება.

\* ზოგიერთ ლიტერატურაში ანალოგიური საკითხის განხილვის დროს ტერმინ „დაჯახების“ ნაცვლად გამოქვეყნებულია ტერმინი „შერთება“. განსახილველ კონკრეტულ შემთხვევაში, ვიქრობთ, უმჯობესია ვიხმაროთ „დაჯახება“, რადგან გვერდითი გალერეებიდან გამოდინებული ნაკადების ურთიერთშერწყმა ხდება 180°-ით.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, განსახილველი კონსტრუქციის ენერგიის ჩამქრობ უბანზე გვერდითი გაღვრეებიდან გამოდინებული ნაკადების ურთიერთშეჯახების შედეგად ადგილი აქვს ქარბი ენერგიის მხოლოდ 80—90%-ით კარგვას, ამიტომ ვთვლით, რომ ვარდნილის ქვედა არხში ჰიდრავულიკური ნახტომი შეიძლება იყოს შეტბორილ (როდესაც  $(h''_a < h_2)$ ) განდინილ—შეუტბორავ (როდესაც  $(h''_a > h_2)$  და კრიტიკულ (როდესაც  $(h''_a = h_2)$ ) მდგომარეობაში. ამ საში შემთხვევიდან ნაგებობის ნორმალურად მუშაობის თვალსაზრისით მისაღებია მხოლოდ პირველი— $h_2 < h''_a$ ; დანარჩენი ორი შემთხვევა მოითხოვს ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობის დანატეზ-მოწყობას, რომელთა ზომების შესარჩევად აუცილებელია ვიცოდეთ ურთიერთდაჯახების შემდეგ შეერთებული ნაკადების პირველი  $h_2$  და მეორე  $h''_a$  მუდღებულები სიღრმეები. ამ სიდიდეთა გამოსათვლელ ემპირიულ ფორმულებს აქვს ასეთი სახე

$$\text{ა) როდესაც } 0,25 \leq \frac{B_{R2}}{B_{არხი}} \leq 0,5$$

$$h''_a = 2,15 h_{კრ} \text{ და } h_2 = 0,307 h''_a; \quad (12.41)$$

$$\text{ბ) როდესაც } 0,75 \leq \frac{B_{R2}}{B_{არხი}} \leq 1,0$$

$$h''_a = 1,52 h_{კრ} \text{ და } h_2 = 0,435 h''_a; \quad (12.42)$$

ხოლო  $0,5 < \frac{B_{R2}}{B_{არხი}} < 0,75$  შემთხვევაში კი— $h_2$  და  $h''_a$  სიღრმეები გამოით-

ვლება როგორც ერთი, ისე მეორე ფორმულით და საანგარიშოდ აიღება მათი საშუალო არითმეტიკული. რაც შეეხება  $h_2$  სიღრმის ადგილმდებარეობას, ის დაახლოებით მდებარეობს ენერგიის ჩამქრობი 3 უბნის ბოლოდან (2—2,5)  $h_2$  მანძილზე. დასახელებულ ფორმულებში  $h_{კრ}$  არის კრიტიკული სიღრმე ჩამქრობ უბანზე,  $B_{R2}$  — ჩამქრობი უბნის სიგანე,  $B_{არხი}$  — გამოყვანი არხის სიგანე (უმეტეს შემთხვევაში გამოყვანი—ქვედა და მიმყვანი—ზედა არხები ერთი სიგანის აიღება ხოლმე, რის გამოც 12.29 ნახ.ზე გამოყვანი და მიმყვანი არხებისათვის ერთი და იგივე აღნიშვნა მიღებული).

ვარდნილის ძირითადი პარამეტრების ზომების დანიშვნისათვის აუცილებელია მოცემული წყლის ხარჯისათვის წინასწარ დადგინდეს გვერდითი გაღვრეების კედლებში გათვალისწინებული წყალგამომშვები ფანჯრების (ხვრეტების) ზომები. ამ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ ჰიდრავულიკურად ფანჯრები იმუშავენ დაწნევიან რეჟიმზე და ამიტომ იანგარიშება ასეთი ფორმულით

$$Q = \mu a n \sqrt{2gH}, \quad (12.43)$$

სადაც  $Q = Q_{\text{მარცხ}} + Q_{\text{მარჯვ}}$  არის წყლის საანგარიშო ხარჯი;  $Q_{\text{მარცხ}}$  და  $Q_{\text{მარჯვ}}$  შესაბამისად, მარცხენა და მარჯვენა გვერდითი ხერცტებიდან გამოდინებული წყლის ხარჯებია (საანგარიშოდ მიღებულია, რომ მარცხენა და მარჯვენა მხარეს განლაგებული ფანჯრების ზომები, რაოდენობა და გეომეტრიულად მათი განლაგება ურთიერთიდენტურია და ამიტომ აიღება  $\omega = \omega_{\text{მარცხ}} = \omega_{\text{მარჯვ}} = (l_{\text{ფ}}/h_{\text{ფ}})$ ;  $\omega$  — წყლის გამომშვები ცალკეული ფანჯრის (ხერცტის) განივკვეთი;  $l_{\text{ფ}}$  და  $h_{\text{ფ}}$  არის ყოველი ფანჯრის სიგრძე და სიგანე, რომელთა სიდიდეები ჰიდრავლიკური, კონსტრუქციული და ტექნიკურ-ეკონომიკური მოსაზრებებით სასურველია დაინიშნოს  $2h_{\text{ფ}} \leq l_{\text{ფ}} \leq (5 \div 8, h_{\text{ფ}})$  ფარგლებში;  $\mu$  — წყლის გამომშვები ფანჯრების საერთო რიცხვი;  $\mu$  — ხარჯის კოეფიციენტი, რომელიც დაახლოებით უდრის (ექსპერიმენტების საფუძველზე) 0,55—0,65;  $H$  — წყლის ის დაწნევაა, რომლის შემოქმედებითაც ხდება წყლის გამოდინება ხერცტებიდან (ფანჯრებიდან).

დაწნევის  $H$  სიდიდე პირველ მიახლოებით გამოითვლება გამოსახეულებით

$$H = T_0 - h_{\text{კ}} - \Delta H. \quad (12.44)$$

სადაც  $T_0$  არის ვარდნილის ზედა ბიეფში ჩამქრობი უბნის ფსკერის მიმართ ათვლილი ნაკადის სრული ენერგია (მოსვლის სიჩქარის გათვალისწინებით);  $\Delta H = \sqrt{v_{\text{მდ}}^2} - \sqrt{v_{\text{მდ}}^2}$  (ნახ. 12.29); ვარდნილის ზედა ბიეფში ნაკადის შეტბორვის თავიდან აცილების და შახტში ენერგიის ინტენსიურად ჩაქრობის თვალსაზრისით  $\Delta H$  სიდიდე სასურველია დაინიშნოს ასეთი გამოსახელებით

$$\Delta H \geq (1,1 \div 1,3) h_{\text{მდ}} + \frac{v_{\text{მდ}}^2}{2g}, \quad (12.45)$$

სადაც  $h_{\text{მდ}}$  არის ვარდნილის ზედა ბიეფში წყლის სიღრმე,  $\frac{v_{\text{მდ}}^2}{2g}$  სიჩქარის დაწნევა ზედა ბიეფში.

ამგვარად, მოცემული საანგარიშო წყლის ხარჯისათვის (12.43)—ფორმულის საფუძველზე განვსაზღვრავთ წყლის გამომშვები ფანჯრების საერთო ფართობის— $\omega n$ ; კონსტრუქციულად, ზემოთ აღნიშნული მითითებების საფუძველზე, დავნიშნავთ თითოეული ფანჯრის სიგრძეს  $l_{\text{ფ}}$ , სიმაღლეს  $h_{\text{ფ}}$  და განვსაზღვრავთ ფანჯრების რაოდენობას ( $\omega n : l_{\text{ფ}} \cdot h_{\text{ფ}}$ ) იმ მოსაზრებით, რომ ორივე—მარცხენა და მარჯვენა—გვერდითი გალერეების კედლებში გათვალისწინებული იქნეს მათი ერთნაირი რაოდენობა; გარდა აღ-



ნიშნული მითითებისა, მარცხენა და მარჯვენა მხარეს მოთავსებული ფანჯრები, როგორც წესი, ერთმანეთის მიმართ განლაგებული უნდა იყოს სიმეტრიულად, რაც შეეხება ვარდნილის სხვა ელემენტებს, მათი ზომები უნდა დაინიშნოს შემდეგ ფარგლებში:

ა) ენერჯის ჩაშქრობი უბნის სიგრძე

$$L_{\text{ა}} = 1,3 \div 1,5 (\Sigma L_{\text{გ}} + \Sigma L_{\text{ვ}}),$$

სადაც  $L_{\text{ა}}$  არის ფანჯრებს შორის პორიზონტალურ სიბრტყეში გაზომილი მანძილი, რომელიც აიღება  $(0,5 + 1)L_{\text{გ}}$  ფარგლებში, მაგრამ არანაკლები 8—10 სმ (სტატისტიკური პირობიდან გამომდინარე);

ბ) გამომყვან ფანჯრებს შორის (ვერტიკალურ სიბრტყეში) მანძილი  $h_{\text{ა}} = (0,5 \div 1)h_{\text{გ}}$ , მაგრამ არანაკლები 5—6 სმ;

გ) გვერდითი გაღერების სიგანე

$$B_{\text{გ}} = 0,1 B_{\text{ა}};$$

დ) შახტის სიგანე

$$B_{\text{ვ}} = B_{\text{ა}} + 2(b + B_{\text{გ}});$$

ზადაც  $\delta$  ჩაშქრობი უბნის გვერდითი კედლების სისქეა;

ე) შახტის სიგრძე

$$L_{\text{ვ}} = (0,7 \div 1,0) B_{\text{ვ}};$$

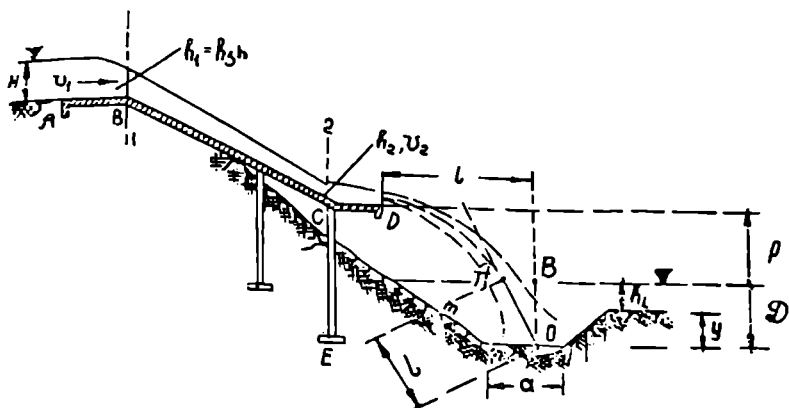
3) ფსკერული გაღერის და წყალგამტარი ხვრეტის სიმაღლე

$$a_{\text{ფა}} \geq \frac{(0,8 \div 1,0) \omega \pi}{B_{\text{ა}}}.$$

ენერჯის ჩაშქრობი უბნის ოპტიმალური სიგანის  $B_{\text{ა}}$  დაინიშნისას აუცილებელია მხედველობაში მივიღოთ ის გარემოება, რომ ვარდნილის განსახილველ კონსტრუქციაში ჭარბი ენერჯის მაქსიმალურად ჩაქრობა მოსალოდნელია იმ შემთხვევაში, როდესაც  $B_{\text{ა}}$  ინიშნება  $0,48 \leq \frac{B_{\text{ა}}}{h_{\text{ა}}} \leq$

6,13 ფარგლებში. რაც შეეხება  $\frac{B_{\text{ა}}}{B_{\text{არხი}}}$  ფარდობას, ის უმჯობესია დაინიშნოს 0,75—1,0 ფარგლებში, რადგან ასეთ შემთხვევაში შეუღლებული სიღრმეები მინიმალურია.

5. კონსოლური ვარდნილი. როგორც ზემოთ განხილული შემთხვევები ნაგებობების ანალიზიდან ჩანს, სწრაფდენებში და ღია ტიპის ვარდნილებში ხშირად საჭიროა მეტად მტკიცე და ძვირადღირებული 19. ბ. ჩიკვაშვილი.



ნახ. 12.30 — კონსოლური ვარდნილის სქემა.

ჭარბი ენერჯიის ჩამქრობი ნაგებობების მოწყობა. ამიტომ, ზოგჯერ მიზანშეწონილია (თუ ამის საშუალებას იძლევა ადგილმდებარეობის რელიეფი და გეოტექნიკური პირობები) ჩვეულებრივი ტიპის სწრაფდენის ან ღია ტიპის ვარდნილის ნაცვლად აშენდეს ეგრეთწოდებული კონსოლური ვარდნილი, რომლის დროსაც წყლის გადაადგება ზედა არხიდან ქვედა არხში ხდება დიდი სიჩქარეებით და წყლის ნაკადი უშუალოდ ეცემა ხელოვნურად გაუმაგრებელ გრუნტზე.

კონსოლური ვარდნილის (ნახ. 12.30) ძირითადი ელემენტებია: შესასვლელი  $AB$  უბანი,  $BC$  სწრაფდენი და  $CD$  კონსოლი, რომლის სიგრძე 2—3 მეტრის ფარგლებში აიღება. კონსოლიდან გადასროლილი წყლის ნაკადი ეცემა რა ქვედა არხის (ბიეფის) გაუმაგრებელ ფსკერზე, წარმოქმნის იქ ისეთი სიღრმის და მოცულობის ძაბრისებურ თხრილს, რომლის დროსაც მიღწეული იქნება ნაკადის ჭარბი ენერჯიის მთლიანად ჩახშობა (ჩაქრობა). ასეთნაირად შექმნილი ძაბრისებური თხრილის კონსოლის მხარეს მოთავსებულ ფერდოს ზოგჯერ ამაგრებენ გაბიონის ან ფიჩხკონის ლეიბებით, ხოლო ძაბრისებური თხრილის ფსკერს კი—ქვის მოკირწყვლით ან მსხვილი ნაყარი ქვით. ძაბრისებური თხრილის გამაგრებული ფერდოს დახრილობის კოეფიციენტი  $m$  აიღება შემდეგ ფარგლებში: მკვირი თინნარისათვის  $m = 1,25—1,5$ , საშუალო სიმკვრივის მქონე თინნარებში  $m = 1,5—2,0$ , ქვიშნარებში  $m = 2,5—3,0$ .

სუსტ, ლამიან და წერილქვიშოვან ნიადაგებში კონსოლი ნაკლებად მისაღებია, რადგან განსახილველ შემთხვევაში ძაბრისებური თხრილი საკმაოდ ღრმა და განიერია.

განაპირა სანაპირო საყრდენი, რომელზედაც *EC* წერტილში დაყრდნობილია სწრაფდენის ღარის ბოლო ნაწილი და თვით კონსოლი, ღრმავდება ძირითად ქანებში ძაბრისებური თხრილის ძირის მაქსიმალურად გამორეცხვის ნიშნულამდე.

კონსოლი *CD* უფრო ხშირად ნულოვანი დახრილობით კეთდება, ზოგჯერ კი—ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ ეძლევა მცირედი უკუდახრილობა (ზემოთ აწეული), რათა გაიზარდოს ნაკადის გადატყორცვის სიგრძე. ზოგჯერ კონსოლზე ხვედრითი ხარჯის შემცირებისა და, შესაბამისად, ძაბრისებური ხერელის სიღრმის შემცირების მიზნით, კონსოლის ბოლო ნაწილს ეძლევა მილძაბრის ფორმა (იხ. ნახ. 12.30), რომლის გვერდითი გაგანიერების  $\alpha$  კუთხე შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{V_2}, \quad (12.46)$$

სადაც  $V_2$  არის წყლის ნაკადის სიჩქარე სწრაფდენის ბოლო კვეთში.

კონსოლური ვარდნილის შესასვლელი ნაწილის ჰიდრაულიკური განგარიშება ისე, როგორც კონსოლის ღარის, სწრაფდენის ჰიდრაულიკური განგარიშების ანალოგიურია; სახელდობრ, ზემოთ, მეორე ქვეპარაგრაფში მოყვანილი ფორმულებით გამოთვლიან წყლის  $h_2$  სიღრმეს და  $V_2$  სიჩქარეს კონსოლის ბოლოში; შემდგომ, ამ მონაცემების საფუძველზე განსაზღვრავენ ნაკადის გადატყორცვის  $l$  სიგრძეს, ძაბრის  $D$  სიღრმეს და გრუნტის გამორეცხვის  $y$  სიღრმეს. ლიტერატურაში აღნიშნულ სიდიდეთა გამოთვლის მრავალი მეთოდია განხილული; ქვემოთ, კონკრეტულ მაგალითზე განვიხილავთ ერთ-ერთ მათგანს, კერძოდ, პროფ. ე. ზამარანის მეთოდს.

ვთქვათ, განგარიშებისათვის მოცემულია: კონსოლის ხარჯი  $Q = 10$  მ<sup>3</sup>/წმ; სწორკუთხოვანი კვეთის ღარის სიგანე  $b = 2$  მეტრი; კონსოლის ჰორიზონტალური უბნის სიგრძე  $S = 3$  მეტრი; ვარდნის სიმაღლე  $P = 3$  მეტრი; წყლის სიღრმე და სიჩქარე  $2-2$  კვეთში  $h_2 = 0,3$  მეტრი და  $V_1 = 8$  მ/წმ; გრუნტი—თიქნარი; დასაშვები სიჩქარე გამყვან არხში (გამორეცხვის ძაბრის შემდგომ უბანზე)  $V = 0,8$  მ/წმ; წყლის სიღრმე გამყვან არხში  $h_1 = 1,3$  მეტრი.

წინასწარ, გარკვეული მცირე ცთომილების დაშვებით, მივიღოთ, რომ კონსოლის ბოლოში (მისი მცირე სიგრძის გამო) სიჩქარე  $u$  და სიღრმე  $h$  იგივე იქნება, რაც სწრაფდენის ღარის ბოლოში, ე. ი.

$$U = V_2 = 8 \text{ მ/წმ და } h = h_2 = 0,3 \text{ მეტრს.}$$

განვსაზღვროთ წყლის ჭავლის ვარდნის საწყის კვეთში სიჩქარის კორიზონტალური მდგენელი.

$$V_x = \varphi U, \quad (12.47)$$

ზღადა სიჩქარის კოეფიციენტი  $\varphi$  წყლის ჭავლის ვარდნის  $P$  სიმაღლის მიხედვით აიღება 12.5 ცხრილიდან.

ცხრილი 12.5

P მ-ობით	1	2	3	4	5
$\varphi$	1-0,95	0,95-0,91	0,91-0,88	0,88-0,86	0,86-0,85

ჩვენს შემთხვევაში  $P=3,0$  მეტრს; ამიტომ სიჩქარის კოეფიციენტი  $\varphi=0,89$  და  $V_x = 0,8 \cdot 8 = 7,12$  მ/წმ.

ანალოგიურად, წყლის ჭავლის ვარდნის საწყის კვეთში სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი

$$V_y = \varphi \sqrt{2g(h+P)} = 0,89 \sqrt{2 \cdot 9,81(0,3+3)} = 6,48 \text{ მ/წმ}; \quad (12.48)$$

ვპოულობთ ვარდნილი წყლის ჭავლის იმ სიჩქარეს, რომლითაც ის მოხვდება გამორეცხვის ძაბრში

$$V_y = \varphi \sqrt{2g(h+P)} = 0,89 \sqrt{2 \cdot 9,81(0,3+3)} = 6,48 \text{ მ/წმ}. \quad (12.49)$$

განვსაზღვრავეთ გამორეცხვის ძაბრში კონსოლიდან ვარდნილი წყლის ჭავლის გაშლის კონუსის სიგრძეს

$$L = \frac{NQ}{\sqrt{V_0 V}} = \frac{N \frac{Q}{b}}{\sqrt{V_0 V}}, \quad (12.50)$$

ზღადა  $N$  კოეფიციენტი წყლის ჭავლის ვარდნის  $P$  სიმაღლის მიხედვით აიღება 12,6 ცხრილიდან.

ცხრილი 12.6

P მეტრობით	1	2	3	4	5	6	7
$N$	4,1	4,3	4,6	4,8	5,0	5,3	5,5

მაგალითში ნაჩვენებია  $P = 3,0$  მეტრის შემთხვევაში აღნიშნული ცხრილიდან  $N = 4,6$  და ამიტომ

$$L = \frac{N \frac{Q}{b}}{\sqrt{V_0 V}} = \frac{4,6 \frac{10}{2}}{\sqrt{9,64 \cdot 0,8}} = 8,33 \text{ მეტრს.}$$

გამოვთვლით კონსოლიდან ვარდნილი წყლის ქავლის დახრილობას კუთხის ტანგენსს (ჰორიზონტალური სიბრტყის მიმართ)

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{V_y}{V_x} = \frac{6 \cdot 48}{7 \cdot 12} = 0,91,$$

საიდანაც  $\theta = 42^\circ$ .  $ABO$  სწორკუთხოვანი სამკუთხედიდან (ნახ. 12.30) გამორეცხვის ძაბრის  $D$  სიღრმეს გამოვთვლით ფორმულით

$$D = L \cdot \sin \theta = 8,33 \cdot \sin 42^\circ = 8,33 \cdot 0,67 = 5,68 \text{ მეტრს.}$$

გრუნტის წარეცხვის  $y$  სიღრმე გამყვანი არხის ძირიდან ქვემოთ (ვერტიკალურ სიბრტყეში) ტოლი იქნება

$$y = D - h_1 = 5,68 - 1,3 = 4,38 \text{ მეტრის.}$$

წყლის ქავლის გადატყორცნის  $l$  სიგრძეს გამოვთვლით მექანიკიდან ცნობილი ფორმულით

$$l = U_{\text{სა}} \sqrt{\frac{2y}{g}} = 0,45 U_{\text{სა}} \sqrt{y} \quad (12.51)$$

$$\text{სადაც } U_{\text{სა}} = \frac{U(1+\varphi)}{2} = \frac{U(1+0,89)}{2} = 0,945U.$$

განსახილველ მაგალითში წყლის ქავლის  $y = h + P + D$  სიმალიდან გადატყორცნის სიგრძე ტოლია

$$l = 0,45 \cdot 0,945 U \sqrt{h + P + D} = 0,45 \cdot 0,945 \cdot 8 \sqrt{0,3 + 3,0 + 5,68} = 10,28.$$

ძაბრის ძირის  $a$  სიგანე გამოითვლება გამოსახულებიდან

$$a = \frac{Q}{bV} = \frac{10}{2 \cdot 0,8} = 6,25 \text{ მ.}$$

დავუშვებთ რა ძაბრისათვის ფერდობის დახრილობას 1:1, მივიღებთ ძაბრის საერთო მოხაზულობას; სახელდობრ, განსახილველ შემთხვე-

ვაში კონსოლის მხარეს ძაბრის განშლადობა 'იეადგენს

$$\frac{a}{2} + D = \frac{6.25}{2} + 5,68 \approx 8,8 \text{ მეტრს.}$$

რაც ნაკლებია წყლის ქავლის გადატყორცნის ( $l = 10.2$  მ) მიღებულ სიგრძეზე. ეს კი მიუთითებს იმაზე, რომ განაპირა  $CE$  საყრდენს, მდგრადობის თვალსაზრისით, შეუძლია ნორმალურად იმუშაოს.

### მ ე ტ ა მ ე ბ ა თ ა ვ ი

## ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საკეტები

### § 13. 1. საკეტების საერთო მიმოხილვა და კლასიფიკაცია

ყველა ჰიდროტექნიკურ, წყალამღებ თუ წყალსაგდებ ნაგებობას აქვს წყალგამტარი ხვრეტები, რომელთა ჰოთხოვნილებისამებრ, მთლიანად ან ნაწილობრივ, გაღება და გადაკეტვა ხდება სპეციალური საკეტებით. საკეტების მანევრირებით შეიძლება დაჩეხულირდეს წყლის დონეები ნაგებობის ზედა და ქვედა ბიფეხებში, წყალგამტარ ხვრეტებში დანიშნულებისამებრ გატარდეს წყლის საანგარიშო ხარჯები, წყლის ზედაპირზე მცურავი სხეულები (ყინული, თოში და სხვა), ნაგებობის ფსკერული ხვრეტების წინ დალექილი ნატანი მასალა და ასე შემდეგ.

საკეტების მანევრირებას აწარმოებენ ამწე მექანიზმებით, რომლებიც იდგმება საყრდენებზე ან სამოსამსახურო ხიდებზე. განიხილავენ უძრავ-სტატკონარულ და მოძრავ ამწეებს; უძრავი ამწეები ემსახურება ერთ ან ორ საკეტს, მოძრავი კი—ერთდროულად რამდენიმეს და ზოგჯერ ყველა საკეტსაც კი.

ამჟამად ჰიდროტექნიკურ პრაქტიკაში გამოყენებაშია საკეტების მრავალი ტიპი, რომლებიც პირობითად კლასიფიცირებულია: კონსტრუქციული შესრულების, წყალგამტარი ხვრეტების განლაგების, იმუშაობის პირობების, ნაგებობაზე წნევის გადაცემის ხასიათის, მართვის წესის, საკეტის დასამზადებლად გამოყენებული მასალის მიხედვით და ასე შემდეგ.

კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით განიხილავენ ბრტყელ, სეგმენტურ სექტორულ, სახურავისებურ, სარქველურ და სხვა ტიპის საკეტებს.

ამ მხრივ, ზედაპირული საკეტის ტიპის შესარჩევად შეიძლება ვისარ-  
ვებლოთ ცხრილი 13.1-ის მონაცემებით.

საკეტის ტიპის შესარჩევი მონაცემები

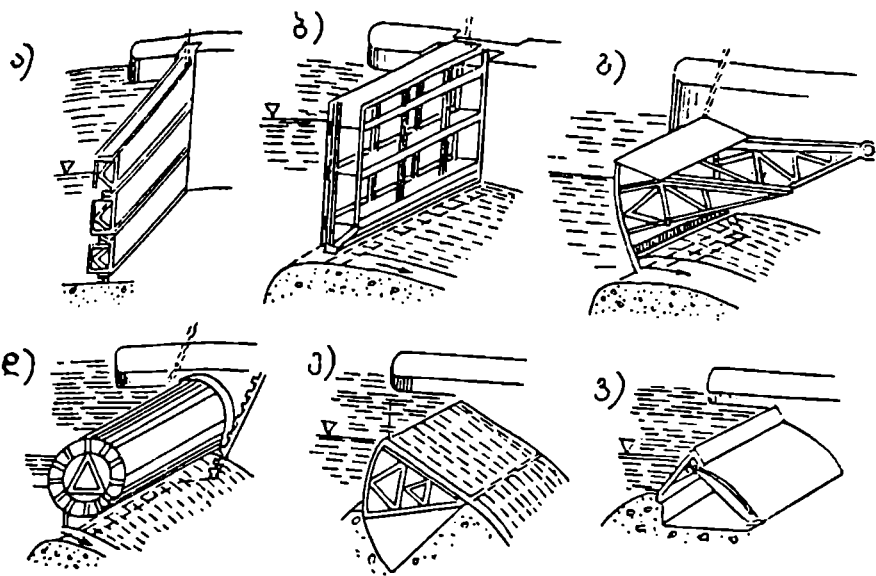
ცხრილი 13.1

№№ რიგზე	გამოყენების პირობები	საკეტის მიზანშეწონილი ტიპები (ჩამოთ- ვლის თანმიმდევრობა შეესაბამება საკე- ტის ტიპის უპირატესობას ტექნიკურ- ეკონომიკური მოახრებებით).
1	<p>მაღალი პროფილის წყალსაშვი, როდესაც <math>\frac{P}{H} &gt; 3</math> და <math>\frac{\delta}{H} &lt; 1(P-</math> წყალსაშვის სიმაღლე; <math>H</math> — დაწვევა წყალსაშვის ზღერბლზე. <math>\delta</math> — წყალსაშვის ზღერბლის სიგანე)</p>	<p>1) სეგმენტური; 2) ბრტყელი; 3) სარქ- ველური; 4) ცილინდრული; 5) სექტო- რული ტიპები</p>
2	<p>საშუალო პროფილის წყალსაშვი, როდესაც</p> $\frac{P}{H} = 1-3, \quad \frac{\delta}{H} = 1-2$	<p>1. სეგმენტური; 2. ბრტყელი; 3) სარქ- ველური; 4. ცილინდრული; 5. სექტო- რული ტიპები; 6. სექტორული შექანი- ურ-ჰიდრაული ტიპის მოქმედების; 7. სექ- ტორული დაბრტყელი; 8. სახურავისებუ- რი.</p>
3	<p>დაბალი პროფილის წყალსაშვი</p>	<p>1) სეგმენტური და სახურავისებური; 2) ბრტყელი; 3) სარქველური; 4) ცილი- ნდრული.</p>

წყალგამტარი ხვრეტების მიხედვით განიხილავ-  
ენ ზედაპირული და სიღრმითი ტიპის საკეტებს. ზედაპი-  
რული ტიპის საკეტები (ნახ. 13.1) გამოიყენება წყალგადასაშვებ ხვრეტე-  
ბში, ხოლო სიღრმითი (ნახ. 13.2) კი სხვადასხვა ტიპის წყალსაგდებებსა და  
წყალმიმღებებში.

მუშაობის პირობების მიხედვით განასხვავებენ საკე-  
ტების ოთხ ტიპს:

ა) ძირითადი, რომელიც ფუნქციონირებს ნაგებობის ექსპლუა-  
ტაციის მთელ პერიოდში; ბ) სარემონტო, რომელიც გამოიყენება  
ძირითადი საკეტის ან ნაგებობის რემონტის შემთხვევაში და რომლის სა-  
მოდრაო კილოებში ჩაშვება ხდება დამდგარ წყალში; გ) საავარიო,  
რომელიც გამოიყენება ძირითადი საკეტის ავარიის შემთხვევაში და რომ-  
ლის სამოდრაო კილოებში ჩაშვება გათვალისწინებულია გამდინარე წყა-  
ლში;



ნახ. 13.1 — ზედაპირული ხვრეტების საკეტების ტიპები: ა—შანდორული; ბ—ბრტყელი; გ—სეგმენტური; დ—გაგლინური (პორიზონტალურ-ცილინდრული); ე—სექტორული; ვ—სახეარავისებური.

დ) სამშენებლო, რომელიც გამოიყენება ხვრეტების გადასაკეტად მხოლოდ მშენებლობის პერიოდში.

ნაგებობაზე წნევის გადაცემის ხასიათის მიხედვით ზედაპირული საკეტები დაყოფილია სამ ძირითად ჯგუფად:

ა) საკეტები, რომლებიც წნევას გადასცემენ საყრდენ ბურჯებს და სანაპირო კედლებს (ნახ. 13.1 ა, ბ, გ);

ბ) საკეტები, რომლებიც წნევას გადასცემენ ნაგებობის ზღურბლს (ნახ. 13.1, ე, ვ);

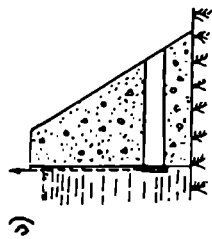
გ) საკეტები, რომლებიც წნევას ერთდროულად გადასცემენ ნაგებობის ზღურბლს და ბურჯებს (ე.წ. სარქველისებური საკეტები).

მართვის წესის მიხედვით განასხვავებენ ხელოვნურად (მომსახურე პერსონალის მიერ) და ავტომატურად (მომსახურე პერსონალის მონაწილეობის გარეშე) სამართავ საკეტებს.

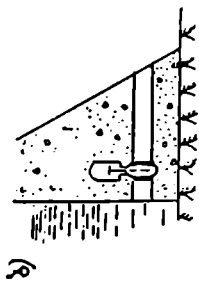
დასამზადებელი მასალის მიხედვით განასხვავებენ ხის, ლითონის და რკინაბეტონის საკეტებს.

ხის საკეტები ძირითადად გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც მასზე წყლის დაწნევა 4—5 მეტრს არ აღემატება და ხვრეტის სიგანე კი—3—4 მეტრს;

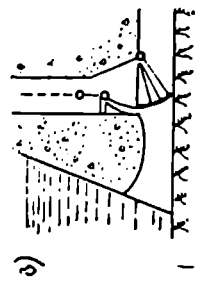




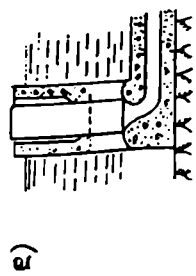
ა)



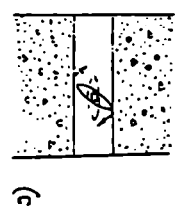
ბ)



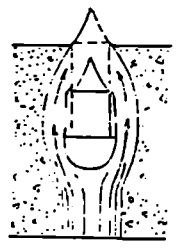
ვ)



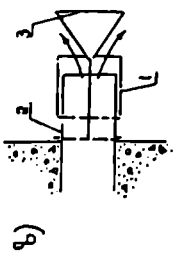
დ)



ჯ)



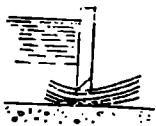
გ)



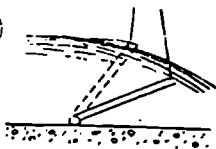
ზ)

ნახ. 13.2 — სიღრმითი ხეობების საყდრების ტიპები: ა—ბრტყილი; ბ—საყვითლო; გ—სეგმენტული; დ—ცილინდრული; ე—დოსკელაინი; ე—ნემსისფული; ზ—კონსოლიდაციური; 1—მომხავე ცოლინდრი; 2—ქობავე ნაწილი; 3—კონსოლი.

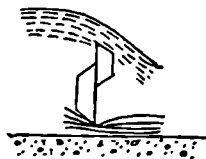
ა)



ბ)



გ)



ნახ. 13.3 — საკეტებიანი ხერხებიდან წყლის გაღინების (გადაღინების) სხვადასხვა სქემები.

ლითონის საკეტები გამოიყენება ნებისმიერი, პრაქტიკულად დასაშვები დაწნევისა და წყალგამტარი ხერხების ზომების შემთხვევაში; რკინა-ბეტონის საკეტები, მნიშვნელოვანი წონის გამო იშვიათად გამოიყენება.

ყველა იმ მოთხოვნიდან, რომლებიც კი წაეყენება ძირითად საკეტებს. მთავარია საექსპლუატაციო მოთხოვნები, სახელდობრ: შეტბორვის დონის ზუსტი რეგულირება, საიმედოება ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში, წყალგაუმტარობის უზრუნველყოფა ნაგებობასთან საკეტის კონტაქტის უზნებში და ა. შ.

ხერხებში წყლის გატარება შეიძლება მოხდეს საკეტის ქვემოდან (ნახ. 13.13, ა), ზემოდან (ნახ. 13.3, ბ) და ან ერთდროულად როგორც საკეტის ზემოდან, ასევე მის ქვემოდან (იხ. ე. წ. შეწყვილებული საკეტის სქემა 13.3, გ ნახ.-ზე). მათ შორის, ყინულის, თოშის და სხვა მცურავი სხეულების გასატარებლად, წყლის მინიმალური დანაკარგებით, უფრო მოსახერხებელია ჩასაშვები (ნახ. 13.1 ე, ვ) და შეწყვილებული ტიპის (ნახ. 13.3, გ) საკეტები. საკეტების სხვა კონსტრუქციებში აუცილებელია ხერხების მთლიანად გაღება, რაც გარკვეულ სიძნელებთანაა დაკავშირებული. ფსკერული ნატანის გასატარებლად გამოიყენება ასაწევი ტიპის საკეტები (ნახ. 13.3, ა).

ზამთარში, საკეტების ჩორმალურად მუშაობის ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა მათზე ყინულის მიკვრის გამორიცხვა, რისთვისაც მიპართავენ საკეტების გათბობას სპეციალური ელექტროგამაცხელებელი აპარატებით და სხვა ღონისძიებებით.

ნაგებობასთან საკეტების კონტაქტის უზნებში წყლის ფილტრაციის გამორიცხვა (უკიდურეს შემთხვევაში მინიმუმამდე დაყვანა) შესაძლებელია მათში სპეციალური საღებების მოწყობით.

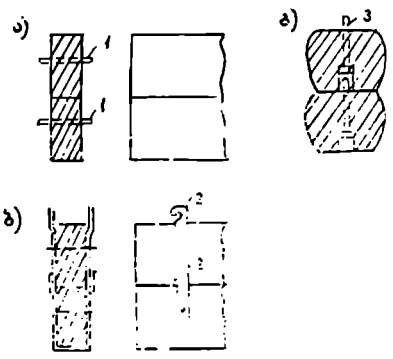
სიღრმითი საკეტების (ნახ. 13.2) შერჩევისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მათზე მოქმედი წნევის სიდიდე, წყალგამტარი ხერხის ზომები, საკეტით ხერხის გადახურვის მოთხოვნილი პერმეტულობის ხარისხი, სამშენებლო პერიოდში წყლის გატარების პირობები და ა. შ.

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, საკეტის ტიპის შერჩევის დროს ასევე ყურადღება უნდა მიექცეს მათ ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

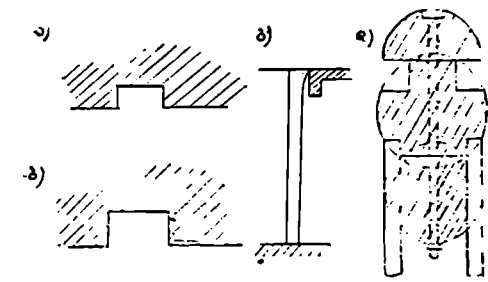
1. შ ა ნ დ ო რ ე ბ ი. ბრტყელი საკეტების ერთ-ერთ უმარტივეს კონსტრუქციას წარმოადგენს შანდორები. შანდორები შეიძლება იყოს ხის, ლითონის და რკინა-ბეტონის.

ხია შანდორები (ნახ. 13.4) არის სწორკუთხოვანი განივი კვეთის მქონე ძელები (ან ფიცრები), რომელთა ჩაწყობა ხდება სპეციალურ კილოებში (ნახ. 13.5) ერთიმეორეზე კორიზონტალურად და ამგვარად იქმნება ანაკრები კედლისმაგვარი ბრტყელი საკეტი. ხის შანდორები გამოიყენებიან მცირე მალის მქონე ხერტებში, არაუმეტეს 4—5 მეტრი სიგანის და 3—5 მეტრამდე დაწიების შემთხვევაში.

ხერტის უფრო მეტი სიგანისა (10 მეტრამდე) და სიმაღლის შემთხვევაში უპირატესობა ეძლევა ორტესებრივ კოჭებისაგან შემდგარ ლითონის შანდორებს\* (ნახ. 13.6), რომლის დროსაც ორტესებრივ კოჭებს შორის სივრცეების გამკვრივება ხდება ხის ძელებით.



ნახ. 13.4—ხის შანდორები. ა—ფიცრის, ამოსაწევი (ჩასაშევი) შვერილებით 1; ბ—ფიცრის, ამოსაწევი (ჩასაშევი) კაეებით 2; გ—ძელებისაგან შედგენილი ვერტიკალური შვერილებით 3.



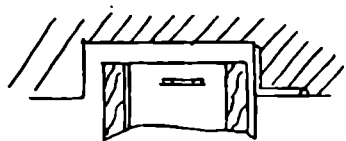
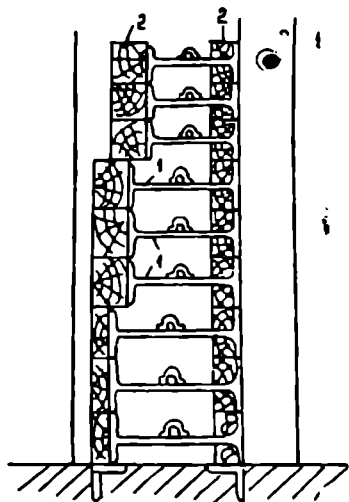
ნახ. 13.5 — ხის შანდორების ჩასაწყობი (ჩასადგმელი) კილოების კონსტრუქციები. ა—ბეტონის კედლებში; ბ—იგივე, შანდორის მისაბრტყენი მართკუთხედოვანი ფორმის ფოლადის ფურცლის ჩატანებით; გ—კილოს კონსტრუქციის ხედი ვერტიკალურ სიბრტყეში; დ—ხის ბურჯში გათვალისწინებული საშანდორე კილოს კონსტრუქციულად გადაწყვეტის ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი.

რის სივრცეების გამკვრივება ხდება ხის ძელებით. განიერი (10 მეტრზე მეტი) და დიდი სიღრმის მქონე ხერტების გადასაკეტად იყენებენ ლითონის ფურცებს ორი წყვილი თვალით (ნახ. 13.7), რომლებზეც სადაწიეთ მხრიდან აკრულია ფურცლოვანი რკინა და რომელთა შორის ურთიერთშეკავშირება ხდება ხის ძელებით.

2. ხის ბრტყელ საკეტებს — ფარებს ამზადებენ 5—10სმ სისქის ფიცრებისაგან, რომელთა ურთიერთშეკავშირება—შეკვიდროე-

\* ან რკინაბეტონის შანდორებს, რომელთაც წონის შემცირების მიზნით, ამზადებენ წინასწარ დამაბული კონსტრუქციის სახით და ღრუ (ცარიელი) შიგა სივრცით, როგორც ეს ნაჩვენებია 13.6 ნახ.-ზე.

ბა განხორციელებულია შუასადები ლითონის ფურცლებით—ლარტყებით (ნახ. 13.9) და ამავე დროს სადაწნეო მხრიდან, მუხის ხისგან დამზადებული სოგანებით. იმავე სადაწნეო მხრიდან ასეთი კონსტრუქციის ფარებზე დამაგრებულია ფურცლოვანი რკინისაგან დამზადებული (8—50 მმ) ფარის ასაწევი კაკევი.



ნახ. 13.6 — ორტესებრი კოქებისაგან შემდგარი ლითონის შანდორის კონსტრუქცია. 1—ორტესებრი კოქები; 2—ხის ძელები, რომლებიც ორტესებრი კოქებთან დამაგრებულია კანკალებით.

ხის ბრტყელი საკეტების ზომები აიღება 1—1,5 მ სიგანის და სიმაღლით 0,5—1,2 მ ფარგლებში, ფარზე დაწნევა კი 3,5 მეტრამდე. უფრო დიდი დაწნევის შემთხვევაში საკეტების ბოლოებს ამკვირვებენ ფურცლოვანი ან კუთხოვანი რკინით.

სტატიკურად ხის ბრტყელ საკეტებს ანგარიშობენ როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობალ კოქებს

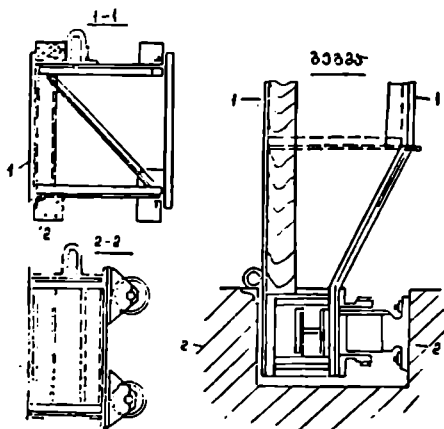
3. ხის ძელური საკეტი (ნახ. 13.10) წარმოადგენს ერთ რიგად შემკვიდრობულ ხის ძელებს, რომლებიც ქვედა ბოლოთი მიყრდნობილია ფლუტბეტის საფუძვართან, 1, ხოლო ზედათი კი—კოჭთან—2.

ხის ძელური ტიპის საკეტებით შეიძლება გადაიხუროს გრძელი, მცირე სიღრმის (2—4 მ) მქონე მალები.

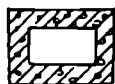
ხის ძელური საკეტების ნაკლია ძელებს შორის დარჩენილ ჰვრიტულებში წყლის დიდი ფილტრაცია; აღნიშნულის გამოსარიცხავად, ზოგჯერ ხის ძელების მაგივრად იყენებენ ლითონის მილებს, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ საკმაოდ მკვიდროდ დაკავშირების საშუალებას იძლევიან.

4. ლითონის ბრტყელი საკეტები — ფარები. უმარტივესი კონსტრუქციის ლითონის ბრტყელი საკეტები ძირითადად, გამოიყენება (ისე, როგორც ხის ბრტყელი საკეტები) მელიორაციულ ჰიდროტექნი-

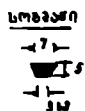
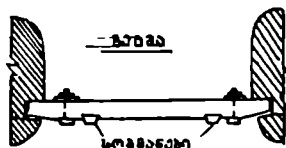
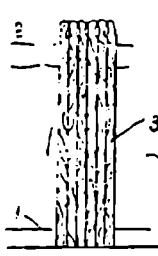
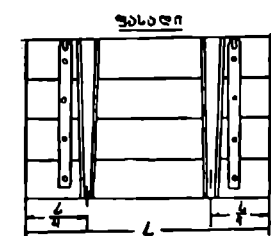
300



ნახ. 13.7 — ფერშების სახის თვლებიანი ლითონის შახლორის კონსტრუქცია. 1— ფერცლოვანი რკინის სახერავე; 2— ხის ძელები.



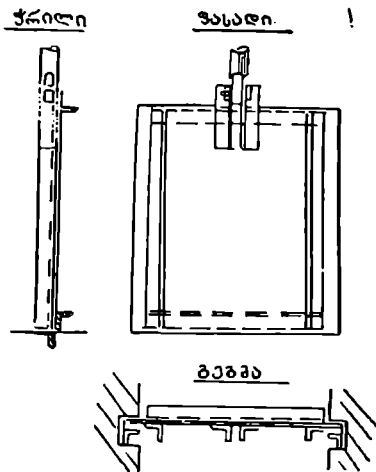
ნახ. 13.8  
რკინაბეტონის  
შახლორი.



ნახ. 13.10 — ძეღური საკეტები: 1— ფლიტრბეტში გათვალისწინებული ძეღების მისაყრდენი საფეხური; 2— კოქი; 3— ძელები.

ნახ. 13.9 — ხის ბრტყელი საკეტი: 1— საშუააა-ღებო ლითონის ფოცელი (ლარტყა); 2— საკეტის ასაწევი კაევი.

კურ ნაგებობებში, ასეთი საკეტის ელემენტებია (ნახ. 13.11) კუთხოვანი ჩარჩო და მასზე დაშვებული 1—5 მმ სისქის ფურცლოვანი რკინის ფარია



ნახ. 13.11 — ლითონის ბრტყელი საკეტის უმარტივესი კონსტრუქცია.

ბა, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

სტატიკურად რიგელებს ანგარიშობენ როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილ კოჭებს. ამ მხრივ, მდგრადობის თვალსაზრისით

რიგელის ჩაღუნვა არ უნდა აღემატებოდეს საანგარიშო მალის  $\frac{1}{750}$  — ძირითად საკეტებში და  $\frac{1}{500}$  დროებით საკეტებში.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა საკეტებზე მოქმედებს სტატიკური და დინამიკური ძალები.

სტატიკური ძალებს მიეკუთვნება: წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა, საკეტის საკუთარი წონა, ნატანი მასალის წნევა (ეს უკანასკნელი მხოლოდ იმ შემთხვევაში მიიღება მხედველობაში,

მეორე მხრივ, როგორც ლითონის გაგლინული პროფილებისაგან. მათი სიმაღლე ინიშნება წყალგამტარი ხერტის მალის სიგრძის  $\frac{1}{6} - \frac{1}{8}$  ფარგლებში, ხოლო, განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

მედარებით დიდმალიან წყალგამტარი ხერტების შემთხვევაში ლითონის ბრტყელი ფარის კაოკაი შედგება (ნახ. 13.12) მთავარი 1 და დაძაბებითი 2 რიგელებისაგან და ვერტიკალური 3 დგარებისაგან.

ოიგელებს რაოდენობის მიხედვით განასხვავებენ ორ (ნახ. 13.12) და მრავალრიგელიან (ნახ. 13.13) საკეტებს.

რიგელებს ამზადებენ ლითონის გაგლინული პროფილებისაგან. მათი სიმაღლე ინიშნება წყალგამტარი ხერტის მალის სიგრძის  $\frac{1}{6} - \frac{1}{8}$  ფარგლებში, ხოლო, განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

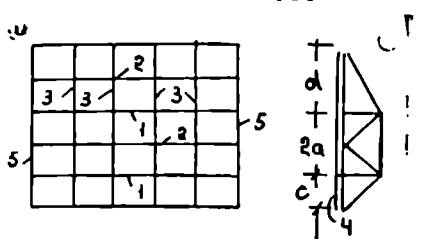
მეორე მხრივ, როგორც ლითონის გაგლინული პროფილებისაგან. მათი სიმაღლე ინიშნება წყალგამტარი ხერტის მალის სიგრძის  $\frac{1}{6} - \frac{1}{8}$  ფარგლებში, ხოლო, განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.

განლაგება კი იმ ვარაუდით ხდება, რომ თითოეულ მათგანზე წყლის წიევის თანაბარი დატვირთვა მოდიოდეს.



ნახ. 13.12 — ორრიგელიანი ლითონის ბრტყელი საკეტის სქემა: 1—მთავარი რიგელები; 2—დაძაბებითი რიგელები; 3—ვერტიკალური დგარები; 4—სადაწნეო ლითონის ფურცლოვანი ზედაპირი; 5—განაპირა საყრდენი დგარები.

როდესაც საკეტის წინ მოსალოდნელია ნატანი მასალის დაგროვება.

საკეტზე მოქმედი როგორც ჰიდრასტატიკური, ასევე ნატანი მასალის წნევის ძალა გამოითვლება ჰიდრავლიკის ელემენტარული განტოლებებით. ამ შემთხვევაში უნულის დაწნევის საკეტზე გამოირიცხავენ, რადგან, როგორც წესი, საკეტზე უნულის მიკროს საწინააღმდეგო ღონისძიებებს (საკეტების გათბობა და ასე შემდეგ) წინასწარ ითვალისწინებენ.

ბრტყელი საკეტის მოძრავი ნაწილის წონას ტონობით პირველ მიახლოებით ანგარიშობენ\* ემპირიული ფორმულებით, რომელთაგან გამოყენების თვალსაზრისით ყველაზე მარტივია ე. ბერხინსკის

$$G = 0,055 F \sqrt{F} \quad (13.1)$$

და პ. ეუმოვიჩის

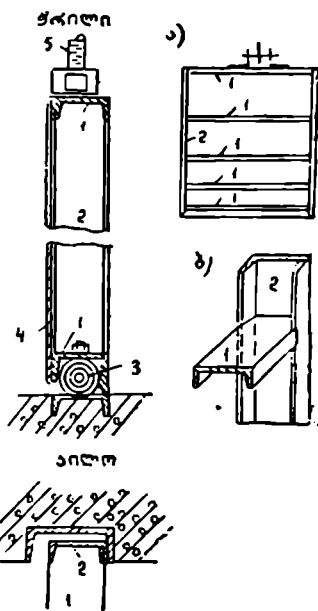
$$G = 0,157 F \sqrt{F} \quad (13.2)$$

ფორმულები, სადაც  $F$  არის საკეტის ფართობი მ<sup>2</sup>-ობით. უფრო ზუსტად, ბრტყელი საკეტების წონას ანგარიშობენ პროექტით შედგენილი სპეციფიკაციის საფუძველზე.

საპროექტო პრაქტიკიდან გამომდინარე სარქველიანი ბრტყელი საკეტებისათვის  $G_{სარქ.} = 1,25G$ , ხოლო შეწყვილებული საკეტისათვის კი  $G_{\Sigma} = 1,3G$ .

დინამიკურ ძალებს მიეკუთვნება: წყლის ტალღებისა და ქარისაგან გამოწვეული წნევები და აგრეთვე აიდროდინამიკური წნევა, რომელიც წარმოიქმნება საკეტის ქვემოდან წყლის გაღონების შემთხვევაში (ამ საკითხის განხილვა იხ. § 13.3-ში).

ლითონის ბრტყელი საკეტების ტექნიკურად და ეკონომიკურად სწორად დასაპროექტებლად, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ძალების დაღვენისა,

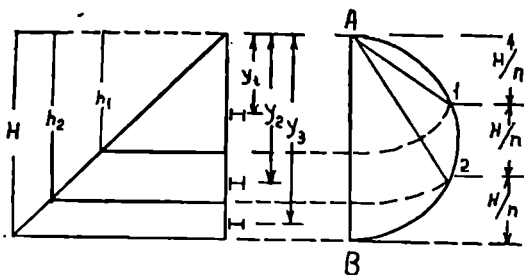


ნახ. 13.13 — შრავალიველიანი ბრტყელი საკეტი: ა—ხელი ქვედა ბიეფიდან; ბ—საყრდენ ღვართან რიგელის მიერთების სქემა: 1—რიგლები; 2—საყრდენი ღვარები; 3—საკეტის ქვედა ბოლოს გამკვრივება ხის ფელით; 4—ლითონის ფურცლიანი შემოწიკი; 5—ამწე ხრახნი.

\* ბრტყელი თვლიანი საკეტის უმოდრათ ნაწილის წონა შეიძლება მიახლოებით ავილოთ საკეტის მოძრავი ნაწილის წონის ( $G$ ) 20%.

ერთ-ერთი მთავარია აგრეთვე რიგელების ისეთნაირი ოპტიმალური განლაგება, რომლის დროსაც თითოეულ მათგანზე წყლის ერთნაირი სიდიდის დატვირთვები იმოქმედებს, რიგელების ასეთნაირი განლაგების პირველ მიზნობით დასადგენად ხშირად გამოიყენება ეგრეთწოდებული ბერკეტის წესი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს:

ა) ზედაპირული ბრტყელი საკეტისათვის ფარის  $H=AB$  სიმაღლეზე (ნახ. 13.14), როგორც დიამეტრზე, აიგება ნახევარწრეხაზი და მასზე გადაიტანება  $\frac{H}{n}$  დანაყოფები, სადაც  $n$  რიგელების რიცხვია;  $A$  წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან,  $A1$  და  $A2$  რადიუსებით



ნახ. 13.14 — ერთნაირად დატვირთული რიგელების განლაგების გრაფიკული აგება ზედაპირული ბრტყელი საკეტის შემთხვევაში.

შემოეხაზავთ რკალებს  $AB$  ხაზს გადაკვეთამდე, რომელთაც შემდგომ გეგარქლებთ კორიზონტალურად წყლის პილაროსტატიკური წნევის ეპიურის ფარგლებში. ამგვარად, ნახაზზე გრაფიკულად დადგენილი  $h_1$  და  $h_2$  პარამეტრები განსაზღვრავენ ცალკეულ რიგელზე მოსულ დატვირთვათა ტოლ-

დანი ფართობების საზღვრებს, რომლებიც ანალიზურად ჩაიწერება ასეთნაირად

$$h_k = H \left( \frac{K}{n} \right)^{1/2}, \quad (13.3)$$

სადაც  $K$  რიგელის რიგითი ნომერია (ზემოდან დაწყებული); ამ შემთხვევაში საკეტის ზედა ქიმიდან ცალკეული რიგელის ღერძის დაცილების  $y_1, y_2$  და ა. შ. მანძილები გამოითვლება განტოლებიდან

$$y_k = \frac{2}{3} \frac{H}{\sqrt{n}} \left( \sqrt{K^3} - \sqrt{(K-1)^3} \right), \quad (13.4)$$

ხოლო თითოეულ რიგელზე მოსული წყლის დაწნევა კი—ფორმულით

$$P = \gamma \frac{H^2}{2n} \theta / \theta, \quad (13.5)$$

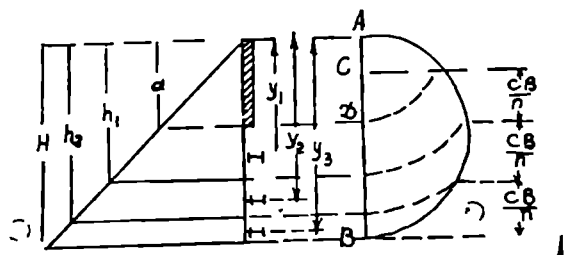


სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა ტ/მ<sup>3</sup>-ობით,  $H$  — წყლის დაწნევის სიდიდე მეტრობით,  $n$  — რიგელების საერთო რაოდენობა.

ორრიგელიანი ბრტყელი საკეტის შემთხვევაში ორივე რიგელის ტოლდობით დატვირთვისათვის აუცილებელია მათი დაცილება წნევის ტოლქმედის მოდების სიბრტყის მიმართ იყოს ერთნაირი. პრაქტიკულად, ორრიგელიანი საკეტებისათვის ლებულობენ (იხ. ნახ. 13.12): ზედა კონსოლის  $d$  მანძილს, სიხისტის პირობიდან გამომდინარე,  $\leq 0,45H_n$  ( $H_n$  — საკეტის სიმაღლე) და ქვედა კონსოლის  $c$  მანძილს  $\geq (0,15-0,18) H_n$  — საკეტის ქვეშ ვაკუუმის წარმოქმნის საშიშროების გამორიცხვის მიზნით.

ბ) სიღრმეული ბრტყელი საკეტისათვის (ნახ. 13.15) რიგელების განლაგების ზემოთ განხილული წესი ასეთი თანმიმდევრობით სრულდება. წყლის ზედაპირიდან საკეტის ჩაღრმავების  $a$  სიდიდე დაიტანება  $AB$  დიამეტრზე ( $D$  წერტილში);  $AD$  რადიუსით მოხაზული რკალით ნახევარწრეხაზზე მივიღებთ  $C$  წერტილს;  $CB$  მონაკვეთს დაყოფენ  $\frac{CB}{n}$  ან, რაც იგივეა,  $\frac{H-AC}{n}$  ნაწილებად. შემდგომ, ზედაპირული ბრტყე-

ლი საკეტისათვის ჩატარებული გრაფიკული გამოთვლების ანალოგიურად მოინახება წყლის წნევის გამოსახველი ეპიურის ტოლდობი ფართობები, რომელთა სიმძიმის ცენტრების შეაბამის ხაზებზე აიღება (დინიშნება) წყლის დაწნევის ერთნაირი სიდიდით დატვირთული რიგელების ღერძები.



ნახ. 13.15 — ერთნაირად დატვირთული რიგელების განლაგების გრაფიკული აგება სიღრმეული ბრტყელი საკეტების შემთხვევაში.

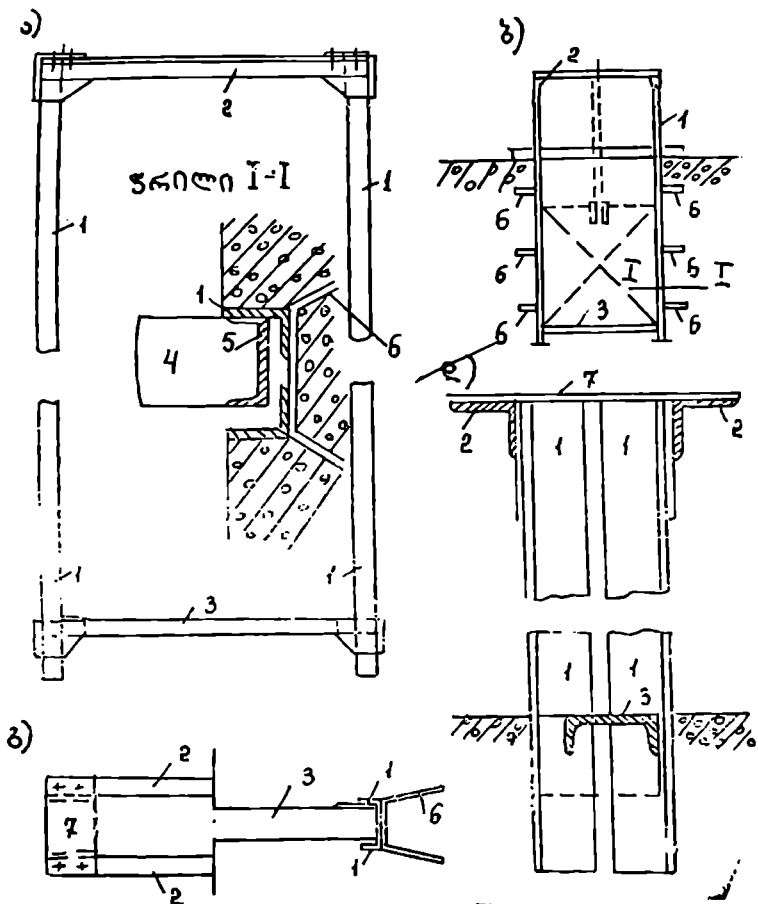
აქვე შევნიშნავთ, რომ საკეტების მონტაჟის გართულების თავიდან აცილების მიზნით რიგელების ურთიერთდაცილება 50 სმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს.

4. ლითონის ბრტყელი საკეტის შემონაკერი ჩვეულებრივ კეთდება ფურცლოვანი ფოლადისაგან, რომლის სისქე (სმ-ობით) იანგარიშება ფორმულით

$$\delta = a \sqrt{\frac{\varphi P}{2(1+n^2)|\sigma|}}, \quad (13.6)$$

სადაც  $n = \frac{a}{b}$ ;  $a$  და  $b$  არის შესაბამისად, კოჭოვანი უჯრედის მოკლე

( $a$ ) და გრძელი ( $b$ ) გვერდების სიგრძეები, სმ-ობით,  $P$  — წყლის ზვედრითი წნევა კოჭოვანი უჯრედის ცენტრში, კგ/სმ<sup>2</sup>-ობით;  $|\sigma|$  — საყეტის კოჭოვან კონტურზე შემონაკერის დამაგრების მახასიათებელი კოეფიციენტი, რომელიც აიღება:



ნახ. 13.16 — ბრტყელი საყეტის სამოძრაო კილოს მოწყობის ზოგადი სქემა: ა—კილოში ჩასადგმელი ჩარჩო; ბ—კილოში ჩასატანებელი ნაწილების საერთო ხედი; გ—ხედი ზემოდან; დ—კილოს გვერდითი კრილი; 1—ჩარჩოს დგარები; 2—ზედა რიგელი; 3—საყრდენი რიგელი; 4—საყეტის რიგელი; 5—საყეტის დგარები; 6—ანკერის თამასები; 7—ჩარჩოს შემკვერელი ზედა თამასა.

0.75—შემონაყერის ოთხეე გვერდით ჩამაგრებისას;

1.00—შემონაყერის ორი გვერდით ჩამაგრებისას;

1.13 — შემონაყერის თავისუფლად დაყრდნობისას.

პრაქტიკაში შემონაყერის მინიმალურ სისქეს ღებულობენ 6—8 მმ-ის ფარგლებში.

5. საკეტების სამოძრაო კილოები (ნახ. 13.16) ნებისმიერი ტიპის საკეტის ნორმალურად მანევრირებისათვის ერთ-ერთ მთავარ პირობას წარმოადგენს საკეტების სამოძრაო კილოების და მათში ჩასატანებელი ნაწილების ტექნიკურად სწორად დამონტაჟება. ასე, მაგალითად, ჩასატარებელი ჩარჩო (ნახ. 13.16, ა) კილოში უნდა ჩაიდგას წინასწარ აწყობილ მდგომარეობაში დაბეტონებამდე; შემდგომ. როდესაც დაზუსტდება (ნაველირების საფუძველზე) საპროექტო მდგომარეობაში მისი დგომა, დაამაგრებენ მას საანყერო თამაშებთან ერთად და ჩააბეტონებენ ბურჯის წყობაში (იხ. პრაქტიკა 1—1 ნახ. 13.16, ა; ნახ. 13.16 ბ, გ). შემოდან ჩარჩოზე კანკივებით ამაგრებენ ლითონის ფირფიტებს—თამაშებს, რომელთა მოხდასნით შესაძლებელი ხდება საკეტის ამოღება საკეტის სამოძრაო კილოებიდან.

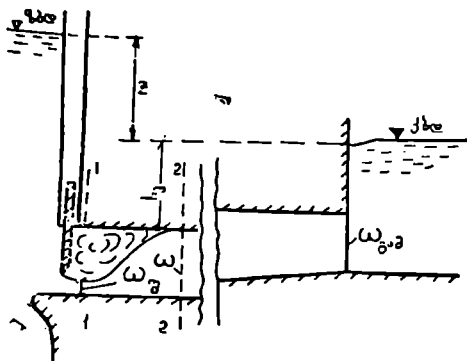
**§ 13.3. ბრტყელი საკეტის ქვემოდან წყლის გამოდინებისას დაწნობიანი წალსაგდების პირზე მოქმედი აქტიური ჰიდროდინამიური წნევის ანოთვლის აეთოლი**

ბრტყელი საკეტის ქვემოდან წყლის გამოდინების შემთხვევაში, სიღრმული წყალსაგდების კერზე (ნახ. 13.17) მოქმედი აქტიური ჰიდროდინამიური წნევის სიდიდე, ძირითადად, დამოკიდებულია წყალსაგდები ხერხების გაღებული ნაწილის ფართობზე, ზედა ბიფის წყლის დონის მიმართ სიღრმული წყალსაგდების კერის ჩაღრმავების სიმაღლეზე. ჰიდრაულიკური წინაღობების სიდიდეზე საკეტამდე და საკეტის შემდგომ უბანზე და ა. შ. აქვე შევნიშნავთ, რომ განსახილველ უბანზე წარმოქმნილი ვაკუუმის სიდიდე დამოკიდებულია სიღრმული წყალსაგდების მთელი სისტემისათვის გამოთვლილ ჰიდრაულიკურ წინაღობათა ჯამურ სიდიდეზე; რაც მეტი იქნება ჰიდრაულიკური წინაღობები სიღრმული წყალსაგდების სისტემაში, მით უფრო ნაკლები სიდიდის ვაკუუმი წარმოიქმნება წყალსაგდების განსახილველ უბანზე (გარკვეული სიდიდის ჰიდრაულიკური წინაღობების შემთხვევაში ვაკუუმი შეიძლება საერთოდ გამოირიცხოს.)

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ბრტყელი საკეტის უკან სიღრმულ წყალსაგდების კერზე (ნახ. 13.17) მოქმედი ჰარბი აქტიური ჰიდროდინამი-

კური წნევის  $\frac{P}{\gamma}$  გამოსათვლელი ფორმულა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\gamma} \pm K\delta_u \frac{V^2}{2g} - \Delta, \quad (13.7)$$



ნახ. 13.17 — ბრტყელი საკეტის უკან სიღრმითი წყალსაგდების კერზე მოქმედი აქტიური ჰიდროდინამიკური წნევების გამოსათვლელი საანგარიშო სქემა.

1—1 კვეთში, წყალსაგდების კერზე გაზომილი ჰიდროდინამიკური წნევის პულსაციური მდგენელის ფარდობითი სიდიდე;  $V$  — სიღრმულ წყალსაგდებში წყლის დინების საშუალო სიჩქარე, მ/წ-ობით;  $g$  — სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ<sup>2</sup>-ობით;  $\Delta$  — სიღრმული წყალსაგდების კერის საპროექტო ნიშნული 1—1 კვეთში, მეტრობით.

(13.7) ფორმულაში შემაჯავლი  $\frac{\bar{P}}{\gamma}$  სიდიდის გამოსათვლელად მოძრაობის რაოდენობათა და ცოცხალი ძალების კანონების გამოყენების საფუძველზე შეიძლება ვისარგებლოთ მ. ფაქტოროვიჩის მიერ მიღებული განტოლებით, რომელიც 13.17 ნახაზზე ნაჩვენებია საანგარიშო 1—1 და 2—2 კვეთებისათვის ჩაიწერება ასეთნაირად

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{z}{1-\Phi} + h_3, \quad (13.8)$$

სადაც  $z = \nabla_{\text{ს.ა.დ.}} - \nabla_{\text{კ.ა.დ.}}$

$h_3 = \nabla_{\text{ს.ა.დ.}} - \Delta - z$  — პიეზომეტრული დაწნევის სიმაღლე სიღრმული

წყალსაგდების გამოსასვლელ კვეთში;

$$\Phi = \frac{1 + \epsilon_0 \epsilon^2}{2\epsilon_0 - 2\epsilon^2 - \epsilon^2 \epsilon^2}; \quad (13.9)$$

$\epsilon_0 = \frac{\omega_0}{\omega}$  არის საკეტის ქვემოდან გამოდინებული ტრანზიტული ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტი 1—1 კვეთში (ნახ. 13.16);

$\epsilon_0$  და  $\epsilon_1$  — ჰიდრაულიკურ წინაღობათა კოეფიციენტების ჯამური სიდიდეები, შესაბამისად, საკეტამდე ( $\epsilon_0$ ) და მის შემდგომ ( $\epsilon_1$ ) უბანზე.

თუ ზედა ბიფში წყლის დინების შედარებით დიდი სიჩქარეებია, მაშინ (13.8) ფორმულაში  $z$ -ის ნაცვლად უნდა ჩაიწეროს  $z + \frac{V_0^2}{2g}$ , სადაც

$V_0$  — ნაგებობის წინ წყლის ნაკადის მოსვლის სიჩქარეა.

როგორც მ. ფაქტოროვიჩი აღნიშნავს, (13.8) და (13.9) ფორმულები მართებულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სიღრმულ წყალსაგდებში საკეტის განლაგების შემდგომი უბანი (დაახლოებით წყალსაგდების ხუთმაგი სიმაღლის მანძილზე) პორიზონტალურია და საკეტის მანევრირება იმდენად ნელი სვლით ხდება, რომ განსახილველ უბანში წყლის დინება დამყარებული მოძრაობის კანონებს ემორჩილება.

(13.9) ფორმულაში შემავალი ჰიდრაულიკური წინაღობის გამომსახველი  $\epsilon_0$  და  $\epsilon_1$  კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობების დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ ჰიდრაულიკის ნებისმიერი კურსის მონაცემებით, ხოლო რაც შეეხება საკეტის ქვემოდან გამოდინებული ტრანზიტული ნაკადის შევიწროების გამომსახველ  $\epsilon_0$  კოეფიციენტს, მისი განსაზღვრისათვის უკანასკნელ დრომდე ლიტერატურაში თითქმის არავითარი მონაცემები არ არსებობდა და ამიტომ დასახელებული ფორმულის გამოყენება ზოგჯერ საერთოდ შეუძლებელი ხდებოდა. ჩვენ მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტალურმა გამოკვლევებმა საშუალება მოგვცა დაგვედინა ფუნქციონალური კავშირი.

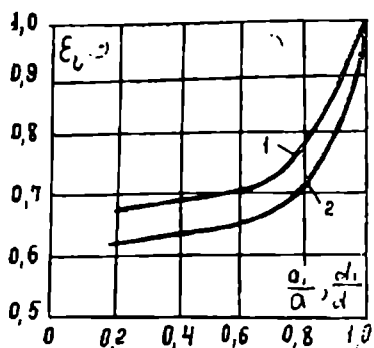
$\epsilon_0$  -სა და საკეტის ფარდობითი გაღების სიდიდეებს შორის როგორც წრიული  $\left(\frac{d_1}{d}\right)$ , ასევე სწორკუთხოვანი  $\left(\frac{a_1}{a}\right)$  განიკვეთის მქონე სიღრმული წყალსაგდებისათვის (ნახ. 13.18) შემდეგი სახით

$$\epsilon_0 = f\left(\frac{a_1}{a}; \frac{d_1}{d}\right), \quad (13.10)$$

სადაც  $a_1$  და  $d_1$  საკეტების გაღების სიმაღლეებია, შესაბამისად,  $a$  სიმაღ-

ლის მქონე სწორკუთხოვანი ან  $d$  დიამეტრის მქონე წრეული კვეთის სიღრმული წყალსაგდებისათვის.

დაბოლოს, (13.7) ფორმულის ამოსახსნელად  $\frac{\bar{P}}{\gamma}$ -ს გარდა აუცილებელია აგრეთვე წინასწარ ვიცოდეთ საკეტის უკან—წყალსაგდების ქერზე გაზომილი ჰიდროდინამიკური წნევის პულსაციური მდგენელის ფარდობითი სიდიდე  $\xi_s$ . ჩვენ მიერ საკითხის ექსპერიმენტულად შესწავლის საუქმველზე 13.19 და 13.20 ნახ.-ზე მოცემულია ფუნქციონალური დამოკიდებულების გრაფიკები:



ნახ. 13.18 — დამოკიდებულების გრაფიკი  $\xi_s \equiv f\left(\frac{a_1}{a}, \frac{d_1}{d}\right)$  1 — სწორკუთ-

ხოვანი განიკვეთის მქონე სიღრმულ წყალსაგდებში ჩადგმული ბრტყელი საკეტებისათვის; 2—წრიული განიკვეთის მქონე სიღრმულ წყალსაგდებში ჩადგმული ბრტყელი საკეტებისათვის.

ხოვანი განიკვეთის მქონე სიღრმულ წყალსაგდებში ჩადგმული ბრტყელი საკეტებისათვის; 2—წრიული განიკვეთის მქონე სიღრმულ წყალსაგდებში ჩადგმული ბრტყელი საკეტებისათვის.

ბელია აგრეთვე წინასწარ ვიცოდეთ საკეტის უკან—წყალსაგდების ქერზე გაზომილი ჰიდროდინამიკური წნევის პულსაციური მდგენელის ფარდობითი სიდიდე  $\xi_s$ . ჩვენ მიერ საკითხის ექსპერიმენტულად შესწავლის საუქმველზე 13.19 და 13.20 ნახ.-ზე მოცემულია ფუნქციონალური დამოკიდებულების გრაფიკები:

ა) სწორკუთხოვანი ფორმის სიღრმული წყალსაგდებისათვის (ნახ. 13.19)

$$\xi_s = f\left(\frac{a_1}{a}, \frac{l}{a}\right);$$

ბ) წრიული ფორმის, სიღრმული წყალსაგდებისათვის (ნახ. 13.20)

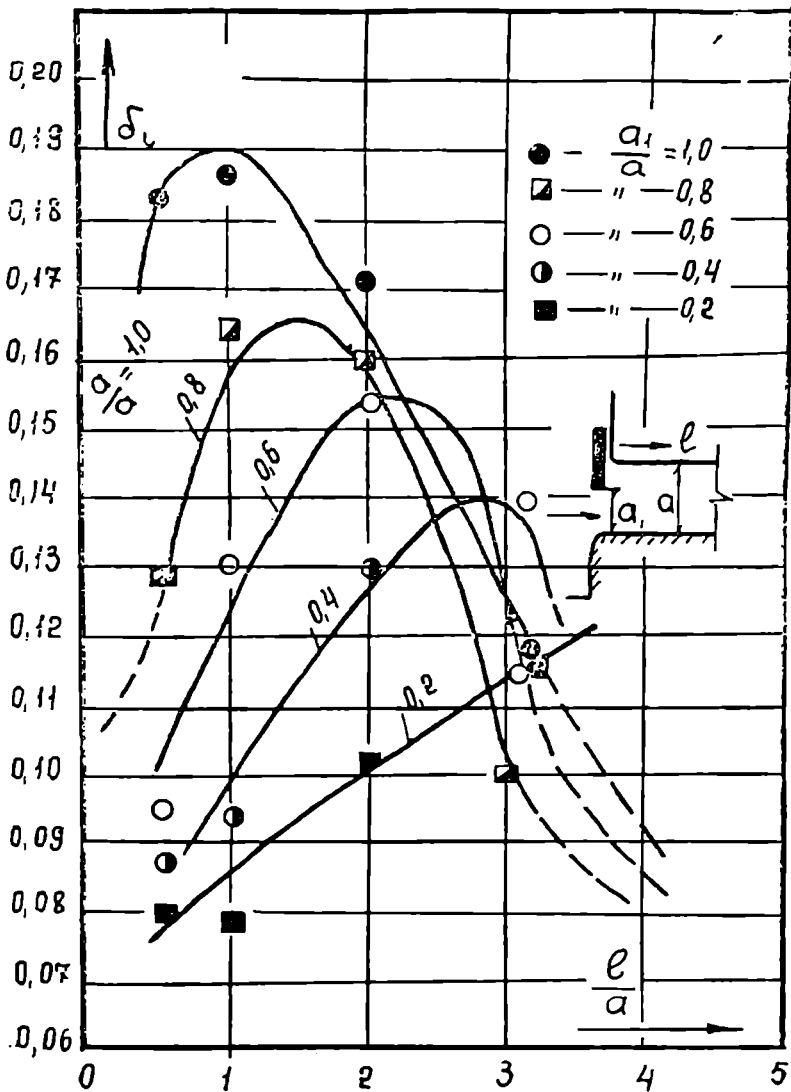
$$\xi_s = f\left(\frac{d_1}{d}, \frac{l}{d}\right),$$

სადაც  $l$  არის მანძილი, რომელიც გადაიზომება საკეტის განლაგების კვეთიდან (ნახ. 13.19 ან ნახ. 13.20).

ამგვარად, მოსალოდნელი მინიმალური აქტიური ჰიდროდინამიკური წნევის დასადგენად (13.7) გაჭტოლება ჩაიწერება ასეთნაირად

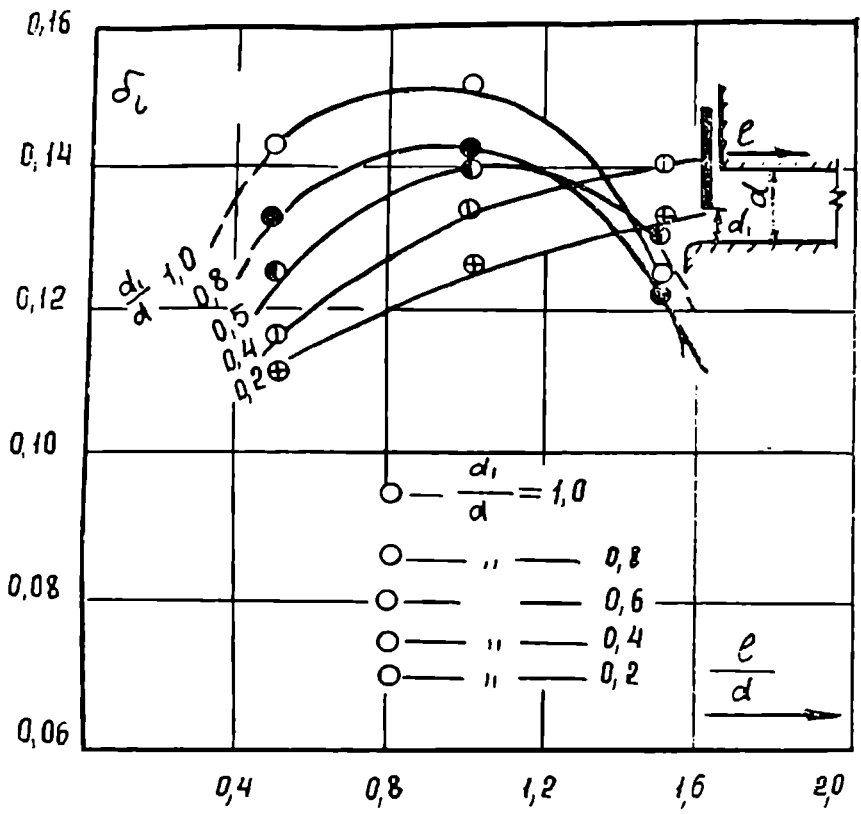
$$\frac{P}{\gamma} = \frac{\bar{P}}{\gamma} - 4\xi_s \frac{V^2}{2g}, \quad (13.11)$$

სადაც  $\frac{\bar{P}}{\gamma}$  განისაზღვრება 13.17 ნახ.-ზე მოცემული გრაფიკის მონაცემების მიხედვით (13.8) ფორმულიდან, ხოლო  $\xi_s$  კი, წინასწარ ცნობილი სიღრმული წყალსაგდების განიკვეთის ფორმის გათვალისწინებით, 13.19 ან 13.20 ნახ.-დან. აქვე შევნიშნავთ, რომ ამ ნახაზებზე მოცემული გრაფიკები



ნახ. 13.19 — დამოკიდებულების გრაფიკი

$$\delta_s = f\left(\frac{a_1}{a}; \frac{l}{a}\right)$$



ნახ. 13.20 — დამოკიდებულების გრაფიკი  $\delta_L = f\left(\frac{d_1}{d}, \frac{e}{d}\right)$

აგებულია და შესაბამისად მართობულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც: სიღრმულ წყალსაგდებში იდგმება მხოლოდ ძირითადი საკეტი; აღნიშნულის მიუხედავად, რადგან დასმულ საკითზე ლიტერატურაში ამჯერად სხვაუფრო ზუსტი მონაცემები არ არსებობს, ისინი შეიძლება აგრეთვე გამოვიყენოთ საორიენტაციო გამოთვლებისათვის იმ შემთხვევისათვისაც, როდესაც სიღრმულ წყალსაგდებში გათვალისწინებულია ჩაიდგას როგორც ძირითადი, ასევე საავარიო სარემონტო საკეტი.

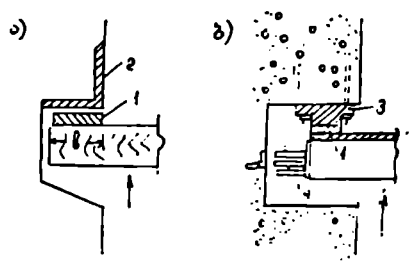
§ 13.4. სრიალა, თვლიანი და ზოგირითი სხვა ტიპის ბრტყელი საკებები

საკეტის საყრდენ-სამოძრაო მოწყობილობათა კონსტრუქციის მიხედვით განასხვავებენ სრიალა, თვლიანი და მგორავი ტიპის



შ. ს. ბრტყელ საკეტებს. მგორავი ტიპის საკეტები პრაქტიკაში თითქმის არ გამოიყენება და ამიტომ მათ ქვემოთ არ განვიხილავთ.

1. ს რ ი ა ლ ა ტ ი პ ი ს ბ რ ტ ყ ე ლ ი ს ა კ ე ტ ე ბ ი. ბრტყელი საკეტების ამწე-დამწევი ძალების შესამცირებლად მათი ნაპირების საყრდენ, ზედაპირებზე აკრავენ ფოლადის ფურცლოვან ზოლს (ნახ. 13.21), რომლის მეშვეობითაც წყლის წნევა საკეტის სამოძრაო კილოებში ჩატანებული ნაწილების მეშვეობით გადაეცემა ბურჯებს. ასეთნაირად განხორციელებული საყრდენი მოწყობილობა, რომელზედაც საკეტის ფარი სრიალებს ვერტიკალურ სიბრტყეში, ამავე დროს წარმოადგენს ფილტრაციის საწინააღმდეგო გვერდით გამკვრივებას, რაც, თავის მხრივ, ამარტივებს და აიაფებს საკეტის კონსტრუქციას.



ნახ. 13.21 — სრიალა ბრტყელი საკეტების საყრდენ-სამოძრაო ნაწილების განლაგების ზოგადი სქემა. ა — ხის ბრტყელი საკეტისათვის; ბ — ლითონის ბრტყელი საკეტისათვის; 1 — სრიალა საყრდენი, 2 — ჩაატანებული კუთხედი; 3 — რულსი; 4 — მიმართველი გორგოლაკი.

ბრტყელი საკეტის გადაადგილების დროს საყრდენებსა და საკეტს შორის წარმოიქმნება საკმაოდ დიდი ხახუნის ძალა

$$T = fW, \quad (13.12).$$

რომელიც ეწინააღმდეგება საკეტის მოძრაობას: თავის მხრივ; ასეთი დიდი ხახუნის ძალების წარმოქმნა კი იწვევს საკეტის ამწე მექანიზმების სიმძლავრის მნიშვნელოვნად გაზრდას; სწორედ ამიტომ, ხისა და ლითონის სრიალა საკეტები ჩვეულებრივ გამოიყენება მცირემალიანი ხვრეტების გადასაკეტად და ისიც უმნიშვნელო დაწნევის დროს. (13.12) ფორმულაში  $f$  არის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 13.2 ცხრილიდან, ხოლო  $W = 0,5BH^2f$  — საკეტზე მოქმედი სრული პორიზონტალური წნევა;  $B$  და  $H$  შესაბამისად საკეტის სიგანე და სიმაღლე.

2. თ ე ლ ი ა ნ ი ს ა კ ე ტ ე ბ ი. თელიან საკეტებში წყლის პილროსტატიკური და ასევე სხვა სახის წნევები საყრდენი დგარების მეშვეობით გადაეცემა თვლებს, რომელთა ღერძები ჩამაგრებულია თვით დგარებში ან

უშუალოდ რიგელებში. ამ შემთხვევაში, თვლების ტოლდინად დატვირთვისათვის რეკომენდებულია საკეტის თითოეულ მხარეს დაიდგას ორი თვა-

ცხრილი 13.2

გასამკვრივებელი მასალის დასახელება	ჩასატანებელი ნაწილების მასალა	
	ჩვეულებრივი ფოლადი	უქანგავი ფოლადი
1 რეზინი	0,65	0,5
2 ჩვეულებრივი ფოლადი	0,50	—
3 ბრინჯაო	0,40	0,2
მერკანი	0,65	0,5
პერკანფენოვანი ფირფიტა	0,40	0,1

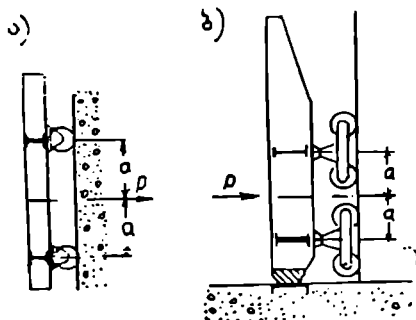
ლი და ამავე დროს ისინი ჰიდროსტატიკური წნევის ტოლქმედის მოდების წერტილიდან განლაგებულ იქნეს ერთი და იგივე  $a$  მანძილით (ნახ. 13.22, ა). ზოგჯერ, განსაკუთრებით დიდმალიან საკეტებში, თვლებზე დატვირთვების შემცირების მიზნით, თვლების რაოდენობას ორჯერ ზრდიან; შესაბამისად, განსახილველ შემთხვევაში წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა

რიგელებიდან უშუალოდ გადაეცემა ორთვლიან ურიკებს (ნახ. 13. 22, ბ), რომლებიც თავის მხრივ დატვირთვას გადასცემენ საყრდენ ღვარებს (მრავალრიგეულიან საკეტებში თვლებს ღვაგამენ ყოველი რიგელის ბოლოს).

საკეტებში თვლებს დაყენების ღერძები ისეთნაირად უნდა შეირჩეს, რომ ყოველი მათგანი ერთნაირი დატვირთვით მუშაობდეს. ასე, მაგალითად, თუ საკეტზე მოქმედი სრული ჰიდროსტა-

ტიკური წნევა  $W = \frac{1}{2}BH^2$ , მაშინ

თითოეულ თვალზე მოქმედი წნე-



ნახ. 13.22 — ბრტყელი საკეტების სავალი თვლების განლაგების სქემები: ა — თვლების მოწყობის ზოგადი სქემა; ბ — თვლიანი ურიკების განლაგების სქემა.

თვლების  $n$  რაოდენობის დროს თვლების სიდიდე

$$P = \frac{W}{n}$$

(13.13)

ამგვარად გამოთვლილი  $P$  სიღიდის მიხედვით შეიძლება მოენახოთ ჩვეულბრივი თვლის დიამეტრი

$$D = 2R = \frac{P}{b[\sigma]} \quad (13.14)$$

და გორგოლაჭებიანი თვლის საკისრის საშუალო წრეწარის  $R_0$  რადიუსი (ნახ. 13.23).

$$R_0 = \frac{P}{2b[\sigma]}, \quad (13.15)$$

სადაც  $R$  თვლის რადიუსია, სმ-ობით, და აიღება 25—100 სმ ფარგლებში;  $b$  - (8—10) სმ თვლის ფერსოს განი (ნახ. 13.23);  $[\sigma]$  — კემშვაზე დასაშ-

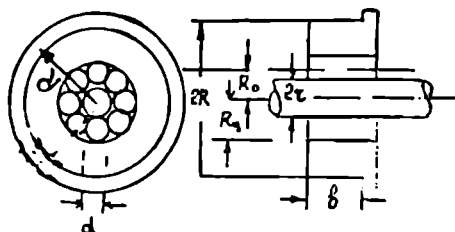
ვება წინალობის სიდიდე, რომელიც ფოლადის მარკის მიხედვით აიღება შესაბამისი ცნო ბარებიდან; თვლის  $D$  დიამეტრი აიღება 0,3—1,0 მეტრია ფარგლებში.

3. შეწყვილებული ბრტყელი საკეტები

როდესაც პიდროტქიკური ნაგებობების წყალაშვიანი ფვრეტები ერთდროულად გამოიყენება როგორც წყლის, ასევე თოშის, ყინულს ან სხვა მცურავი სხეულების გასატარებლად, ზემოთ განხილული ცალმაგი ბრტყელი საკეტების კონსტრუქციული სქემები ტექნიკურადაც და ეკონომიკურადაც ნაკლებად მისაღებია, რადგან განსახილველ შემთხვევაში ექსპლუატაციის პერიოდში აუცილებელი ხდება საკეტების მთლიანად გაღება და ამის შედეგად ზედა ბიეფის დონის გაუმართლებლად დაბლა დაწვევა, ხვრეტებში წყლის დიდი ხარჯების გატარება, რამაც ქვედა ბიეფში შეიძლება გამოიწვიოს მდინარის ფსკერის გამორეცხვა და სხვ.

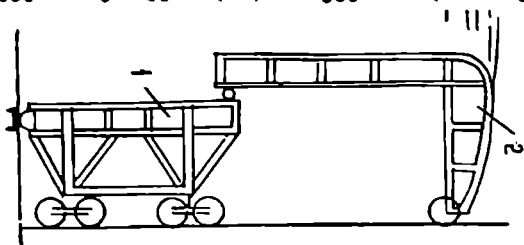
სწორედ ამიტომ, პრაქტიკაში, ზემოთ ჩამოთვლილი საექსპლოატაციო ხარვეზების თავიდან აცილების მიზნით, ცალმაგი ბრტყელი საკეტების ნაცვლად ხშირად იყენებენ ეგრეთ წოდებულ შეწყვილებულ (ნახ. 13.24) და სარქელიან (ნახ. 13.25) ბრტყელ საკეტებს.

შეწყვილებული ბრტყელი საკეტის კონსტრუქცია (ნახ. 13.24) შედგება ორი — ზედა და ქვედა — ურთიერთ-



ნახ. 13.23 — გორგოლაჭებიანი თვალი.

შერწყმული ბრტყელი საკეტებისაგან. ზედა საკეტი, რომლის ზედაპირი უვაკუუმო წყალსაშვის კოორდინატებითაა მოხაზული, საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება დაიწიოს ქვემოთ და მასზე მოხდეს წყლის საანგარიშო



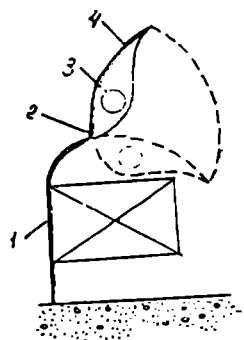
ნახ. 13.24 — შეწყვილებული ბრტყელი საკეტის სქემა. 1—ქვედა საკეტი; 2— ზედა საკეტი.

ხარჯის გადადინება და აგრეთვე თომის, ყინულის და სხვა მცურავი სხეულების გატარება—გადაღება—ზედა ბიეჟიდან ქვედა ბიეჟში. რაც შეეხება ქვედა საკეტს, მისი მანევრირება ხდება ზედა საკეტისაგან დამოუკიდებლად.

როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, შეწყვილებული საკეტების გამოყენებუ მიზანშეწონილია 10 მეტრამდე წყლის დაწნევის შემთხვევაში.

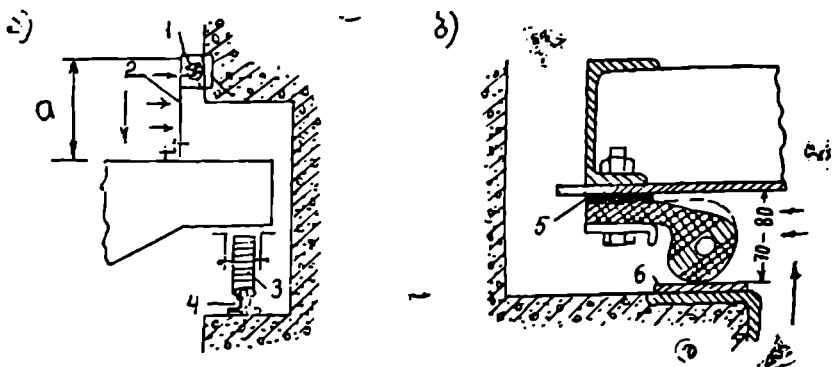
შეწყვილებული საკეტების ზოგიერთ ნაკლად უნდა ჩაითვალოს მათი რეგულირებისათვის საჭირო ამწე მექანიზმების კონსტრუქციულად შესრულების სირთულე და ლითონის მეტი რაოდენობით (დაახლოებით 20 %-მდე) ხარჯვა, ვიდრე ეს საჭიროა ცალმაგი ბრტყელი საკეტების დასამზადებლად.

სარქველიანი ბრტყელი საკეტის კონსტრუქცია (ნახ. 13.25) შედგება ძირითადი ბრტყელი საკეტისაგან და მასზე სახსრულად მიერთებული 1—1.5 მეტრი სიმაღლის სარქველისაგან, რომელსაც შეუძლია მოთხოვნილებისამებრ იბრუნოს ჰორიზონტალური ღერძის (სახსარის) ირგვლივ. სარქველის სადაწნეო ზედაპირს ეძლევა პრაქტიკულად უვაკუუმო მოხაზულობა. პრაქტიკაში ასეთი ტიპის საკეტებს იყენებენ დაწნევის იმავე სიდიდის ფარგლებში, როგორც ეს აღნიშნული იყო ზემოთ შეწყვილებული საკეტებისათვის (8—10 მეტრამდე).



ნახ. 13.25 — სარქველიანი ბრტყელი საკეტის სქემა. 1—ძირითადი ბრტყელი საკეტი; 2—ჰორიზონტალური სახსარი; 3—ლითონის მილი; 4 — სარქველი.

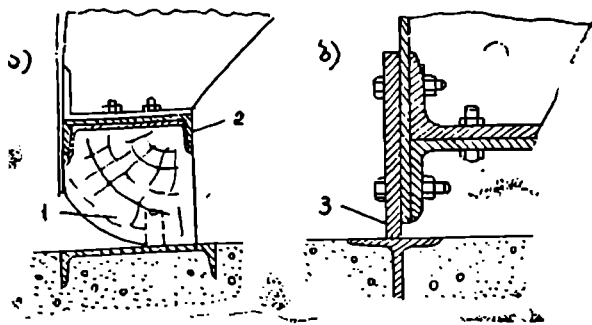
4. ბრტყელი საკეტების სამოძრაო კილოებში ფილტრაციის საწინააღმდეგო გამკვრივებების მოწყობის სხვადასხვა კონსტრუქციები. ბრტყელი საკეტების გვერდითი ნაპირების გარშემოვლით და ასევე ნაგებობის ზღურბლ-



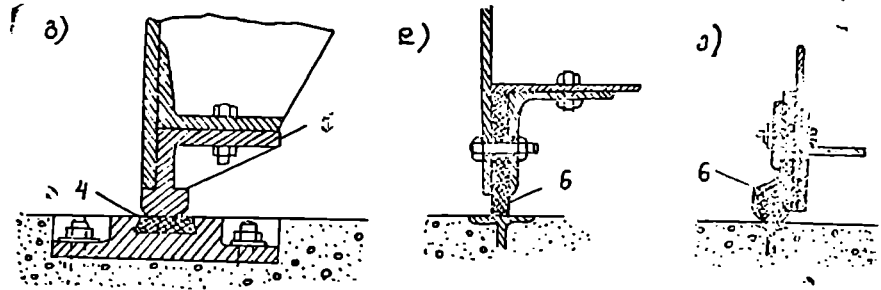
ნახ. 13.26 — ფილტრაციის საწინააღმდეგო გვერდითი გამკვრივეთა კონსტრუქციული სქემები; ა—ხის ძელით გამკვრივებით; ბ—პროფილოვანი რეზინით გამკვრივებით; 1—ხის ძელი; 2—მოქნადი ლითონის ფურცელი; 3—თვალი; 4—რელსი; 5—რეზინის შუასაღებები; 6—უქანავი ფოლადისაგან დამზადებული ლითონის ფირფიტა

თან საკეტების კონტაქტის უზნებში წყლის ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ საკეტების სამოძრაო კილოებში, როგორც წესი, ითვალისწინებენ სხვადასხვა კონსტრუქციის გვერდით (ნახ. 13.26) და ფსკერულ (ნახ. 13,27) შემკიდროებებს.

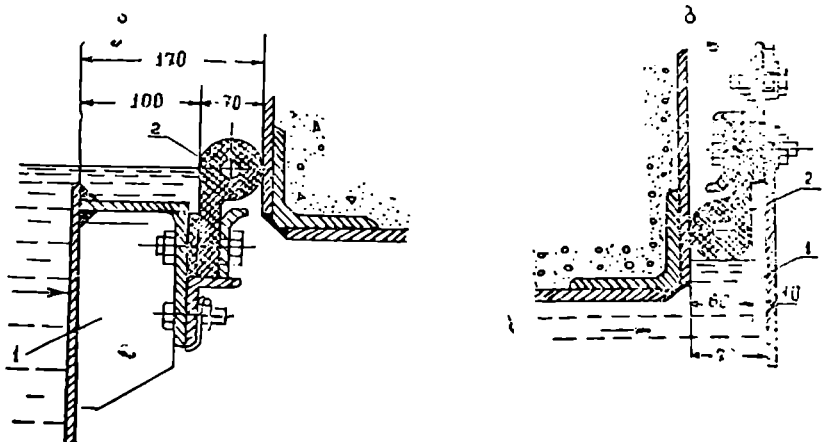
ფილტრაციის საწინააღმდეგო გვერდითი გამკვრივებებისათვის გამოყენებული კონსტრუქციები მუშაობს უშუალოდ წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის ზემოქმედებით. ასეთი გადაწყვეტის ერთ-ერთ სახეობას წარმოადგენს 13.26, ა ნახ.-ზე ნაჩვენები კონსტრუქცია, რომლის დროსაც ფილტრაციის საწინააღმდეგო შემკიდროება შესრულებულია საკეტის სადანეო მხარეს დამაგრებული ელასტიკური (ლუნვადი) ლითონის ფურცლისაგან (სისქით 3—5 მმ და სიგანით 20—30 სმ) და მის თავისუფალ ბოლოზე მიერთებული ხის ძელისაგან, რომელიც წყლის დაწნევით მკიდროდ ეკვრება საყრდენი ბურჯების კედლებს; საკეტის აწევის დროს ხის ძელი სრიალებს ბეტონში ჩაანკერებულ ლითონის ფურცელზე. იმავე მიზნით გამოიყენება აგრეთვე 13.26, ბ ნახ.-ზე ნაჩვენები კონსტრუქცია, სადაც ფილტრაციის საწინააღმდეგო გვერდით გამამკიდროებლად გამოყენებულია დაპროფილებული რეზინი. რაც შეეხება ფსკერულ შემკიდროებას, მას უმეტესად ახორციელებენ ხის ძელებისაგან, რომელთაც ვაკუუმის წარმოშობის თავიდან აცილების მიზნით ეძლევათ მდოვრე მოხაზულობა (ნახ. 13.27, ა); საკეტის ქვედა ბოლოში ასეთნაირად დამაგრებული ხის ძელი ეყრდნობა ფლიუტბეტში ჩამაგრებულ ლითონის კუთხოვანაზე ან შველერზე. ზმირად, როდესაც მოსალოდნელია ხის ძელის ცვეთა და დიდი სიდიდის ვაკუუმის წარმოქმნა, გამამკიდროებელ მასალად იყენებენ ლითონის ფირფიტებს (ნახ. 13,27, ბ); ან ლითონის



სწულებს (სახ. 13.27 გ), რომელიც ასევე ეყრდნობა საგებობის ზღურბლში ჩატანებულ რბილი ლითონისაგან, დამზადებულ ფირფიტას. იმავე მიზნით, ანუამად ხშირად იყენებენ ცვეთამდე და ყინვაგამძლე, ზოლოვან (სახ 13.27დ) ან



ნახ. 13.27 — ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფსკერული გამკვრივების კონსტრუქციული სქემები: 1—ხის ძელი; 2—ხის ძელის დამაგრება შევლურთან რეზინის საღებით; 3—ლითონის ფირფიტა; 4—ბაბიტი; 5—ლითონის ცვეთა ვამძლე სხმული; 6—ზოლოვანი ხაში რეზინა; 7—პროფილირებული რეზინა.



ნახ. 13.28 — სიღრმითი საკეტების ზედა ნაწიბურებთან ფილტრაციის საწინააღმდეგო გამკვრივების კონსტრუქციები: ა—წყალგამტარი ხვრეტის წინ ჩადგმული საკეტის შემთხვევაში; ბ—წყალგამტარი ხვრეტის უკან ჩადგმული საკეტის შემთხვევაში; 1—საკეტი; 2—პროფილირებული რეზინა.

გამძლე ზოლოვან (ნახ. 13.27) დ) ან პროფილურ (ნახ. 13.27. ე) რეზინს, რომელსაც საკეტის ქვედა ნაწიბურთან ამაგრებენ მოთუთიებული ქანჭიკებით და ამგვარად შესაძლებელი ხდება გაცვეთის შემთხვევაში ძველი რეზინა შეიცვალოს ახლით.

დაახლოებით ანალოგიური კონსტრუქციისაა აგრეთვე ფილტრაციის საწინააღმდეგო შემამპიდრობელი კვანძები სიღრმითი და შეწყვილებული საკეტებისათვისაც. ასე, მაგალითად, 13.28 ნახ-ზე ნაჩვენებია ს-ღრმითი საკეტის ზედა ნაწიბურთან გათვალისწინებულ შემამპიდრობელი კვანძ-ს კონსტრუქციული სქემები, როდესაც საკეტი განლაგებულია წყალაგვები ხერტის წინ (ნახ. 13.28, ა) ან მის უკან (ნახ. 13.28, ბ), ხოლო 13.29 ნახ-ზე კი მოცემულია ფილტრაციის საწინააღმდეგო შუალედური შემამპიდრობლის კონსტრუქციული გადაწყვეტის სქემა შეწყვილებული ბრტყელი საკეტებისათვის.

5. ბრტყელი საკეტების ასაწევად და დასაწევად (დასაშვებად) საჭირო ძალების განსაზღვრა. ბრტყელი საკეტის ამწევი ძალა იანგარიშება ფორმულით

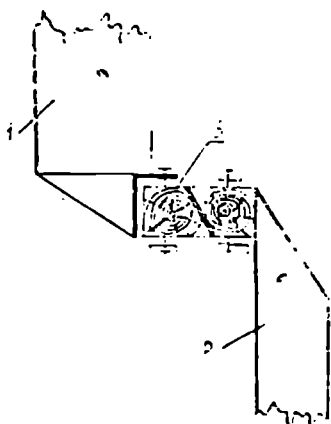
$$S_0 = K(G + T + T_y + W_1 - W_2 - W_3), \quad (13.16)$$

სადაც  $K$  არის მარაგის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე, საკეტის მუშაობის ექსპლუატაციური პირობების მხედველობაში მიღებით, აიღება 1.25—1.50 ფარგლებში;

$G$  — საკეტის მოძრავი ნაწილის წონა და გამოითვლება (13.1) ან (13.2) ფორმულით;

$T$  — საკეტის საყრდენებში წარმოქმნილი ხახუნის ძალების გაჯაალახავად საჭირო ძალა;

$T_y$  — ფილტრაციის საწინააღმდეგო შეწყვილებული საკეტის შუალედური გამკრივების კონსტრუქციული შემამპიდრობელ კვანძებში წარმოქმნილი ძალების მილიონ ხახუნის ძალების გადასალახავად საჭირო ძალა;



$W_1$  — საკეტის ზედა ნაწიბურზე მდგომი წყლის ფენის ვერტიკალური წნევის სიდიდე;

$W_2$  — საკეტის ქვედა ნაწიბურზე ქვევოდან ზემოთ მოქმედი წყლის ვერტიკალური წნევის სიდიდე;

$W_3$  — საპირწონის (თუ ის უკეთდება საკეტს) წონა.

ჩვეულებრივი თვლიანი საკეტებისათვის მათ საყრდენებში წარმოქმ-

ინილი ხახუნის ძალების გადასალახავად საჭირო  $T$  ძალას ანგარიშობენ ფორმულით

$$T = \frac{W}{R} (fr + f_1), \quad (13.17)$$

გორგოლაკებიანი თვლიანი საკეტებისათვის ფორმულით

$$T = \frac{W}{R} f_1 \left( \frac{R}{d} + 1 \right), \quad (13.18)$$

ხოლო, ფილტრაციის საწინააღმდეგო შემამჭიდროებელ კვანძებში წარმოქმნილი ხახუნის ძალების გადასალახავად საჭირო  $T_y$  ძალას კი—გამოსახულებით

$$T_y = aH^2f, \quad (13.19)$$

სადაც  $f$  არის ხახუნის კოეფიციენტი ვერტიკალურ საყრდენებთან საკეტის სრიალის კვეთებში, რომლის სიდიდე აიღება 13.2 ცხრილიდან;  $f_1$ —საკეტის თვლის გორვის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 0,05—0,1 ფარგლებში;  $a$  — გვერდითად შემამჭიდროებელი ლითონის ფირფიტის (ნახ. 13.26, ა) სიგანე, რომელიც აიღება 0,15—0,20 მეტრის ფარგლებში;  $R$ ,  $R_1$  და  $d$  სიდიდეები ნაჩვენებია 13.23 ნახ.-ზე.

წინასწარი მონაცემების დადგენის მიზნით ბრტყელი საკეტის ამწევი ძალის გამოსათვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ ა. ბერეზინსკის მიერ რეკომენდებული შედარებით მარტივი ფორმულებით, სახელდობრ:

ა) სრიალ საკეტებისათვის

$$S_a = K(G + 0,6W), \quad (13.20)$$

ბ) თვლიანი საკეტებისათვის

$$S_a = K(G + 0,03W). \quad (13.21)$$

სადაც  $W$  არის საკეტზე მოქმედი ჰორიზონტალური წნევების ჯამური სიდიდე.

დაბოლოს, ბრტყელი საკეტის დასაწევად—დასაშვებად—საჭირო ძალა ინგარიშება ფორმულით

$$S_F = K_1(T + T_y + W_2 + W_3 - G - W_1), \quad (13.22)$$

სადაც  $K_1$  არის მარაგის კოეფიციენტი საკეტის მთლიანად დაშვების საიმედოობაზე;  $K \geq 1.2—1.3$ .

### 13.5. სპეციფიკური საკეტავი

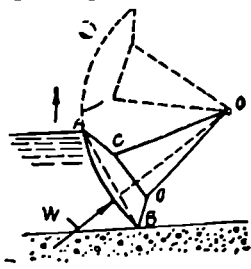
1. საერთო მონაცემები სეგმენტურ საკეტებზე. ყველა იმ მრუდწირული მოხაზულობის საკეტებისაგან განსხვავებით, რომლებიც კი საერთოდ გამოიყენება პილროტექნიკაში, ერთ-ერთი უმარტივე-



სი და, შეიძლება ითქვას, ეკონომურია სეგმენტური საკეტები.

სეგმენტური საკეტი წარმოადგენს მრუდწირულ კონსტრუქციას, სადაც რიგელებისაგან და დგარებისაგან კონსტრუირებული კარკასი ლითონის ფურცლოვან ან, ზოგჯერ, ხის ფიცროვან შემონაკერთან ერთად ქმნის ცილინდრული ზედაპირის მქონე მონაკვეთს სეგმენტის სახით, რომელიც ორი განაპირა საყრდენით—ეგრეთ წოდებული ფეხებით—ბრუნავს პორიზონტალური ღერძის ირგვლივ (ნახ. 13.30).

ჩვეულებრივ, სეგმენტური საკეტის ბრუნვის ცენტრს ამთხვევენ საკეტის წყალდამპყერი კედლის შემონაკერის სიმრუდის ცენტრს და ამიტომ წყლის წნევის ტოლქვედა გადის საკეტის ბრუნვის ღერძზე; აღნიშნულის განსო, სეგმენტური საკეტის აწევის დროს საჭარო ხდება გადაილაბოს საკეტის საკუთარი წონის მხოლოდ ნაწილი და საკისრებში წარმოქმნილი უმნიშვნელო სიდიდის ხახუნის ძალა. სწორედ ამ თვისების გამო, სეგმენტური საკეტები საკმაოდ ეკონომურია ბრტყელ საკეებთან შედარებით, რომელთა ერთ-ერთ არსებით იაკლად ითვლება საკმაოდ დიდი აქწევი ძალებია გათვალისწინება თითქმის ერთხანევარჯერ-ორჯერ მეტი, ვიდრე თვით ბრტყელი საკეტის წონაა.

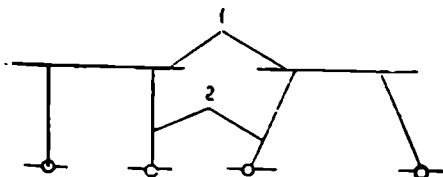


ნახ. 13.30 სეგმენტური საკეტის სქემა

სეგმენტური საკეტები გამოიყენება წყალგამტარ ხვრეტებში მალის სიგრძით 35—40 მეტრამდე და სიმაღლით 8—10 მეტრამდე; ასეთი ტიპის საკეტები შეიძლება დაიდგას ნებისმიერი პროფილის მქონე წყალგადასამკვებზე (ზღურბლის სპეციალურად გაგანიერების გარეშე).

ჰიდროტექნიკურ პრაქტიკაში უმეტესად გავრცელებულია ერთმაგი ორრიგულიანი კონსტრუქციის სეგმენტური საკეტები—ე. წ. პორტალური

ტიპის; თუმცა, ზოგჯერ, როდესაც საკეტის მალის სიგრძე არ აღემატება 10 მეტრს და მასზე მოქმედი დატვირთვები 100 ტონას, გამოიყენება აგრეთვე ორკონსოლიანი პორტალი (ნახ.13.31).



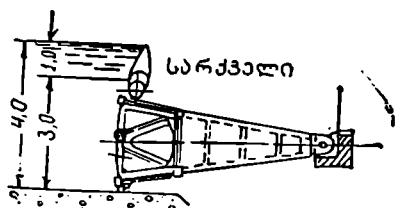
ნახ. 13.31 ორკონსოლიანი სეგმენტური საკეტის სქემები. 1-სადაწნეო ფარია შემონაკეოი; 2-საყრდენი დგარები (ფეხები).

უკანასკნელ წლებში მრავლად დაიხეოგა აგრეთვე სარქველიანი (ნახ. 13.32)

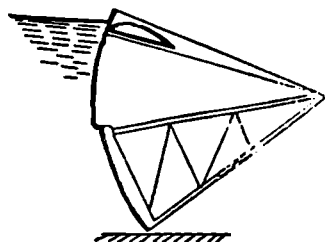
და სარქველიან-შეწყვილებული (ნახ. 13.33) სეგმენტური საკეტები, რომლებიც საშუალებას იძლევა ზუსტად მოხდეს ზედა ბიეჟის 21. ბ. ჩიკაშვილი

ღონის რეგულირება და, აგრეთვე, საკეტის ზემოდან ყინულის, თოშის და სხვა მცურავი სხეულების სწრაფად და შეუფერხებლად გადაგდება.

წ.



ნახ. 13.32 — სარქვიანი სეგმენტური საკეტი.



ნახ. 13.33. სარქვიანი შეწყვილებული სეგმენტური საკეტის სქემა.

2. სეგმენტური საკეტის მოძრავი ნაწილის საკუთარი წონა (ტონობით) პირველი მიახლოებით შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ა. ბერეზინსკის

$$G = 0.15 F \sqrt{F} \quad (13.23)$$

ან პ. ეფიმოვიჩის

$$G = A h l^2 H_v^{0.8} \quad (13.24)$$

ფორმულებით, რომლებშიც:

- $E$  — არის წყალგამტარი ხერცის ფართობი, მ<sup>2</sup>-ობით;
- $A$  — ემპირიული კოეფიციენტი; მცირე ზომის საკეტებისათვის  $A = 0.09$ , ხოლო დიდი ზომის საკეტებისათვის კი —  $0.052$ ;
- $h$  — საკეტის სიმაღლე, მეტრობით;
- $H_v$  — საკეტის ცენტრის მიმართ გამოთვლილი წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა, მეტრობით;
- $l$  — წყალგამტარი ხერცის მალის სიგრძე, მეტრობით;

სეგმენტური საკეტის უძრავი ნაწილის წონა საშუალოდ შეადგენს მოძრავი ნაწილის  $G$  წონის 15%-ს.

სარქვიანი სეგმენტური საკეტის წონა  $G_s = 1.25 G$ , სადაც  $G$  (13.23) ან (13.24) ფორმულებით გამოთვლილი ჩვეულებრივი სეგმენტური საკეტის მოძრავი ნაწილის წონაა (ტონობით).

3. სეგმენტური საკეტის ასაწევი საჭირო სა-

ანგარიშო ძალების სიდიდე გამოითვლება ფორმულით (ნახ. 13.34)

$$T = K(T_1 + T_2 + T_3 - T_4), \quad (13.25)$$

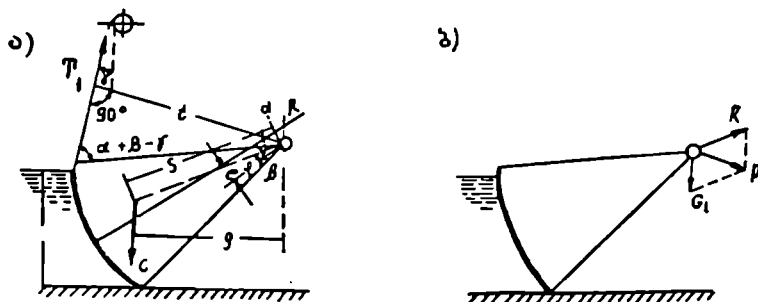
სადაც  $K$  არის მარაგის კოეფიციენტი;  $K = 1.25 \div 1.50$ ;  $T_1$  — საკეტის საკუთარი წონის დასაძლევად საჭირო აშწევი ძალის სიდიდეა და გამოითვლება გამოსახულებით

$$T_1 = \frac{G \cdot g}{t}; \quad (13.26)$$

$G$  — საკეტის მოძრავი ნაწილის წონა,

$g$  — საკეტის ბრუნვის ცენტრის მიმართ გაზომილი (ნახ. 13.34, ა)  $G$  ძალის მხარე;

$t$  — საკეტის ბრუნვის ცენტრის მიმართ გაზომილი (ნახ. 13.34, ა)  $S$  ძალის მხარე;  $t = r \sin(\alpha + \beta - \gamma)$ ;



ნახ. 13.34 — სეგმენტური საკეტის აშწევი საანგარიშო ძალის გამოსათვლელი სქემები.

როგორც 13.34, ა ნახ.-დან ჩანს,  $T_1$  ყოველთვის ნაკლები იქნება  $G$ -ზე, რადგან  $g < t$ -ზე;

$T_2$  — საკეტის საყრდენი სახსრების ღერძებში წარმოქმნილი ხახუნის ძალების გადასალახავად საჭირო ძალა;  $T_2$  ძალა საერთოდ მეტად მცირეა და ამიტომ ღებულობენ  $T_2 \approx 0$ ;

$T_3$  — საკეტის გვერდით შეშვიდროებებში წარმოქმნილი ხახუნის ძალების დასაძლევად საჭირო ძალაა და გამოითვლება ფორმულით

$$T_3 = \frac{P_{\text{ავ}} f \left( r + \frac{b}{2} \right)}{t}, \quad (13.27)$$

სადაც  $P_{\text{ავ}}$  არის წყლის დაწნევა საკეტის ორივე გვერდით შემჭიდროებებში;

$r$  — შემონაკერის ცილინდრული ზედაპირის რადიუსი;

$b$  — საკეტის შემამჭიდროებელი მოწყობილობის სიგანე.

სეგმენტური საკეტის აწევის დაწყებისას  $T_3$  თავის მაქსიმუმს აღწევს, ხოლო შემდგომ თანდათან მცირდება და წყლიდან საკეტის მთლიანად ამოღების შემთხვევაში  $= 0$ ;

$T_4$  — წყლის განმტვირთავად მოქმედი ძალა, როდესაც საკეტზე წყლის სრული დაწნევის  $R$  ტოლქმედი (ნახ. 13.34, ბ) გაღის ბრუნვის ღერძზე მალა

$$T_4 = \frac{R \cdot e}{t}, \quad (13.28)$$

სადაც  $e$  არის ექსცენტრისიტეტი და აიღება 0,1—0,15 მეტრის ფარგლებში.

საბოლოოდ სეგმენტური საკეტის ასაწევად საჭირო ძალების გამოთვლილი (13.25) ფორმულა გადაიწერება შემდეგნაირად

$$T = K \frac{Gg + P_{\text{ავ}} f \left( r + \frac{b}{2} \right) + R \cdot e}{t}. \quad (13.29)$$

უფრო მარტივად, წინასწარი ანგარიშებისათვის  $T$  სიდიდე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ა. ბერეზინსკის ფორმულით

$$T = K(0,7G + 0,04W_1), \quad (13.30)$$

სადაც  $W_1$  საკეტზე მოქმედი წყლის სრული წნევის პორიზონტალური მდგენელი (ნახ. 13.35).

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma H^2 L; \quad (13.31)$$

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;  $H$  — საკეტის სიმაღლე, მეტრობით;  $L$  — საკეტის მალის სიგრძე, მეტრობით.

კაშხალის ზღურბლზე საკეტის მდგრადობას განსაზღვრავენ მდგრადობის  $K_{\text{აღ}}$  კოეფიციენტი, რომელიც უდრის ბრუნვის 0 ღერძის მიმართ (ნახ. 13.35) გამოთვლილი ძალების  $M_1$  და  $M_2$  მომენტების ფარდობას:

$$K_{\text{გე}} = \frac{M_1}{M_2} \geq 1,25. \quad (13.32)$$

$M_1$  მომენტი, რომელიც განაპირობებს კაშხალის ზღურბლზე საკეტის ბოლომდე დაშვებას, გამოითვლება გამოსახულებით (საპირწონეს გარეშე)

$$M_1 = W_1 L_1 + G R_g \cos \alpha, \quad (13.33)$$

სადაც  $L_1$  არის ბრუნვის 0 წერტილის მიმართ გამოთვლილი  $W_1$  ძალის მხარი;

$G$  — საკეტის წონა;

$R_g$  — საკეტის სიმძიმის ცენტრის რადიუსი ბრუნვის 0 ღერძიდან (ნახ. 13.35);

$M_2$  — მომენტი, რომელიც განაპირობებს საკეტის აწევას, გამოითვლება ფორმულით:

$$M_2 = W_2 L_2 + V \cdot u, \quad (13.34)$$

სადაც  $W_2$  არის საკეტზე მოქმედი წყლის სრული წნევის (ნახ. 13.36) ვერტიკალური მდგენელი;

$$W_2 = \frac{1}{2} \gamma R^2 \left[ \frac{\pi \alpha_0}{180^\circ} + 2 \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - 0,5 (\sin 2\alpha_1 + \sin 2\alpha_2) \right] L; \quad (13.35)$$

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;

$R$  — საკეტის შემონაკერის მოხაზვის რადიუსი, მეტრობით;

$\alpha_0$  — ცენტრალური კუთხე საკეტის ზედა და ქვედა სიბრტყეებს შორის (ნახ. 13.36);

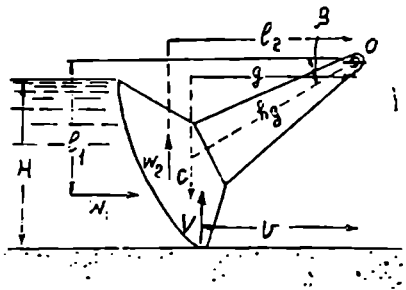
$\alpha_1$  და  $\alpha_2$  — კუთხეები, შესაბამისად, პორიზონტალურ სიბრტყესა (ნახ. 13.36) და საკეტის ზედა ( $\alpha_1$ ) და ქვედა ( $\alpha_2$ ) სიბრტყეებს შორის;

$L$  — საკეტის მალის სიგრძე, მეტრობით;

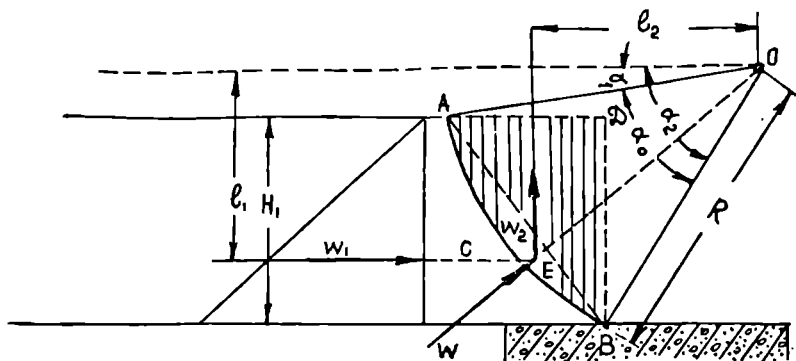
$L_2$  —  $W_2$  ძალის მხარი ბრუნვის 0 ცენტრის მიმართ;

$V$  — საკეტის ქვედა ნაწილზე მიმაგრებულ ხის ძელზე ქვემოდან ზემოთ მოქმედი წყლის წნევა

$$V = \gamma b L H; \quad (13.36)$$



ნახ. 13.35 — სეგმენტური საკეტის სანაგარიშო სქემა მდგრადობაზე.



ნახ. 13.36 — სეგმენტურ საკეტზე წყლის დაწნევის გამოსათვლელი სქემა.

*b* არის ხის ძელის სიგანე, მეტრობით;

*u*—*V* ძალის მხარი, საკეტის ბრუნვის ღერძის მიმართ, მეტრობით.

4. სეგმენტური საკეტების ამწე მექანიზმები — ზმეტვასად პროექტდება სტაციონარული ტიპის. მათი კონსტრუქცია და საანგარიშო ძირითადი მონაცემები, შეიძლება ითქვას, ბრტყელი საკეტების ამწე მექანიზმების ანალოგიურია. ერთმანეთს სეგმენტური საკეტის ამწე მექანიზმის  $G_0$  წონა (ტონობით) წინასწარი გაანგარიშებისათვის შეიძლება გამოთვლილ იქნას ა. ბერეზინსკის მიერ რეკომენდებული ემპირიული ფორმულით

$$G_0 = 0,1T(2,5 + \tau_j - 0,003T^2), \quad (13.37)$$

სადაც *T* არის ზემოთ, (13.25) ან (13.30) ფორმულით გამოთვლილი სეგმენტური საკეტის ასაწვევად საჭირო საანგარიშო ძალა, ტონობით;

— საკეტის აწევის სიჩქარე, მ/წმ-ობით;

მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ  $G_0 = 0,3T$ .

სარკველიანი და შეწყვილებული სეგმენტური საკეტებისათვის (13.37) ფორმულით მიღებული ამწე მექანიზმის წონა უნდა გაიზარდოს 15—20%-ით.

### § 13.6. ვალცური (ცილინდრული) საკეტები

ვალცური საკეტები, ძვირად ღირებულების, დამზადებისა და მონტაჟის სირთულის გამო, უმთავრესად გამოიყენება ისეთ კაშხალებში (პილროკვანძებში), სადაც გათვალისწინებულია დიდი რაოდენობის ნატანი მა-

სალისა და მცურავი სხეულების სისტემატურად გადაგდება ზედა ბიეფუნდან ქვედა ბიეფში და აგრეთვე, როდესაც ზამთარში ჰიდროკენანძის სამოსამსახურო პირობები მეტისმეტად გაძნელებულია.

ვალცური საკეტი წარმოადგენს ჰორიზონტალურ ღრუ ცილინდრს (ნახ. 13.37), რომლის ბოლოებში დამაგრებულია საგორავი წრიული

სარტყელები და კბილანი:ებერი არტასები.

აწევის ან დაშვების პროცესში ვალცური საკეტები გორაობზე ბურჯების კილოებში დახრილად (65—70 %) ჩაბაგრებულ კბილა:ებერ ღარტყებზე.

უკანასკნელ წლებში, ვალცური საკეტების ყველაზე მეტად გავრცელებულ კონსტრუქციად ითვლება ცილინდრი ქვედა, სტამბეტის ოსაზღვრობა, ვაიით (ნახ. 13.33), ან მრედწიოვლი მოსაზღვრობის წყალდააქერი კედლიან-რისა სარქელით (ა.ა. 13.39). ამ ნახაზზე საჩვენებ კონსტრუქციაში წყალდააქერი კედლიან-წინა სარქელი გამოყოფილია ცილინდრისაგან, რომელიც თავის მხრივ, ითვლება მთავარი მზიდ კოქად. ჩვეულებრივი ვალცური საკეტი შეიძლება გადაიკეთოს წყალგამტარი ხერტი სიგანით 50 მეტრამდე და სიმალით 8 მეტრამდე, ხოლო წინა სარქელის გათვალისწინებით (ნახ. 13.39) და მცირეწყალგამტარი ხერტის სიგანის შემთხვევაში 13 მეტრამდე სიმალით.

ვალცური საკეტის მოძრავი ნაწილის წონა (ტონობით) პირველ მიახლოებით შეიძლება გამოთვლილ იქნას სხვადასხვა ავტორების მიერ რეკომენდებული ემპირიული ფორმულებით, როგორც მაგალითად:

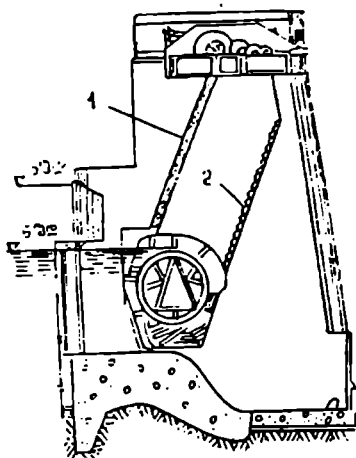
ა) ა. ბერეზინსკის ფორმულა

$$G = 0,5F + 0,02F \sqrt{F} \quad (13.38)$$

ბ) პ. ეფიმოვიჩის ფორმულა

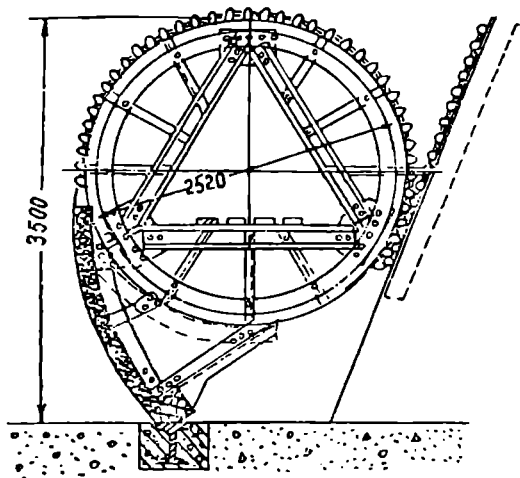
$$G = F \left( 0,86 - \frac{5,4}{l} \right), \quad (13.39)$$

სადაც  $F$  არის ვალცური საკეტით გადასახურავი წყალგამტარი ხერტის ფართობი, მ<sup>2</sup>-ობით.



ნახ. 13.37- ვალცური საკეტი. 1-საკეტის ასაწევი ქანქვი; 2-კბილანსებერი ღარტყა.

1 — წყალგამტარი ხერეთის მალის სიგანე, მეტრობით.  
 ვალცური საკეტის უმოდრაო ნაწილის წონა პირველი მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ 0,20 G ტოლად.

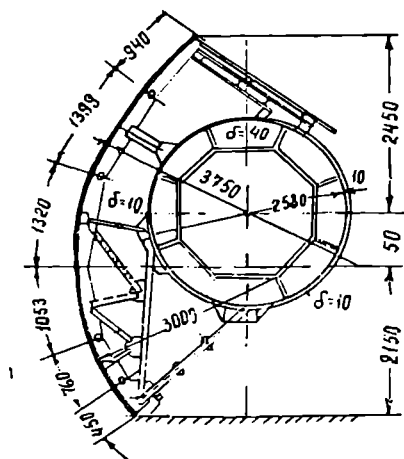


ნახ. 13.38 — ვალცური საკეტი სეგმენტის მოხაზულობის ქვედა ფართი.

სარკველიანი ვალცური საკეტის წონა (ტონობით)  
 $G_s = 1,25G$ .

ვალცური საკეტის ასაწევად საჭირო საანგარიშო ამწევი ძალა

$$S_a = 0,7G. \quad (3.40)$$



ვალცური საკეტის მანევრირება ხდება ერთმხრივი ამძრავის მეშვეობით; სტაციონარული ამწე მექანიზმი იღამება რა მუშაბურჯზე, შეუძლია მოემსახტროს ორი მოსაზღვრე მალის საკეტებს. ვალცური საკეტის აწევის სიჩქარე:  $v \approx 20 - 40$  სმ/წუთში.

ვალცური საკეტის ამწე მექანიზმის  $G_0$  წონას

ნახ. 13.39 — ვალცური საკეტი წინა სარკველით.



(ტონობით) ანგარიშობენ ა. ბერენისკის მიერ რეკომენდებული ემპირიული ფორმულით

$$G_0 = 0,1S^4,5 \div \tau - 0,005 S^2 \quad (13.41)$$

ან, საორიენტაციოდ  $G_0 \sim 0,4S_0$ .

### § 18.7. სახურავისაგური საკეტაბი

სახურავისებური საკეტების გამოყენება ძირითადად მიზანშეწონილია გაგანიერებული ზღურბლის მქონე წყალსაშვიან კაშხალებში, როდესაც მდინარე სწრაფი წყალმოვარდნებით ხასიათდება და ყინულისა და სხვა მცურავი სხეულების ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გატარება გათვალისწინებულია წყლის შედარებით მცირე დანაკარგებით და ამავე დროს მოთხოვნილია შემტორი ჰორიზონტის მაქსიმალური სიზუსტით რეგულირება და საკეტის ავტომატურად მოქმედება.

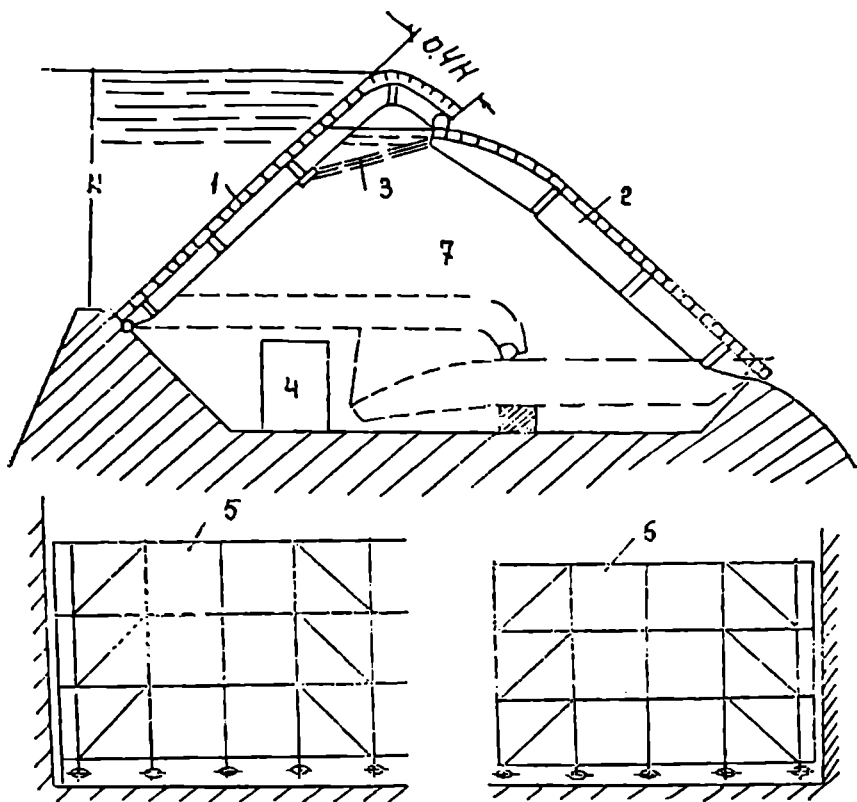
სახურავისებური საკეტებით შეიძლება გადაიკეტოს წყალგამტარაზერეტი სიგრძით 40—45 მეტრი და სიმაღლით 5—7 მეტრამდე.

სახურავისებური საკეტი (ნახ. 13.40) შედგება ზედა და ქვედა ფარებისაგან (სარქველებისაგან), რომლებიც სინქრონულად ბრუნავენ კაშხალის ზღურბლზე დამაგრებული ჰორიზონტალური ღერძების (სახსრების) ირგვლივ.

სახურავისებური საკეტების მანევრირება ხდება ჰიდრაულიურად, რისთვისაც საყრდენ კედლებში ან ბურჯებში ითვალისწინებენ წყალსატარების მოწყობას, რათა საჭიროების შემთხვევაში მოხდეს ზედა და ქვედა ფარებით (სარქველებით) შექმნილი საერცის—ე. წ. წნევის კამერის შევსება ზედა ან ქვედა ბიეფის წყლით.

ასე, მაგალითად, სახურავისებური საკეტის ასაწვეად წნევის კამერას მიმყვანი წყალსატარით უერთებენ ზედა ბიეფს: ამ შემთხვევაში საკეტის ქვედა ფარი ზედა ბიეფის წყლის წნევის გავლენით მაღლა სწევს საკეტის ზედა ფარს მის ზღვრულ მდგომარეობამდე. პირიქით, საკეტის დაშვებით სათვის აუცილებელია წნევის კამერის იზოლირება ზედა ბიეფიდან დამისი დაკავშირება გამყვანი წყალსატარით ქვედა ბიეფთან: ამ შემთხვევაში, წნევის კამერის თანდათანობით დაცლასთან ერთად, საკეტის ზედა ფარი—სარქველი—ზედა ბიეფის წყლის დაწნევის გავლენით დაბლა იწევს და ამავე დროს აიძულებს ქვედა ფარსაც მასთან ერთად დაეშვას ქვედა ზღვრულ მდგომარეობამდე—ფლიუტბეტამდე.

საკეტის მართვის აპარატის მეშვეობით, რომელიც ბურჯის ტანში თავსდება, ხდება წყლის დონეების ავტომატურად რეგულირება როგორც ზედა ბიეფში, ასევე წნევის კამერაში.



ნახ. 13. 40 — სახურავისებური საკეტის ზოგადი სქემა. 1—საკეტის ზედა ფარი; 2—საკე-  
 ტის ქვედა ფარი; 3—შემზღულდველი, 4—გვერდით კედლებში (ბურჯებში) გათვალისწინე-  
 ზელი წყალსატარი; 5—ზედა ფარის კარკასი; 6—ქვედა ფარის კარკასი; 7—წნევის  
 კამერა.

ზედა და ქვედა ფარების (სარქველების) კარკასი შედგება გრძივი  
 ჰორიზონტალური კოჭებისაგან, მათ შორის მოთავსებული რიგი დგარები-  
 საგან და დიაგონალურად განლაგებული სიხისტის წიბოებისაგან.

ფარების შემოსვას (შემოკერვას) უმეტესად ხის ფიცრებისაგან ან,  
 ზოგჯერ, ფურცლოვანი ფოლადისაგან აკეთებენ.

სახურავისებური საკეტის აწევის და დაწევის (დაშვების) პირობები  
 განისაზღვრება საკეტზე მოქმედი ძალების წონასწორობის განხილვის  
 საფუძველზე. სახელდობრ, განსახილველ შემთხვევაში გამომდინარეობენ

საკეტის წონასწორობის პირობიდან ნებისმიერ მდებარეობაში მისი ყოფნის დროს, რომელიც ზოგადად შეიძლება ჩაიწეროს ასეთნაირად.

$$M_b = M_j = 0, \quad (13.42)$$

სადაც  $M_b$  არის ზედა ფარზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი, გამოთვლილი ბრუნვის ღერძის მიმართ (ნახ. 13.40);  $M_j$  — ქვედა ფარზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი, გამოთვლილი ბრუნვის ღერძის მიმართ.

ლილი ბრუნვის ღერძის მიმართ.

ასეთი საკეტის ზედა და ქვედა ფარებზე მოქმედ ძირითად ძალებად ითვლება წყლის გარე და შიგა (წნევის კამერიდან) წნევები და აგრეთვე მათი საკუთარი წონა.

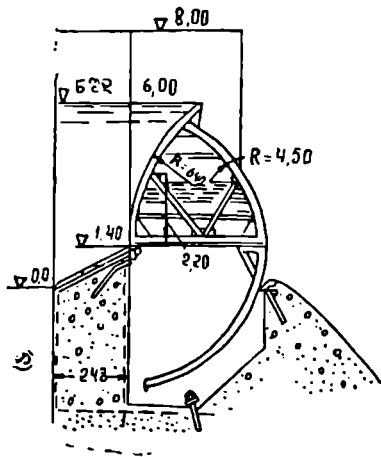
### § 13.8. სექტორული საკანაბი

სექტორული საკეტების გამოყენების ძირითად პირობას წარმოადგენს სპაროეტო მოთხოვნა—შემტბორი ჰორიზონტის და ხარჯების ზუსტი და ავტომატური რეგულირება, ყინულის, ხე-ტყის და სხვა მცურავი სხეულების გატარება.

სექტორული საკეტები ძირითადად სამი სახისაა: 1. დაძირული, ჰიდრაულიკური მოქმედების (ტივტივით ან მის გარეშე); 2. ტივტივა, ჰიდრაულიკური მოქმედების და 3. მექანიკურ-ჰიდრაულიკური მოქმედება.

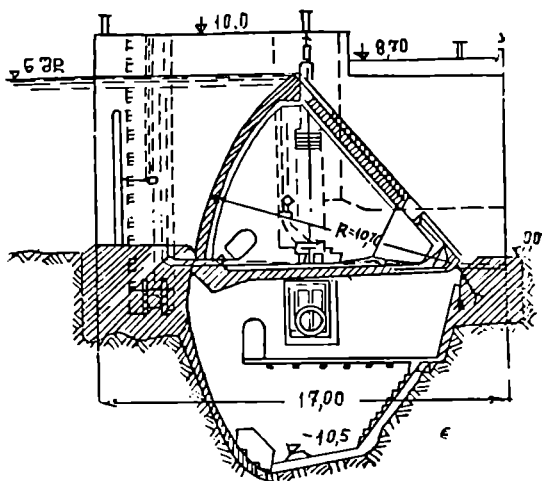
თავის მხრივ ჰიდრაულიკური მოქმედება ტივტივა საკეტებში გადასხვავება: ა) საკეტება ბრუნვის ზედა ღერძით (ნახ. 13.41) და ბ) საკეტება ბრუნვის ქვედა ღერძით (ნახ. 13.42).

ჰიდრაულიკური მოქმედების სექტორულ საკეტებს შეუძლია გადაკეტოს წყალგამტარი სვეტები ძალის სიგრძით 65 მეტრამდე და სიმაღლით 9—10 მეტრამდე, ხოლო მექანიკურ-ჰიდრაულიკურ საკეტებს კი—50 მეტრამდე სიგრძის და 8—9 მეტრამდე სიმაღლის წყალგამტარი ხერხები.



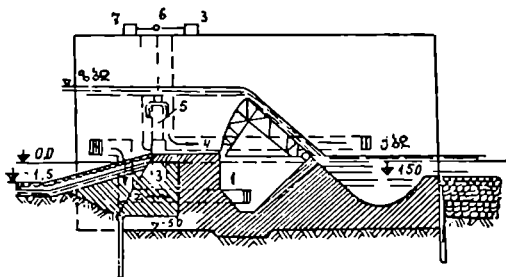
ნახ. 13.41 — ტივტივა. ლითონის სექტორული საკეტი ბრუნვის ზედა ღერძით.

პილრაელიკური მოქმედების დაძირულ საკეტებს (ნახ. 13.43) შემოსვას უკეთებენ საღაწნეო და ზედა მხრიდან, ხოლო



ნახ. 13.42 — ტივტივა, სექტორული რკინაბეტონის საკეტი ბრუნვის ქვედა ღერძით.

ბრუნვის ღერძს ათავსებენ ქვედა ბიეფის მხრიდან. კამერაში მათი ჩაშვება ხდება საკუთარი წონის გავლენით (ზედა ბიეფიდან წნევის კამერის გათი-



ნახ. 13.43 — დაძირული სექტორული საკეტი: 1— წნევის კამერა; 2— წყალსატარი კაშხალის ბურჯში; 3— შახტა კაშხალის ბურჯში; 4— ქვედა ბიეფთან შახტის დასაკავშირებელი წყალსატარი; 5— მართვის აპარატის სატელესკოპო მილი, რომელიც გაწონასწორებულია საპირწონით და დაკავშირებულია საკეტის ქიშთან და ამწე მექანიზმთან; 6— სატელესკოპო მილის ამწევი ბლოკი; 7— საკეტის ასაწევი (მარეგულირებელი) ძაბვა, რომლის მართვა სწარმოებს კამერის შესასვლელ ნაწილში მოთავსებული ტივტივათი; 8— უკუკავშირის დასამყარებელი ძაბვა.

შვით), ხოლო აწევაკი — ზედა ბიეფის წყლის ზემოქმედებით (წნევის კამერის დაკავშირებით ზედა ბიეფთან).

პილრაელიკური პრინციპით მოქმედი ტივტივა საკეტების შემოსვა (შემოკერვა) ხდება სამი მხრიდან, ხოლო მათი ბრუნვის ღერძს — სახსარს კი ათავსებენ ზედა ბიეფის (ნახ. 13.41) ან ქვედა ბიეფის (ნახ. 13.42) მხრიდან. აქ

განხილულ კონსტრუქციებში წნევის კაპერის წყლის წნევის ძალა მოდებულია საკეტის ქვედა რაღალური შემოსვის გარეთა ზედაპირზე.

**§ 13.9. სარწყავი სისტემების წყალგამანაწილებელი რაგების  
ჰიდროპრომატიკური საკეტები**

უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა სარწყავი სისტემების ავტომატიზებულ მართვას, რომლის ძირითად მიზანს შეადგენს სარწყავი მიწათმოქმედების ტექნიკურად სწორად წარმართვა, საექსპლოატაციო შტატის მინიმუმამდე დაყვანა, ცალკეული წყალგამანაწილებელი ნაგებობის წინ წყლის საანგარიშო დონის ავტომატურად უზრუნველყოფა და ასე შემდეგ.

იმისდა მიხედვით, თუ ენერჯის რა წყაროს ვიყენებთ, ამჟამად ჰიდროტექნიკაში განიხილავენ ავტომატიზაციის ორ სახეობას:

ა) ელექტრული, სადაც სარწყავი სისტემის ან მისი შემადგენელი ცალკეული ჰიდროკვანძის ავტომატიზებული მართვისათვის გამოყენებულია სპეციალური ელექტროამძრავები.

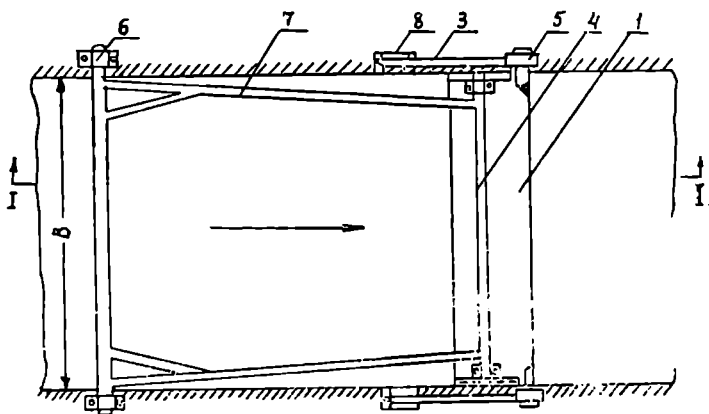
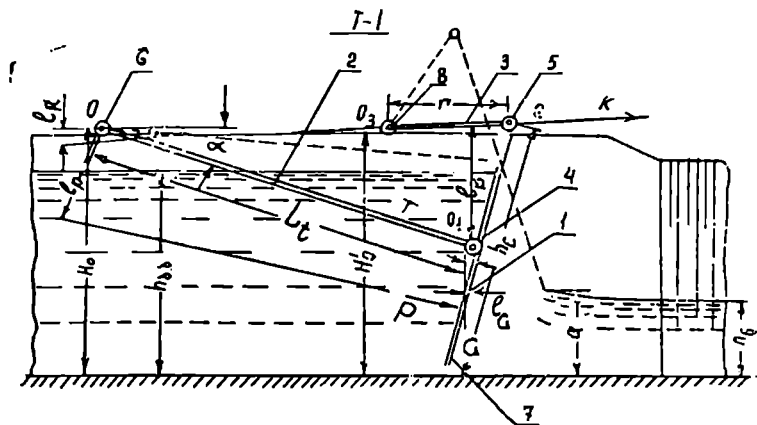
ბ) ჰიდრაულიკური, სადაც წყალგამანაწილებელი ნაგებობების—რაგების ავტომატურად მართვისათვის გამოყენებულია სპეციალური კონსტრუქციის საკეტები—ავტომატები.

ელექტრულ ავტომატიზაციას, რომელსაც ძირითადად ჰიდროენერგეტიკაში იყენებენ, შეუძლია უზრუნველყოს საკეტის მუშაობის ავტომატურად მართვა და კონტროლი გაუწიოს მის მოქმედებას გარკვეული მანძილიდან. ავტომატიზაციის ეს წესი ნაკლებად გამოსაყენებელია მელიორაციულ საქსელო ნაგებობებზე, რომლებიც ურთიერთისაგან დაცლებულია საქმოდ დიდი მანძილით და ამიტომ მათი საერთო ავტომატური მართვისათვის აუცილებელი ხდება მეტად რთული, შრომატევადი და ძვირადღირებული ელექტროგაყვანილობის მოწყობა.

სწორედ ესაა ძირითადი მიზეზი, რომ მელიორაციულ საქსელო ნაგებობებზე უმეტესად იყენებენ ჰიდრაულიკური პრინციპით მომუშავე სხვადასხვა კონსტრუქციის ავტომატურ საკეტებს. ქვემოთ განვიხილავთ მხოლოდ იმ ზოგიერთ საკეტ-ავტომატებს, რომლებსაც ფართო მასშტაბით იყენებენ შუა აზიის რესპუბლიკებში და, ვფიქრობთ, ისინი გამოდგება აგრეთვე ჩვენი რესპუბლიკის სარწყავ ობიექტებზე\*.

1. ზედაბიეფის დონის მარგულირებელი ბრტყელი სარქველური საკეტი—ავტომატის (ნახ. 13.44) კონს-

\* მელიორაციულ ქსელზე გამოყენებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სხვადასხვა კონსტრუქციები განხილული იქნება წინამდებარე სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილში.



ნახ. 13.44 — ბრტყელი სარქველური საკეტი—ავტომატის კონსტრუქციული სქემა: 1—სადასჯეო ფარი; 2—საკეტის მიმართული საწევეები; 3—ბერკეტები (კორექტორები); 4 და 5—სახსარები; 6 და 8—სააქრდენი საკისარები; 7—საკეტის სადაწნეო ფარის გვერდითი გამკაფიება.

ტრუქციაში, რომელიც დამუშავებულია პროფ. ი. ბოჩკარიოვის შიერ, საკეტის ფარს 1 ამზადებენ ლითონისაგან ან რკინა-ბეტონისაგან.

განსახილველი საკეტი-ავტომატის მოქმედების პრინციპი დამყარებულია იმ ძელების მომენტების გაწონასწორებაზე, რომელთაც, ერთის მხრივ, მოძრაობაში მოყავთ საკეტი ( $M_1$ ) და, მეორე მხრივ, ეწინააღმდეგება ( $M_2$ ) საკეტის მოძრაობას, ე. ი.  $M_1 = M_2$ .

ძალები, რომლებსაც მოძრაობაში მოყავს საკეტი-ავტომატი, შემდეგია:

- ა) წყლის ჰიდროდინამიკური წნევა  $P$  საკეტის სადაწნეო ფარზე;

ბ) საკეტის მოძრაობის დასრულების დრო (წონა)  $G$ ;

გ)  $P$  და  $G$  ძალების ზემოქმედებისაგან წარმოქმნილი რეაქციის ძალები საწვევებში;

დ) რეაქციის ძალები ბერკეტებში—კორექტორებში;

ე) ხახუნის ძალები საკისრებში (უმეტესად ამ ძალებს, უმნიშვნელო სიდიდის გამო, უგულებელყოფენ).

საკეტის ავტომატურად მოქმედებისათვის აუცილებელია აქ ჩამოთვლილი ძალების მოქმედებები წონასწორობაში იყოს ექსპლუატაციიდან გამომდინარე საკეტის ნებისმიერი მდებარეობის დროს; ასე, მაგალითად, საკეტის დგომის შეცვლასთან ერთად (გაღება ან დაკეტვა), ბუნებრივია, შეიცვლება საკეტის  $G$  წონისაგან გამოწვეული ძალების მოქმედების სიდიდე, რადგან ამ შემთხვევაში გაიზრდება ან შემცირდება მისი— $G$  ძალის მხარი; თუ ეს ასეა, წონასწორობის შესანარჩუნებლად აუცილებელია შეიცვალოს საკეტზე მოქმედი ჰიდროდინამიკური  $P$  წნევის მოძენტის სიდიდეც; ეს კი გამსახილველ კონსტრუქციაში მიღწეულია საკეტის სადაწნეო ფარის ერთდროულად ბრუნვით ორი  $O_1$  და  $O$  სახსრების ირგვლივ, სახელდობრ, ამ ღონისძიებით, ერთდროულად, ჰიდროდინამიკური  $P$  წნევის შეცვლასთან ერთად იცვლება მისი  $I_p$  მხარაც.

ბრტყელი სარქველური საკეტბ—ავტომატის პარამეტრების შერჩევა ხდება პროფ. ი. ბოჩკარიოვის მიერ ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული მონაცემების საფუძველზე, შემდეგი თანმიმდევრობით.

არხის სატრანზიტო მაქსიმალური  $Q_{ა.ა.}$  ხარჯის, მისი შესაბამისი ქვედა ბიეფის წყლის  $h_{კ.ა.}$  სიღრმის და საკეტი—ავტომატის მოქმედების სონაში არხის განივი და გრძივი პროფილების მონაცემების საფუძველზე დასადგენია:

ა) ზედა ბიეფის წყლის სიღრმე—საანგარიშო დაწნევა საკეტზე  $h_{ა.ა.}$  როდესაც არხის ძირის ქანობი

$$i = C \div 0,02; h_{ა.ა.} > 2h_{კ.ა.}, \text{ ხოლო, როდესაც } i > 0,02, h_{ა.ა.} > 3h_{კ.ა.};$$

ბ) საკეტის სიმაღლე (ნახ. 13.44)  $h_b = 1,36h_{ა.ა.}$ ;

გ) საკეტის სადაწნეო ფარის სიგანე

$$b = \frac{Q_{ა.ა.}}{m a \sqrt{2gh_{ა.ა.}}}, \quad (13.43)$$

სადაც  $a$  საკეტის გაღების სიმაღლეა  $\left(a = \frac{h_{ა.ა.}}{2}\right)$ ;  $m$ —ხარჯის კოეფიცი-

ენტი საკეტის ქვემოდან წყლის გამოდინების შემთხვევაში  
( $m=0,515$ );

დ) საკეტის საწვეის სიგრძე—მანძილი სახსრის  $O_1$  ცენტრიდან ბრუნვის  $O$  ცენტრამდე

$$L_6 = 1,5h_6 - f, \quad (13.44)$$

სადაც  $f=0,06h_6$  (ნახ. 13.44); შესაბამისად (13.44) ფორმულა გადაიწერება ასეთნაირად

$$L_6 = 1,44h_6; \quad (13.45)$$

ე) ბერკეტების—კორექტორების სიგრძე

$$r = 0,47h_6; \quad (13.46)$$

ვ) საკეტის საწვეების საყრდენი სახსრის 6 მდებარეობის სიმალლე წაგებობის ზღურბლის მიმართ (ნახ. 13.44)

$$H_6 = 0,97h_6; \quad (13.47)$$

ზ) ბერკეტების—კორექტორების საყრდენი სახსრის  $O_3$  მდებარეობის სიმალლე წაგებობის ზღურბლის მიმართ (ნახ. 13.44)

$$H'_6 = H_6 = 0,47h_6; \quad (13.48)$$

თ) საკეტის წონა

$$G = 0,37P, \quad (13.49)$$

სადაც  $P = \gamma h_{6.0} \cdot \omega$ ;  $h_{6.0} = \frac{h_{6.0}}{2}$ ;  $\omega = \frac{h_{6.0}}{\sin \varphi} b$  — საკეტის

სადაწნეო ფარის წყლით დასველებული ნაწილის ფართობი ( $\varphi \sim 10^\circ$ ).

2. ზ ე დ ა ბ ი ე ფ ი ს დ ო ნ ი ს მ ა რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ე ლ ი ს ე გ - მ ე ნ ტ უ რ ი მ ო ზ ა ზ უ ლ ო ბ ი ს ს ა რ ქ ე ე ლ უ რ ი ს ა კ ე ტ ი — ა ვ ტ ო მ ა ტ ი (ნახ. 13.45). ისე, როგორც ბრტყელი სარქველური საკეტი—ავტომატის კონსტრუქციაში, საკეტის ამ სქემაშიც სადაწნეო ფარს 1 ამზადებენ ლითონისაგან ან რკინა-ბეტონისაგან, რომლის სეგმენტურად მოზაზვის რადიუსი ინიშნება კონსტრუქციულად  $R=1,5h_6$ , სადაც  $h_6$  — საკეტის სიმალლეა.

საწვეებით (ფეხებით) საკეტი დაკავშირებულია არხის გვერდით კედლებთან. ამ შემთხვევაში თითოეული საწვეის—ფეხის სიგრძე

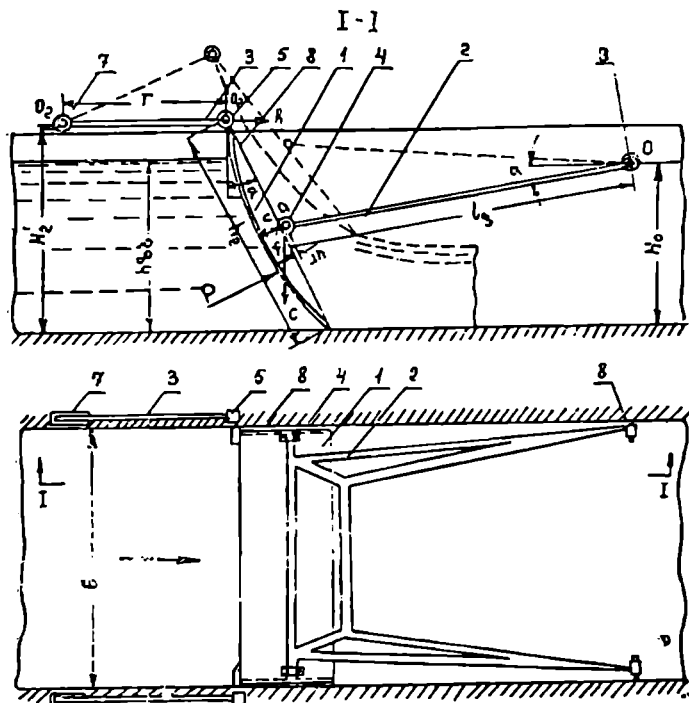
$$L_7 = R - f, \quad (13.50)$$



სადაც  $f$  არის მანძილი საკეტის საღაწნეო ფაჩიდან სახსრის ცენტრამდე;  $f \approx 0,131h_s$ .

მოქმედების პრინციპით განსახილველი სეგმენტური საკეტი-ავტომატი ზუსტად ანალოგიურია 13.44 ნახ.-ზე ნაჩვენები ბრტყელი საკეტი-ავტომატისა. მისი პარამეტრების შეჩვენება ხდება ისეთნაირადვე, როგორც ბრტყელი საკეტი-ავტომატის, სახელდობრ:

ა) ზედა ბიეფის წყლის სიღრმე-საანგარიშო დაწნევა საკეტზე აიღება იმავე ფარგლებში, როგორც ბრტყელი საკეტი — ავტომატისათვის



ნახ. 13.45 — სეგმენტური მოხაზულობის სარქველური საკეტი-ავტომატი: 1— საღაწნეო ფაჩი; 2—საყრდენი დგარები (ფეხები); 3—ბერკეტები-კოორექტორები; 4 და 5—სახსარები; 6 და 7—საყრდენი საკისარები; 8—ფილტრაციის საწინააღმდეგო შვერილები—გამკერივებები.

- ( $h_{3.ა} \gg 2h_{3.ა.}$ , როდესაც  $i = 0 \div 0,02$  და  $h_{3.ა} \gg 3h_{3.ა.}$ , როდესაც  $i > 0,02$ );  
 ბ) საკეტის სიმაღლე გამოითვლება (13.43) ფორმულით;  
 გ) საკეტის საყრდენი ფეხების (ნახ. 13.45) სიგრძე

$$L_{ფ} = 1,7h_{3.ა.}$$

(13.51)

დ) ბერკეტების—კორექტორების სიგრძე

$$r = 0,457 h_{\text{ს}}; \quad (13.52)$$

ე) საკეტის ფეხების საყრდენი სახსრის 6 მდებარეობის სიმაღლე ნაგებობის ზღურბლის მიმართ (ნახ. 13.45)

$$H_0 = 0,617 h_{\text{ს}}; \quad (13.53)$$

ვ) ბერკეტების—კორექტორების საყრდენი სახსრის  $O_3$  მდებარეობის სიმაღლე ნაგებობის ზღურბლის მიმართ (ნახ. 13.45)

$$H'_0 = 0,95 h_{\text{ს}}; \quad (13.54)$$

ზ) საკეტის წონა

$$G = 0,283 P. \quad (13.55)$$

წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე, ზემოთ განხილული საკეტე-ბი (ნახ. 13.44 და ნახ. 13.45) ისეთნაირად უნდა დაპროექტდეს, რომ საკე-ტის საერთო წონის ტოლქვედი გადიოდეს  $O$  წერტილში ან  $O$  წერტილიდან გადახრა არ აღემატებოდეს  $\mp \Delta h$ , სადაც  $\Delta h$  არის მანძილი საკეტის შე-მონაკერიდან სახსარის 4 ცენტრამდე ბრტყელი საკეტი—ავტომატისათვის, ან მანძილი საკეტის შემონაკერის რკალის ქორდიდან სახსარის 4 ცენტრა-მდე—სემგმენტური საკეტი—ავტომატისათვის.

### § 13.10. საპირობის ექსპლუატაცია

პირობების ექსპლუატაციის პროცესში გა-ნიცდიან წყლის, ნატანი მასალის, ყინულის, ქარის და ტემპერატურათა ცვალებადობისაგან გამოწვეულ არასასურველ ზემოქმედებებს. მაგალი-თად: ლითონის ნაწილები იჟანგება, იცვითება, თვლის საკისრები, სახსარე-ბი და სხვა მბრუნავი ნაწილები იქვდება და ქუჭყიანდება, აუგლი აქვს შე-ზეთვის გავლენის დაქვეითება და შესაბამისად, ხახუნის ძალების გაზრ-დას, რაც, თავის მხრივ, მოითხოვს საკეტის ამწევი მექანიზმების გაძლიე-რებას და ასე შემდეგ.

საკეტების მუშაობის პირობები განსაკუთრებით გართულებულია ზა-მთარში. როდესაც ადგილი აქვს საკეტის შემონაკერზე წყლის მიყინვას, საყრდენ-სავალი ნაწილების და გამკვრივებების (შემჭიდროებების) გაყინ-ვას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საკეტების ნორმალური ექსპლუატაცი-ისათვის აუცილებელია საკეტების პერიოდულად დათვალერება, შემჩნე-ული დეფექტების ლიკვიდაცია და გაცვეთილი ცალკეული დეტალის შეცვ-

ლა, პერიოდულად საკისრების შეზეთვა, ლითონის ნაწილების შეღებვა, გეგმური რემონტების დროულად ჩატარება. რაც შეეხება ზამთრის პერიოდში საკეტების და მათი საყრდენ-სავეალი ნაწილებისა და გამკვირვებების (შემჭიდრობების) გაყინვისაგან დაცვას, ამ მიზნით ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის პრაქტიკაში სხვადასხვა სახის კონსტრუქციულ და ტექნიკურ საშუალებებს მიმართავენ; ასე, მაგალითად, ზომიერი კლიმატის რაიონებში მშენებარე ჰიდროკვანძებში საკეტებს შემოფიცრავენ ქეჩის შუასადებიანი ფიცრების ორი რიგით, ხოლო მათ საყრდენ-სავეალ ნაწილებსა და გამკვირვებებში კი ამონტაჟებენ ელექტროსახურებელ ელემენტებს.

## მ ა თ ო თ ა მ ი ბ ა თ ა ვ ი

### ლია კალაპოტების რეპულირება

#### § 14.1. კალაპოტური ნაქადის რეპულირების სახეები და ამოცანები

1. კალაპოტური ნაქადების რეგულირების სახეები. მიწის ზედაპირზე ნალექების სახით მოსული წყალი, გროვდება რა დადაბლებულ ადგილებში, მიედინება ბუნებრივი ქანობის გაყოლებით პატარ-პატარა ქაველებად და ნაკადულებად, რომლებიც შემდგომ ერთდებიან და წარმოქმნიან კალაპოტურ ნაქადებს. თავის მხრივ, კალაპოტური ნაქადები ახდენენ რა ზეგავლენას მიწის ზედაპირის რეცხვად გრუნტებზე, წარმოქმნიან თავიანთ კალაპოტებს მდინარეების\* სახით.

კალაპოტური ნაქადისა და თვით კალაპოტის ურთიერთზემოქმედების არსი იმაში მდგომარეობს, რომ კალაპოტის ფორმის შეცვლა (ბუნებრივად ან ხელოვნურად) იწვევს ნაქადის ჰიდრაულიკური სტრუქტურის შეცვლას, ბუნებრივ პირობებში ეს ციკლი პერიოდულად მეორდება: თუმცა აქვე შეივნიშნავთ, რომ კალაპოტის ფორმის შეცვლა მარჯვე გავლენას ახდენს კალაპოტური ნაქადის სტრუქტურაზე, ხოლო ნაქადის გავლენა კი კალაპოტის ფორმირებაზე თანდათანობით ვლინდება და ეს პროცესი. იმისდა მიუხედავად, თუ რა სახის ურუნტებში გადის მდინარის კალაპოტი, შეიძლება გაგრძელდეს ბევრად თუ ნაკლებად ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. ამგვარად, ნაქადის გავლენას მდინარის კალაპოტზე უპირისპირდება მდინარის კალაპოტის ზეგავლენა ნაქადზე—ნაქადი იწვევს მდინარის კალა-

\* აუცილებელია განვასხვავოთ ურთიერთისაგან მდინარის და კალაპოტური ნაქადის ცნებები; პირველი მათგანი წარმოადგენს გეოგრაფიულ ცნებას, მეორე კი—ფიზიკურს.

პოტან დეფორმაციას, შეეცვლილი კალაპოტი კი, თავის მხრივ, გარდაქმნის. ნაკადის დინების ხასიათს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, განასხვავებენ რეგულირების ორ სახეს—წყლის ჩამონადენის რეგულირებას, რომელიც ისწავლება პიდროლოგიის, პიდრომეტრიის და ჩამონადენის რეგულირების კურსში, და მდინარეთა კალაპოტების რეგულირებას, რომელიც განხილულია წინამდებარე თავში.

2. მდინარეთა კალაპოტების რეგულირების ამოცანები. როგორც აღვნიშნეთ, წყლის ნაკადი მდინარეში ხშირად იცვლის თავის მიმართულებას, რეცხავს ნაპირებს, წყალდიდობის პერიოდში გადადის მდინარის დაღაბლებული ადგილებიდან და ტბორავს სანაპირო ზონაში განლაგებულ მიწის ნაკვეთებს, დიდ ზიანს აყენებს დასახლებულ პუნქტებს, გზებს და ა. შ. ყოველივე ეს, თავის მხრივ, ძალზე ართულებს აგრეთვე ბუნებრივად წარმოქმნილი კალაპოტური ნაკადების სასარგებლო მიზნით გამოყენების შესაძლებლობას, რისთვისაც ხდება კალაპოტური პროცესების ხელოვნურად შეცვლა სხვადასხვა სახის დამცველი და მარეგულირებელი ნაგებობების აშენების მეოხებით.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მდინარეთა კალაპოტების რეგულირების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს კალაპოტწარმოქმნილი პროცესების ისეთნაირი შეცვლა, რომლის დროსაც მიიღება სტაბილური ფორმისა და ზომების მქონე მდინარის კალაპოტი. ამ ამოცანის მეცნიერულად სწორად გადაწყვეტისათვის წინასწარ აუცილებელია დეტალურად იქნეს შესწავლილი განსახილველი მდინარის თხიერი და მყარი ჩამონადენი და აგრეთვე მდინარის ხასიათი და რეჟიმი, რომლებიც ზოგჯერ მკვეთრად განსხვავდებიან არა მარტო სხვადასხვა მდინარეში, არამედ ცალკეული მდინარის სხვადასხვა უბნებზეც კი.

ამ საკითხების მეცნიერულად გადაწყვეტას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მთის მდინარეებში, რომელთაც ახასიათებს წყლის ხარკეებისა და, შესაბამისად, სიჩქარეების მნიშვნელოვანი ცვალებადობა, მდინარეთა დიდი დაქანება, ფსკერული ნატანის სიუხვე და ა. შ.

სწორედ ამიტომ საქართველოში, ისე როგორც ამიერკავკასიის სხვა რესპუბლიკებში, დიდი ყურადღება ექცევა მდინარეთა რეგულირების საკითხებს. ყოველწლიურად იზრდება კაპიტალდაბანდება მდინარეთა კალაპოტების რეგულირების, სელურ ნაკადებთან ბრძოლისა და ნაპირსამაგრი ნაგებობების მშენებლობის ხაზით.

კალაპოტური პროცესების მეცნიერულად შესწავლაში დიდი ღვაწლი მიუძღვით მეცხრამეტე საუკუნის მეორე ნახევარსა და მეოცე საუკუნის დასაწყისში მოღვაწე რუს მეცნიერებს ვ. ლოხტინს, ნ. ლელიავსკის, ვ. კლეიბერს, ვ. ტიმონოვს, ნ. ჟუკოვსკის და სხვებს. ამ პერიოდის საზღვარგარეთელი მეცნიერებიდან, რომლებმაც კალაპოტური პროცესების შესწავლას

მიუძღვნეს თავიანთი შრომები, შეიძლება დავსახელოთ დიუბუა, ფარგი, უირარდონი და სხვები.

ვ. ლოხტიწმა და ნ. ლელიავსკიმ, რომლებიც მდინარეთა კალაპოტების მეცნიერულად შესწავლის ფუძემდებლებად ითვლებიან, ერთ-ერთმა პირველებმა ჩამოაყალიბეს თეორიული დამოკიდებულებანი ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთზეგავლენის პრინციპულ საკითხებზე და აგრეთვე წყალდიდობის როლის შესახებ მდინარეთა კალაპოტების ფორმირებაზე. |

განსაკუთრებით დიდი მეცნიერული, თეორიული და პრაქტიკული გამოკვლევები ჩატარდა მდინარეთა კალაპოტების რეგულირების დარგში რუსი მეცნიერების მიერ საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების შემდგომ წლებში. ამ მხრივ განსაკუთრებით აღსანიშნავია ნ. ბერნადსკის, ა. ლოსიევსკის, ვ. როსინსკის, ი. კუსმინის, ა. მილოვიჩის, მ. პოტაპოვის, ი. ლევის, ს. ალტუნინის, ი. ეგიაზაროვის, გ. შამოვის, გ. ლოპატინის, ნ. რეანიცი-ნის, ა. კარაუშევის, ვ. კნოროზის, გ. ელენჩიკოვის, კ. არტამონოვის და სხვათა შრომები. მდინარეთა კალაპოტების რეგულირების საკითხების მეცნიერულად შესწავლას მიუძღვნეს თავიანთი შრომები აგრეთვე ქართველმა მეცნიერებმა ნ. დანელიამ, ლ. გველესიანმა, თ. ვიონიჩ-სიანო-ჟენციმ, ც. მირცხულავამ, ი. ხერხეულიძემ, გ. რურუამ, ო. ნათიშვილმა, გ. ბერუჩაშვილმა, ლ. სულაქველიძემ, ზ. იორდანიშვილმა, ო. ხერხეული-ძემ, ვ. მაღლაკელიძემ და სხვებმა.

მათ მიერ შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების საფუძველზე შეიქმნა სრულიად ახალი მიმართულებანი კალაპოტური პროცესების რეგულირების დარგში, რომელთა შორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია განივი ცირკულაციის მეთოდი (ავტორი მ. პოტაპოვი); დამუშავებულია მდინარეთა დამცველი და მარეგულირებელი ნაგებობების მრავალი ახალი, ტექნიკურად სწორი და გამოყენების თვალსაზრისით საკმაოდ მარტივი და ეკონომიური კონსტრუქცია, ფართო მასშტაბის მეცნიერული შრომებია შესრულებული მდინარეთა, განსაკუთრებით მთის მდინარეთა, მყარი ჩაპო-ნადენის რეჟიმის შესწავლის დარგში; თვალსაზრისით მიღწევებია კალაპოტური პროცესების მოდელირების ხაზით და ასე შემდეგ.

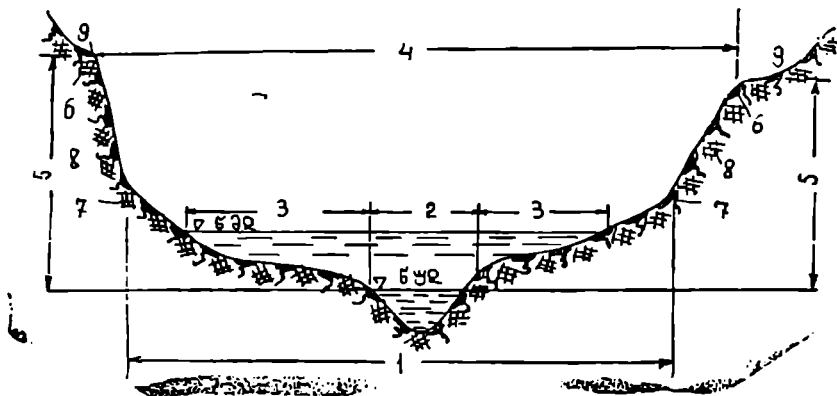
#### § 14.2. ხეობა, მდინარის კალაპოტი და მათი მახასიათებელი

##### ძირითადი ელემენტები

როგორც აღვნიშნეთ (§ 14.1), დედამიწის ზედაპირზე მოხვედრილი ატმოსფერული ნალექები, გროვდება რა დადაბლებულ ადგილებში. იქი-დან ბუნებრივი ქანობის გაყოლებით მიედინება ცალკეული ნაკადების სახით; ყველა ასეთი ნაკადის გზა გადის მიწის ზედაპირის ჩალჩავებულ ადგილებში, რომელთაც ხეობები ეწოდება, ხოლო ხეობის ყველაზე უდაბ-ლესი ნაწილი, რომელიც მდინარის წყლის ნაკადით არის დაკავებული, კა-

ლაპტის სახელწოდებით არის ცნობილი. ქვემოთ განვიხილავთ ორივე მათგანს ცალ-ცალკე.

1. ხეობის ძირითადი მახასიათებელი ელემენტებია (ნახ. 14.1) ხეობის ფსკერი, ძირითადი და ნოლა კალაპოტები, კალთები, განი, წარბი, ფერდობების ძირი, სიმაღლე და ტერასები.



ნახ. 14.1 — ხეობის სახასიათო განივი რილი (ტერასების გაკეში): 1—ხეობის ფსკერი; 2—მდინარის კალაპოტი; 3—ნოლა კალაპოტი; 4—ხეობის განი; 5—ხეობის სიღრმე; 6—ხეობის წარბი; 7—ფერდობის ძირი; 8—ხეობის ფერდობები; 9—მომიჯნავე ადგილმდებარეობა; წმლ-წყლის მაქსიმალური დონე; წიღ-წყლის უდაბლესი დონე.

ხეობის შედარებით ვაკე, დადაბლებულ ნაწილს, რომელსაც საერთო დახრილობა აქვს ზღვისაკენ, ხეობის ფსკერს უწოდებენ, ხოლო ხეობის ფსკერის უდაბლესი წერტილების შემაერთებელ ხაზს—ტალევეგი („ხეობის გზა“) ეწოდება.

ხეობის ძირის იმ ნაწილს, სადაც წყალმცირობის პერიოდში მდინარე მოედინება, მდინარის ძირითადი ანუ წყალმცირობის კალაპოტი ეწოდება, ხეობის იმ ნაწილს კი, რომელიც მდინარის წყლით მხოლოდ წყალდიდობის პერიოდში ან კოკისპირულ წვიმების დროს იფარება, მდინარის ნოლა კალაპოტს უწოდებენ. მთის იმ მდინარეებს, რომელთა კალაპოტები ვიწრო და ღრმა ნაპარაღებში გადის, ნოლა კალაპოტი, როგორც წესი, არ გააჩნია.

ხეობის ფსკერის ორივე ნაპირიდან აღმართულ შედარებით ციცაბო ნაპირებს, რომლებსაც საერთო დახრილობა აქვს მდინარისაკენ, ხეობის კალთებს უწოდებენ.

ხეობის წარბი არის ხეობის ფერდობებისა და მიწის ზედაპირის ურთიერთშეუღლების წერტილებში გამავალი ხაზი.

ხეობის ზედა სიგანე არის მანძილი ხევის ფერდობების წარბებს შორის, ხოლო ქვედა სიგანე კი—მანძილი ხევის ფერდობების ძირებს შორის.

ხეობის წარბის ნიშნულსა და წყლის უდაბლესი დონის ნიშნულს შორის სხვაობას ხეობის სიმაღლე ეწოდება.

ხეობის ფერდობებზე ჰორიზონტალურად ან ოდნავ დახრალად განლაგებულ ფართობებს ტერასები ეწოდება. პრაქტიკაში ტერასების სამ ტიპს (ნახ. 14 2) განასხვავებენ: აკუმულაციური, ეროზიული და შერეული.

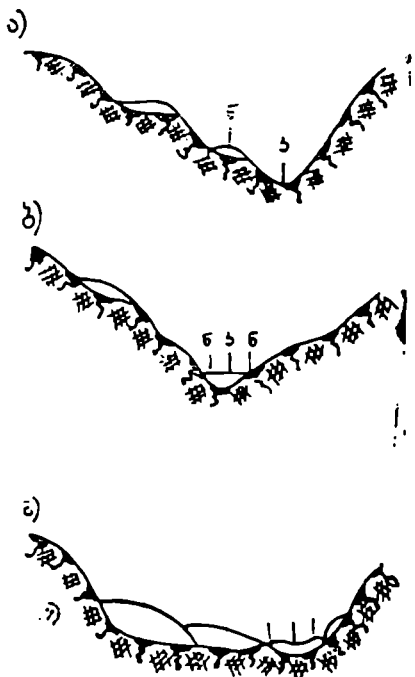
აკუმულაციური ტერასები ძირითადად წარმოიქმნება მდინარია შუა და ქვემო ნაწალში ნაკადის მიერ სათავედაა ჩამორეცხილი მყარი მასალის დაღეჭვა შედეგად. ამ ტიპის ტერასები იმ მხრივ არის საინტერესო, რომ პრაქტიკაში ნაპირ-ამაგრ ღონისძიებათა ჩატარება სწორედ აქეთ უბნებზეა საჭირო.

ეროზიული ტერასები წარმოიქმნება ხევის განლაგების ძირითად ქანებზე წყლის ნაკადის მიერ მათი წარეცხვის უშუალო შემოქმედებით.

შერეული ტერასები უშთაერესად მთიან რაიონებში გვხვდება.

საერთოდ. ხეობებისა და ტერასების წარმოქმნა იმ გეოლოგიურ პერიოდს ეკუთვნის, როდესაც წარმოიქმნება თვით მდინარეები, ხოლო ტერასები მდინარეთა ყოფილი კალაპოტების ნაწილებია.

მდინარეთა ხეობების წარმოქმნის ძირითადი მიზეზებია ტექნიკური პროცესები — ნაპრალები, მიწისძვრები, ნახსლეტები, რომელთა შედეგად ადგილი ჰქონდა მიწის ზედაპირის დეფორმაციას და გრძივ ჩაღრმავებებს; მყინვარების მექანიკური მოქმედება, რომლის შედეგად იფარებოდა მიწის ზედაპირის გარკვეული ნაწილი; მდინარეთა ხეობის წარმოქმნის მიზეზია აგრეთვე მიწის ზედაპირზე ჩამოდენი-



ნახ. 14.2 — ხეობის ტერასების ტიპები: ა — ეროზიული; ბ — ეროზიულ-აკუმულაციური (შერეული ტერასები); გ — აკუმულაციური; დ — ნოლა კალაპოტი; ე — ძირითადი კალაპოტი.

ლი წყლის ეროზიული მოქმედება. იმისდა მიხედვით, თუ რომელმა აქ ჩამოთვლილმა ფაქტორმა უფრო მეტი გავლენა იქონია ხეობების ფორმირებაზე, მათ უწოდებენ ტექტონიკური, ვულკანური, მყინვარული ანუ ეროზიული ტიპის ხეობებს. მდინარეთა ხეობების წარმოქმნისა და განვითარების პროცესს ამჟამადაც აქვს ადგილი, მაგრამ, როგორც ცნობილია, ის მიმდინარეობს მეტად ნელა.

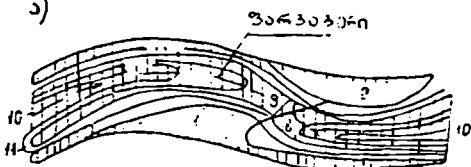
ტექტონიკური წარმოშობის ხეობები გვხვდება კავკასიაში, კერძოდ საქართველოში; ეროზიული წარმოშობისაა რუსეთის ვაკე ადგილებში გამავალ მდინარეთა ხეობების უმრავლესობა, მყინვარული წარმოშობისა კი — კოლკის ნახევარკუნძულზე გამავალ მდინარეთა ხეობები.

განვითარების პერიოდის მიხედვით ასხევებენ ძველი და ახალგაზრდა წარმოშობის ხეობებს. ძველი წარმოშობის ხეობებს გეგმაში აქვს მღოვრედ კლანჩილი სახე, რომელთა ფსკერი სიგრძეზე თანაბრად არის დაფარული მყარი ნატანით.

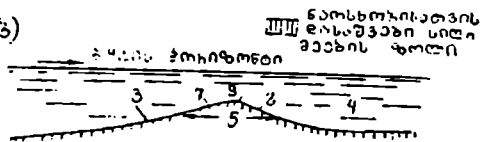
ახალგაზრდა ხეობები, რომლებიც ძირითადად გვხვდება მთიან რაიონებში, ხასიათდება ფსკერისა და ფერდობების შედარებით უმწიფელო გამოკუთხევებით, გეგმაში აქვს ტეხილი ხაზების ფორმა, მათი ფსკერი კი ხშირად საფეხურისებურია.

2. მდინარის კალაპოტის მორფომეტრიული დახასიათება. როგორც აღვნიშნეთ, მდინარის მოხვეულ უბნებში წყლის

ა)



ბ)



ნახ. 14. 3. — ჩქერის ზოგადი სქემა: ა—გეგმა; ბ—ფარვატერის გრძივი პროფილი; 1—ზედა ისარი; 2—ქვედა ისარი; 3—ზედა ნატბორი; 4—ქვედა ნატბორი; 5—უნაგირა; 6—ვარცილი; 7—ზვინულის წინა ფერდო; 8—ზვინულის უკანა ფერდო; 9—ზვინული; 10—ფარვატერი; 11—იზობადები.

ნაკადი ინტენსიურად მოქმედებს, რის გამოც წყლის სიღრმე კალაპოტის ამ უბნებში უფრო მეტია, ვიდრე მდინარის სწორ უბნებზე. მდინარის კალაპოტის მოხვეული უბნების ასეთი ღრმა ადგილები ნატბორების სახელწოდებით არის ცნობილი, ხოლო ორი მეზობელი ნატბორია 'შეშაერთებული მეტად თუ ნაკლებად სწორხაზოვანი უბანი (ნახ. 14.3) —

—ჩქერის სახელწოდებით. ხაზს, რომელიც მდინარის ძირის ყველაზე ღრმა წერტილებს აერთებს, ფარვატერს უწოდებენ. იმის გამო, რომ ნატბორები, როგორც წესი, წარმოიქმნება ჩაზნექილ ნაპირებთან, ფარვატერი მდინარის ხან ერთ



ნაპირთან გადაინაცვლებს, ხან მეორესთან; თუ კი ფარვატერი ერთი ნატბორიდან მეორეზე მდოვრად გადადის, ამ შემთხვევაში წარმოქმნილ ჩქერს-ნორმალურს უწოდებენ (ნახ. 14.4), ხოლო პირიქით შემთხვევაში კი-

როდესაც ფარვატერს დაკლავილი ხაზის სახე აქვს, ჩქერს გადაწეულს უწოდებენ; ლაონობის თვალსაზრისით პირველი კარგი ჩქერის სახელწოდებით არის ცნობილი, მეორე კი ცუდი ჩქერის სახელწოდებით, რადგან წყლის სიღრმეები ნორმალური ჩქერის დროს უფრო დიდია, ვიდრე გადაწეული ჩქერის შემთხვევაში

ჩქერებისა და ნატბორების განლაგება მდინარის კალაპოტში და აგრეთვე ჰათი ფარმა, ფართობი და სიმაღლე დროთა განმავლობაში იცვლება, იაინი გა-

იცდიან საგრძობ ღვევორმატიას წყლის ნაკადისა და მდინარის კალაპოტი განუწყვეტლივ ურ-

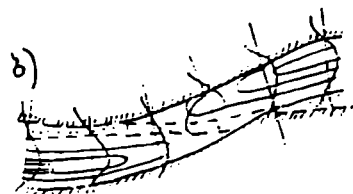
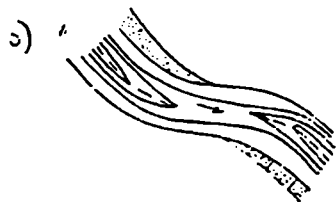
თიერთშემოქმედების გამო. ჩქერებისა და ნატბორების ისეთი ცვალებადობა, რომელიც პერიოდულად მეორდება, დამოკიდებულია მდინარის წყლიანობის წლურ რეჟიმზე, რაც გულისხმობს მდინარეში წყალდიდობების გაზრდისა და შემცირების პირობებს და აგრეთვე ზაფხულისა და ზამთრის პერიოდის წყლის მინიმალური ხარჯების ცვალებადობას. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ფრანგმა ინჟინერმა ფარგმა ჩაუმოაყალიბა ერთგვარი კანონზომიერება მდინარის სიღრმეების ურთიერთგანაწილებასა და გეგმაში მდინარის კალაპოტის მოხაზულობას შორის, სახელდობრ, ეს კანონზომიერებანი შემდეგაა:

ა) ნატბორის ყველაზე ღრმა და ჩქერის ყველაზე თხელი ნაწილები გადაწეულია კალაპოტის უდიდესი და უმცირესი სიმრუდის წერტილების მიმართ ქვევით, მდინარის ღრუბისაკენ დაახლოებით სიგრძის მეოთხედით;

ბ) რამდენადაც მეტია ჩაზნექილი ნაპირის სიმრუდე, იმდენად დიდია ნატბორის სიღრმე.

გ) სიმრუდის თანდათან შეცვლას შეესაბამება სიღრმის თანდათან შეცვლა; ერთი მკვეთრი ცვლილება იწვევს მეორის ასეთსავე ცვლილებას..

დ) მრუდის სიგრძის გადიდებასთან ერთად (მოცემული სიმრუდის პირობებში) სიღრმე ჯერ მატულობს, ხოლო შემდეგ მცირდება. მდინარის თითოეული მონაკვეთისათვის არსებობს მრუდის სიგრძის ერთგვარი საშ-



ნახ. 14.4 — ნორმალური (ა) და გადაწეული (ბ) ჩქერების სქემები.

ულო სიდიდე, რომლის დროსაც სიღრმეები ყველაზე დიდ მნიშვნელობებს აღწევს.

კლოვან გრუნტებში გამავალი მდინარეებისათვის ზემოთ ჩამოთვლილი დებულებანი არ მართლდება, აღნიშნულის ძირითადი მიზეზი ის არის, რომ კლოვან გრუნტებში გამავალი მდინარის კალაპოტები გამოირეცხვას თითქმის არ განიცდიან.

3. მდინარის კალაპოტის გრძივი პროფილი — ჩვეულებრივ იდენტურია ხეობის გრძივი პროფილის და უმეტეს შემთხვევაში აქვს ტალღისებური ფორმა, რაც გამოწვეულია მდინარის კალაპოტის სიგრძეზე ნატბორებისა და ჩქერების რიგრიგობით განმეორებისა.

მეცნიერების მიერ უკანასკნელ წლებში ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე მდინარის სიგრძეზე გამოყოფენ ხუთ დამახასიათებელ უბანს: მაღალმთიან, მთიან, მთისწინა, საშუალო-სწორი დინების, ქვემო-გამოტანის კონუსის უბნებს.

მაღალმთიან და მთიან უბნებში ხდება მდინარის კალაპოტის გარეცხვა, რის გამოც დიდქანობიანი უბნები, ზემოთ, დინებების საწინააღმდეგო მიმართულებით, სულ უფრო და უფრო წარმოიქმნება და ამიტომ ამ უბნებს წარეცხვის ან ეროზიის განვითარების ზონას უწოდებენ.

მთისწინა უბნებში, იმის მიხედვით, თუ როგორი წყლიანობით ხასიათდება მდინარე, გარეცხვისა და დაღეჭვის მოვლენები განიცდიან პერიოდულ ცვლებადობას წლის განმავლობაში, რაც, თავის მხრივ, ხელს უწყობს ნაკადის ხეტიალს მდინარის კალაპოტის ხან ერთ, ხან მეორე ნაპირთან. მდინარის ამ უბნებში ძირითადად დაცულია წონასწორობის პროფილი და ამიტომ მათ ტრანზიტის ანუ გადატანის ზონას უწოდებენ.

სწორი და ქვემო დინების უბნებში ქანობი, სიჩქარე და ნაკადის მიერ მყარი ნატანის წატაცებისუნარიანობა მცირდება, რის გამოც ამ უბნებში ხდება ნატანი მასალის დაღეჭვა და მდინარის მეანდრირება (დაკლანგილობა) ხეობის კალაპოტში. მდინარის ამ უბნებს აკუშულაციის ან უდალამვის ზონას უწოდებენ.

4. მდინარეთა კლასიფიკაცია კალაპოტის მდგრადობის ხარისხის მიხედვით. მდინარეთა კალაპოტების მდგრადობის დასადგენად ვ. ლოტინი იძლევა ასეთი სახის გამოსახულებას

$$A = \frac{d_{სა7}}{h}, \quad (141)$$

სადაც  $A$  არის კალაპოტის მდგრადობის კოეფიციენტი;  $d_{სა7}$  — ფსკერული ნატანის ცალკეული ნაწილაკის საშუალო დიამეტრი, მმ-ობით;  $h$  — მდინარის ვარდნა 1 კმ მანძილზე, მ-ობით. ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ მდინარის კალაპოტის მდგრადობა პირდაპირპროპორციულია ფსკერ-

ლი ნატანის ნაწილაკების ხაზობრივი ზომისა (მმ-ობით) და უკუპროპორციულია მდინარის ვარდნისა 1 კმ მანძილზე. იმ შემთხვევაში, როცა მდგრადობის კოეფიციენტი  $A \gg 15-20$ , მდინარეში ფსკერული ნატანის გადაადგილება პრაქტიკულად გამორიცხულია, ხოლო როდესაც მდგრადობის კოეფიციენტი  $A < 5$ -ზე, მაშინ მდინარეში მუდამ ხდება ფსკერული ნატანის გადაადგილება წყლის ნაკადთან ერთად; ამ შემთხვევაში მყარი ნატანის სიმსხო ნაკადის დინების მიმართულებით თანდათანობით კლებულობს, რადგან ის განიცდის ცვეთას და ამიტომ თანდათანობით სულ უფრო და უფრო გლუვი ხდება; ნაწილაკის წონა მცირდება მისი პირველადი წონისა და მის მიერ წყლის დინების მიმართულებით დავალი მანძილის პროპორციულად, რომელიც შტენბერგმა ჩაწერა ასეთი სახის ემპირიული გამოსახულებით

$$P = P_0 e^{-\alpha L}, \quad (14.2)$$

სადაც  $P$  არის მდინარის განსახილველ კვეთში აღებული მყარი ნაწილაკის წონა, კგ-ობით;  $e$  — ნატურალური ლოგარითმის ფუნქცია;  $L$  — ნაწილაკის მიერ გავლილი მანძილი, კმ-ობით;  $\alpha$  — ნაწილაკის გახეხის კოეფიციენტი, კგ-ობით 1 კმ მანძილზე;  $P_0$  — განსახილველი უბნის დასაწყის კვეთში აღებული იმავე ნაწილაკის წონა, კგ-ობით.

კოეფიციენტი  $\alpha$  -სა და ნაწილაკის მიერ გავლილი  $L$  მანძილის საშუალო მნიშვნელობები, რომლის დროსაც ორჯერ მცირდება ნაწილაკის წონა, სხვადასხვა გრუნტებისათვის მოცემულია 14.1 ცხრილში.

ცხრილი 14.1

№ რიგზე	ქანების დასახელება	გახეხის კოეფიციენტი $\alpha$ 1 კმ სიგანეზე	მანძილი $L$ რომელზედაც ნაწილაკის წონა მცირდება ორჯერ, კმ-ობით.
1.	მერგელი	0,017	30
2.	კირკეზი	0,010	50
3.	დოლომიტი	0,0035	140
4.	კვარცი	0,003	160

ვ. ლოხტინისაგან განსხვავებით, კალაპოტის მდგრადობას მ. ველიკანოვი ახასიათებს ასეთი სახის უგანზომილებო პარამეტრით:

$$A = \frac{g d_{\text{სა}}}{k^2}, \quad (14.3)$$

რომელიც უფრო სრულყოფილად ასახავს მდგრადობის  $A$  კოეფიციენტის არსს. ამ გამოსახულებაში  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარებაა  $m/\bar{v}m^2$ -ობით, ხოლო  $V$  — წყლის დინების სიჩქარე  $m/\bar{v}m$ -ობით.

გარდა აღნიშნული კლასიფიკაციისა, უკანასკნელ პეროდში უფრო საყურადღებოდ თვლიან ჰიდროტექნიკურ კლასიფიკაციას ზღინარეთა ისეთი ცალკეული დამახასიათებელი უბნების მიხედვით, რომლებიც სრულყოფილად ასახევენ ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთზემოქმედებას ნაგებობის წორპალური მუშაობის თვალსაზრისით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მდინარეთა მდგრადი კალაპოტებისათვის ს. ალტუნინი იძლევა ასეთ გამოსახულებას

$$B^m = Kh_{\text{სა}}, \quad (14.4)$$

სადაც  $B$  არის მდინარის სიგანე, გაზომილი წყლის ზედაპირზე, მეტრობით;  $h_{\text{სა}}$  — განსახილველ უბანზე გაზომილი წყლის საშუალო სიღრმე, მეტრობით;  $m$  — ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც დამოკიდებულია მდინარის განსახილველი უბნის მახასიათებელზე და აიღება 14.2 ცხრილიდან;  $K$  — კოეფიციენტი, რომელიც მდგრადი კალაპოტებისათვის იცვლება 8—12-ის ფარგლებში (საშუალოდ 10). განსახილველ შემთხვევაში ს. ალტუნინი განასხვავებს მდინარეთა განივი პროფილების ორ ტიპს:

**პირველი ტიპი** — წარეცხვადი ფსკერით და არაწარეცხვად გვერდებით, რომლებიც შეეფარდება დარეგულირებულ კალაპოტს გამაგრებული ნაპირებით;

**მეორე ტიპი** — წარეცხვადი ფსკერით და ნაპირებით, რაც შეეფარდება კალაპოტის ბუნებრივ და დაურეგულირებელ მდგომარეობას მდინარის მდგრად და სწორხაზოვან უბნებზე.

14.2 ცხრილში მოცემულია მდინარეთა ჰიდროტექნიკური კლასიფიკაცია, შედგენილი ს. ალტუნინის მიერ და ნაწილობრივ შევსებული პროფესორ ნ. დანელიას მიერ.

#### § 14.2. ნატანის მოძრაობა მდინარეებსა და არხებში

1. მყარი ნატანის სახეები და მათი ძირითადი მახასიათებლები. დედამიწის ზედაპირის და მასთან ერთად მდინარეთა კალაპოტების ფსკერი და ნაპირები წყლის ნაკადების და სხვა მრავალი ცვლადი ფაქტორის ზემოქმედების შედეგად განიცდის დაშლას და ეს ნაშალი მასალა მყარი ნატანის სახით ჩადის ზღვებსა (ტბებსა) და ოკეანეებში. პრაქტიკაში ასეთნაირად წარმოქმნილი ნატანი მასალა პირობითად დაყოფილია სამ ძირითად სახეობად: ტივტივა, ფსკერისპირა და ფსკერული ნატანი.

უბნები	მდინარეთა ცალკეული უბნების დანასიათება	m, როდესაც k=10		ფრედის რიცები $F_r = \frac{zv}{gh}$	მდგრადობის კოეფიციენტი A ლობტინის მიხედვით
		განივი პროფილის ტიპი			
		1	2		
1	მალაშთიანი უბანი; კლდოვანი კალაპოტი; ზემძაფრი ნაკადები.	1,2	1,0	1,0	>15
2	შითსწინა უბანი; კლდოვანი კალაპოტი; სიჩქარეები და ქანობები კრიტიკულზე მეტი	1,0	0,8	1,0-0,5	≥7
3	შითსწინა უბანი; კალაპოტი წარმოდგენილია კენკოვანი, ხრეწოვანი გრუნტებისაგან; ნაკადის წყნარი ღინება	0,9	0,75	0,5-0,2	≥6
4	საშუალო და სწორი უბანი. კალაპოტი წარმოდგენილია მსხვილი, საშუალო და წვრილი ქვიშისაგან; ნაკადის წყნარი ღინება	0,75	0,7	0,2-0,04	≥5
5	ქვედა ღინება; კალაპოტი წარმოდგენილია წვრილი ქვიშისაგან	0,75	0,7	0,2-0,03	≥2
	ა) მდ. ვოლგა, ღუნაი, სირდარია				
	ბ) მდ. ამუდარია				
	გ) მდ. მტკვარი				
დ) მდ. ჭიონი	0,75	0,6	0,25-0,10	>1,5	

ნატანის აქ ჩამოთვლილ სახეობათა ჯგუფს (საკითხის სრულყოფილად გაშუქების მიზნით) შეიძლება დამატებოდა აგრეთვე მეოთხეც, კერძოდ, წყალში ქიმიურად გახსნილ ნივთიერებათა ნაწილაკები, მაგრამ, ჯადგან მათი რაოდენობა ნაკადში მეტისმეტად მცირეა და ისინი დინამიკურ პროცესებზე არავითარ გავლენას არ ახდენს, ამიტომ ნატანის ამ სახეობას მხედველობაში არ ღებულობენ.

ნატანის იმ ნაწილს, რომლის გადაადგილება ხდება მის გარემომცველ წყლის მასასთან ერთად, ტივტივივა ნატანს უწოდებენ; ნატანის იმ ნაწილს, რომლის გადაადგილება ხდება მდინარის ფსკერის გაყოლებით, ფსკერულ ნატანს უწოდებენ, ნატანის შუალედ კატეგორიას კი—ფსკერისპირა ნატანს. მდინარე მტკვარსა და მდინარე არაგვზე ჩატა-

რებული გამოკვლევების შედეგად ლ. გველესიანი მიუთითებს, რომ ფსკერისპირა ნატანი ღამოუყიდებლად უნდა აღირიცხოს ფსკერული ნატანის თანაბრად და საბოლოოდ ის უნდა შეჯამდეს ფსკერულ ნატანთან ერთად.

საერთოდ მდინარეთა მყარი ნატანის დაყოფა ზემოაღნიშნულ კატეგორიებზედ გაპირობებულია ორი მნიშვნელოვანი გარემოებით. უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღინიშნოს კალაპოტშემქმნელი და ტივტივა ნატანის კვლევის მეთოდებისა და ამ მიზნით გამოყენებული საზომი ხელსაწყოების სხვადასხვაობა, რომლის მიზეზითაც მათი რაოდენობრივი განსაზღვრა ხდება ცალ-ცალკე, ერთმანეთისაგან დამოუყიდებლად. მეორე მხრივ, მაშინ, როცა ტივტივა ნატანს და წყლის ჩამონადენის ელემენტებს შორის რაიმე კანონზომიერების აღსებობა გამოირიცხებულია, კალაპოტშემქმნელი ნატანის რაოდენობა ფუნქციურ დამოკიდებულებაშია წყლის ნაკადის ძირითად მახასიათებლებთან. ფსკერული და ფსკერისპირა ნატანის ერთ ჯგუფში გაერთიანება გამართლებულია აგრეთვე იმიტაც, რომ ფსკერზე და ფსკერის მახლობლად მათ გადაადგილებას ერთი საერთო ხასიათი აქვს. სახელდობრ, დადგენილია, რომ აღნიშნულ გადაადგილებას მდინარის ფსკერზე აქვს ნახტომისებური ხასიათი, რომლის დროსაც ნატანი მასალა მუდმივად კი არ ეხება ფსკერს, არამედ დროდადრო მოწყდება მას (ნაკადის სიჩქარის გაზრდასთან ერთად იზრდება ნატანის მასალის ფსკერიდან ატაცების სიძლიერე და ნახტომებს შორის მანძილი). ტივტივა ნატანი წყლის ნაკადთან ერთად ტრანზიტულად ჩაედინება წყალსატევებში, ხოლო ფსკერული ნატანი კომარცელის სიმსხოს შესაბამისად თანდათანობით დაილაშქრება მდინარის კალაპოტის გასწვრივ და ახდენს ამ უკანასკნელის ფორმირებას.

მდინარეთა მყარი ნატანის შემადგენელი ნაწილაკების სიმსხოთა დასახასიათებლად გ. შამოვი ნატანის ასეთ დაყოფას იძლევა:

ა) ტივტივა ნატანისათვის (ცხრ. 14.3)

ცხრილი 14.3

ნატანის შედგენილობა	ზრცხ	ქ ს შ			მტვერი		ს	მ	ე	ა
		ააააააა	ააააააა	ააააააა	ააააააა	ააააააა				
ნაწილაკის დიამეტრი, მმ-ობით	> 0.1	1.0-0.5	0.5-0.2	0.2-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	500.0	100.0	100.0-500.0	100.0 >

მდინარეთა მყარი ნატანის შემადგენელი ნაწილაკების სიმსხოთა დასახაითებას ახდენენ ე. წ. ჰიდრავლიკური სიმსხოს მიხედვით, რომელშიც იგულისხმება უძრავი წყლის გარემოში ნაწილაკის თანაბარი სიჩქარით ჩამ-

ბ) ფსკერული ნატანისა და დანალექისათვის (ცხრილი 14.4):

ცხრილი 14.4

ნატანის შე- დგენილობა	კენი და მსკელი ხე- ში	ხ რ ე შ ი		ქ ე შ ა			მტვერი და ლაში	
		საშუ- აღმს	წერი- ლი	მსხვი- ლი	საშუ- აღმს	წერი- ლი	მსხვილი	წერილი
ნაწილაკის დიამეტრი, მკ-ით	5	5,0—2,0	2,0—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	<0,05

ირვა; ჰიდრავლიკური სიმსხო *შ* იზომება სმ/წმ-ობით ან მმ/წმ-ობით. ნატანის განსახილველი ნაწილაკის ზომის გაზრდასთან ერთად იზრდება მისი ჰიდრავლიკური სიმსხო. საერთოდ, ჰიდრავლიკური სიმსხო დამოკიდებულია ნატანი მასალის ნაწილაკის ხვედრით წონაზე, მოცულობასა და ფორმაზე, სითხის (წყლის) სიბლანტეზე, წყლის სიმძვრავეზე და თვით ნაკადის ტურბულენტობის ხარისხზე.

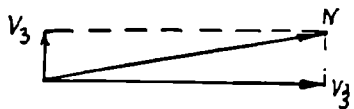
პრაქტიკაში ნატანის ჰიდრავლიკური სიმსხოს *შ* განსაზღვრას ახდენენ პროფ. ვ. გონჩაროვის მონაცემებით (ცხრ. 14.5). ცლებით დამტკიცებულია, რომ როდესაც მარცვლის სიმსხო 1,5 მმ-ზე მეტია, ტემპერატურა გავლენა ჰიდრავლიკური სიმსხოს სიდიდეზე შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნას.

ცხრილი 14.5

ნატანის ნაწილაკის სიმსხო, მკ-ობით	შ მმ/წმ-ობით ტემპერატურა			ნატანის ნაწილაკის სიმსხო, მკ-ობით	შ მმ/წმ-ობით	ნატანის ნაწილაკის სიმსხო, მკ-ობით	დ მმ/წმ-ობით
	10°C	20°C	30°C				
0,001	0,00369	0,000	0,0011	1,60	164,4	20,0	602
0,05	1,717	2,270	2,312	2,0	110,0	22,5	637
0,10	5,12	6,63	8,37	2,5	212,5	25,0	672
0,15	11,50	14,50	18,84	3,0	232,5	27,5	706
0,20	17,11	20,42	23,72	5,0	370,0	30,0	736
0,40	31,51	42,52	46,12	8,0	580,0	40,0	870
0,80	84,31	87,62	90,2	10,0	425,0		
1,00	106,72	110,02	113,31	12,5	477,0		
1,20	129,11	132,42	134,72	15,0	520,0		
1,50	162,71	166,02	169,32	17,5	562,0		

2. ტივტივა ნატანი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ყოველ მდინარეში ადგილი აქვს წყლის ნაკადის ტურბულენტურ მოძრაობას, რომლის

დროსაც ნატანის ცალკეული ზომის ნაწილაკი ატივინარებულ მდგომარეობაში მოძრაობს. დადგენილია ისიც, რომ ატივინარებულ მდგომარეობაში მყოფ მყარ ნაწილაკზე მოქმედებს წყლის ჰაერის სიჩქარე  $V$ , რომელიც მიმართულია რაღაც გარკვეული კუთხით პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ, და ნაწილაკის წონა  $P$  მიმართული ზემოდან ქვემოთ. ამ ორი ძალის გავლენით ნატანის ცალკეულმა ნაწილაკმა უნდა იმოძრაოს რომელიღაც გარკვეული ტოლქმედის  $N$  გასწვრივ. დაშვალთ ეს ტოლქმედი (ნახ. 14.5) ვერტიკალურ  $V_3$  და პორიზონტალურ  $V_1$  ძალებად.  $V_3$ -ის ძალაა, რომელიც ატივინარებულ მდგომარეობაში ამყოფებს მყარ ნაწილაკებს; მისი სიდიდე დაახლოებით პორიზონტალური  $V_1$  ძალის სიდიდის 5—10 %-ია და ამ ფარგლებში ის თავის მაქსიმუმს აღწევს ფსკერთან, მიწიქვეშ კი (ნულს) წყლის ზედაპირთან. აღნიშნულიდან



ნახ. 14.5 — სიჩქარის ვერტიკალური და პორიზონტალური მდგენელები. აღწევს ფსკერთან, მიწიქვეშ კი (ნულს) წყლის ზედაპირთან.

გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტივტივა ნატანის ნაწილაკები ვერტიკალურ სიბრტყეში თანმიმდევრულად უნდა განლაგდეს თავიანთი სიმსხოს შესაბამისად; ფსკერთან ყველაზე მსხვილი ნაწილაკები, ხოლო წყლის ზედაპირთან ახლოს (რაღაც სიმაღლეზე) კი — ყველაზე წვრილი ნაწილაკები.

კალაბოტურ ნაკადებში ნატანის ძირითადი მასა გადაიტანება ატივინარებულ მდგომარეობაში და ის შეადგენს ნატანი მასალის საერთო რაოდენობის 85—95%-ს ბარის მდინარეებში და 70—80%-ს მთის მდინარეებში.

ტივტივა ნატანით წყლის ნაკადის გაჯერების ხარისხს ახასიათებენ წყლის სიმღვრივით და განსაზღვრავენ ნატანის იმ რაოდენობით, რომელსაც შეიცავს ერთეული მოცულობის წყალი. სახელდობრ, წყლის ნაკადის საშუალო სიმღვრივე  $\rho_0$  გ/მ<sup>3</sup>-ობით, შეიძლება განვსაზღვროთ გ. ლობატინის ფორმულით, სადაც ნაკადის საერთო სიმღვრივე დაკავშირებულია მის ჰიდრაულიკურ ელემენტებთან

$$\rho_0 = \frac{4\sqrt{h} I}{n^2 \omega} = \frac{4V\sqrt{T}}{n\omega h^{0.17}}, \quad (14.5)$$

სადაც  $h$  არის ნაკადის საშუალო სიღრმე, მეტრობით;  $V$  — წყლის დინების საშუალო სიჩქარე, მ/წმ-ობით;  $I$  — ნაკადის გრძივი ქანობი;  $n$  — კალაბოტის ხორკლიანობის კოეფიციენტი;  $\omega$  — ტივტივა ნატანის ჰიდრაულიკური სიმსხოს საშუალო შეწონილი სიდიდე (მ/წმ-ობით), რომელიც გა-



მოითვლება გამოსახულებით

$$\omega = \frac{\sum w_i P_i}{10}, \quad (14.6)$$

სადაც  $P_i$  არის ტიპივან ნატანში შემავალი ცალკეული ფრაქციის (წონით აღებული) პროცენტული რაოდენობა,  $w_i$  — ნატანში შემავალი ცალკეული ფრაქციის ნაწილაკების საშუალო ჰიდრავლიკური სიმსხო, რომელიც გამოითვლება გამოსახულებით

$$w_i = \frac{w_1 + w_2 + \sqrt{w_1 + w_2}}{3}, \quad (14.7)$$

სადაც  $w_1$  და  $w_2$  არის ნატანის ცალკეული ფრაქციის ნაწილაკების ჰიდრავლიკური სიმსხოს ზღვრული მნიშვნელობები.

ტიპივან ნატანის განხილვის დროს, გარდა საშუალო სიმღვრივისა, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის ან, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, იმ მაქსიმალური (ზღვრული) სიმღვრივის განსაზღვრას, რომელიც ნაკადს შეიძლება ჰქონდეს მოცემულ ჰიდრავლიკურ პირობებში.

ლიტერატურაში ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის გამოთვლის მრავალი ემპირიული ფორმულა არსებობს (ე. ზამარინის, ვ. გონჩაროვის, ა. გოსტუნსკის, ს. აბალიანცის, ა. ხაჩატურიანის, ვ. შაუმიანის, ვ. პოსლავსკის, პ. მიხევეის (და სხვა), რომელთაგან შედარებით პატარა მდინარეებში მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს:

ა) ე. ზამარინის ფორმულა (როდესაც  $0,0004 \leq \omega \leq 0,002$  მ/წმ)

$$\rho_0 = 11\omega \sqrt{\frac{RIV}{\omega}} \quad (14.8)$$

ბ) ა. გოსტუნსკის ფორმულა (როდესაც  $0,0004 \leq \omega \leq 0,002$  მ/წმ)

$$\rho_0 = 3300 \frac{R^{0.5} I^{1.5}}{\omega} \quad (14.9)$$

გ) ს. აბალიანცის ფორმულა (როდესაც  $\omega \leq 0,003V$ )

$$\rho_0 = 0,018 \frac{V^3}{R\omega} \quad (14.10)$$

(14.8) — (14.10) ფორმულებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$\rho_0$  — ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობა, კვ/მ<sup>3</sup>-ობით;

23. ბ. ჩიკვაშვილი

$V$  — წყლის დინების საშუალო სიჩქარე, მ/წმ-ობით;

$R$  — ჰიდრავლიკური რადიუსი, მ-ობით;

$I$  — წყლის თავისუფალი ზედაპირის ქანობი;

$\bar{w}$  — ნატანის საშუალო შეწონილი ჰიდრავლიკური სიმსხო, მმ/წმ-ობით, რომელიც გამოითვლება (14.6) ფორმულით;

$h$  — ნაკადის საშუალო სიღრმე, მ-ობით;

დიდ, განსაკუთრებით მთის მდინარეებში, რომელთა ნატანი მასალა შეიცავს სხვადასხვა სიმსხოს მქონე ნაწილაკებს, ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის განსაზღვრა უფრო მიზანშეწონილია მოხდეს ა. ხაჩატურიანის ფორმულით

$$\rho_0 = 203U \left( \ln \frac{U}{w_1} - \frac{U-w_1}{U} \right), \quad (14.11)$$

სადაც  $U$  არის ნატანი მასალის შემცველი ნაწილაკის მაქსიმალურად ამომავტივებიელი სიჩქარე, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$U = 0,065 \frac{\sqrt{Vn}(V-0,05)}{\sqrt{R}}; \quad (14.12)$$

$n$  — ხორკლიანობის კოეფიციენტი;

$w_1$  — ნატანის მოცემული ფრაქციული შედგენილობის უმცირესი ჰიდრავლიკური სიმსხოს სიდიდე, რომელიც გამოითვლება გაჰოსახულეუბიდან

$$\left(1 - \rho_1\right) \left( \ln w_1 - \frac{w_1}{w_{n+1}} \right) = \ln w_2 - \frac{w_2}{w_{n+1}} - \rho_1 \left( \ln w_{n+1} - I \right), \quad (14.13)$$

სადაც  $w_2$  არის ნატანის მოცემული შედგენილობის წვრილი ფრაქციის უდიდესი ჰიდრავლიკური სიმსხო, მ/წმ-ობით;

$w_{n+1}$  — ნატანის მოცემული შედგენილობის შემცველი ნაწილაკების მაქსიმალური ჰიდრავლიკური სიმსხო (მ/წმ-ობით), რომელიც განისაზღვრება ასეთი პირობიდან

$$w_{n+1} = u;$$

$\rho_1$  — წვრილი ნაწილაკების შემცველი ნატანის ჰვედრითი (ერთის მიმართ გამოთვლილი) რაოდენობა.

ამგვარად, თუ გვეცოდინება ნაკადის ფაქტიური სიმღვრივე  $\rho$  და ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობა  $\rho_0$ , შეგვიძლია დავადგინოთ კალაპოტური

პროცესების სახე, სახელდობრ, თუ  $p > p_0$  ადგილი ექნება ნატანი მასალის დაღეჭვას, ხოლო როდესაც  $p < p_0$  და, ამავე დროს, მდინარის კალაპოტი შედგება ისეთი ნაწილაკებისაგან, რომლებიც შეიძლება ნაკადის მიერ ატივტივდნენ, კალაპოტი განიცდის გარეცხვას.

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ წყლის სიმღვრივე ცვალებადობს ნაკადის ცოცხალ კვეთში, მის სიგრძეზე დროის მიხედვით.

მდინარის კალაპოტის ცოცხალ კვეთში ნატანის განაწილება არათანაბარია, კერძოდ, მაქსიმალური სიმღვრივე შეიმჩნევა მდინარის ფსკერთან და ნაპირებთან. ამ მხრივ ნატანის განაწილების განსაკუთრებით არათანაბრობაა მდინარის იმ უბნებში, რომლებიც ინტენსიურ გამორეცხვას განიცდიან. რაც უფრო წერილი ნაწილაკებისაგან შედგება ნატანი, მით უფრო თანაბრად ხდება მათი განაწილება მდინარის ცოცხალ კვეთში, ჩვეულებრივ კი მდინარის სიგანეში სიმღვრივე იზრდება ნაკადის შუა ნაწილისაკენ.

წლის განმავლობაში მდინარის წყლის სიმღვრივე დიდ ფარგლებში იცვლება. ვაკის მდინარეებში ყველაზე მეტი სიმღვრივე შეიმჩნევა გაზაფხულის წყალდიდობის პერიოდში, რომლის დროსაც მდინარეთა აუზების კალთები ინტენსიურად ჩამორეცხება, მინიმალური კი—ზამთრის პერიოდში, როდესაც მდინარეები, ძირითადად, იკვებება მიწისქვეშა წყლებით. მდინარეთა წყლის სიმღვრივე დამოკიდებულია აგრეთვე განსაზღვრული რაიონის ტერიტორიის ტენიანობის ხარისხსა და მის სასოფლო-სამეურნეო მიზნებისათვის გამოყენებაზე. პატარა მდინარეებში სიმღვრივისა და წყლის ხარჯის მაქსიმუმები ერთიმეორეს ემთხვევა, რაც იმით არის გამოწვეული, რომ ამ შემთხვევაში წყლის მაქსიმალური ხარჯის მოსვლის მომენტი შეესაბამება აუზის ტერიტორიის ინტენსიურ ჩამორეცხვას.

3. ფსკერული ნატანი. მდინარეთა კალაპოტებში ნატანის ჩაოდენობა დამოკიდებულია მისი შემადგენელი ნაწილაკების სიმსხოზე, მათ ადგილმდებარეობაზე, მდინარის ფსკერზე და ნაკადის დინების ჰიდრაულიკურ პირობებზე. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ მდინარის ფსკერზე არსებული ნატანის ცალკეული ნაწილაკი გადაადგილებას იწყებს მას შემდეგ, როცა მასზე მოქმედი ნაკადის სიჩქარე მიიღწევს ისეთ ზღვრულ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ნაწილაკი კარგავს მდგრად მდგომარეობას და მოწყდება მდინარის ფსკერს (ეს მოვლენა განსაკუთრებით თვალსაჩინოდ შეიმჩნევა კენჭოვანი ნატანის მაგალითზე). ასეთი ზღვრული სიჩქარეების გამოსათვლელად მრავალი ემპირიული ფორმულა არსებობს, როგორცაა, მაგალითად:

ა) გ. შამოვის ფორმულა

$$V_{\text{წ}} = 4,4d^{1/2}h^{1/6}, \text{ მ/წმ-ობით; } \quad (14.14)$$

ბ) ვ. გონჩაროვის ფორმულა

$$V_b = lg \frac{8,8h}{d} \sqrt{\frac{2g(\gamma_1 - \gamma)d}{3,5\gamma}}, \text{ მ/წმ-ობით; } \quad (14.15)$$

გ) ლ. გველესიანის ფორმულა

$$V_b = 3,4 \frac{lg 8,8 \frac{h}{d}}{lg \frac{12d+d}{d}} \sqrt{d}, \text{ მ/წმ-ობით; } \quad (14.16)$$

(14.14) — (14.16) ფორმულებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$d$  — ნაწილაკის საშუალო დიამეტრი, მ-ობით;

$h$  — ნაკადის საშუალო სიღრმე, მ-ობით;

$\gamma_1$  — ნატანის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ობით;

$D$  — ფსკერული ნატანის ცალკეული ნაწილაკის მაქსიმალური დიამეტრი, მ-ობით.

გარდა ზღვრული სიჩქარეებისა, მდინარეთა რეგულირებისათვის საკმარის ღონისძიებათა დასახვის მიზნით აუცილებელია წინასწარ ვიცოდეთ აგრეთვე ფსკერული ნატანის ხარჯები, რომელთა გამოსათვლელად სხვადასხვა ავტორების მიერ რეკომენდებულია ემპირიული ფორმულები. ასე, მაგალითად ამ მიზნით საქართველოს მდინარეებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ლ. გველესიანის (კგ/წმ-ობით 1 მ სივანეზე)

$$q_{ფსკ.} = 13 \frac{dV_b}{lg \left( \frac{12D+d}{d} \right)^2 \left( \frac{V^3}{V_b^3} - 1 \right)} \left( \frac{V}{V_b} - 1 \right) \quad (14.17)$$

და ვ. გონჩაროვის (კგ/წმ-ობით 1 მ სივანეზე)

$$q_{ფსკ.} = 1,96 \left( 1 + \varphi \right) V_b d \left( \frac{V}{V_b} \right)^{3,33} \quad (14.18)$$

ფორმულებით.

ვ. გონჩაროვის ფორმულაში  $\varphi$  არის ტურბულენტობის პარამეტრი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ნატანის შემადგენელი ნაწილაკების საშუალო  $d$  დიამეტრზე და წყლის ტემპერატურაზე; 14.6 ცხრილში მოცემულია  $\varphi$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობანი, როდესაც წყლის ტემპერატურა 15°C-ია.

დ მშ-ობით	0,06	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
ფ	15,8	7,3	3,25	2,09	1,67	1,42	1,25	1,15	1,0

ფ 14.4. განივი სირაკულაციის ძირითადი ტიპები და მათი  
1.3 წარმოქმნის მიზეზები

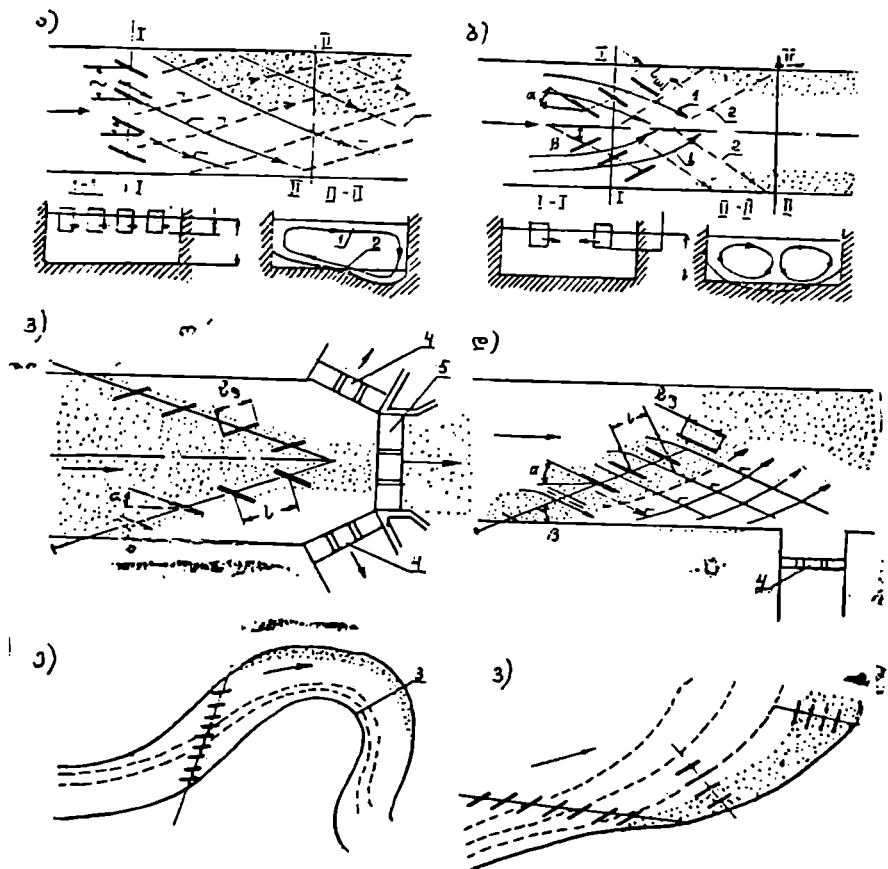
ბუნებრივ პირობებში წყლის ნაკადებში, გარდა გრძივისა, ხდება აგრეთვე სხვადასხვა ფორმის და ინტენსიურობის ქაელების განივი გადაადგილება, რომელსაც კვეთში ცირკულაციური მოძრაობის სახე აქვს. აღნიშნულიდან გამომდინარე ა. ლოსიეცკი, მ. ველიკანოვა და სხვებმა წამოაყენეს შემდეგი დებულება: ყოველი მდინარისათვის დამახასიათებელია ნაკადისა და კალაპოტის შორის ურთიერთქმედების პრინციპი. მდინარეში ნაკადი თვითონ ქმნის მისი ფორმის შესაბამის კალაპოტს და კალაპოტი, თავის მხრივ, თავისი ფორმით გავლენას ახდენს ნაკადის სიჩქარეთა არეზე. ასე, მაგალითად, განივი ცირკულაცია, როგორც სითხის ყოველგვარი წინსვლითი მოძრაობის ძირითადი თვისება, თვითონ წარმოქმნის რეცხვად გრუნტებში გამავალი მდინარის ხეულებს, ზეულები კი, თავის მხრივ, ხელს უწყობენ განივი ცირკულაციის გაძლიერებას.

აქ გამოთქმულ დებულებას იმ დასკვნამდე მივყავართ, რომ საჭიროების შემთხვევაში რაღაც ხელოვნურ ღონისძიებათა გზით შესაძლებელია მდინარეში გვაძლიეროთ ბუნებრივად არსებული ცირკულაცია, შევასუსტოთ ის, ან შევეცვალოთ მისი მიმართულება. სწორედ ასეთი შედეგები იყო მიღებული პროფ. მ. პოტაპოვისა და მისი მოწაფეების მიერ ჩატარებული ცდების დროს ნაკადში ირიბად მიმართული განივი ფარების დაყენების შემთხვევაში, რომელთაც მ. პოტაპოვმა „მიმმართველები“ უწოდა.

ქველმიმმართველების ფარების სისტემის მოწყობით შესაძლებელი ხდება წყლის ნაკადის პილრაელიტური სტრუქტურის სურვილისამებრ შეცვლა, რაც, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს კალაპოტის წარმოშობი პროცესების სათანადო რეგულირებას.

ქველმიმმართველი ფარების სისტემა შეიძლება იყოს სტაციონარული (უძრავი) და გადასატანი ტიპის, ხოლო წყლის ნაკადში მათი მოთავსების მიხედვით კი ზედაპირული, ფსკერული ან ლილრმითი (შივა). ზოგჯერ, ხელოვნური განივი ცირკულაციის უფრო სრულყოფილად წარმოქმნის მიზნით ერთდროულად გამოიყენება ზედაპირული და ფსკერული მიმმართველების კომბინაციები.

14.6 ნახ.-ზე ნაჩვენებია ოთხი ფარისაგან შექმნილი ზედაპირული მიმართველების სისტემა, ხოლო 14.7 ნახ.-ზე კი ასეთი სისტემების პრაქტიკულად გამოყენების სხვადასხვა სქემები. 14.6 ნახ.-ის თანახმად ნაყალი გაიქ-

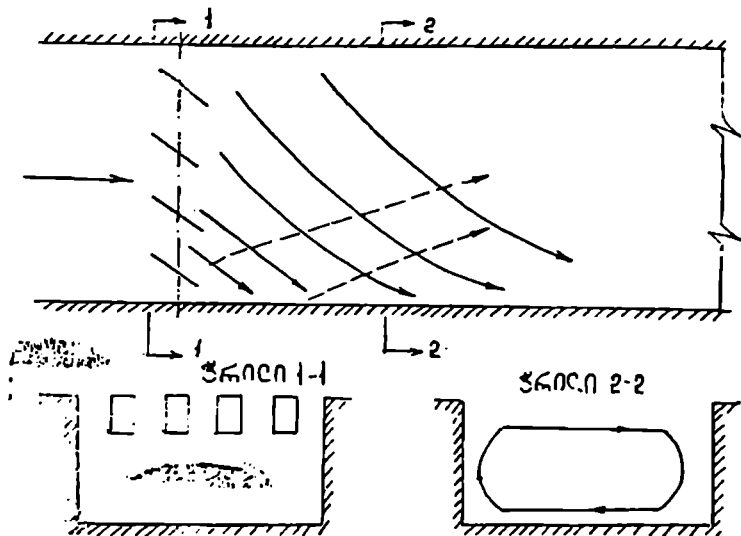


ნახ. 14.6 — ზედაპირული ქველმიმართველების მოწყობის ზოგადი სქემა.

ლის რა ზედაპირული მიმართველების სისტემას, იწყებს ზრახვისებურ მოძრაობას, ზედაპირული დინებები გადაიხრება მარჯვნივ, ფსკერულს კი მარცხნივ (ნახაზზე მთლიანი ხაზებით ნაჩვენებია ზედაპირული ქაელების მიმართულება, ხოლო წყვეტილით—ფსკერული ქაელებისა).

პროფ. ნ. დანელიას მონაცემებით მიმართველი ფარების გეომეტრიული ზომები აიღება შემდეგ ფარგლებში (ნახ. 14.7):.

ა) მიმმართველა და ნაკადის მიმართულებას შორის კუთხეა  $\approx 10-30^\circ$  (საშუალოდ  $20^\circ$ );  $\alpha$ -ს მეორე მნიშვნელობანი აიღება მდინარის ნაკადის დიდი სიჩქარეების ( $> 3$  მ/წმ) დროს, ხოლო მაქსიმალური კი—მეორე სიჩქარეების ( $< 3/წმ$ ) დროს;



ნახ. 14.7 — ხელოვნური განივი ციკელაციის შესაქმნელად გამოყენებული ჰაელმიმართველი ფარების მოწყობის სხვადასხვა ვარიანტები: ა—მდინარის ერთ-ერთ ნაპირთან ფსკერის დაღრმავებისათვის; ბ—მდინარის ღერძის გასწვრივ ფსკერის დაღრმავებისათვის; გ—გვერდითად მოწყობილ წყალმიღებში ფსკერული ნატანის მოხვედრის თავიდან ასაცილებლად; დ—უკანალო წყალმიღებში ფსკერული ნატანის მოხვედრის თავიდან ასაცილებლად; ე—მდინარის ნაკადის ღერძის გადასაადგილებლად; ვ—მდინარის ნაპირის გამორეცხვისაგან დასაცავად; 1—ზედაპირული ჰაელები; 2—ფსკერული ჰაელები; 3—მდინარის კალაპოტის ღერძი; 4—გვერდითი წყალმიღები; 5—წყალსაგდები.

ბ) მიმმართველი ფარების სიგრძე  $l_{ფ}$  ნაწილობრივ დამოკიდებულია  $\alpha$  კუთხეზე და შეიძლება მით უფრო მეტი მოვილოთ, რაც ნაკლები იქნება  $\alpha$ ; საშუალოდ, როდესაც  $\alpha = 20^\circ$   $l_{ფ} \approx (1,5 \div 2)h$ .

გ) მიმმართველი ფარის სიმაღლე  $h_{ფ}$  აიღება  $(0,14 \div 0,67)h$ -ის ფარგლებში. საშუალოდ, როდესაც  $\alpha = 20^\circ$ ,  $h_{ფ}^r = 0,4h$ ;

დ) მიმმართველ ფარებს შორის მანძილი  $l \approx (0,75 \div 1,25)h$

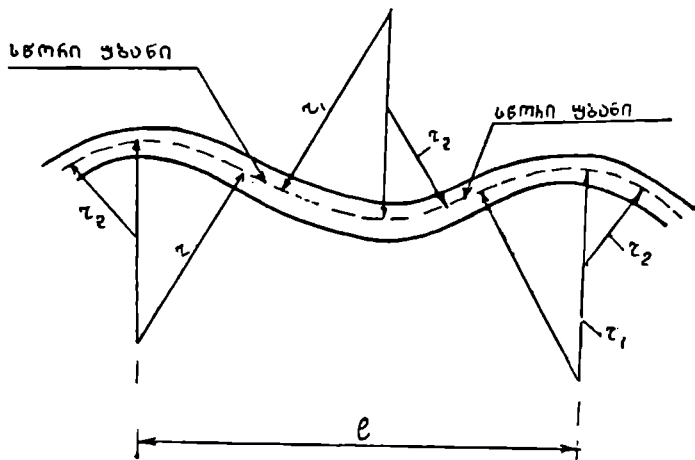
#### § 14.6. მდინარის კალაპოტის სარეაულობითი ღონისძიებათა შერჩევა

1. მდინარის კალაპოტის სარეგულაციო ტრასას აპროექტებენ წინასწარ დადგენილი საანგარიშო ხარჯისა და მისი შესაბა-

მისი კალაპოტური ნაკადის დონისათვის. ასე, მავალითად, მთის მდინარეებისათვის საანგარიშოდ ლებულობენ წყალდიდობის პერიოდის მაქსიმუმების შესაბამის საშუალო ხარჯებს და დონეებს, ხოლო ვაკის მდინარეებისათვის კი — დაბალწყლიანი პერიოდების მაქსიმუმების შესატყვის საშუალო ხარჯებს და დონეებს.

ამგვარად ცნობილი იქნება რა საანგარიშო წყლის ხარჯი და მისი შეესაბამისი წყლის დონე, მდინარის არსებული კალაპოტის ტოპოგრაფიულ გეგმაზე დააქვთ სარეგულაციო ტრასის ღერძი და დანიშნავენ საპროექტო კალაპოტის სიგანეს, სიღრმეს და განივკვეთის მოხაზულობას ისეთნაირად, რომ მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული მდინარის არსებული კალაპოტი.

სარეგულაციო ტრასის სიმრუდე გეგმაში დაახლოებით შეიძლება მონახოს წრეწირის მრუდების შეუღლებით და მათ შორის მოკლე სწორხაზოვანი მონაკვეთებით (ნახ. 14.8), რომლის დროსაც საორიენტაციოდ



ნახ. 14.8 — მდინარის სარეგულაციო ტრასის მრუდხაზოვანი კალაპოტის მოხაზვის სქემა.

ლებულობენ  $r_1 = (7 \div 8)B$  და  $r_2 = 4B$ , სადაც  $B$  არის მდინარის კალაპოტის სიგანე, გაზომილი საანგარიშო ხარჯის შესაბამისი სარკის ზედაპირის დონის ვასწვრივ. უფრო ზუსტად მრუდის მოხაზვის უმცირესი რადიუსი შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ნ. რაზინის ფორმულით

$$r_2 = \frac{100V\sqrt{Q}}{v^2}, \quad (14.19)$$

სადაც  $Q$  არის მდინარის წყლის საანგარიშო ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ-ობით,



ხოლო  $\varphi$  — მოხვევის კუთხე (რადიანებში);

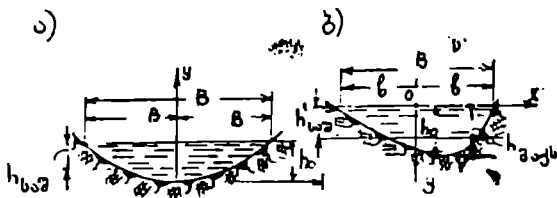
2. მდგრადი კალაპოტის განივი კვეთი მდინარის სწორ-  
ხაზოვან უბანზე შეიძლება აიგოს მეორე რიგის პარაბოლის განტოლებით

$$x^2 = 2Py, \quad (14.20)$$

სადაც  $x$  იცვლება  $O$ -დან  $0,5B$ -მდე ხოლო  $y$  კი  $O$ -დან  $h_0$ -მდე (ნახ. 14.9). ამ მიზნით, წინასწარ ცნობილი  $Q$ ,  $B$  და  $V$ -სათვის განსაზღვრავენ ცოცხალ კვეთს  $\omega = \frac{Q}{V}$ , საშუალო სიღრმეს  $h_{საშ} = \frac{\omega}{B}$  პარაბოლური მოხაზულობის კალაპოტის სიღრმეს  $h_0 = 1,5h_{საშ}$  და პარამეტრ  $2px = 0,5B$ ,  $y = h_0$  შემთხვევაში (ნახ. 14.9,ა).

მდინარის მრუდწირულ უბანზე კალაპოტის განივი პროფილი შეიძლება მიახლოებით ავაგოთ განტოლებით

$$y = h_0 \left(1 - \frac{x}{b^2}\right) \left(1 + K \frac{x}{r_1}\right), \quad (14.21)$$



ნახ. 14.9 — მდინარის კალაპოტის განივი კვეთები:  
ა — სწორხაზოვან უბანზე; ბ — მოხვეულ უბანზე.

სადაც  $b = 0,5B_0$ , მეტრობით;

$K = 5,34$ , როდესაც წყალი კალაპოტში თავსდება;  $K = 8,01$ , როდესაც წყალი გადადის ქალაზე;  $K = 3,4$ -მთის მდინარეებისათვის.

$r_1$  — მოხვევის რადიუსის ნაკადის ღერძზე (ნახ. 14.8), მეტრობით;

$h_0$  — მდგრადი კალაპოტის საშუალო სიღრმე განსახილველ მრუდწირულ უბანზე (ნახ. 14.9, ბ), მეტრობით

$$h_0 = 1,5h_{საშ} \left(1 + \tau \frac{B}{r_1}\right), \quad (14.22)$$

მდინარის მოხვეულ უბანზე კალაპოტის მდგრადი სივანე ყოველთვის ნაკლებია, ვიდრე სწორ უბანზე და ტოლია

$$B_0 = (0,75 \div 0,5)B. \quad (14.23)$$

წყლის ნაკადის საშუალო სიღრმეს განსაზღვრავენ ხარჯის ფორმულიდან

$$h_{საა} = \frac{Q}{BV_{საა}}, \quad (14.24)$$

სადაც  $V_{საა}$  არის ნაკადის საშუალო სიჩქარე და გამოითვლება შეზის ფორმულით (განსახილველ უბანზე წყლის ზედაპირის საშუალო ქანობისათვის).

მაქსიმალური სიღრმე მდინარის კალაპოტის შეზენეილ ნაპირთან განისაზღვრება ფორმულით

$$h_{მაკს} = \varepsilon h_{საა}, \quad (14.25)$$

სადაც  $\varepsilon$  არის ექსპერიმენტული კოეფიციენტი.  $\tau$  და  $\varepsilon$  კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობანი მოცემულია ს. ალტუნინის მიერ (ცხრილი—14.7).

ცხრილი 14.7

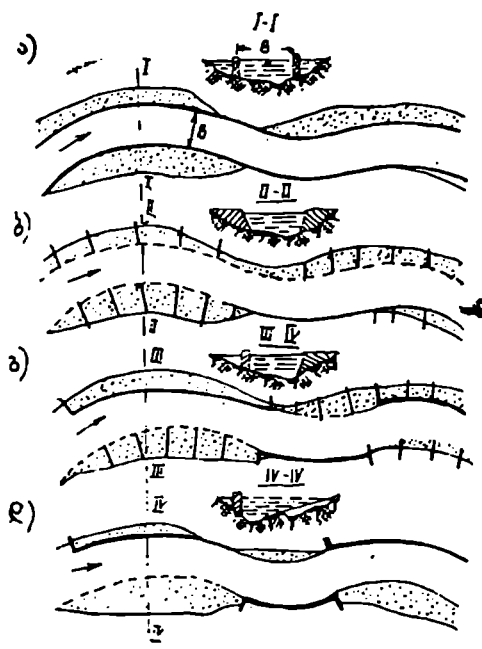
$\frac{B}{R}$	0	0,16	0,20	0,25	0,33	0,50	0,70
	0	0,60	0,60	0,65	0,75	0,85	2,00
$\varepsilon$	1,27	1,48	1,84	2,20	2,57	3,00	—

3. მდინარეთა მოხვეული უბნების ხელოვნურად გასწორება, რომელიც რეგულირების ერთ-ერთ გავრცელებულ ხერხს წარმოადგენს, ცვლის მდინარის ბუნებრივ რეჟიმს გასწორებული კალაპოტის როგორც ზემო, ისე ქვემო უბნებში და ამიტომ ამ ღონისძიებას არ შეუძლია ყოველთვის სასურველი ეფექტი მოგვცეს, ასე, მაგალითად, მოსახვევების წარმოშობის შედეგად ადგილი აქვს ნაკადის სიგრძის გადიდებას და მისი ქანობის შემცირებას; ეს კი, თავის მხრივ, განაპირობებს წონასწორობის დამყარებას ნაკადის მოქმედ ძალასა და კალაპოტის წინაღობას შორის. სწორედ ამიტომაც, რომ მდინარეთა მოხვეულობების ხელოვნური გასწორება, ხშირ შემთხვევაში, ამ წონასწორობის დარღვევას იწვევს—იწყება კალაპოტის ფსკერის წარეცხვა, ფერდობების დეფორმაცია, გასწორებაზე არსებული ტრასის ფარგლებში წარმოიქმნება მეჩხეების (რიყეების) და ღრმა ნატბორების ახალი სისტემა, რომელიც იწყებს გადაადგიო

ლებას მდინარის გაყოლებით. აღნიშნულიდან გამომდინარე რეგულირების ეს ხერხი მხოლოდ იმ შემთხვევაში უნდა გამოიყენოთ, როდესაც მდინარის კალაპოტი საკმაოდ მდგრადობით ხასიათდება.

დაბოლოს, ამგვარად დაპროექტებულ მდინარის საპროექტო ტრასაზე დანიშნავენ სარეგულაციო ნაგებობების განლაგების ზომებს (ნახ. 14.10) და შეარჩევენ მათ კონსტრუქციას (ტიპს) ეკონომიურობის, მდგრადობის და სამუშაოთა წარმოების ორგანიზაციის მხედველობაში მიღებით. აღნიშნული მოსაზრებით, როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, ყველაზე რაციონალურია გრძივი და განივი ნაგებობების ურთიერთშერწყმა (ნახ. 14.10 გ, დ).

გრძივი ნაგებობებმა, როგორც წესი, აშენებენ მდინარის შეზენქილ ნაპირთან, განივი ნაგებობებს, კი გამოზენქილ ნაპირთან. ამ შემთხვევაში გრძივი ნაგებობების გასწვრივ წყლის დინება შედარებით წყნარია, ხოლო გამოზენქილი ნაპირი კი წყლია ნაკადის მუშაობის შედეგად თანდათან მატულობს. გრძივი დამბების გამოყენება უფრო ხელსაყრელია განიერკალიან, მრავალტოტიან მდინარეებზე, როდესაც აუცილებელია მდინარის მხოლოდ ერთი ნაპირის გამაგრება. პირიქით



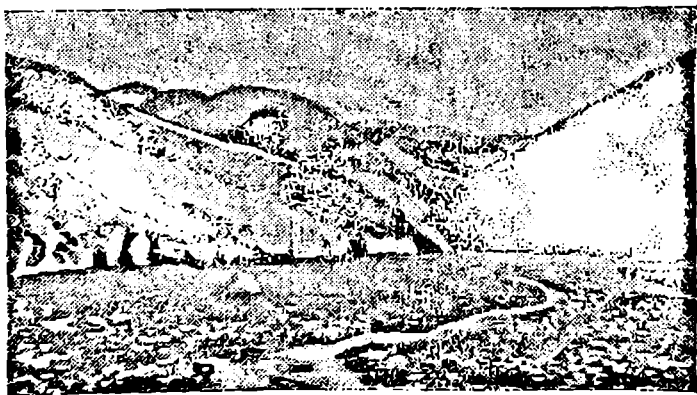
ნახ. 14.10 — მდინარის კალაპოტის საპროექტო ტრასაზე სარეგულაციო ნაგებობების განლაგების ზოგადი სქემები (ს. ალტუნინის მონაცემები); ა — გრძივი დამბებით; ბ — ნახევარსაგუბარებით; გ და დ — კომბინირებული ცენტრალ-გრძივი დამბებით და ნახევარსაგუბარებით).

შემთხვევაში, როდესაც აუცილებელია კალაპოტის შევიწროება და მდინარის ორივე ნაპირის გამაგრება, უფრო მიზანშეწონილია განივი სარეგულაციო ნაგებობების გამოყენება.

მთის ფერდობებიდან ჩამონადენი ნაკადის ის ნაირსახეობა, რომელსაც: დიდი რაოდენობის მყარი ნატანის შემცველობა ახასიათებს, ცნობილია სელური ნაკადების სახელწოდებით. სელური ნაკადები უმთავრესად დამახა- სიათებელია მთისა და მთისწინა მდინარეებისათვის, სადაც ისინი დროის შედარებით მოკლე მონაკვეთში დიდი სიძლიერით მოქმედებენ და ამგვარად მდინარის ქვემო წელში ჩამოაქვთ მთის ქანების დაშლის პროდუქტების დიდი რაოდენობა, რაც, თავის მხრივ, უეცარი მოქმედების გამო, დიდ სტიქიურ უბედურებებს და ზოგჯერ ადამიანის მსხვერპლსაც კი იწვევს. მაგალითად, სელურმა ნაკადებმა დიდი ზარალი მიაყენა ქ. ალმა-ატას (შუა აზია) 1841, 1887 და 1921 წლებში, სოფელ ყუარელს (საქართველო) 1896, 1906, 1949, 1961 წლებში და ასე შემდეგ.

14.11 ნახ.-ზე ნაჩვენებია მდ. დურუჯის კალაპოტი სოფ. ყვარლის ზემო ნაწილში, ზოლო 14.12 ნახ.-ზე კი მდინარის იგივე უბანი, გადაღებული 1961 წლის სექტემბრის თვეში გავლილი სელის შემდეგ პერიოდში.

სელურ ნაკადებთან ბრძოლა უძველესი დროიდან წარმოებდა დროებით ღონისძიებათა გატარების გზით, კერძოდ, მდინარის ქვედა უბნების ფარგლებში დასახლებული პუნქტებისა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დამბებით შემოზღუდვის გზით. 1900-იანი წლებიდან დაიწყო სელურ ნაკადებთან ბრძოლის ახალი უფრო პროგრესული მეთოდების ძიება, რაც გულისხმობდა ტყის ნარგავების აღდგენის გზით მთის ნაკადის ჩამონადენის რეგულირებას და ჰელური კერების მოსაშობას. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ არც ასეთი ღონისძიებანი არ გამოდგა სრულყოფილი, რადგან



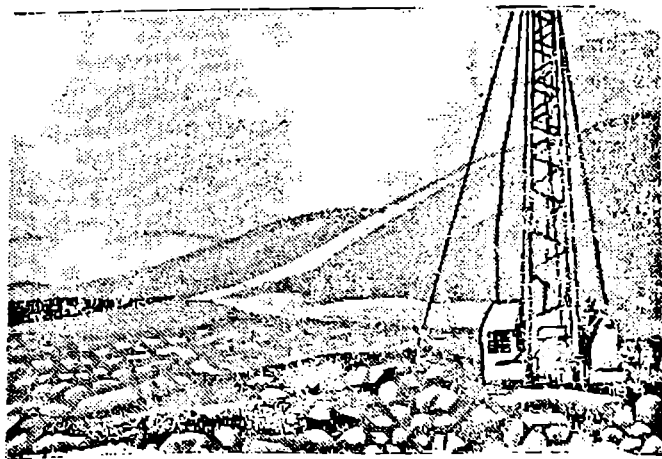
ნახ. 14.11 — მდ. დურუჯის კალაპოტი სოფ. ყვარლის ზემო ნაწილში

‘სელური კერების წარმოქმნას ხშირად ადგილი აქვს არა მარტო მცენარეული საფარის გავრცელების ზოლოს ქვემოთ, არამედ მის ზემოთაც; გარდა ამისა, სელური კერების წარმოქმნის საწინააღმდეგო რაიმე ეფექტურ ღონისძიებათა დასახეისათვის წინასწარ საჭირო იყო სელის ბუნების, მისი დამახასიათებელი თვისებების და წარმოქმნის მიზეზების ცოდნა. ამ მხრივ დიდი თეორიული და ექსპერიმენტული მუშაობა ჩაატარეს საბჭოთა მეცნიერებმა (გ. ბერუჩაშვილი, მ. ველიკანოვი, თ. ვოინიჩ-სიანოუენცკი, მ. გაგოშიძე, ე. კონოვლოვი, მ. მოსტკოვი, ო. ნათიშვილი, ე. ფლეიშმანი, ი. ხერხეულიძე და სხვ.).

პროფ. მ. ველიკანოვი სელურული მასის შედგენილობის მიხედვით სელურ ნაკადებს ყოფს სამ კატეგორიად: ტალახიანი ქვატალახიანი და ქვაწყლიანი.

ტალახიანი სელი წარმოადგენს სქელ ქვიშათიხოვან მასას. ამ კატეგორიის სელი შეიმჩნევა მდ. სირდარიას მარცხენა შენაკად შირან-საიზე.

ქვატალახიანი სელი შედგება ნაკადში ატივანარებული უწყრილესი ნაწილაკებისაგან (ქვიშა, ლამა ლიოსი) და ისეთი ზომის მსხვილი ნატანი-საგან (კენჭი, ღორღი, წვრილი ქვიშა), რომლის თავისუფლად გადაადგილება ნაკადის ფსკერზე შესაძლებელია; ამ კატეგორიის სელის მასალაში შედის აგრეთვე მსხვილი ქვებიც, რომელთა გადაადგილება ხდება დიდი სიჩქარეებისა და წნევის მოქმედებით, რომლებიც წარმოიქმნება ნაკადის მიერ ქვების გროვების გარღვევის შედეგად. ამ სახის სელი დამახასიათებელია მდინარეებისათვის, რომლებიც მიედინება მთავარ კავკასიონის ქედის



ნახ. 14.12 — მდ. დურუჯის კალაოტი სელური ნაკადის გალის (1961 წლის სექტემბრის თვეში) შემდეგ.

აღმოსავლეთ ნაწილის სამხრეთ ფერდობზე (მდ. კიშ-ჩაი და სხვა).  
ქვაწყლიანი სელი ხასიათდება მცირე სიმღვრივით, რაც გაპირობებულა მასში წვრილი ფრაქციის ნაწილაკების სიმცირით და მსხვილი ქვების სიმრავლით; ასეთი სახის სელი, უმთავრესად, წარმოიქმნება დაშლილი, ნაპრაღიანი ქანებისაგან შემდგარ ხეობებში; ამგვარი ტიპის სელი გვხვდება მდ. ალმა-ატას აუზში, მდ. ჩეღარაზე ქ. ერევნის ახლოს და სხვა.

გარდა აქ ჩამოთვლილი კლასიფიკაციისა, სელური ნაკადები, თანახმად სელური ნაკადების შემსწავლელი მესამე სრულიად საკავშირო კონფერენციის გადაწყვეტილებისა (1952 წ.), დაყოფილ იქნა დენად (ტურბულენტურ) და ბმულ (სტრუქტურულ) ნაკადებად.

დენად სელურ ნაკადებს მოძრაობის ტურბულენტური სახე აქვს, რომლის დროსაც მოძრავ ძალას წარმოადგენს წყალი. ამ უკანასკნელს მოაქვს რა ფსევრული ნატანი, ლექავს მას ნარიყის კონუსზე. პირიქით, ბმულ სელურ ნაკადებში მოძრავ ძალას წყალი კი არ წარმოადგენს, არამედ ის შედის სელის საერთო მასაში როგორც ერთ-ერთი შემადგენელი ელემენტი. ბმული სელური ნაკადები შეიცავს დიდი რაოდენობის წვრილ თიხოვან ნაწილაკებს, რომლებიც ზრდიან სელური მასის სიბლანტეს და ამგვარად ეწინააღმდეგებიან მათ ტურბულენტურ გადაადგილებას. ნაკადის სელურ მასას უნარი შესწევს ატივანარებულ მდგომარეობაში გადაიტანოს კენჭები და დიდი ქვებიც კი, რომლებიც მოძრაობის შეწყვეტის შემდეგ ნარიყის კონუსზე კი არ იშლება შემადგენელ ნაწილებად, არამედ ნელ-ნელა ილექება.

სელური ნაკადების სიჩქარე დაახლოებით 2—5 მ/წმ შეადგენს. მისი კინეტიკური ენერჯია რამდენჯერმე უფრო მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივი წყალდიდობებისა.

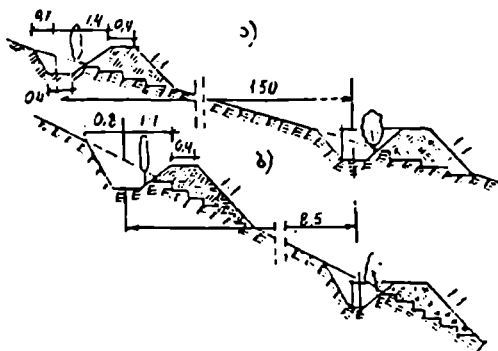
სელურ ნაკადებს გაცილებით უფრო მეტი დაშლის პროდუქტები გამოაქვს, ვიდრე ჩვეულებრივ წყალდიდობებს და იგი განიზომება მილიონ მ<sup>3</sup>-ობით; მაგალითად, სელის დროს 1921 წელს მდ. ალმა-ატას მიერ გამოტანილია დაახლოებით 3250 ათასი მ<sup>3</sup> მასალა, მდ. კიშჩაის მიერ (1936 წ.) 2180 ათასი მ<sup>3</sup>, ხოლო მდ. დურუჯში კი 1949 წელს აღრიცხულია 600 მ<sup>3</sup> გამონატანი.

სელის იცავლის ხანგრძლივობა საშუალოდ 1—2 საათს შეადგენს. მძლავრი სელური ნაკადები, უმთავრესად, წარმოიშობა ხანგრძლივი იცვალეების შემდეგ დიდი რაოდენობის ატმოსფერული ნალექების მოსვლის დროს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, სელურ ნაკადებთან ბრძოლის პრაქტიკულად შესაძლო ყველაზე რადიკალურ ღონისძიებას წარმოადგენს:

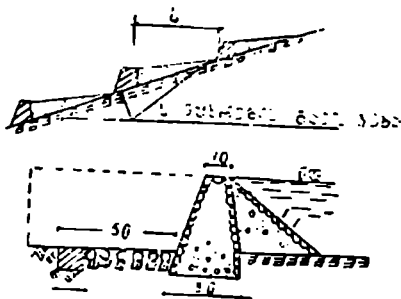
1. სელის წარმომქმნელი კერების ლიკვიდაცია, რისთვისაც განსახილველ აუზში აუცილებელია ჩატარდეს კომპლექსური ჰიდროტექნიკური და ფიტომელიორაციული ღონისძიებანი ფერდობების დატერასების, ჰორიზონტალური შემაკრები თხრილებისა და სისტემების (ნახ. 14.13) მოწყობით

და ა. შ. რაც, თავის მხრივ, ხელს შეუწყობს ზედაპირული ჩამონადენის ინტენსიურობის შემცირებას;



ნახ. 14.3 — ზედაპირული წყლის შემკრები არხების განლაგების სქემა: ა—20°-მდე ქანობის დროს; ბ—20°-ზე მეტი ქანობის დროს.

2. ნარიყის კონუსის ზემო ნაწილში კალაპოტის გრძივი პროფილის ქანობის შესამცირებლად და მსხვილი ნატანის შესაჩერებლად, სპეციალური ნატანსაცაეების (ნახ. 14.14) მოწყობა წნული ღობეების, ქვაფიჩხოვანი ქვის კედლების ან რკინაბეტონის ცალკეული კოჭებისაგან შემდგარი გამკოლი კედლების სახით; ასეთი ნატანსაცაეების ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა მათი სისტემატური გაწმენდა ნარიყისაგან; გარდა ამისა, მათი მოცულობა არ უნდა იყოს იმ მყარი ჩამონადენის მოცულობაზე ნაკლები, რომელიც შესაძლებელია ჩამოიტანოს მდინარემ განსახილველ ნატანსაცაეში ეოთი დიდი სელის გავლის პერიოდში.



ნახ. 14.14 — მდინარის სივრცეზე ნატანსაცაეების მოწყობის სქემა.

## მ ა თ ხ უ თ მ ე ბ ე თ ა ვ ი

### სარეგულაციო ნაგებობები

#### § 15.1. სარეგულაციო ნაგებობების კლასიფიკაცია

მდინარეთა რეგულირების მიზნით გამოყენებული სარეგულაციო ნაგებობების კლასიფიკირება შეიძლება შემდეგი ძირითადი მაჩვენებლებით:

ბის მიხედვით: მომსახურების ვადის, დანიშნულების, მდინარის კალაპოტში მათი განლაგების, გამოყენებულ საშუალებლო მასალების, ნაკადზე შემოქმედების ხასიათის და წყლის დონის მიმართ მათი განლაგების მიხედვით.

I. მომსახურების ვადის მიხედვით სარეგულაციო ნაგებობები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად — მუდმივი და დროებითი. პირველი მათგანი წარმოადგენს ბეტონის, რკინა-ბეტონის ან სხვა საშუალებლო მასალისაგან დამზადებულ საინჟინრო ტიპის კონსტრუქციებს და გათვალისწინებულია საექსპლოატაციოდ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში (არანაკლები 40—50 წლით), ხოლო მეორე კი — მზადდება ადგილობრივი მასალებისაგან (ქვისაგან, ფიჩხისაგან და ასე შემდეგ) და გამოიყენება ხანმოკლე პერიოდით-მდინარეთა ცალკეულ უბნებზე ავარიების აცილების ან მათი ლიკვიდაციის მიზნით.

II. დანიშნულების მიხედვით განასხვავებენ:

1) ჰავლმიმმართველ ჯებირებს, რომელთა დანიშნულებაა წყლის ნაკადის წარმართვა დანიშნულებისამებრ (კაშხალის, წყალმიღების, ხიდის ზვრეტებში) ან თვით კალაპოტის შევიწროება. ასეთი ნაგებობები მდინარის კალაპოტში იდგმება წყლის დინების ღერძის გასწვრივ ან მის მიმართ მცირე კუთხით;

2) ნაპირდამცველ (შემოზვინვის) ჯებირებს, რომელთა მიზანია ძვირფასი სასოფლო-სამეურნეო ნარგავების, დასახლებული პუნქტების, სამრეწველო ობიექტების, გზების დაცვა დატბორვისაგან მდინარეში მოსალოდნელი წყალდიდობების დროს;

3) ნაპირსამაგრ ნაგებობებს, რომელთა დანიშნულებაა მდინარის ნაპირების დაცვა იპარეცხვისაგან;

4) საგუბრებს და ნახევრად საგუბრებს (დეზნალექებს, დეზებს).

III. განლაგების მიხედვით სარეგულაციო ნაგებობები დაყოფილია ორ ჯგუფად: გრძივი (პასიურად მოქმედი) და განივი (აქტიურად მოქმედი) ნაგებობები.

ნაგებობათა პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ჰავლმიმმართველი, ნაპირდამცველი და მდინარეთა ნაპირების გასწვრივ განლაგებული ნაპირსამაგრი ჯებირები, მეორეს კი ნახევრად საგუბრები (დეზები, ბუნები და სხვა), ფსკერული ზღურბლები, ნაკადმიმმართველი სისტემები.

ნაკადის ღერძის მიმართ განივი ნაგებობები იდგმება იპარეცხული კუთხით და ამიტომ აქტიურ ზეგავლენას ახდენენ ნაკადის ჰიდრაულიკურ სტრუქტურაზე, სცვლის მდინარის კალაპოტის ფორმას და მდინარეში იწვევს ადგილობრივ დეფორმაციებს. პირიქით, განივი ნაგებობებისაგან განსხვავებით, გრძივი ნაგებობების შემთხვევაში ნაკადის ჰიდრაულიკური ელემენტები, ძირითადად, უცვლელი რჩება ნაგებობის მთელ სიგრძეზე და ამიტომ



ასეთი ნაგებობის ზემოქმედება ნაკადზე შედარებით სუსტია. სწორედ ამიტომ, რომ მდინარეთა ნაპირების დაცვა განივი ნაგებობებით გაცილებით იაფი ჯდება, ვიდრე გრძივი ნაგებობების გამოყენებისას; თუმცა გრძივი ნაგებობებსაც აქვს ზოგიერთი უპირატესობანი და ამიტომ ზოგჯერ უფრო ეკონომიკურ გადაწყვეტად ითვლება გრძივი და განივი სარეგულაციო ნაგებობების კომბინირებულად განლაგება.

IV. გამოყენებული საშენი მასალების მიხედვით განასხვავებენ სარეგულაციო ნაგებობების შემდეგ სახეს:

- ა) ფაშინური სამოსი;
- ბ) ქვაფიჩხოვანი წყობა;
- გ) სიპაის ტიპის ნაგებობები;
- დ) ძელყორული ნაგებობები;
- ე) ხიმინჯოვანი კედლები;
- ვ) ქვანაყარი ტიპის გრძივი ჯებირები;
- ზ) ბეტონის, რკინა-ბეტონის მასიური კედლები, დეზები და სხვა.

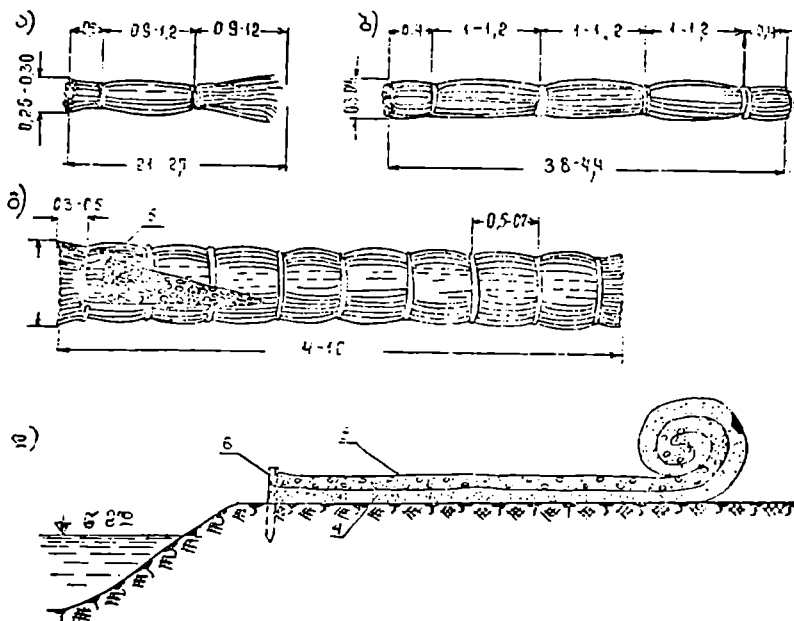
V. ნაკადზე ზემოქმედების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ ორი სახის სარეგულაციო ნაგებობას—მონოლითურ, როდესაც მასზე დაჯახებული წყლის ნაკადი გადაიხრება და წარიმართება გარკვეული კუთხით, და გამჭოლს, რომელიც თავის ტანში გავლით ატარებს რა წყლის გარკვეულ ხარჯს, განაპირობებს წყლის ხარჯების სიჩქარეების და ნატანის ხელოვნურად გადანაწილებას კალაპოტის ცოცხალ კვეთში.

VI. წყლის დონის მიმართ განლაგების მიხედვით სარეგულაციო ნაგებობები დაყოფილია ორ ჯგუფად—დაძირული და დაუძირავი.

ქვემოთ განვიხილავთ სარეგულაციო ნაგებობათა ძირითად ტიპებს და მათ კონსტრუქციულ ელემენტებს.

#### § 15.2. ღრუბითი სარეგულაციო ნაგებობანი

1. ფიჩხოვანი სამოსი წარმოადგენს თოკით ან რბილ მავთულთ (დიამეტრით 1—3 მმ) მკვრად შეკრულ ფიჩხის კონას. განიხილავენ ფიჩხოვანი სამოსის ოთხ ტიპს: ცალკინტა ან ორკინტა (ნახ. 15.1, ა, ბ), როდესაც სამოსი განხორციელებულია მხოლოდ ფიჩხების კონსაგან; მძიმე (ნახ. 15.1, გ), როდესაც ფიჩხების კონაში ჩართულია ქვები, ხრეში; ფენოვანი (ნახ. 15.1, დ); ამ უკანასკნელის დასამზადებლად, მდინარის ნაპირის გასაშავებელ უბანზე, უოველი 0,5 მეტრის დაცილებით დაქიზავენ მავთულს რიგებს, მათზე თანმიმდევრულად დააწყობენ ფიჩხებს, სისქით 0,2—0,25 მ. ლელქაშს ან ჩალას, სისქით 0,05—0,1 და ლორღის ან კენჭების ფენას, სისქით 0,1—0,25 მ; შემდგომ, ამგვარად 24. ბ. ჩიკვაშვილი



ნახ. 15.1 — ფიჩხონური სამოსია კონსტრუქციები: ა—ცალკინტა ფიჩხონა; ბ—ორკინტა ფიჩხონა; გ—მძიმე კონსტრუქციის ფიჩხონა; დ—რულონურ-ფენოვანი ფიჩხონა; 1—ფიჩხი; 2—ქვა; 3—კეწვი; ლორლი; 4—ფიჩხი, ჩალა, ლელქაში; 5—ფიჩხის საცობი; 6—პალა.

დაწყობილ ფენების კონას დაახვევენ და მავთულების ბოლოებით მიამაგრებენ მდინარის ნაპირთან გრუნტში ჩალრმავებულ პალოებზე (ძელებზე).

2. ქვა-ფიჩხოვანი ნაპირსამაგრი ნაგებობა (ნახ. 15.2) წარმოადგენს ფიჩხისა და ქვის რიგრიგობით წყობას—ჯერ გაკეთდება ფიჩხის შრე 15 სმ სისქით, ხოლო შემდეგ მასზე დაიყრება ქვები, სისქით 30 სმ-მდე. ამ ტიპის სარეგულაციო ნაგებობა, ძირითადად, შენდება ქველმინიმართველი დეზების ან ნაპირდამცველი სარტყელის სახით და ისიც იმ შემთხვევაში, როდესაც სამშენებლო ობიექტის უბანში ფიჩხი და რიყის ქვა დიდი რაოდენობით მოიპოვება.

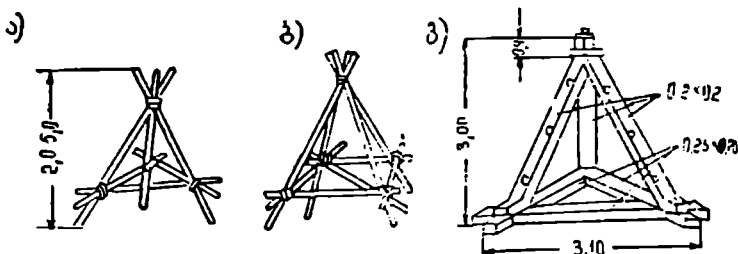
3. სიპაის ტიპის სარეგულაციო ნაგებობა. სიპაი წარმოადგენს სამი ან ოთხი ფეხისაგან მავთულით შეკრულ კარკასულ ჯოჯინას, სიმაღლით 2—4 მ-მდე, რომელსაც დაახლოებით ერთი მეტრის სიმაღლეზე უკეთდება სარტყელი (ნახ. 15.3). სარტყელზე ეწყობა ლატანები და ფიჩხი, შემდეგ მათზე იყრება ქვები და ამგვარად შექმნილი ტვირთის გავლენით სველ კალაპოტში სიპაის ფეხები თანდათან ჯდება ყმირში

მანამდე, სანამ სარტყელი მთლიანად არ დავა ფსკერამდე. როდესაც სიპის ტიპის სარეგულაციო ნაგებობის აშენება გათვალისწინებულია მშრალ კალაპოტში, მაშინ სიპის ფეხებს ჯერ გრუნტში აღრმავებენ მოსალოდნელი გარეცხვის ნიშნულის ქვემოთ და შემდგომ ტვირთავენ ქვებით. სიპის ამზა-



ნახ. 15.2 — შლ. არავეის გამაგრება ჭვა-ფინსოვაში ჯებრით (წითელი სოფლის უბანზე).

დებენ ხის ძელების, რელსების, მილების და აგრეთვე რკინა-ბეტონის კონსტრუქციებისაგან.



ნახ. 15.3 — სიპის ტიპის კონსტრუქციები: ა—სამფხიანი; ბ—ოთხფხიანი; გ—ანაკრები რკინაბეტონის ტელაედი.

მაგალითისათვის, 15.4 ნახ.-ზე ნაჩვენებია სოფ. ძვეერასთან მდ. დიდ ლიანხზე აშენებული სიპის ტიპის დამბა.

4. ძელყორული ტიპის სარეგულაციო ნაგებობები, რომლებიც ძირითადად გამოიყენება მდინარის ნაპირების დასაცავად გამორეცხვისაგან და ზღუდარების მოსაწყობად, წარმოადგენენ



ნახ. 15.4 — მდ. დიდ ლიასზე, სოფელ ძევერასთან. აშენებული სიბაის ტიპის წებრი.

ყოფენ ან ფლეთილი ქვით შევსებულ გრძივი და განივი ხის ძელებსაგან შექმნილი უჯრედების ერთობლიობას (ნახ. 15.5). იმ შემთხვევაში, როდესაც სამშენებლო ობიექტთან ახლოს ყოფენ ან ფლეთილი ქვა არ მოიპოვება ან მისი დამზადება ძვირი ჯდება, ძელებსაგან შემდგარ უჯრედების კარკასს ამოფიცრავენ და შემდგომ ამოავსებენ მდინარის კალაპოტიდან ამოღებული ალუვიით.

დაპირაზე მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით, ძელებსაგან შემდგარ უჯრედებს ზოგჯერ ნიადაგში ამაგრებენ ხის ან რკინა-ბეტონის ხიმინჯების მეშვეობით.

ხის ძელებსაგან ნაგებობის საექსპლუატაციო ვადა უმეტესად 8—10 წელს არ აღემატება. ამიტომ უკანასკნელ პერიოდში, საექსპლუატაციო ვადის გახანგრძლივების მიზნით, გამოყენებას პოულობს აგრეთვე რკინა-ბეტონის ძელებსაგან (ნახ. 15.6), რომლის გრძივი და განივი ელემენტები ოთხკუთხოვანი რკინა-ბეტონის ძელებისაგანაა (კვეთით 16 X 20 სმ) შემდგარი.

5. ხიმინჯოვანი გამაგრება წარმოადგენს ნიადაგში ჩასობილ ხის, რკინაბეტონის ან ლითონის (ნახ. 15.7) ხიმინჯების მწყობრს, რომელსაც აკრავენ ფიცრებს, წნულ ლობეებს ან ნაგვერდულებს და რომლის დროსაც შემონაკერსა და მდინარის ფერდოს შორის სივრცეს აფსებენ ქვით და ბალასტით.

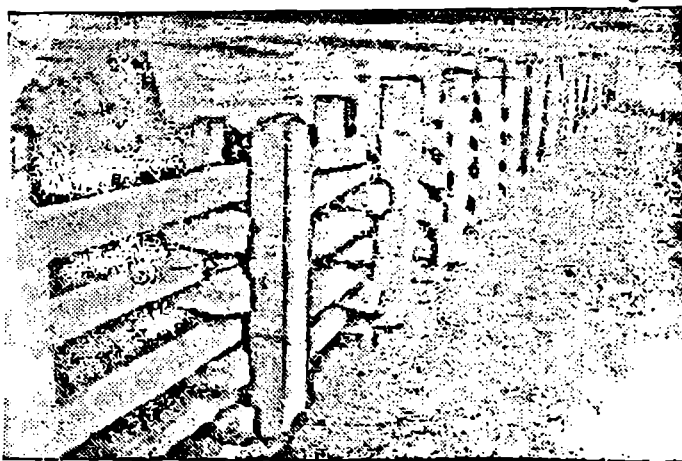
6. ნაყარი ქვით მდინარის ნაპირის გამაგრებას (ნახ. 15.8) საკმაოდ ხშირად მიმართავენ. ეს კონსტრუქცია განსაკუთრებით საი-

მელთა იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაპირის ფერდოს მყარი ფუძე აქვს.

ამ ტიპის ნაპირსამაგრი ნაგებობის მდგრადობის ერთ-ერთ აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ცალკეული ქვის მასივის წონისა და ზომების

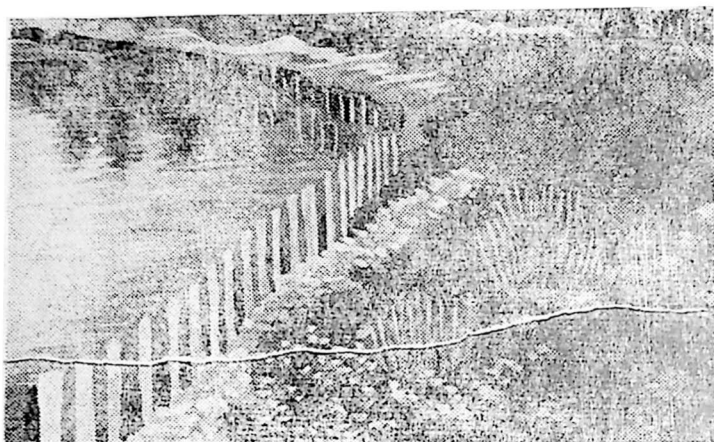


ნახ. 15.5 — შდ. ჩხერიძელაზე, რკინიგზის სადგურ ძირულას მახლობლად, აშენებული ძელუილის ქვიბრი.

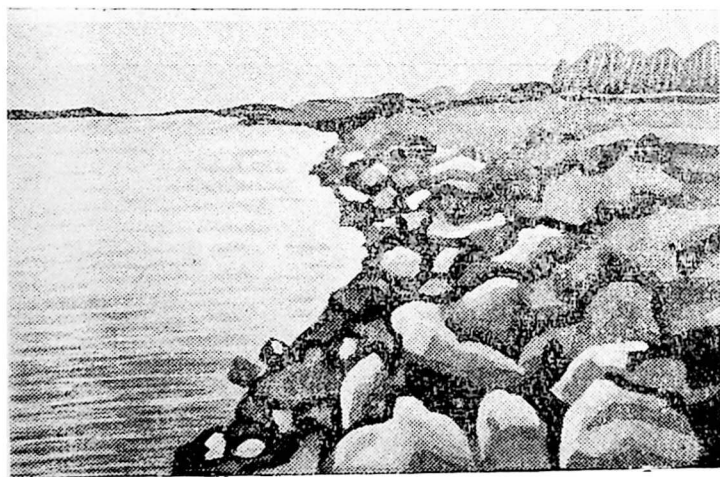


ნახ. 15.6 — აბაშა-საბრეღისის გზის ზღვის ზემოთ მდინარე ნოღელას ნაპირის გამაგრება სლავინსკის ტიპის ძელოვან-ხიმიწოვანი გამკოლი ნაგებობით.

პრაქტიკულად ზუსტად დადგენა, რომელიც დამოკიდებულია ნაკადის სიჩქარეზე. ტალღის სიძლიერეზე და კასამაგრებული ნაპირის დახრილობაზე.



ნახ. 15.7 — სოფელ ნაფალაოსთან მდ. ცხენის წყლის ნაპირის გამაგრება რელსების მექანიზმით.



ნახ. 15.8 — სოფელ კალადიდან მდ. რიონის მარჯვენა ნაპირის გამაგრება ნაყარი კვით.

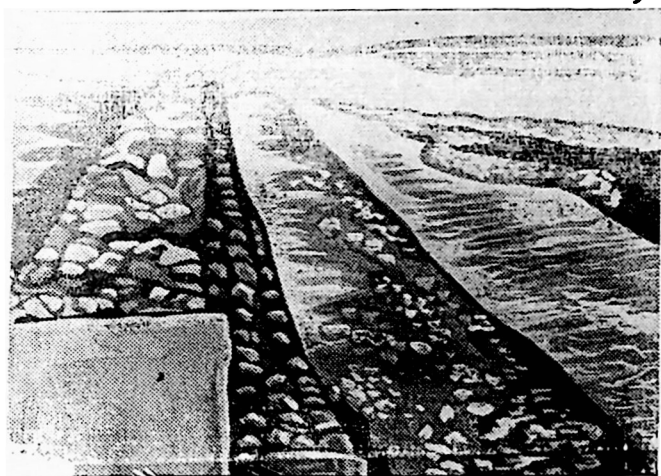
ცალკეულა ქვის  $G$  წონა (ტონობით) ამ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით

$$G = \frac{7,2 \gamma_j \psi (2a)^3}{(\gamma_j - 1)^3} \quad (15.1)$$

სადაც  $\gamma_j$  არის ქვის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ობით,  $2a$  — ტალღის სიმაღლე მეტრობით,  $\psi = \left[ \frac{\sqrt{1+m^2}}{m(m+2)} \right]^3$ , ხოლო  $m$  — მდინარის ნაპირის (ფერდოს) დახრილობის კოეფიციენტი.

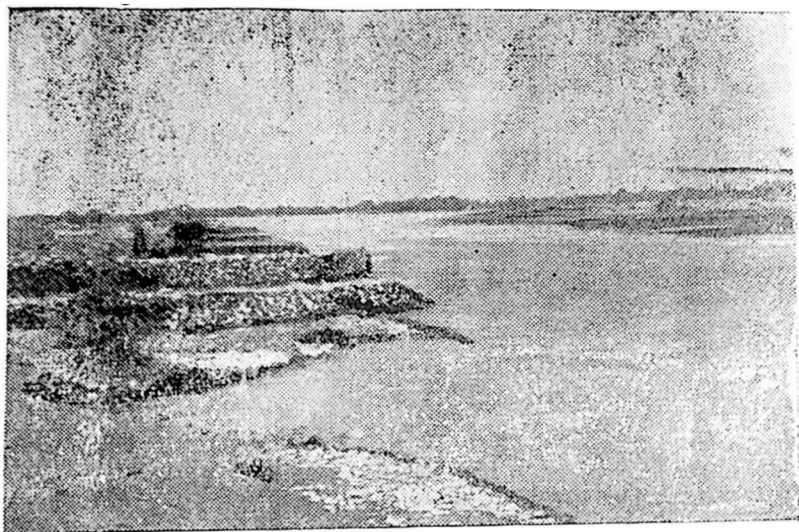
ქვაყრილით მდინარეთა ნაპირების გაძაგრების სამუშაოები საკმაოდ მარტივია, ხოლო რაც შეეხება მის რენტაბელობას, ის ძირითადად დამოკიდებულია ქვის კარიერსა და სამშენებლო ობიექტს შორის არსებულ მანძილზე (ქვის ზიდვის მანძილზე). ნაპირსამაგრი ნაგებობათა ეს ტიპი უფრო მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს მდინარეთა იმ უბნებზე, სადაც წყლის დინების სიჩქარე 1—3 მ/წმ-ს არ აღემატება.

7. გაბიონის ტიპის ნაპირსამაგრი ნაგებობები შესრულებს თვალაწინისით არაფრით არ განსხვავდება გაბიონის კამხალებისაგან (თავი X); იანი წარმოადგენენ საფეხურებიან ბაღისებურ კონს-



ნახ. 15.9 — გაბიონის დუნი მდ. ცხენის წყალზე.

ტრუქციას (ნახ. 15.9 და ნახ. 15.10), რომლის ქვედა შრე ნაკლები სისქისაა და წინაა გაგრძელებული ლიობის მსგავსად. ამ კონსტრუქციის დადებით მხარეს წარმოადგენს მისი ელასტიურობა და დამზადების სიმარტივე; ნაკ-



ნახ. 15.10—სოფელ კოკთან მდ. ენგურის ნაპირის გამაგრება გაბიონებით.

ლად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ ნითვის მდინარეებში, მყარი ნატანის ზემოქმედების შედეგად, მავთული შედარებით მალე იცვითება.

ზემოთ განხილული დროებითი სარეგულაციო ნაგებობების ძირითადი ტიპების გარდა, ზოგჯერ, მეტად სასწრაფო შემთხვევებში, მდინარეთა რეცხვადი ნაპირების და მიწის ზეინულების გასამაგრებლად იყენებენ მიწით სავსე ტომრებს, წნულ ლობეებს, პალოებზე დამაგრებულ ხის ფარებს და ა. შ.

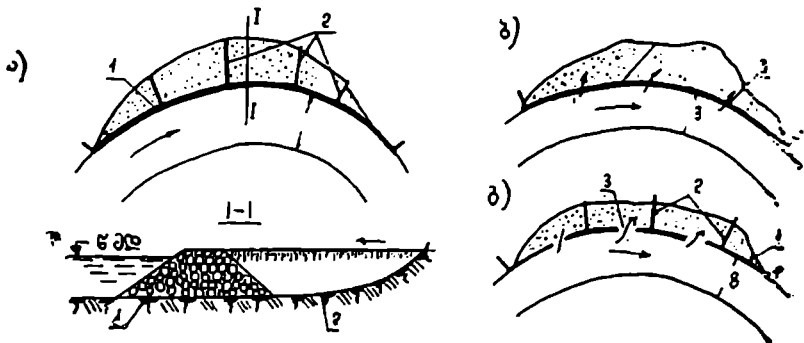
ზემოთ განხილული ყველა დროებითი სარეგულაციო ნაგებობების საექსპლუატაციო პერიოდი (მდგრადობის თვალსაზრისით) შედარებით ხანმოკლეა და არ აღემატება 5—10 წელიწადს.

უკანასკნელ პერიოდში მდინარეთა ნაპირების გამორეცხვისაგან დასაცავად ძირითადად იყენებენ მდინარის ღერძის მიმართ გრძივ ან განივად განლაგებულ მასიურ ნაგებობებს, რომელთა საექსპლუატაციო მომსახურება ხანგრძლივი დროით არის გათვალისწინებული. ამიტომ ასეთი ტიპის ნაგებობებს, უმეტეს შემთხვევებში, აშენებენ მტკიცე და ხანგრძლივად მდგრადი სამშენებლო მასალებისაგან.

#### § 15.8. გრძივი მასიური ნაპირსაბავე ნაგებობები

როგორც აღვნიშნეთ (§ 15.1), გრძივ ნაგებობათა ჩგუფში განიხილავენ ქველშიმმართველ და ნაპირდამცველ (შემოზინვის) ჭებირებს.





ნახ. 15.11 — გეგმაში გრძივი ჯებირების განლაგების ტიპური სქემები: ა—დაუძირავი ჯებირი ტრავერსებით; ბ—დაუძირავი ჯებირი ხერცებით, გ—დაუძირავი წვეტილი (ხერცებთან) ჯებირი ტრავერსებით; 1—ნაკადმიმმართველი ჯებირი; 2—ტრავერსები; 3—ხერცები.

1. ჰ ა ე ლ მ ი მ მ ა რ თ ვ ე ლ ი ჯ ე ბ ი რ ე ბ ი გამოიყენება სარეგულაციო კალაპოტში მდინარის ნაკადის ძირითადი (აპროექტო) მიმართულების უზრუნველყოფის, წყლის ნაკადების ხელოვნურად გაყოფის ან, პირიქით, მდოვრედ შეერთების მიზნით და სხვა. ჰაელმიმმართველი ჯებირები შეიძლება იყოს დატბორილი და დაუტბორავი, ხოლო გეგმაში მოხაზულობის მიხედვით კი—წორხაზოვანი და მრუდხაზოვანი (ნახ. 15.11).

როდესაც დატბორილი ჰაელმიმმართველი ჯებირი საკმაოდ გრძელია, მის უკანა მხარეს მოსალოდნელია გრძივი დინებების წარმოქმნა, რომელიც, თავის მხრივ, ეწინააღმდეგება ჯებირსა და ნაპირს შორის ნატანი მასალის დაღიქვას ან ზოგჯერ, პირიქით, რეცხავს მათ. მაშინ გრძივ ჯებირსა და მდინარის ნაპირს შორის აწყობენ განივ ჯებირებს—წ. ტრავერსებს (ნახ. 15.11). ტრავერსებს შორის მანძილი აიღება 2—3-ჯერ მეტი, ვიდრე თვით ტრავერსის სიგრძე.

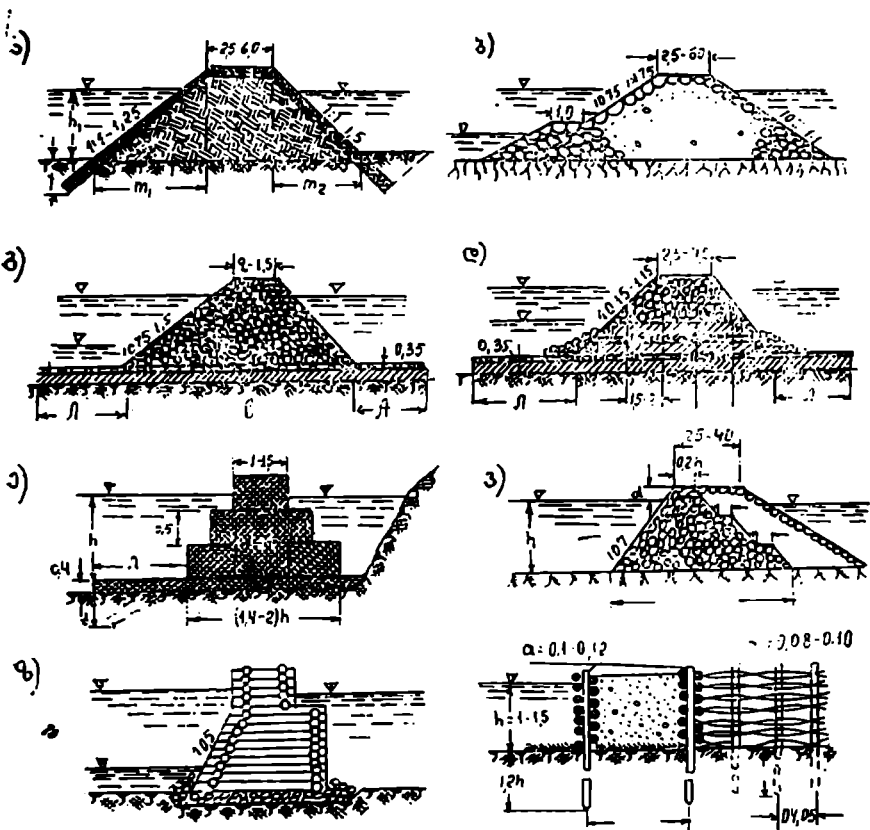
ანალოგიურად, დაუტბორავი გრძივი ჯებირების უკანა მხარეს ატივინარებული და ნაწილობრივ ფსკერული ნატანის მოსახვედრად, მათ ტანში ითვალისწინებენ სპეციალური ხერცების მოწყობას ან აშენებენ წვეტილ ჯებირებს (ნახ. 15.11 ბ, გ).

ასეთი ხერცების მოწყობა სასარგებლოა აგრეთვე დატბორილი ჯებირებისათვისაც, რადგან მათში ნატანის გატარება დასაშვებია იმ შემთხვევაშიც, როდესაც მდინარეში წყლის დონე დაბალია.

15.12 ნახ-ზე მოცემულია ჰაელმიმმართველი ჯებირების ტანის განივი პროფილების ძირითადი კონსტრუქციები.

ჯებირების ფერდობის დახრილობას ნიშნავენ იმის მიხედვით, თუ რომელი საშენი მასალისაგან აშენებენ და რა პირობებში უხდებათ მათ.

მეშაობა. აღნიშნულის მიუხედავად, დაუტბორავი ჯებირის გარე (მდინარის კალაპოტისაქენ მიმართული) ფერდოს დახრილობა უნდა შესრულდეს უფრო მდობრედ და მტკიცედ, ვიდრე მისი შიგა ფერდოსი. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც ჯებირზე მოსალოდნელია წყლის გადაღინება (ე. წ. დატბორილი ჯებირები), მაშინ ჯებირის ქიმის და შიგა ფერდოს გამაგრებას ახდენენ ბეტონის, რკინა-ბეტონის ფილებით ან ფენილი ქვის წყობით.



ნახ. 15.12 — ქველმომართველი ჯებირების ტანის განივკვეთების კონსტრუქციები: ა — მშენიანებისათვის განხორციელებული ჯებირი, როდესაც მისი ფერდობები და ქიმი მოპირკეთებულია, ბეტონის, რკინაბეტონის ან სხვა კონსტრუქციის ფილებით; ბ — არამშენიან გრუნტის ტანით და წინა და უკანა ნაყარი ქვის პოჩვებით; გ — ნაყარი ქვის, როდესაც ჯებირის ძირში წინასწარ დაფენილია ფიჩხოვანი კონსტრუქციის ლიობი; დ — ფიჩხოვანი ლიობისა და ქვისაგან აშენებული; ე — გაბიონის ტიპის; ვ — შერალდა ქვის წყობის ტიპის; ზ — ხის ძეღურისებური; თ — ჯებირი ორმწკრივია წყლის ლობით და ტრავერსებით.

როდესაც ჯებირების აშენება გათვალისწინებულია რეცხვად გრუნტებზე, მაშინ გამორეცხვისაგან მათ დასაცავად ნაგებობის ფსკერზე აწყობენ ნაყარი ქვის ლეიბებს (ნახ. 15. 12, გ, დ, ე). ასეთი ლეიბების „*A*“, სიგანე დამოკიდებულია გრუნტის გამორეცხვის შესაძლო მაქსიმალურ  $H_3$  სიღრმეზე და მიიღება (2—3)  $H_3$  ფარგლებში. ამ შემთხვევაში გრუნტის გამორეცხვის მაქსიმალური  $H_3$  სიღრმის გამოსათვლელად ს. ალტუნინი იძლევა ასეთ გამოსახულებას

$$H_3 = AH_0, \quad (15.2)$$

სადაც  $H_0$  არ-ს ნაკადის საშუალო სიღრმე უშუალოდ ნაგებობასთან ახლოს;  $A$  — ადგილობრივი გამორეცხვის მახასიათებელი კოეფიციენტი, რომლის დასადგენად ლიტერატურაში სხვადასხვა, მაგრამ სიზუსტით თითქმის ერთნაირი რეკომენდაციებია მითითებული. ასე, მაგალითად, როდესაც ჯებირის დაწნევიანი ფერდოს ფუძის დახრილობის კოეფიციენტი  $m=0$  და ნაკადსა და ჯებირის მიმართულებას შორის კუთხე  $\alpha = 90^\circ$  (შემთხვევა, როდესაც ჯებირზე წყლის ნაკადის დაჯახება შებლურია),  $A$  კოეფიციენტის დასადგენად ხშირად სარგებლობენ ს. ალტუნინის მიერ შედგენილი 15.1 ცხრილის მონაცემებით, სადაც  $Q_1$  არის მდინარის წყლის ის ხარჯი, რომელიც გაედინება ჯებირით (დუზით) გადაკეტილი კალაპოტის ზოლზე,  $Q$  კი—მდინარის საერთო ხარჯი. პირიქით შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც  $m=1$  და  $\alpha=0^\circ$ . ალტუნინი  $H_3$ -ს გამოსათვლელად იძლევა ფორმულას:

$$H_3 = K_\alpha K_m AH_0, \quad (15.3)$$

სადაც  $K_\alpha$  და  $K_m$  კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები აიღება ს. ალტუნინის და კ. არტამანოვის მიერ ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე შედგენილი 15.2 და 15.3 ცხრილიდან.

ცხრილი 15.1

$\frac{Q_1}{Q}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$A$	2,0	2,65	3,22	3,45	3,67	3,97	3,96	4,20	4,27

ცხრილი 15.2

ცხრილი 15.3

$\alpha$	30°	60°	90°	120°	150°	$m$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
$K_\alpha$	1,18	1,07	1,0	0,94	0,84	$K_m$	1,0	0,91	0,85	0,83	0,61	0,5

აქვე შევნიშნავთ, რომ 15.1 ცხრილით სარგებლობა ს. ალტუნინის მიერ რეკომენდებულია მხოლოდ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ჭებირის მოპირდაპირე ნაპირი არ ირეცხება (ან ისიც გამაგრებულია ხელოვნური ნაგებობებით) და კალაპოტს აქვს მდგრადი სიგანე. ყველა სხვა შემთხვევებისათვის  $A$  კოეფიციენტის გამოსათვლელად უნდა ვისარგებლოთ ი. ბუზუნოვის ფორმულით, რომელსაც ზოგადად აქვს ასეთი სახე

$$A = \frac{1}{\sqrt{1+m'}} \left[ 6 \left( \frac{V \sin \alpha}{V_1 U} \right)^{3/4} + \sin \alpha \left( m - 6 \frac{K}{U} \right) \right] + 1, \quad (15.4)$$

სადაც  $V$  არის კალაპოტში წყლის დინების სიჩქარე;  $V_1$  — წვრილი ნაწილაკების გამორეცხვის სიჩქარე ჭებირის დაწნევიანი ფერდოს ძირთან;  $U$  — ჭებირის (დების) დაწნევიანი ფერდოს ზედაპირზე ნაკადის განშლის პერიმეტრის სიგრძის მახასიათებელი კოეფიციენტი;  $K$  — კალაპოტში სიჩქარის ცვალებადობის ამსახველი კოეფიციენტი ( $K \approx 1,0$ ); დანარჩენი აღნიშვნების განმარტება მოცემულია ზემოთ.

გრძივი ჭებირებისა და გრძელი დებისათვის ნაკადის განშლის პერიმეტრის სიგრძის მახასიათებელი კოეფიციენტი  $U$  პრაქტიკულად შეიძლება გავეტოლოთ ერთს და ამიტომ განსახილველი შემთხვევისათვის (15.4) ფორმულა გადაიწერება ასეთნაირად

$$A = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left[ 6 \left( \frac{V \sin \alpha}{V_1} \right)^{3/4} + \sin \alpha \left( m - 6 \right) \right] + 1. \quad (15.5)$$

ჭებირების ქიმის სიგანეს ნიშნავენ სამუშაოთა წარმოებისა და ექსპლუატაციის პირობების მხედველობაში მიღებით 2,5—6,0 მეტრის (ნახ. 15.12) ფარგლებში. გრძივი მიმართულებით ჭებირის ქიმს ეძლევა გარკვეული დახრილობა, სახელდობრ: საწყის უბანზე, დაახლოებით 20—30 მეტრის მანძილზე, 1:10—1:25, ხოლო მის შემდგომ ქვედა უბანზე კი იგივე დახრილობა, რაც განსახილველი მდინარის ნაკადის თავისუფალ ზედაპირს აქვს. საანგარიშო წყლის დონის მიმართ ნაგებობის ქიმის ნიშნულის აღმატებას ღებულობენ 0,5—1,0 მეტრამდე.

2. ნ ა პ ი რ დ ა მ ც ვ ე ლ (შემოზენვის) ჭებირებს აგებენ კალაპოტური ნაკადის ძირითადი მოქმედების ფარგლებს გარეთ-ნარწყულების უბნებზე, სადაც ჭებირების (ზვინულების) გაყოლებით წყლის დინების სიჩქარეები ძირითადად არარეცხვადია.

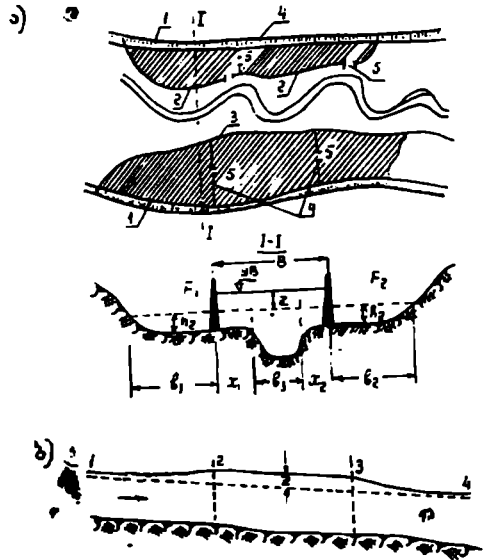
ნაპირამცველა (შემოზენვის) ჭებირები შეიძლება იყოს დაუძირაკი, როდესაც ჭებირის ქიმზე წყლის გადაღინება დაუშვებელია განსახილველი ტერიტორიის დატბორვისაგან დაცვის მიზნით, და დაძირაკი, რომლის დროსაც დატბორვისაგან ტერიტორიის დაცვა გათვალისწინ-

ნებელია ჰიდროლოგიური და სამეურნეო პირობებიდან გამომდინარე, წყლიწადის მხოლოდ ცალკეულ პერიოდებში.

კონსტრუქციულად ნაპირდამცველი ჯებირი წარმოადგენს მცირე სიმაღლის მიწის კაშხალს და მისგან განსხვავდება მხოლოდ იმით, რომ წყლის დაწნევას განიცდის შედარებით ხანმოკლე დროის განმავლობაში და მის წინა-სადაწნეო ფერდოს გასწვრივ უმეტესად ადგილი აქვს წყლის გრძივ დინებას, აღნიშნულის გამო, აუცილებელია ასეთი ჯებირების (ზვიანულების) ძირი მდინარის მხრიდან ინტენსიურად რეცხვად უზნებზე დატული იყოს გამორეცხვისაგან და სადაწნეო ფერდოს გამაგრება გაანგარიშებული იქნეს როგორც ტალღების, ასევე დინებისაგან გამორეცხვულ შემოქმედებაზე.

განიხილავენ ორი სახის შემოზვინვას — ღიას და შეკრულს.

ღია შემოზვინვა მიზანშეწონილია მხოლოდ დიდქანობიან და განიერი კალაპოტის მქონე მდინარეებზე. ამ შემთხვევაში ადვილი ხდება შემოზვინვული ტერიტორიის დაბალი ადგილებიდან ზედაპირული წყლების თავისუფალი გადინება. პირიქით, შეკრული შემოზვინვის დროს ზვიანულებით დატული ტერიტორიის მეტად დადაბლებულ ადგილებში ხშირად ადგილი აქვს ზვიანულის ტანიდან ფილტრაციის სახით გადინებული წყლის ხანგრძლივად დაკავებას, რაც, როგორც სანიტარული, ასევე სამეურნეო თვალსაზრისით დაუშვებელია. აღნიშ-



ნახ. 15.13 — მდინარის შეეწრობული კალაპოტის საანგარიშო სქემები (ბ. ნ. კანდიბას მიხედვით). ა — შემოზვინვის გეგმა და განივი პროფილი; ბ — მდინარის შემოზვინვული კალაპოტის გრძივი პროფილი; 1 — მდინარის კალის საზღვრები; 2 — შეკრული ზვიანული; 3 — ღია (გახსნილი) ზვიანული; 4 — ტრავერსები; 5 — ხვრეტები.

ნულის თავიდან აცილების მიზნით, შეკრული შემოზვინვის ცალკეულ უბ-

ნებზე სწორად ითვალისწინებენ სპეციალური საკეტებით აღჭურვილ ფსევდოლი წყალსაგდები მილების მოწყობას.

ამგვარად, გვეცოდინება რა შემოზღინვის ჯებირების განლაგება გეგმაში. დავადგენთ ახლად შექმნილი კალაპოტის  $B$  სიგანეს და ჰიდრაულიკურად განვსაზღვრავთ იმ  $Z$  სიმაღლეს (ნახ. 15.13, ა, ბ), რომლითაც ხელოვნურად შევიწროებულ კალაპოტში წყლის დონე იწვევს მაღლა, ვიდრე ეს იყო მდინარის ბუნებრივ კალაპოტში (შევიწროებამდე).

ახლად შექმნილი კალაპოტის  $B$  სიგანეს ნიშნავენ ტექნიკურ-ეკონომიური განაგარიშების საფუძველზე სხვადასხვა ვარიანტების ღირებულებათა ურთიერთშედარების გზით. რაც შეეხება შეტბორვის სიმაღლეს, პრაქტიკულად საკმარისი სიზუსტით მის საანგარიშოდ შეიძლება ვისარგებლოთ პროფ. ბ. კანდიგას მეთოდით, რომელიც მიუთითებს, რომ ახალ კალაპოტში გამდინარე წყლის თავისუფალი ზედაპირის  $I$  ქანობი რჩება იგივე, რაც იყო ზვინულების მოწყობამდე მდინარეში და წყალდიდობის პერიოდის შესაბამისი საანგარიშო წყლის ხარჯი ძირითადად გადის ზვინულებს შორის (ნახ. 15.13, ა).

ზვინულების უკან მდებარე ფართობების შესაბამისი წყლის ხარჯი განსახილველ შემთხვევაში, ვთქვათ, ტოლია  $F_1V_1 + F_2V_2$ ; ამავე დროს ავტორი თვლის, რომ ზვინულების მოწყობის შემდეგ წყლის ეს ხარჯი გაივლის  $(x_1 + b_3 + x_2)$  სიგანის შევიწროებულ კალაპოტში  $Z$  სიღრმით (ნახ. 15.13, ა, ბ).

შესაბამისად, 15.13, ა ნახ.-ზე მოცემული საანგარიშო სქემის საფუძველზე ავტორი ღებულობს

$$F_1V_1 + F_2V_2 = 1,25(x_1V_1 + b_3V_3 + x_2V_2)Z, \quad (15.6)$$

საიდანაც

$$Z = 0,8 \frac{F_1V_1 + F_2V_2}{x_1V_1 + b_3V_3 + x_2V_2}. \quad (15.7)$$

ამ გამოსახულებაში წყლის დინების სიჩქარეები (იხ. კრილი 1—15.13, ა ნახ.-ზე) ტოლია:

ა) ნოღა კალაპოტის უბნებზე

$$V_1 = C_1 \sqrt{h_1 I}, \quad \text{და} \quad V_2 = C_2 \sqrt{h_2 I}; \quad (15.8)$$

ბ) ძირითად კალაპოტში

$$V_3 = C_3 \sqrt{h_3 I}, \quad (15.9)$$

რომლებშიც  $h_1$ ,  $h_2$  და  $h_3$  არის წყლის დინების საშუალო სიღრმეები, შესაბამისად ნოლა ( $h_1$  და  $h_2$ ) და ძირითად ( $h_3$ ) კალაპოტებში;

$C_1$ ,  $C_2$  და  $C_3$  — შეზის კოეფიციენტები, რომელთა გამოსათვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ მანინგის ფორმულით

$$C_1 = \frac{1}{n} h_1^{1/6}, \quad C_2 = \frac{1}{n} h_2^{1/6} \quad \text{და} \quad C_3 = \frac{1}{n} h_3^{1/6}, \quad (15.10)$$

სადაც  $n$  არის ხორკლიანობის კოეფიციენტი და მისი რიცხვითი მნიშვნელობა აიღება 15.4 ცხრილიდან.

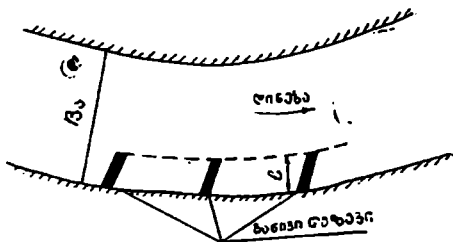
#### § 15.4. განივი მასიური ნაპირსასაპი ნაგებობები

როგორც § 15.1-ში აღნიშნეთ, ამ ტიპის ნაგებობათა ჯგუფს ძირითადად მიეკუთვნება ნახევრად საგუბრები, ფსკერული საგუბრები და ზღურბლები. ქვემოთ განვიხილავთ თითოეულ მათგანს ცალ-ცალკე.

1. ნახევრად საგუბრები, იმის მიხედვით, თუ რა გავლენას ახდენენ მდინარეში წყლის დინების დინამიკური ლერძის ცვალებადობაზე, დაყოფილია მოკლე და გრძელ ჰავლგანმდევნ ნაპირსაცავ ნაგებობებად.

მოკლე ჰავლგანმდევნი ნაგებობები, რომლებიც დეზების სახელწოდებითაა ცნობილი, იწვევს ნაკადის მხოლოდ ადგილობრივ შევიწროებას მდინარეში წყლის დინების დინამიკური ლერძის შეცვლის გარეშე, ხოლო გრძელი ჰავლგანმდევნი ნაგებობები კი, პირიქით, განაპირობებს წყლის

დინების დინამიკური ლერძის გადახრას მოპირდაპირე ნაპირისაკენ და ამით საგრძნობლად ცვლის მდინარის დინების ხასიათს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, დეზებს უწოდებენ ისეთ ჰავლგანმდევნ ნაგებობებს, რომელთა  $L$  სიგრძის შეფარდება აქტიური (მოქმედი) კალაპოტის  $B$  სიგანესთან (ნახ. 15.14)  $\ll 0,33$ .



ნახ. 15.14 — განივი ჰავლგანმდევნი ნაგებობების — დეზების-გაზღავების ზოგადი სქემა.

დეზები გამოიყენება მდინარის შეზნევილი ნაპირის, გრძივ ჯებირის ძირის ან სანაპირო გამაფრებების გამორეცხვისაგან დისაცავად. !

დეზების მუშაობის ეფექტურობა (დეზებს შორის მოთავსებული სივრცის დაღეჭვის თვალსაზრისით) დამოკიდებულია სანაპირო ხაზის მი-

მართ მათ განლაგებაზე გეგმაში. ასე, მაგალითად, თუ ღეზები სანაპირო ხაზის მიმართ მართობულადაა განლაგებული, წყლის ნაკადი უფრო მეტად აწევა მდინარის ნაპირს და თვით ღეზის ტანს, რაც იწვევს ადგილობრივი

ცხრილი 15.4

ბუნებრივი წყალდენების ხორკლიანობის  $\mu$  კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობანი (მ. სრიბნის მონაცემებით)

№ რიგზე	კალაპოტის სახეობა	n
1	ბუნებრივი კალაპოტი მეტად ხელსაყრელ პირობებში (სუფთა, სწორი, დაუნაგვიანებული, მიწის, თავისუფალი დინების მქონე ვაკის ტიპის მუდმივი წყალდენების კალაპოტი (უშთაერესად დიდი და საშუალო მდინარეების) ხელსაყრელ პირობებში მყოფი კალაპოტის მდგომარეობისა და დინების მხრივ. პერიოდული ნაკადები (დიდი და მცირე), როდესაც კალაპოტის ზედაპირი და ფორმა მეტისმეტად კარგ მდგომარეობაშია	0,025
2	ვაკის მუდმივი, ჩვეულებრივ პირობებში მყოფი წყალსადენების შედარებით სუფთა კალაპოტი; კლაკნილი, კვალის რამდენადღე უწესო მიმართულების მქონე, ან სწორის, მაგრამ ფსკერის უსწორო ზედაპირიანი (მეჩენი, ღრმულები, ალაგ-ალაგ ქვები) კალაპოტი. პერიოდულად მოქმედი წყალსადენების მიწის კალაპოტი (მშრალი ხევების) შედარებით ხელსაყრელ პირობებში	0,033
3	დიდი და საშუალო მდინარეების კალაპოტები, მნიშვნელოვნად დანაგვიანებული, კლაკნილი, ნაწილობრივ მცენარეულობით დაფარული, ქვიანი, ჩქარი დინებით. პერიოდულად მოქმედი წყალდენები (ღვარის და გაზაფხულის), რომელთაც წყლის მოვარდნის დროს დიდი რაოდენობის ნაშალი მასალა მიაქვთ, მსხვილკენჭიანი ან მცენარეულობით (ბალახი და სხვა) დაფარული კალაპოტი. დიდი და საშუალო მდინარეების ნოლა კალაპოტები შედარებით გამოუმუშავებული, დაფარული მცენარეულობით (ბალახი, ბუჩქნარი).	0,040
4	პერიოდული წყალდენების კალაპოტები, ძლიერ დანაგვიანებული და კლაკნილი, საშუალოდ დაფარული მცენარეულობით, არასწორი, ცუდად გამოუმუშავებული ნოლა კალაპოტით ღრმულები, ბუჩქნარები და ხეები. მთის ტიპის მდინარის კენჭიან-კაპარიანი კალაპოტი წყლის სარკის უსწორო ზედაპირით, ვაკის მდინარეების კომპლექსური უბნები.	0,050
5	მდინარეები და ნოლა კალაპოტები ძლიერ დაფარული მცენარეულობით (სუსტი დინებით), დიდი ღრმულებით. კაპარიანი მთის ტიპის კალაპოტი მშფრთხილ აქაფებული დინებით, წყლის დაღარული ზედაპირით.	0,067
6	კვაბის ტიპის მდინარეები (რიყე, კოლობები, მრავალ ადგილას თითქმის მდგარი წყალი, ნოლა მეტად დიდი მკვდარი სივრცეებით, ჩაღრმავებული ადგილებით, ტბებით და სხვა).	0,080
7	სელური (ღვარცოფული) ტიპის ნაკადები, ტალახისაგან და ქვიბისაგან შემდგარი. ყრუ კალაპოტი, მთლიანი ტყიანი, ტივის ტიპის	0,133
8		0,200



გარეცხვის შედეგებით დიდი სიღრმეების წარმოქმნას; როდესაც დეზები შიშართულია დინების საწინააღმდეგოდ რაღაც გარკვეული კუთხით, დეზებს შორის მოთავსებული სივრცის დალექვა უფრო ჩქარა მიმდინარეობს, ვიდრე მაშინ, როდესაც დეზები განლაგებულია წყლის დინების მიმართულეებით; აღნიშნულს ისიც უნდა დაემატოს, რომ დინების მიმართულეებით დეზების განლაგების შემთხვევაში წყლის დინების დინამიკური ღერძი შორდება რა დეზების თავებს, მათ ძირში ადგილობრივი გარეცხვები შედარებით მცირეა, ვიდრე დინების საწინააღმდეგოდ მიმართული დეზების თავებთან. ამ თვალსაზრისიდან გამომდინარე, დაუტბორავ დეზებს დინების მიმართულეებით აშენებენ 65—75°-ის დახრილობით, ხოლო დეზებს შორის მანძილს ნიშნავენ იმ მოსაზრებით, რომ შეტბორვა ზედა ბიეფში ვრცელდება დეზობდეს ზემომდებარე დეზის თავამდე.

მდინარის სწორხაზოვან უბანზე განლაგებულ დეზებს შორის მანძილი (ნახ. 15.15. ა) შეიძლება განისაზღვროს განტოლებიდან

$$L = l_2' \cos \alpha + \sin \alpha \text{ctg} \beta, \quad (15.11)$$

სადაც  $l_2'$  არის დეზის სამუშაო სიგრძე, რომელიც დაახლოებით ტოლია 0.7  $l_2$ ;

$l$  — დეზის საერთო სიგრძე;

$\alpha$  — დეზის დახრილობის კუთხე, რომელსაც ქმნის ნაგებობის მიმართულეების ღერძი ნაკადის დინამიკურ ღერძთან (განსახილველ შემთხვევაში ნაკადის დინამიკური ღერძი ნაპირის ხაზის პარალელურია);

$\beta$  — ნაკადის განღვრის კუთხე.

ს. ალტუნინი და ი. ბუზუნოვი, სთვლიან რა  $\beta \approx 9^\circ$  და  $\text{ctg} \beta = \frac{1}{6}$ ,

რეკომენდაციას იძლევიან მდინარის სწორხაზოვან უბანზე განლაგებულ დეზებს შორის მანძილი განსაზღვრულ იქნეს განტოლებით

$$L \approx 6l_2 \sin \alpha, \quad (15.12)$$

რომელიც იმ შემთხვევისათვის, როდესაც  $\alpha > 75^\circ$ -ზე, გადაიწერება შემდეგნაირად

$$L \approx 6l_2. \quad (15.13)$$

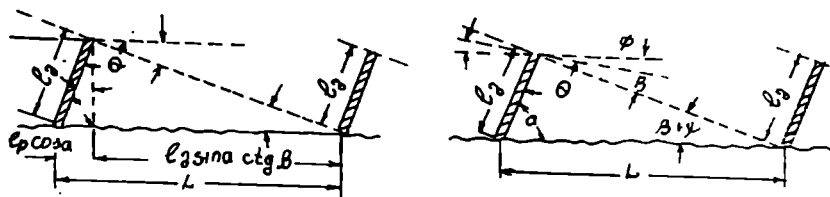
ვ. ცანავა ჩატარებული ცდების საფუძველზე დებულობს  $\beta = 18^\circ$  ( $\text{ctg} \beta = 3$ ) და ამიტომ მიუთითებს დეზებს შორის მანძილი განისაზღვროს ფორმულით

$$L = l_2 (\cos \alpha + 3 \sin \alpha). \quad (15.14)$$

(15.12) და (15.14) განტოლებების ნაკლად უნდა ჩაითვალოს ის, რომ მათი ავტორები  $\alpha$  და  $\beta$  კუთხეების მნიშვნელობებს მუდმივ სიდიდეებში რეგულირებენ. დასახელებული ავტორებისაგან განსხვავებით, სომხეთის პიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მეცნიერ-თანამშრომლები რ. ხაჩატურიანი, გ. ამბარცუმიანი და რ. მარტიკიანი მიზანშეწონილად სთვლიან  $\alpha$  კუთხე განისაზღვროს იმ პირობიდან, რომ წინასწარ დანიშნული  $l_0$  სიგრძისა და  $\beta$  კუთხისათვის მდინარის სწორხაზოვან უბანზე განლაგებულ დეზებს შორის მაქსიმალური მანძილი (როდესაც ნაკადის დინამიკური ღერძი პარალელურია მდინარის სწორხაზოვანი ნაპირის)

$$L = l_0 \operatorname{cosec} \beta. \quad (15.15)$$

ანალოგიურად, თუ ნაკადის დინამიკური ღერძი სწორხაზოვანი ნაპირის პარალელური. არაა და მასთან ქმნის რაღაც  $\psi$  კუთხეს (ნახ. 15.15, ბ),



ნახ. 15.15 — მდინარის სწორხაზოვან უბანზე განლაგებულ დეზებს შორის მანძილის განსაზღვრის საანგარიშო სქემები: ა—როდესაც ნაკადის დინამიკური ღერძი ნაპირის პარალელურია; ბ—როდესაც ნაკადის დინამიკური ღერძი ნაპირის პარალელური არაა.

მაშინ რეკომენდებულია დეზებს შორის მანძილი განისაზღვროს ფორმულით:

$$L = l_0 \operatorname{cosec}(\beta + \psi). \quad (15.16)$$

ყველა შემთხვევაში დეზის საერთო სიგრძე

$$l = l_0 + l_0, \quad (15.17)$$

სადაც  $l_0$  არის დეზის ძირის ბოლო ნაწილის სიგრძე.

დეზის სამუშაო სიგრძის გამოსათვლელად ს. ალტუნინი იძლევა გამოსახულებას

$$l_0 = 6H_0 \left[ \sqrt{\left( \frac{V \sin \alpha}{V_1} \right)^2 - \sin^2 \alpha} \right], \quad (15.18)$$

სადაც  $H_0$  არის წყლის ნაკადის საშუალო სიღრმე დეზის მისაკლესთან  $V$  და  $V'$  — ნაპირის შემადგენელი გრუნტის ნაწილაკების ზღვრული გადაადგილებადი სიჩქარეები;  $\alpha$  — კუთხე, რომელსაც წყლის ნაკადის დინება ქმნის დეზთან. გადაადგილების საწყის  $V$  სიჩქარედ მიღებულია ის სიჩქარე, რომელიც წყლის ნაკადის 1 მ სიღრმისას, აკმაყოფილებს კალაპოტის ფორმირების პირობებს ფსკერული ნატანის ფრაქციების საშუალო დიამეტრის გადაადგილებისას:  $V'$  კი ის სიჩქარეა, რომელიც განაპირობებს მდინარის ნაპირის შემადგენელი გრუნტის უმცირესი ფრაქციების გადაადგილებას. პრაქტიკულად მიღებულია, რომ  $V = 2V'$  და ამიტომ, იმ შემთხვევისათვის როდესაც  $\alpha = 90^\circ$ , (15.18) ფორმულა გადაიწერება ასეთნაირად

$$l_2 = 4H_0, \quad (15.19)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ დეზის სამუშაო სიგრძე უნდა იყოს არაუმცირეს წყლის ნაკადის ოთხმაგი საშუალო სიღრმის. მდინარის შეზღუდული უბნებისათვის (ნახ. 15.16, ა) დეზების სიგრძე აიღება შემდეგ ფარგლებში:

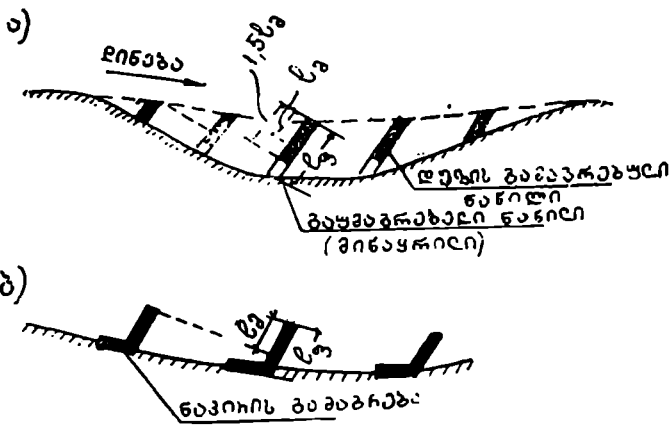
ა) შუალედი დეზის საერთო სიგრძე  $l \geq 1,5l_2$ ;

ბ) პირველი დეზის სიგრძეს, რომელსაც უშუალოდ შებლში სცემს ნაკადი, ლებულობენ რამდენიმე მცირე ზომისას  $l_1 = 0,7l_2$ ;

გ) უკანასკნელი დეზიც ასევე მოკლე და ტოლი უნდა იყოს პირველი დეზის სიგრძის: ამ მოთხოვნის გათვალისწინება საჭიროა უკანასკნელი დეზის ქვემოთ წყლის დონეთა სხვაობის შესამცირებლად, თავთან გამორეცხვის ინტენსიურობის შესასუსტებლად და ნაპირთან დეზის მდოვრედ შეუღლებისათვის.

კონსტრუქციულად დეზის ბოლო ნაწილი, როგორც წესი, უნდა ჩამაგრდეს მდინარის ნაპირში. აღნიშნულიდან გამომდინარე, თუ დეზის ფაქტიური (ნახ. 15.16, ა) სიგრძე  $l_0 > 1,5l_2$ , მაშინ მდინარის ნაპირზე მიბჯენილი დეზის ნაწილი ( $l_0 - 1,5l_2$ ) განიხილება როგორც არამოქმედი და ამიტომ ნაპირთან მისი შეუღლება შეიძლება განვახორციელოთ ძირის ჩამაგრების გარეშე. პირიქით, თუ დეზის ფაქტიური სიგრძე  $l_0 \leq 1,5l_2$ , მაშინ აუცილებელია დეზის ძირი საფუძვლიანად ჩამაგრდეს ნაპირში და დეზის დაწნევიანი ფერდოს მოპირკეთება (გამაგრება) მოხდეს უშუალოდ მდინარის ნაპირამდე ან ის გავავრცელოთ ნაპირის ნაწილზეც — დაახლოებით დეზებს შორის მანძილის 0,25 მონაკვეთზე (ნახ. 15.16, ბ).

როდესაც დეზების აშენების უბანში მდინარის ნაპირი დაბალია და წყალდიდობის პერიოდში წყლით იფარება, დეზების ხაზის გაყოლებით აუცილებელია მოეწყოს შემომზვინავე ჯებირი. ამ შემთხვევაში ჯებირის ტრა-



ნახ. 15.16 — მდინარის შეზნევილ უბანზე განლაგებული დეზების სიგრძეების საანგარიშო სქემები.

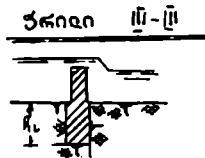
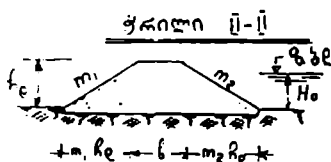
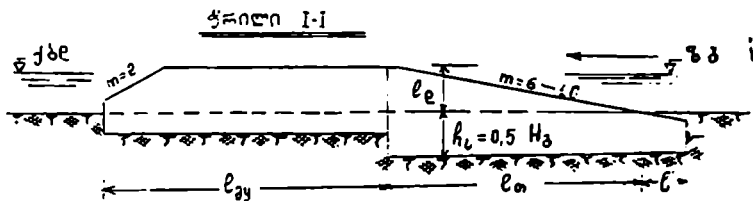
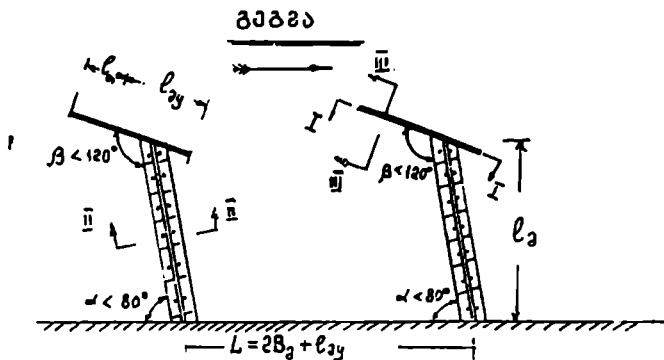
სა უნდა დანიშნოს იმ მრუდის პარალელურად, რომელზეც განლაგებულია დეზების თავები, ხოლო მისი დაწნევიანი ფერდო დეზის მიბჯენის უბანში უნდა გამაგრდეს დეზებს შორის მანძილის 0,25 სიგრძეზე.

ომის შემდგომი წლებიდან მოყოლებული საქართველოს მელიორაციისა და წყალთა მეურნეობის სამინისტროს ხაზით მდინარეთა ნაპირების გამორეცხვისაგან დასაცავად ფართო მასშტაბით შენდება ეგრეთ წოდებული ჩაყვინთულთავიანი დეზები (ავტორი პროფ. გ. რურუა).

ჩაყვინთულთავიანი დეზები, რომელთა გეგმაში განლაგება ხდება მდინარის ძირითადი დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით, რეკომენდებულია მდინარეთა ნაპირების დასაცავად მთისა და მთისწინა უბნებზე, სადაც კალაპოტი შედარებით ფართოა და წყლის ნაკადი მოხეტიალეა.

გეგმაში მყვინთავთავიანი დეზი წარმოადგენს (ნახ. 15.17) ტეხილი მოხაზულობის ნაგებობას. დეზი იდგმება ნაკადის საწინააღმდეგო მიმართულებით, რათა მის წინ და ნაპირთან (ზედა ბიეფში) შეიქმნას წყნარი მორევი—დამდგარი წყალი. დეზის დასასრულს, მდინარეში დამრეცი კედლის ნაცვლად ეწყობა მყვინთავი თავი ნაკადის ხრახნისებური დინების დარღვევისა და შესაბამისად ნაგებობის საძირკვლის გამორეცხვის ინტენსიურობის შემცირების მიზნით. ამ კონსტრუქციის დეზებს გააჩნიათ ყველა ის დადებითი თვისება, რაც ახასიათებს ყრუ დეზებს და დამატებით თავისი დადებითი მხარეებიც აქვს, როგორც მაგალითად:

ა) დეზის დაყენება ნაპირთან ნაკადის საწინააღმდეგო მიმართულებით არაუმეტეს  $80^\circ$  კუთხით ქმნის წყლის წყნარ მორევს დეზის ზედა მხარეს, ხელს უწყობს ტივტივა ნატანის ინტენსიურ დალექვას და ადგილი არა

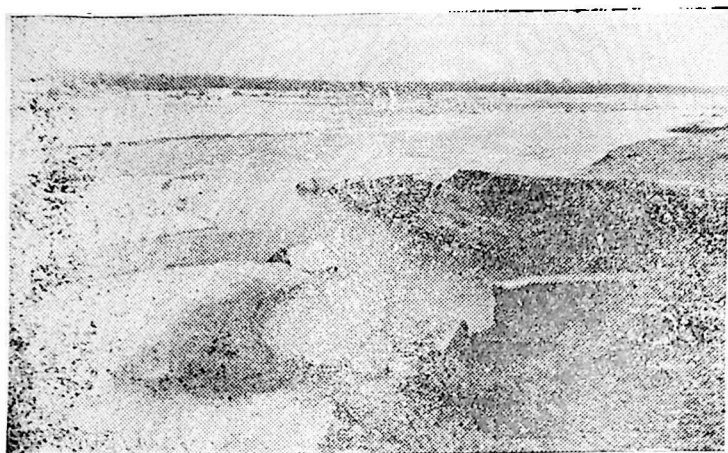


ნახ. 15.17 — დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით განლაგებული დეზი მყვინთავი თავით (ავტორი პროფ. გ. რურუა).

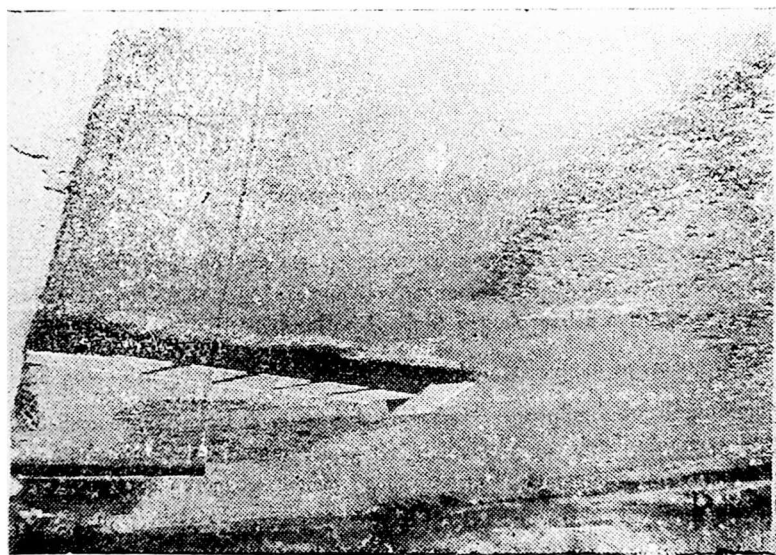
აქვს ნაკადის აქტიურ მოქმედებას ნაპირზე და დეზზე. აღნიშნული საშუალებას გვაძლევს არ გავამაგროთ დეზის ზედა აქტიური მხარე და ვაშენოთ იგი ადგილობრივი მასალისაგან (მიწა, ზრეში, ქვიშა);

ბ) მყვინთავი თავი, რომლის დახრილობა პორიზონტთან  $\frac{1}{6}$ -ზე ნაკლები უნდა იყოს და რომელიც მდინარის ძირითად მიმართულებასთან  $30^\circ$ -ზე ნაკლებ კუთხეს ქმნის არ გადახრის (არ გადააფეხს) მოპირდაპირე ნაპირისაკენ მდინარის ძირითად ნაკადს. ამავე დროს ფსკერზე მოძრავი ნატანი, რომელიც დეზით გადახურულ ზონაშია, მიემართება დასაცავი ნაპირისაკენ, სადაც ხდება მათი დაღეპვა; ამგვარად ფსკერული ნატანით სათანადოდ იღეპება დეზის როგორც წინა, ისე უკანა მხარე;

გ) ამ კონსტრუქციის დეზებს ზშირ შემთხვევაში წარმატებით შეუქალია შეცვალოს ჩვეულებრივი გრძელი ყრუ დეზები, რომელთა ასაშენებ-



ნ.ბ. 15.18 — დაყვინთული ღეზებით გამაგრება შდ. ცხენისწყალზე (სოფ. კეზათთან).



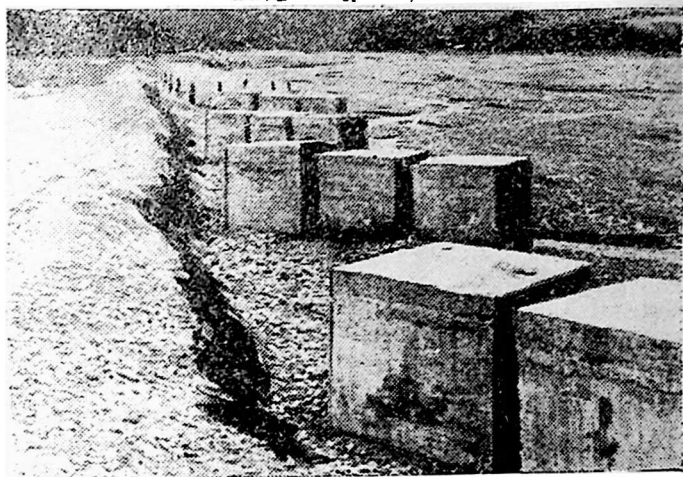
ნ.ბ. 15.19 — ბეტონის კუბიკებისაგან განხორციელებული ღეზებით გამაგრება შდ. არაგვზე (სოფ. ბულაჩაურთან).

ლად აუცილებელია დეფიციტური საშენი მასალების (ბეტონი, რკინა-ბეტონი, ქვაყრილი და სხვა) გამოყენება.

ჩაყვინთულთავიანი დეზის გაბარიტები, ძირითადად, დამოკიდებულია ადგილობრივ პირობებზე და აიღება შემდეგ ფარგლებში (ნახ. 15.17):

ა) დეზებს შორის მანძილი

$$l = 2B_a \div l_{a_1} \quad (15.20)$$



ნახ. 5.20 — მოკლე დეზებით (ბეტონის კუბიკებუსაგან) გამაგრება მდ. ალაზანზე. დაბა ახმეტასთან.

სადაც  $B_a$  არის მდინარის კალაპოტის აქტიური (მოქმედი) სიგანე,  $l_{a_1}$  — მყვინთავი თავის ყრუ ნაწილის სიგრძე, რომელიც გამოითვლება გამოსახულებით

$$l_{a_1} = b \div (m_1 \div m_2 + 2,5 h_2) \quad (15.21)$$

$b$  — დეზის ზედა სიგანე;  $m_1$  და  $m_2$  — დეზის ფერდობების დახრილობის კოეფიციენტები;  $h_2$  — დეზის სრული სიმაღლე, რომელიც შედგება ნაკადის არსებული სიღრმისა ( $H_0$ ) და მარაგისაგან;

ბ) მყვინთავი თავის სიგრძე

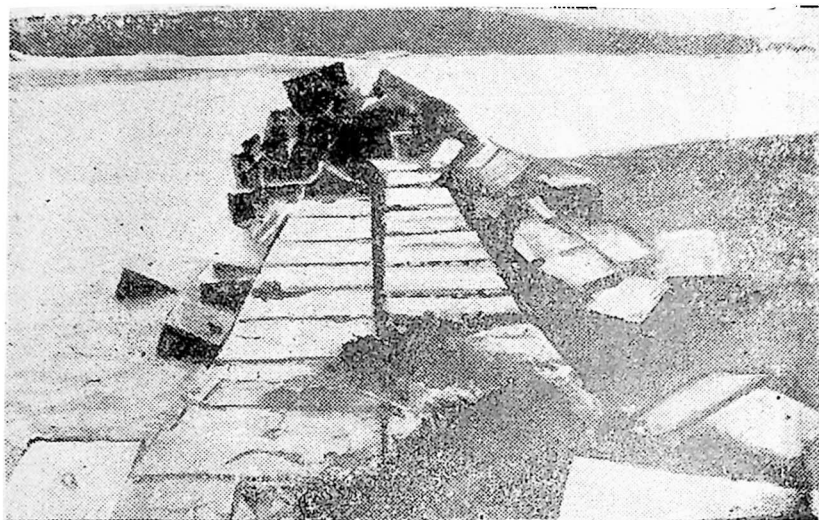
$$l_2 = (6 \div 10) h_2 + l^1 \quad (15.22)$$

სადაც  $l^1$  არის მარაგის გამომსახველი სიღრმე და აიღება 1—2 მეტრის ფარგლებში;

გ) საძირკვლის ჩაღრმავების სიღრმე

$$h_s = 0,5 H_a,$$

(15.23)



ნახ. 15.21 — დეზებით გამაგრება მდ. კოროხზე (სოფ. ხელაჩაურთან).

სადაც  $H_a$  არის ადგილობრივი გარეცხვის ორმოს მაქსიმალური სიღრმე. შეუეულკედლიან ყრუ დეზთან, რომლის სიგრძეა  $L_a$ ;

ღ) დეზის ის მუშა სიგრძე  $L_a$ , რომლის დროსაც მდინარის ნაპირის გამორეცხვას ადგილი არ ექნება, განისაზღვრება გამოსახულებით:

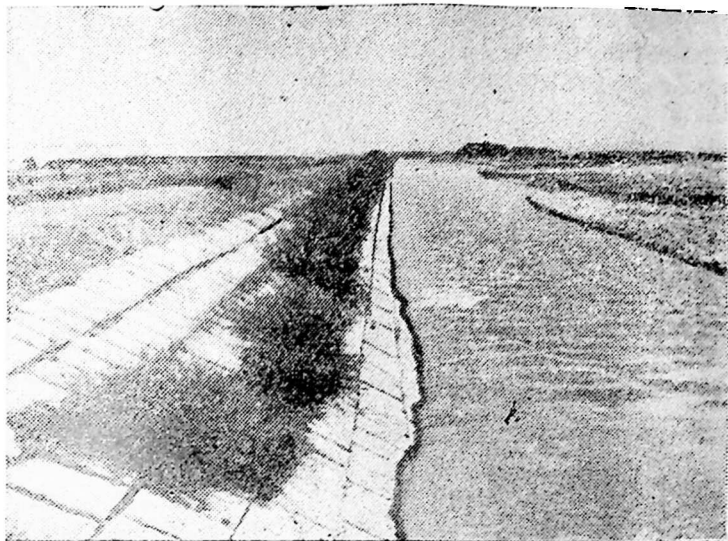
$$L_a = 0,0074 \left( 133V - 48 \right) B_a^{0,22} \sqrt{\frac{L}{d}}, \text{ მეტრობით,} \quad (15.24)$$

სადაც  $V$  არის წყლის დინების საშუალო სიჩქარე, მ/წმ-ობით,  $d$  — კალაპოტის შემცველი გრუნტის ფრაქციების საშუალო დიამეტრი, მ-ობით.

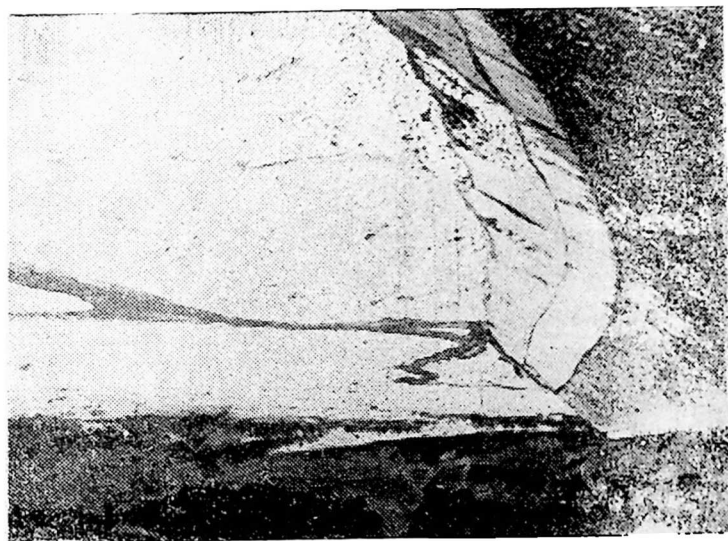
აღნიშნული კონსტრუქციის დეზები ომის შემდგომ წლებში მრავლად აშენდა საქართველოს მდინარეებზე, სახელდობრ: მდ. ალაზანზე, კაბალზე, ცხენისწყალზე, მტკვარზე, იორზე, კოროხზე, ჩელთაზე, დებედაზე, კოდორზე და სხვაგან.

15. 18 ÷ 15.23 ნახ.-ზე ნაჩვენებია (ფოტოების სახით) საქართველოს სხვადასხვა მდინარეზე აშენებული ნაპირდამცველი დეზების ზოგიერთი კონსტრუქცია.





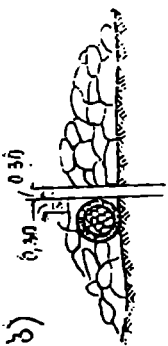
ნახ. 15.22 — მდ. მტკვრის ნაპირის გამორეცხვისაგან დაცვა ბეტონის მასიური ფილებით (სოფ. გომთან).



ნახ. 15.23 — ბეტონის ფილებით გამაგრება მდ. თურლოს ხეობა (გომბორის ზედა უბანზე).

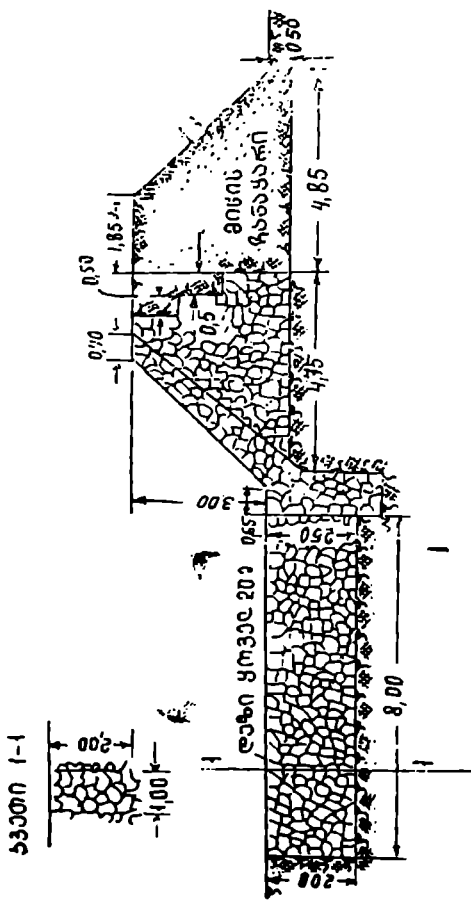


ა)



ბ)

ნახ. 15.24—ფინკონური (ა) და ფინკონური-ქვიცილის (ბ) კონსტრუქციის ფსკერული ნახევრად სვეტბრებისა და ზღუდლების მოწყობის ზოგადი სქემები.



საბოლოო 1-1

ნახ. 15.25 — გრძივი ჭიბრის ფუძესთან მშრალად ფსკერული ზღუდლის ტიპური სქემა ქვის წიობისაგან აშენებულში

2. ფსკერული ნახევრად საგუბრები და ფსკერული ზღურბლები. ამ ტიპის ნაგებობათა მოწყობის ძირითად მიზანს შეადგენს მდინარის კალაპოტისა და თვით ნაპირსამაგრი ნაგებობის ძირის დაცვა გამორეცხვისაგან ნაკადის ადგილობრივი ქანობების შემცირების გზით. მათი სიმაღლე უმეტესად უმნიშვნელოა (წყლის ნაკადის სიღრმეზე ნაკლები) და ინიშნება მდინარის კალაპოტის ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით და პროექტით დასახულ მოთხოვნათა შესაბამისად.

ფსკერული ზღურბლი მდინარის კალაპოტს ღობავს მთელ სიგანეზე. ნახევრად საგუბარი კი — მის ნაწილს. მათი კონსტრუქციები ფაქტიურად ანალოგიურია ზემოთ განხილულ ჩვეულებრივი ნახევრად საგუბრების—დეზების, მაგრამ შესრულების თვალსაზრისით მათგან განირჩევა სიმარტივით.

თავის მხრივ ფსკერულ ნახევრად საგუბრებს და ზღურბლებს განასხვავებენ მასალის, წყლის დინების სიჩქარის და სამუშაოთა წარმოების ხასიათის მიხედვით. ასე, მაგალითად, მთის მდინარეებზე ფსკერული ნახევრად საგუბრები და ფსკერული ზღურბლები შეიძლება მოეწყოს ფიჩხკონური, ფიჩხკონურ-ქვყარილის (ნახ. 15.24) სახით უშუალოდ მდინარის კალაპოტის ძირზე ან კიდევ საძირკელის (ნახ. 15.25), შშრალად (იშვითად ცემენტის ხსნარზე) ქვის წყობის კედლების სახით. აუცილებლობის შემთხვევაში ამ ტიპის სარეგულაციო ნაგებობებს აშენებენ აგრეთვე თვით გამდინარე წყალში, სახელდობრ მთის მდინარეებზე ნაყარი ქვის ან შშიშე კონსტრუქციის ფიჩხკონის სახით, ხოლო ბარის მდინარეებზე კი ზოგჯერ, ფიჩხკონური ლეიბებისაგან.

სახელმძღვანელოში ხმარებულ ფიზიკურ ერთეულ სიდიდეთა ძველი სისტემიდან ახალ საერთაშორისო სისტემაზე გადაყვანი ცხრილი

სიდიდეთა დასახელება	ძველი სისტემა		ახალი სისტემა (СИ)		გადაყვანი ფარდობა.
	ერთეული განზომილება	სიმნიშვნელობა	ერთეული განზომილება	სიმნიშვნელობა	
ძალა, დატვირთვა, წონა	კილოგრამი-ძალა	კგძ	ნიუტონი	ნ	$1 \text{კგძ} = 9,815 \approx 10^6$
	ტონა—ძალა	ტძ			$1 \text{ტძ} = 9,81 \cdot 10^5 \approx 10^6$
	გრამი—ძალა	გძ			$1 \text{გძ} = 9,81 \cdot 10^{-36} \approx 10^{-36}$
წნევა, მექანიკური ძაბვა, დრეკადობის და დეფორმაციის მოდული	კილოგრამი — ძალა კვადრატულ სანტიმეტრზე	კგძ/სმ <sup>2</sup>	პასკალი	პა	$1 \text{კგძ/სმ}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \approx 10^5$ პა
მუშაობა, ენერგია, სითბოს რაოდენობა, ძალის მოშენტი	კილოგრამი — ძალა მეტრი	კგძ.მ	ჯოული	ჯ	$1 \text{კგძ.მ} = 9,81 \cdot 10^7 \approx 10^8$
სიმძლავრე	კილოგრამი — ძალა მეტრი წამში	კგძმ/წმ	ვატი	ვტ	$1 \text{კგძ.მ/წმ} = 9,81 \text{ვტ} \approx 10 \text{ვტ}$
დინამიკური სიბლანტი	გრამი—ძალა—წიმი კვადრატულ სანტიმეტრზე	გრძ.წმ/სმ <sup>2</sup>	პუაზი	პა	$\frac{1 \text{გრძ.წმ}}{\text{სმ}^2} \approx 1003$
კინემატიკური სიბლანტი	კვადრატული სანტიმეტრი წამში	სმ <sup>2</sup> /წმ	სტოკსი	სტ	$\frac{\text{სმ}^2}{\text{წმ}} = 10^{-4} \text{სტ/წმ} = 10^{-4} \text{სტ}$

1. Агроскич И. И. и др. — Гидравлика, Энергоиздат, М., 1950.
2. Алтупец С. Т. — Выправительные, защитные и регулировочные сооружения на реках, Сельхозгиз, М., 1947.
3. Аравки В. И. и Нумеров С. Н. — Фильтрационные, расчеты гидротехнических сооружений. М., 1948.
4. Беляшевский Н. Н. — Улучшенные типы водосливных плотин из каменной наброски. Киев, 1953.
5. Близняк Е. В. — Водные исследования. Речиздат, М., 1952.
6. Близняк Е. В., Гришкин М. М. и др. — Гидротехнические сооружения, т. 1, Госстройиздат, 1938.
7. Волков И. М. и др. — Гидротехнические сооружения, «Колос», М, 1968.
8. Выго М. С. — О длине рысбермы при отсутствии гасителей энергии. «Гидротехническое строительство», № 2, 1947.
9. Гвоздев В. С. — Пути улучшения конструкции пиконапорных плотин. Москва, 1952.
10. Гришкин М. М. — Гидротехнические сооружения. ч. I и II. Госнацгидроиздательство по строительству и архитектуры, 1954 и 1955.
11. Даниелия Н. Ф. — Водозаборные сооружения на реках с обильными дождями наносами. Изд-во «Колос», М., 1964.
12. Губин Ф. Ф. — Гидроэлектрические станции. Энергоиздат, 1949.
13. Джунковский Н. Н., Березинский А. Р. — Внутренние водные пути, Стройиздат, 1948.
14. Джунковский Н. Н. — Основы морского строительства, Машинно-строительное издательство, 1950.
15. Ефремов В. Н. — Производство бетонных и железобетонных работ при строительстве гидростанции, Госэнергоиздат, 1949.
16. Замарин Е. А., Фандеев В. В. — Гидротехнические сооружения, Сельхозгиз, М., 1954.
17. Замарин Е. А. — Расчет перепадов, «Гидротехника и мелiorация», № 12 — 1952 и № 3 — 1953.
18. Замарин Е. А. — Проектирование гидротехнических сооружений. Сельхозгиз, М., 1954.
19. Замарин Е. А., Попов К. В. и др. — Курс гидротехнических сооружений. У. 1. Сельхозгиз, 1940, и ч. II Сельхозгиз, 1948.
20. Замарин Е. А. — Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах, М., — Л., 1951.
21. Замесский И. И. — Организация и механизация гидромелиоративных работ, Сельхозгиз, 1952.
22. Калпкович Б. Ю. — Основы теории гидротехнических сооружений. Л., — М., 1950.
23. Калпкович Б. Ю. — Шлюзование водных путей, 2-ое изд., М. — Л., 1948.

24. Козлов В. С. — Гидротехнический расчет флотбетов. М.—Л., 1941.
25. Комаровский А. П. — Действие ледного покрова на сооружения и борьба с ним. М.—Л., ч. I—1932, ч. II—1933.
26. Лавринович Л. П. — Типы низконапорных деревянных плотил, 1950.
27. Латышенков А. М. — Деревянные ряжковые плотины средних и высоких напоров. М.—Л., 1945.
28. Левин И. И. — Водопрёмники гидроэлектрических установок. Госэнергоиздат. Л.—М., 1950.
29. Лифлянов И. А. — Организация чаши водохранилища. М., 1946.
30. Лохтип В. М. — Вопросы гидротехники свободных рек. Изд-во Министрства речного флота СССР, М., 1948.
31. Ляхницкий В. Е. — Морские порты. Речиздат, 1948.
32. Михайлов К. А. — Проектирование ирригационных сооружений. Закишга, Тбилиси, 1932.
33. Можевитилов А. Л. — Водосбросы и водоспуски ГЭС. Госэнергоиздат. М.—Л., 1953.
34. Офицеров А. С. — Профиль водосливных плотин. (Под редакцией: А. П. Ахутца), М.—Л., 1935.
35. Павловский И. И. — О фильтрации воды через земляные плотины, Л., 1931.
36. Попов К. В. — Гидротехнические сооружения. Сельхозгиз, 1950.
37. Розанов И. П. — Вакуумные водосливные плотины. М.—Л., 1940.
38. Розанов И. П. — Коцтрфорсовые плотины, М., 1949.
39. Сабуров П. Д. — Подготовительные работы и производственные предприятия при строительстве гидроэлектростанции. Госэнергоиздат, 1950.
40. Сафиров И. П. — Набросные плотины. М., 1936.
41. Скрыльников В. П. — Плотины гравитационные. М.—Л., 1933.
42. Шапков П. (А. —) Расчет фильтрации в земляных плотинах. 1947;
43. ჯ. ზ. ზენგელია — ჰიდროელექტრული სადგურები, გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1967.
44. Черорас В. И. — Рыбоводство в естественных водоёмах. Пищепромиздат, 1950.
45. Чиквашвили Б. М. — Гидравлические расчеты напорных водосбросов высоких плотил, «Эвергия», М., 1972.
46. Чиквашвили Б. М. — Шахтный перепад. Известия ВНИИГ, Т., 77, 1965.

47. Ч и к в а ш в и л и Б. М. — Шахтный перепад; Бюллетень изобретений, № 23, 1961.

48. Ч и к в а ш в и л и Б. М. — Новые типы водосбросных сооружений. Ап-  
потации законченных в 1967 году научно-исследовательских работ по гидротех-  
нике. Ленинградское отделение. Издательство «Энергия», 1968.

49. ბ. შ. ჩ ი კ ვ ა შ ვ ი ლ ი — ჰიდროლოგია, ჰიდრომეტრია, ჩამონადენის რეგულირე-  
ბა. გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1976 წ.

50. ნ. ს. ქო ბ ე ლ ი ა — მდინარის ნაკადის მოძრაობისა და კალაპოტის რეგულირე-  
ბის საკითხები. საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამომცემლობა,  
თბილისი, 1962.

51. მოქმედი ცნობარები, სამშენებლო ნორმები და ტექნიკური პირობები, სხვადასხვა  
პერიოდული გამოცემები (ჯერნალები, კონფერენციის მასალები და ა. შ.)

52. ნ. ს. შო ლ ო ნ ე ლ ი ძ ე — ჰიდროტექნიკური ნაგებობები. ნაწილი I, გამომცემლობა  
„განათლება“, 1977.

ს ა რ ჩ ი ვ ი

ა ვ ტ ო რ ი ს ა ბ ა ნ		3
პ ი რ ვ ი ლ ი ტ ა ვ ი. ჰიდროტექნიკის, როგორც მეცნიერების განვითარების		
	მოკლე ისტორიული მიმოხილვა	5
§ 1.1 ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საგანი		5
§ 1.2 ჰიდროტექნიკის განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა		6
მ ე ო რ ე ტ ა ვ ი. ზოგადი ცნებები ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა შესახებ		10
§ 2.1 ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეები, მათი დანიშნულება და კლასიფიკაცია		10
§ 2.2 ჰიდროკანძები და ჰიდროსისტემები		15
§ 2.3 ზოგადი მოსაზრებანი წყალშემტბორაე ნაგებობებზე (კაშხალებზე) და მათი კლასიფიკაცია		23
§ 2.4 ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე მოქმედი ძალები და დატვირთვები		27
§ 2.5 კაშხალიანი წყალსაცავების (ზედა ბიეფების) დაპროექტების ძირითადი საკითხები		37
§ 2.6 ცალკეული წყალსამურნეო ობიექტების დაპროექტებისა და სამუშაო-ვეულებითი სამუშაოების ჩატარების სტადიები და სახეები		42
§ 2.7 ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჰიდრაულიური (ლაბორატორიული) მოდელირების ძირითადი საფუძვლები		44
მ ე ს ა მ ი ტ ა ვ ი. წყლის ფილტრაცია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშე და მათი გარემოვლით		50
§ 3.1 ფილტრაციის ცნება და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფილტრაციული გაანგარიშების ამოცანები		50
§ 3.2 ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მიწისქვეშა კონტურის ფილტრაციული გაანგარიშება ჰიდროდინამიკის მეთოდებით		56
§ 3.3 ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მიწისქვეშა კონტურის ფილტრაციული გაანგარიშება ჰიდრაულიური (ფრაგმენტების) მეთოდით		65
§ 3.4 ფილტრებზე მოქმედი ფილტრაციული წნევის მიახლოებითი გაანგარიშება		67
§ 3.5 ფილტრების ძირითადი ელემენტები და ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობანი		71
§ 3.6 უდაწნეო, გარემოვლითი, ფილტრაციის გაანგარიშების მეთოდი მდინარის საპირთან ჰიდროტექნიკური ნაგებობის შეუღლების უბანში (ე. ნედრივას მეთოდი)		74
§ 3.7 გარემოვლითი ფილტრაციის გაანგარიშება მიწის ჭებირში, როდესაც მასთან შემაუღლებელი კედლებით მიერთებულია ბეტონის კაშხალი (ე. ნედრივას მეთოდი)		79
მ ე ო ტ ხ ე ტ ა ვ ი. მიწის კაშხალები		81
§ 4.1 ზოგადი მოსაზრებანი მიწის კაშხალებზე		81
§ 4.2 ნაყარი მიწის კაშხალების დაპროექტებისა და მშენებლობის ძირითადი საკითხები		85
§ 4.3 მონალექი და ნახევრად მონალექი მიწის კაშხალები		97
§ 4.4 წყალგამტარ ფუძეზე მიწის კაშხალების ფილტრაციული გაანგარიშება ანგარიში		90
§ 4.5 წყალგამტარ ფუძეზე აგებული მიწის კაშხალების ფილტრაციული გაანგარიშება		99
§ 4.6 მიწის კაშხალების ფერდობის შემოწმება მდგრადობაზე		118
მ ე ხ ე ტ ი ტ ა ვ ი. მახიური (გრავეიტაციული) კაშხალები კლდოვან ფუძეზე		127
§ 5.1 ზოგადი მონაცემები		127
§ 5.2 კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავეიტაციული კაშხალების შემადგენელი ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტები		129
§ 5.3 კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავეიტაციული კაშხალების გაანგარიშება მდგრადობაზე		135



§ 5.4	კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავიტაციული კაშხლის ეკონომიური პროფილის შერჩევა	138
§ 5.5	კლდოვან ფუძეზე აშენებული გრავიტაციული წყალსამუიანი ტიპის კაშხლის პროფილის მოხაზულობის შერჩევის ზოგიერთი თავისებურებანი	143
<b>მ ე ა ქ ვ ს მ თ ა ვ ი. წყალსაგდები ტიპის ბეტონის გრავიტაციული კაშხლები არაკლდოვან ფუძეზე</b>		
§ 6.1	ზოგადი ცნობები	147
§ 6.2	არაკლდოვან ფუძეზე აშენებული ბეტონის გრავიტაციული კაშხლის მიწისქვეშა კონტურის შერჩევა	148
§ 6.3	არაკლდოვან ფუძეზე აშენებული ბეტონის გრავიტაციული (წყალსამუიანი) კაშხლის მდგრადობის შემოწმება დამკრახვე	151
§ 6.4	ბეტონის გრავიტაციული კაშხალს წყალსამუიანი ხერტების სქემის შერჩევა და გაანგარიშება	154
§ 6.5	სიღრმითი წყალსაგდები (წყალჩასაშვებები)	158
§ 6.6	სიფონური წყალსაგდებები ბეტონის გრავიტაციული კაშხლის ტანში	162
§ 6.7	წყალსაგდები ხერტების ბურჯები	164
§ 6.8	შემაულლებელი და სანაპირო ბურჯები (კედლები)	167
<b>მ ე შ ვ ი დ მ თ ა ვ ი. ქვაყრილი კაშხლები</b>		170
§ 7.1	ქვაყრილი კაშხლების ტიპები და მათი კლასიფიკაცია	170
§ 7.2	ქვაყრილი კაშხლების ასაშენებლად საპირი ძირითადი მოთხოვნები	172
§ 7.3	ქვაყრილი კაშხლის პროფილისა და მისთვის აუცილებელი ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობათა შერჩევა	174
§ 7.4	ქვაყრილი კაშხლების მდგრადობის გაანგარიშება	181
§ 7.5	ნახევრად ნაპარი. ქვის შშრალად წყობის და შერეული ტიპის კაშხლები	182
§ 7.6	წყალსამუიანი და ფილტრაციული ქვაყრილი კაშხლები	184
<b>მ ი რ ვ ი თ ა ვ ი. ბეტონისა და რკინა-ბეტონის თაღოვანი კაშხლები</b>		186
§ 8.1	ზოგადი მონა. ეშვები	186
§ 8.2	თაღოვანი კაშხლების სტატიური გაანგარიშების ძირითადი არსი	199
§ 8.3	თაღოვანი კაშხლების ძირითადი კონსტრუქციული ელემენტები	190
<b>მ ი ც ხ რ ი თ ა ვ ი. ბეტონისა და რკინა-ბეტონის კონსტრუქციული კაშხლები</b>		193
§ 9.1	ზოგადი მონაცემები კონსტრუქციულ კაშხლებზე და მათი კლასიფიკაცია	193
§ 9.2	კონსტრუქციული კაშხლები რკინა-ბეტონის ბრტყელი გადახურვით	196
§ 9.3	ბრტყელგადახურვიანი კონსტრუქციული კაშხლების კონსტრუქციების სტატიური გაანგარიშების არსი	200
§ 9.4	კონსტრუქციული კაშხლები ერთი ან მრავალთაღოვანი გადახურვით	204
<b>მ ი ა თ ი თ ა ვ ი. რბილგარსებიანი და ზოგიერთი ხზვა ტიპის დაბალდაწვევიანი კაშხლები</b>		206
§ 10.1	ზოგადი ცნობები რბილგარსებიანი ტიპის კაშხლებზე	206
§ 10.2	რბილგარსებიანი ტიპის წყალგადასაშვები კაშხლების სტატიური გაანგარიშება (ა. ნახაროვის მეთოდი)	210
§ 10.3	რბილი კონსტრუქციების ვარსების მასალები	222
§ 10.4	ვარსების კონსტრუქცია და დამზადების ტექნოლოგია	223
§ 10.5	ლითონის კაშხლები	226
§ 10.6	გამბონის და თიხხუნური ტიპის კაშხლები	228
<b>მ ი თ ი რ მ მ ბ მ თ ა ვ ი. ურკაშხალიანი ჰიდროკვანძების წყალგამტარი ნაგებობები</b>		229
§ 11.1	ზოგადი ცნობები	229
§ 11.2	რბილგარსებიანი ტიპის წყალსაგდებები	232
§ 11.3	წყალგამომშვები ნაგებობები	240
<b>მ ი თ ი რ მ მ ბ მ თ ა ვ ი. არხები. წყალგამტარი და შემაულლებელი ნაგებობები</b>		
§ 12.1	არხები	250
§ 12.2	წყალგამტარი ნაგებობები არხებზე	258
§ 12.3	შემაულლებელი ნაგებობები	274
<b>მ ი ც ა მ მ ბ მ თ ა ვ ი. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საკეტები</b>		294
§ 13.1	საკეტების საერთო შიშობილვა და კლასიფიკაცია	294
§ 13.2	მარტივი კონსტრუქციის ბრტყელი საკეტები	299
§ 13.3	ბრტყელი საკეტის ქვემოდან წყლის გამოღინებისას დაწვევიანი წყალ-	

ადგილია პერზე მოქმედი აქტიური პირობინამიკური წნეების გამო- თელის მეთოდი	307
§ 13.4. სილა, თელიანი და ზოვიერთი სქა ტიპის ბრტყელი საკეტები	312
§ 13.5. სევენტური საკეტები	320
§ 13.6. ვალური (ცილინდრული) საკეტები	326
§ 13.7. სახელაისებური საკეტები	329
§ 13.8. სექტორული საკეტები	331
§ 13.9. სარწყავი სისტემების წყალგამანაწილებელი რაბების პიღროავტომა- ტიური საკეტები	333
§ 13.10. საკეტების ექსპლუატაცია	338
<b>მეოთხედიანი ტაბი. სარეგულაციო ნაგებობები</b>	347
§ 14.1. კალპორტური ნაკადების რეგულირების სახეები და ამოცანები	337
§ 14.2. ხეობა, მღინარის კალპორტი და მათი მახასიათებელი ძირითადი ელემენ- ტები	341
§ 14.3. ნატანის მოძრაობა მღინარეებსა და არხებში	349
§ 14.4. განივი ცრკულაციის ძირითადი ტიპები და მათი წარმოქმნის მიზეზები	357
§ 14.5. მღინარის კალპორტის სარეგულაციო ღონისძიებათა შერჩევა	359
§ 14.6. სელური ნაკადების რეგულირება	364
<b>მეხუთხედიანი ტაბი. სარეგულაციო ნაგებობები</b>	367
§ 15.1. სარეგულაციო ნაგებობების კლასიფიკაცია	367
§ 15.2. დროებითი სარეგულაციო ნაგებობები	379
§ 15.3. გრძივი მასური ნაპირსაცავი ნაგებობები	376
§ 15.4. განივი მასური ნაპირსაცავი ნაგებობები	383
<b>დაწარტი სახელმძღვანელოში სმარებულ ძირითად ფინიკურ ერთეულ სი- დიღეთა ძველი სისტემიღან ახალ სერთამორისო სისტემაზე გადამ- ყვანი ცბრიღი</b>	395
გამოყვებელი ლიტერატურა	397

რეკონსტრუქციის ტექნიკურ შენეიერებათა დოქტორი, პროფესორი  
ო. ნათიშვილი  
ტექნიკურ შენეიერებათა დოქტორი, პროფესორი  
გ. რურუა

ნაწროში რეკონსტრუქციის სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის  
პიღრომელიორაციის ფაქულტეტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ

ИБ № 771

რედაქტორი დოც. თ. ქაცარავა  
გამომც. რედაქტორი მ. სულაძე  
შხატრული რედაქტორი ო. მესხი  
ტექნიკური რედაქტორი ნ. მგელაძე  
უფრ. კორექტორი მ. კეზულაძე  
კორექტორი ლ. გოგეშვილი  
გამომწვეები ლ. გაბარაშვილი

Чиквашили Борис Мейрович

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

(На грузинском языке)

გადაეცა წარმოებას 23/1—79 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად  
5/1X—79 წ. ქალაღის ზომა 60×90 1/16; საბეჭდი ქალაღი № 2;  
ნაბეჭდი თაბახი 25,25; სააღრიცხეო-საგამომცემლო თაბახი 23,91.  
უე 00438 ტირაჟი 2000 შეკე. № 2

ფასი 1 მახ

გამომცემლობა „განათლება“. თბილისი მარჯანიშვილის ქ. № 5  
Издательство «Ганатლება», Тбилиси, ул. Марджанншвили № 5

1979

საქ. სსი სტამბა, თბილისი-31, დიღომი.  
Типография Груз. СХИ, Тбилиси-31, Дигоми.