

**ნ. მოწონელიძე**

ტექ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

# **კ ი დ რ ო ტ ე ქ ნ ი კ უ რ ი ნ ა ბ ე ბ ო ბ ე ბ ი**

**ნაწილი I**

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების სტუდენტებისათვის

წინამდებარე საბელმძღვანელოში განხილულია თანამედროვე ჰიდროტექნიკის ამოცანები, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა როლი ქვეყნის წყალთა შეურბეობაში, მათი ფუნქციების საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა და კომპლექსური ჰიდროტექნიკების სახეობანი, ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ჰიდროენერგეტიკულ და მელიორაციულ სისტემებში, წყლის ფილტრაცია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშ და მათი შემოვლით. ერცლადაა გაშუქებული წყალსატბორი ნაგებობები — კაშხალები, მათი ტიპები და კონსტრუქციები, ასაგებად საჭირო მასალები, აგრეთვე კაშხალების სიმტკიცისა და მდგრადობის გაანგარიშების მეთოდები.

წიგნი წარმოადგენს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კურსის პირველ ნაწილს სამდინარო ნაგებობებისა და ჰიდროელსადგურების ჰიდროტექნიკური მშენებლობის სპეციალობის სტუდენტებისათვის. ის დახმარებას გაუწევს მონათესავე სპეციალობათა (ჰიდრომელიორაციული მშენებლობა, ქალაქებისა და სამრეწველო საწარმთა წყალმომარაგება და სხვ.) სტუდენტებსაც.



## ა ვ ტ ო რ ი ს ა ბ ა ნ

სამდინარო ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და ჰიდრო-ელექტროსადგურების მშენებლობის სპეციალობა ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ერთ-ერთი ძველი სპეციალობაა. მიუხედავად ამისა ქართულ ენაზე დღემდე არ მოგვეპოვება სახელმძღვანელო ისეთ ძირითად მაპროფილებელ დისციპლინაში, როგორცაა „ჰიდროტექნიკური ნაგებობები“. ამიტომ, ვფიქრობთ, წინამდებარე სახელმძღვანელო, რომელიც ჰიდროტექნიკური ნაგებობების კურსის პირველ ნაწილს წარმოადგენს, მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ქართველ ინჟინერ-ჰიდროტექნიკოსების მომზადების საქმეს. ამასთანავე, იგი დახმარებას გაუწევს მონათესავე სპეციალობათა სტუდენტებს, ინჟინერ-დამპროექტებლებს და ჰიდრომშენებლებს.

სახელმძღვანელო შედგენილია სამშენებლო-საინჟინრო ინსტიტუტების ჰიდროტექნიკური მშენებლობის სპეციალობისათვის დამტკიცებული პროგრამის მიხედვით. მასში განხილულია ჰიდროტექნიკური ნაგებობების კურსის ზოგადი ნაწილი—ნაგებობათა კლასიფიკაცია, წყალსამეურნეო ღონისძიებათა კომპლექსურობის საკითხები, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძები, სხვადასხვა ძალოვანი ზემოქმედებანი, ფილტრაციის მოვლენები ჰიდრონაგებობათა ფუძეებში და მათი შემოვლით და სხვ. ძირითადი ყურადღება ეთმობა სხვადასხვა ტიპის კაშხალების გაანგარიშებისა და დამპროექტების უახლესი მეთოდების განხილვას.

კურსის მეორე ნაწილში გათვალისწინებულია სამდინარო ჰიდროკვანძების სპეციალური ნაგებობების (თევზგამტარების, წყალშიმღებების), დროებითი ნაგებობების (ზღუდარების), წყალგამტარი ნაგებობების (არხების, გვირაბების), არხზე მოთავსებული ხელოვნური ნაგებობებისა და სხვა სპეციალური საკითხების (ნაგებობათა თერმული რეჟიმის, მოდელური გამოკვლევების, ტექნიკური ექსპლუატაციის, ნატურული გამოკვლევების) განხილვა.

წიგნის დანართში მოკლედ მოცემულია ავტორის მიერ დამუშავებული გრავიტაციული და კონტრაფორსული კაშხალების სეისმომდებლობაზე გაანგარიშების მატრიცული მეთოდი.

სახელმძღვანელოს საფუძვლად უდევს ლექციების კურსი ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში, რომელსაც ავტორი მრავალი წლის მანძილზე კითხულობს ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში. ეს კურსი ძირითადად ჩამოყალიბდა რუსულ ენაზე არსებული ჰიდროტექნიკური ლიტერატურის ბაზაზე, რომელთაგან განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს პროფესორების მ. გრიშინის, ე. ზამარინის, რ. ჩუგაევის, ბ. კალინოვიჩის, ვ. ბერგის, ნ. როზანოვის, ა. ნიჩპოროვიჩის სახელმძღვანელოები და დამხმარე სახელმძღვანელოები. ამასთანავე, სახელმძღვანელოს შედგენის დროს ვისარგებლეთ მოქმედი სამშენებლო ნორმებითა და ტექნიკური პირობებით რეკომენდებული მასალებით. გავითვალისწინეთ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის უახლესი გამოცდილება, რომელიც დაგროვდა უკანასკნელი 10—15 წლის მანძილზე, აგრეთვე საქართველოს სსრ ჰიდროტექნიკური და ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის გამოცდილება და თავისებურებანი.

სახელმძღვანელოს მიმართ შენიშვნებს ავტორი მადლობით მიიღებს.

**შ ე ს ა ვ ა ლ ი**

თ ა ვ ი 1

**ჰიდროტექნიკა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, მათი როლი ძველის წლის მშენებლობაში, წლის მშენებლობის დარგები**

**§ 1-1. წლის მშენებლობა და მისი დარგები**

დღემდის ზედაპირზე არსებული წყლის საერთო რაოდენობის ნაწილი, რომელიც ჩაედინება მდინარეთა და გრუნტის წყლების სახით, ფრიად არათანაბრად არის განაწილებული როგორც ფართობის, ისე დროის მიხედვით, მაშინ როდესაც სამეურნეო გამოყენების თვალსაზრისით სწორედ ეს წყლები წარმოადგენს ყველაზე მნიშვნელოვანს.

სსრ კავშირის ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების მარაგი ძალიან დიდია. მისი წლიური ჩანადენი 3 ათას კმ<sup>3</sup> აღემატება, რაც ასეთივე წყლების მსოფლიო მარაგის დაახლოებით 10% შეადგენს. ბუნებრივია, სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგისათვის წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება მოითხოვს მრავალ საინჟინრო ღონისძიებათა განხორციელებას.

• სახალხო მეურნეობის იმ დარგს, რომელიც შეესაფერება ქვეყნის წყლის რესურსების აღრიცხვის, რეგულირების, განაწილებისა და გამოყენების საკითხებს, ეწოდება წყლის მეურნეობა. წყლის მეურნეობის დარგებია:

- 1) ჰიდროენერგეტიკა — წყლის ენერჯის გამოყენება;
- 2) წყლის ტრანსპორტი — მდინარეების, ტბებისა და ზღვების გამოყენება ნაოსნობისა და ტვირთის გადასაზიდად;
- 3) ჰიდრომელიორაცია — წყლის გამოყენება მიწების მოსარწყავად (ირიგაცია) და სასოფლო-სამეურნეო წყალმომარაგებისათვის (გაწყლიერება), აგრეთვე ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების გაყვანა ტერიტორიებიდან (დაშრობა);
- 4) წყალმომარაგება და კანალიზაცია — ქალაქების, დასახლებული ადგილების, სამრეწველო და სხვა დაწესებულებების სასმელი და ტექნიკური წყლით უზრუნველყოფა (წყალმომარაგება), აღნიშნული ადგილებიდან ჩანადენი და დამუშავებული წყლების გაყვანა (კანალიზაცია). ამ დარგში შედის აგრეთვე წყლის ხარისხის გაუმჯობესების, ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების წყლით კეთილმოწყობის, წყალსაცავების გამაჯანსაღებელი და დასვენების მიზნებისათვის გამოყენების, მინერალური წყლების კაპტაჟის ღონისძიებანი და სხვა;

5) წყლის წიაღისეული სიმდიდრეების გამოყენება — თევზის მოშენება და კერა (თევზის მეურნეობა), წყლიდან მადნეულის, მარილების, სასარგებლო მცენარეულის (მაგალითად, წყალმცენარეების) მოპოვება, ზღვის მხეცებზე ნადირობა და სხვა.

წყალი გამოიყენება აგრეთვე სხვა მიზნებისთვისაც, მაგალითად, სპორტისათვის (ნიჩბოსნობა, ცურვა და ა. შ.); თავდაცვისათვის (წყლის ზღუდეების შექმნა, ადგილმდებარეობის დროებით დატბორვა) და სხვა.

წყალს გარდა იმისა, რომ უდიდესი სარგებლობა მოაქვს, შეუძლია სტიქიის სახით დიდი ზიანიც მოგვყენოს. მაგალითად, წყალდიდობის, შტორმისა და მოქცევის დროს მდინარეებსა და ზღვებს შეუძლიათ დაანგრიონ ნაპირები და კალაპოტები, წალეკონ მოსაველიანი ადგილები და სხვა. ზემოაღნიშნულის გამო წყლის გამოყენების ღონისძიებებთან ერთად წყლის მეურნეობის ამოცანებში შედის აგრეთვე მის დამანგრეველ მოქმედებათა წინააღმდეგ ბრძოლა. 1

### § 1-3. ჰიდროტექნიკა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი

მეცნიერებას, რომელიც შეისწავლის სხედასხვა სამეურნეო მიზნებისათვის წყლის რესურსების გამოყენებისა და წყლის მანვე მოქმედებათა წინააღმდეგ ბრძოლის ღონისძიებებს, აგრეთვე ამ ღონისძიებათა განხორციელებისათვის საჭირო ნაგებობების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის მეთოდებს, ეწოდება **ჰიდროტექნიკა**, ხოლო საინჟინრო ნაგებობებს, რომლებიც უშუალოდ ახორციელებენ ამა თუ იმ წყალსამეურნეო ღონისძიებას, ეწოდება **ჰიდროტექნიკური ნაგებობები**.

ჰიდროტექნიკა, როგორც მეცნიერება, ემყარება მრავალ თეორიულ და ექსპერიმენტულ-გამოყენებითს დისციპლინას, რომელთაგან შეიძლება გამოეყოთ ორი ძირითადი ციკლი: — ჰიდრაულიკა-ჰიდროლოგიისა და საერთო სამშენებლო საინჟინრო დისციპლინების. პირველი ციკლის დისციპლინები შეისწავლის წყლის მოძრაობისა და უძრაობის კანონებს, მის მოქმედებას ნაგებობებზე და წყალს ბუნებაში. მეორე ციკლის დისციპლინები კი — უშუალოდ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს, მათი სტატიკური და დინამიკური მუშაობის პირობებს, გეგმარების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის მეთოდებს.

რა თქმა უნდა, პირველი ციკლის დისციპლინებს არ შეუძლია მთლიანად ახსნან თეორიულად ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა გეგმარების ყველა გართულებული ამოცანა. სწორედ ამიტომ ჰიდროტექნიკაში ფართოდ გამოიყენება ექსპერიმენტული მეთოდი, სახელდობრ, ნაგებობათა და მათი ნაწილების მოდელურ გამოკვლევათა მეთოდი. შეიძლება ითქვას, რომ ამჟამად არც აშენებენ ცოტად თუ ბევრად საპასუხისმგებლო ნაგებობებს ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიებში მათი წინასწარი გამოკვლევის გარეშე.

ჰიდროტექნიკის საინჟინრო ბაზა ემყარება სამშენებლო მექანიკას დრეკადობის თეორიით, საინჟინრო კონსტრუქციებისა და სამშენებლო წარმოების დისციპლინებს. გარდა ამისა, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძემდებლის შესასწავლად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება საინჟინრო გეოლოგიას ჰიდროგეოლოგიით და გრუნტების მექანიკას.

საჭიროა შევნიშნოთ, რომ ჩამოთვლილ დისციპლინათა ის განყოფილებები, რომლებიც განსაკუთრებით საჭიროა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა გაანგარიშებისათვის, ჯერ კიდევ არაააქმარისად არის განვითარებული. ამიტომ ამ

დარგშიც პოულობს გამოყენებას ექსპერიმენტული მეთოდი, რომლის დახმარებით წარმოებს ლეფორმაციებისა და ძაბვების განსაზღვრა მოდელებზე, ხოლო მათ საფუძველზე მშენებარე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სიმტკიცისა და მდგრადობისათვის საჭირო მონაცემების დადგენა.

დაბოლოს უნდა აღინიშნოს აშენებულ და ექსპლუატაციაში მყოფ ნაგებობებზე დაკვირვების მეთოდის მნიშვნელობის შესახებ. ეს დაკვირვებები საშუალებას იძლევა შემოწმდეს დაპროექტების დროს ჩატარებული გაანგარიშებისა და ჰიდროლაბორატორიებში წარმოებულ მოდეულურ გამოკვლევათა სისწორე. მეორე მხრივ, დაკვირვების შედეგად შეიძლება მივიღოთ გარემო პირობებში ნაგებობათა კონსტრუქციების მუშაობის შეფასებისათვის საჭირო ძვირფასი მასალა.

### § 1-3. ჰიდროტექნიკური ნაგებობათა თანხმობა რეალურ და მუშაობის პირობებში

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს მუშაობა უხდება ძალიან რთულ პირობებში. ისინი მუდმივად იმყოფებიან მდგარ ან მოძრავ წყალში, რომელიც მათზე ახდენს მექანიკურ, ფიზიკურ-ქიმიურ და ბიოლოგიურ მოქმედებას (წყალში არსებული ორგანიზმების მოქმედებით გამოწვეული ხის ლაობის, ქვის დაშლის პროცესები, ბაქტერიული კოროზიის მოვლენა და სხვ.).

წყლის მექანიკური მოქმედება ნაგებობებზე ვლინდება ჰიდროსტატიკური და ჰიდროდინამიკური წნევების სახით, რომლებიც მათს ძირითად დატვირთვებს წარმოადგენენ. აქვე უნდა აღინიშნოს ქარით წარმოშობილი წყლის ტალღების, ჰიდრაულიკური დარტყმის, ყინულისა და ნატანის წნევების შესახებაც, აგრეთვე იმ ძალების მოქმედების შესახებ, რომლებიც წარმოიშებიან მიწის ძვრის დროს (წყლის სეისმური წნევა, ინერციული ძალები).

წყლის ფიზიკურ-ქიმიური ზემოქმედება ვლინდება ჰიდრონაგებობის მასალასა და ფუძის წყალშედწევად გრუნტზე. ასე, მაგალითად, დიდი სიჩქარით მოძრავი წყალი, განსაკუთრებით თუ მას მოაქვს ფსკერული ნატანი, ხეხავს ნაგებობათა ზედაპირს და ზოგჯერ მოკლე დროში უვარგისს ხდის მას, ანგრევს მდინარის კალაპოტს მაშინაც კი, როდესაც იგი კლდოვანია და სხვა. წყლის ზემოქმედებით კოროზიას (ყანგვას) განიცდის ნაგებობათა ლითონის ნაწილები, რის გამოც მათი სისქე თანდათანობით მცირდება.

ბეტონის ნაგებობებში გაყონილი (ფილტრაციული) წყლის როგორც ფიზიკურ, ისე ქიმიურ მოქმედებას შეუძლია გამოიწვიოს ნაგებობათა ტანში დარჩენილი ქიმიურად დაუჯავშირებელი ჩამქრალი კირის გამოარეცხვა და ბეტონის თანდათანობითი დაშლა (დეზინტეგრაცია). ჩამქრალი კირის გამოარეცხვის ამ პროცესის დროს, ცხადია, ადგილი აქვს ფიზიკურ კოროზიას, ხოლო ქიმიურ კოროზიას ადგილი ექნება ჩამქრალ კირზე სხვადასხვა სახის მჟავების ან მარილების მოქმედების დროს, რის შედეგად წარმოიქმნება ახალი ქიმიური შენაერთები, რომლებიც ადვილად იშლებიან წყლის მოქმედებით ანდა კრისტალლებიან ცემენტის ქვაში მოცულობის საგრძნობი გადიდებით. უკანასკნელი გარემოება წარმოქმნის შიდა ძაბვებს, რაც იწვევს ბეტონის დაშლას.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ საერთოდ ბეტონის კოროზიის მოვლენა შეიძლება განვითარდეს რბილი წყლების, აგრეთვე იმ წყლების მოქმედებით, რომლებიც შეიცავენ აგრესიულ ნახშირმჟავებს, სულფატებს, მავნიუმის მარილებს დიდი რაოდენობით, თავისუფალ მჟავებს და სხვა.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობები თავისებურ გავლენას ახდენს როგორც მომიჯნავე ტერიტორიებზე, ისე ახლო მდებარე რაიონებზეც, რადგან ზოგჯერ მათ მიერ შექმნილი შეტბორვა ვრცელდება ასეულ კილომეტრ მანძილზე და იწვევს ათეული და ასეული ჰექტარობით მიწების დატბორვას, გრუნტის წყლების დონის აწევას და სხვა.

თანამედროვე დიდ წყალსაცავში შემტბორავე ჰიდროტექნიკური ნაგებობა აკავებს წყლის უდიდეს მასას, რომლის მოცულობა კუბიკური კილომეტრობით იზომება; ავარიის შემთხვევაში წყლის ეს მასა გადინდება მდინარის კალაპოტით უდიდესი სიჩქარით და ანგრევს თავის გზაზე ყველაფერს. ისტორიაში ცნობილია შემთხვევები, როდესაც კაშხალებისა და ჭებირების გარღვევამ გამოიწვია მთელი ქალაქების დაფარვა ათეული ათასი ადამიანის მსხვერპლით. ამასთან დაკავშირებით შეიძლება გავიხსენოთ ამ რამდენიმე წლის წინათ მომხდარი ავარიები: მალბასეს კაშხალისა საფრანგეთში და ვაიონტის წყალსაცავისა იტალიაში, რომელთაც მოჰყვა კატასტროფული შედეგები (ადამიანთა მსხვერპლი, ქალაქების, ხიდების, სამრეწველო ნაგებობების დანგრევა და სხვ.).

სამრეწველო, სატრანსპორტო და სხვა ნაგებობებისაგან განსხვავებით, რომელთა ავარიით გამოწვეული ზარალი ხშირ შემთხვევაში ფასდება ნაგებობის დანგრეული ნაწილების აღსადგენი ღირებულებით, შემტბორავე ჰიდრონაგებობის ავარიით გამოწვეული ზარალი, ჩვეულებრივ, ბევრად აღემატება თავის ღირებულებას, რადგან ამ დროს ინგრევა სხვა ნაგებობებიც მდინარეზე და წყდება საქმიანობა მრავალი სამეურნეო დაწესებულებისა, რომლებიც დაკავშირებული არიან ამ ნაგებობასთან.

როდესაც საკითხი ისმის საერთოდ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა თავისებურებათა შესახებ, მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ ის თავისებურებანიც, რომლებიც დაკავშირებულია მათ მშენებლობასთან. საქმე ის არის, რომ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობა თითქმის ყოველთვის დიდი სირთულით ხასიათდება, რადგან მშენებლობის პერიოდში აუცილებელია გადავადოთ წყალდიდობის წყალი, ხოლო ჩრდილოეთის მდინარეებზე აგრეთვე ყინული, რაც იწვევს სამუშაოთა შეწყვეტას. გარდა ამისა, აუცილებელია დაუბრკოლებლად უზრუნველყოთ მდინარეზე არსებული ნაოსნობა და დაცურება. მეორე მხრივ, ხშირად ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამშენებლო სამუშაოები ხასიათდება ძალიან დიდი მოცულობებით, რომელთა შესრულება მოითხოვს ფართო თანამედროვე მექანიზაციასა და ხანგრძლივ დროს, ჩვეულებრივ, რამდენიმე წელს.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი თავიანთი სამუშაო პირობებით მჭიდროდაა დაკავშირებული მშენებლობის ადგილის ტოპოგრაფიულ, გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ პირობებთან. ეს პირობები ზოგჯერ კიდევაც განსაზღვრავს მათ ტიპებს, ზომებს, ფორმებსა და ღირებულებას. აქედან გამომდინარე, ყოველი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა ინდივიდუალურია და მისი გეგმარების დროს ადგილი არ უნდა ჰქონდეს შაბლონს. რა თქმა უნდა, ეს გარემოება სრულებითაც არ გამორიცხავს ჰიდრომშენებლობის ცალკეულ შემთხვევებში ასაკრები ელემენტების ფართო გამოყენების შესაძლებლობას.

1. ჰიდროტექნიკა რევოლუციამდე პერიოდში

ჰიდროტექნიკის ისტორია დაკავშირებულია ადამიანის მიერ წყლის გამოყენების დასაწყისთან. ძველ ჩინეთში კაშხალებსა და არხებს აშენებდნენ რამდენიმე ათასი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. დიდ სარწყავ და სანაოსნო არხებს აშენებდნენ აგრეთვე ასირიელები და ბაბილონელები ათასწუთასი წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. რაც შეეხება მდინარის წყლის ენერჯის უშუალო გამოყენებას, იგი ადამიანმა დაიწყო დიდი ხნის წინათ წისქვილების მოძრაობაში მოსაყვანად. ცნობილია, რომ ასეთი წისქვილები პირველად წარმოიშვა ჩინეთსა და შუა აზიაში, შემდეგ კი გავრცელდა სხვა ქვეყნებშიც. კ. მარქსი აღნიშნავს, რომ წყლის წისქვილი რომში შემოვიდა შვირე აზიიდან იულიუს ცეზარის დროს, ე. ი. ჩვენს წელთაღრიცხვამდე დაახლოებით ასი წლით ადრე<sup>1</sup>.

ძველი დროის წყალსახოპავ ბორბლებსა და წყლის წისქვილებს აღწერს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე I საუკუნის რომელი მწერალი მარკ ვიტრუვი პოლიონი თავის წიგნებში არქიტექტურაზე. რომის სახელმწიფოს არსებობის დროს, VI—III საუკუნეებში ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, აშენდა წყალსადენის გრანდიოზული სისტემები აკვედუკების სახით, რომლებიც დღესაც კი იწვევენ აღტაცებას. საზღვაო ნავსადგურმშენებლობა ფართოდ იყო განვითარებული ფინიკიელებსა და კართაგენელებში რამდენიმე ასეული წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. პირველი სანაოსნო რაბები აშენებულ იქნა ლეონარდო და ვინჩის მიერ XV საუკუნეში.

მანუფაქტურული მრეწველობის განვითარებამ და საფაბრიკო მრეწველობაზე შემდგომმა გადასვლამ კაპიტალიზმის დროს წარმოშვა ჯერ უმარტავესი, ხოლო შემდგომ უფრო სრულყოფილი მექანიზმები, რომლებიც მოძრაობაში მოჰყავდა მდინარის ენერჯიას. ამ მიზნისათვის აგებდნენ კაშხალებს, წყალსადენის სისტემებს და წყლის ძრავებს. ცხადია, წარმოების აღნიშნულმა განვითარებამ გამოიწვია ვაჭრობის გაძლიერება, რამაც, თავის მხრივ, ბიძგი მისცა საზღვაო და სამდინარო ტრანსპორტის გაუმჯობესებას.

ორთქლის მანქანის გამოგონებამ და წარმოების კაპიტალისტური ფორმის სწრაფმა განვითარებამ კიდევ უფრო დიდი მნიშვნელობა მიანიჭა წყლის გზებით მიმოსვლას, როგორც ყველაზე უფრო იაფ და კონტინენტების დამაკავშირებელ ერთადერთ საშუალებას.

XIX საუკუნის შუა პერიოდში გაყვანილ იქნა სუეცის არხი, ხოლო ამავე საუკუნის ბოლოს დაიწყო პანამის არხის მშენებლობა, რომელიც დამთავრდა 1914 წ.

ელექტროენერჯის აღმოჩენამ, მისმა ათვისებამ და შორ მანძილზე მეთოდებით გადაცემის განხორციელებამ ხელი შეუწყო ჰიდროენერგომშენებლობას, რომელიც ფართოდ განვითარდა XX საუკუნეში. პარალელურად ვითარდებოდა ქალაქების, დასახლებული პუნქტებისა და სამრეწველო დაწესებულებათა წყალმომარაგება მათი სწრაფი ზრდის შესაბამისად; წყლის ტრანსპორტი, ირიგაცია, გაწყლიერება და სხვა.

<sup>1</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Избранные письма, 1947 г., стр. 137.

პიღროშენებლობის დარგში ადამიანის შემოქმედებითი აზროვნების გა-  
ნუწყვეტელ წინსვლაში დიდი დამსახურება მიუძღვის რუს და საბჭოთა მეც-  
ნიერებს. განთქმული წყლის გზა „ვარიაგებიდან ბერძნეთამდე“ ცნობილია  
რუსეთის სახელმწიფოს დაარსების პირველივე წლებიდან. იგი იწყებოდა  
ბალტიის ზღვიდან და გადიოდა რუსეთის რამდენიმე მდინარეზე და სახმელე-  
თო გზებზე (ვოლოკით). ბოლოს იგი მდ. დნეპრის გავლით შედიოდა შავ  
ზღვაში და მიემართებოდა საბოლოო პუნქტამდე — კონსტანტინეპოლამდე.  
დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა სამ შემაერთებელ წყლის გზას ვოლგიდან ბალ-  
ტიის ზღვის აუზამდე. რომლებმაც დამატებითი არხების გაყვანისა და სათა-  
ნადო ნაგებობათა აგების შემდეგ მიიღეს ვიშნეელოცის, ტიხვინისა და მა-  
რიაპის სისტემების სახელწოდებები.

წყლის ენერჯის უშუალო გამოყენება წისქვილების მოძრაობაში მოსა-  
ყვანად კიევის რუსეთში დაიწყო IX საუკუნეზე ადრე. ამას ადასტურებს  
იაროსლავ ბრძენის (978—1054 წწ.) წესდებაც წისქვილების მოსაწყობად  
მდინარეების გამოყენების შესახებ. ქალაქ მოსკოვის შესახებ პირველ ისტო-  
რიულ ჩანაწერებშიც მოხსენებულია წყლის წისქვილები, რომლებიც აშენე-  
ბულ იქნენ ჰდ. მოსკოვისა და მდ. იაუზის ნაპირებზე. XIII საუკუნის რუ-  
სეთში ფართოდ იყო გავრცელებული გუბურების მშენებლობა თევზის სარე-  
წებისათვის, რისთვისაც მდინარეებზე აწყობდნენ სპეციალურ კაშხალებს —  
„ეზებს“.

წყალსადენები სასმელი წყლით მომარაგების მიზნით რუსეთში ცნობი-  
ლია X საუკუნიდან. მაგალითად, ნოვგოროდში ამავე საუკუნეში წარმატებით  
იყენებდნენ ხის წყალსადენ მილებს. არქეოლოგიური გათხრებით დადასტუ-  
რებულია, რომ ასეთივე წყალსადენი მილები, თითქმის იმდენივე ხანდაზმუ-  
ლობისა, გამოყენებული ყოფილა მოსკოვში. შემდგომში წყალსადენების  
მშენებლობა კიდევ უფრო გაფართოვდა. კერძოდ, XV საუკუნეში აგებულ იქნა  
წყალსადენი მოსკოვის კრემლის წყალმომარაგებისათვის, რისთვისაც საჭირო  
გახდა რიგი კაშხალებისა და რაბების მოწყობა. 1633 წელს კი მოსკოვში აგე-  
ბულ იქნა დაწნევითი წყალსადენი.

აღსანიშნავია, რომ XVII საუკუნეში რუსეთში უკვე შენდებოდა სხვადა-  
სხვა ქარხნები და ფაბრიკები, რომელთა მანქანები მოძრაობაში მოდიოდა  
საქარხნო გუბურებიდან მიწოდებული წყლით. ეს გუბურები იქმნებოდა  
6—8 მ სიმაღლის მიწისა და ხის კაშხალებით.

XVII და განსაკუთრებით XVIII საუკუნეში დიდი ვანეთარება ჰპოვა  
სამთომადნო მრეწველობამ ურალში, ალტაიში და ოლონეცის მხარეში. ეს  
მრეწველობა ემყარებოდა პიღროდანადგარებს, რომელთა დაწნევა იქმნებო-  
და კაშხალებით. იმ პერიოდში განსაკუთრებით გაითქვა სახელი ნიჟიერმა  
პიღროტექნიკოსმა კ. ფროლოვმა (1726—1800 წ.), რომელმაც შექმნა რთული  
პიღროდანადგარები და დიდი კაშხალები, მათ შორის 18 მ სიმაღლის ზმეინო-  
გორსკის კაშხალი, რომელიც დღევანდლამდე შემონახულია.

მეფის მთავრობა ყურადღებას არ აქცევდა პიღროტექნიკურ მშენებლო-  
ბას, ხოლო რუსეთის ბურჟუაზია კაპიტალს აბანდებდა უმთავრესად რკინი-  
გზების მშენებლობაში, რომელიც შედარებით ფართოდ გაიშალა XIX საუ-  
კუნის მეორე ნახევარში.

ხოლოდ XIX საუკუნის მიწურული და XX საუკუნის დასაწყისი აღი-  
ნიშნება გამოცოცხლებით პიღროტექნიკის დარგში. იწყება შიგა წყლის გზე-



ბის რეკონსტრუქციისა და მოდერნიზაციის სამუშაოები ეოლგაზე, დნეპრსა და ზოგიერთ სხვა მდინარეზე, კაშხალებისა და რაბების მშენებლობა ჩრდილოეთ დონეცზე. ზემო ოკაზე და სხვა. გარდა ამისა, შავ, აზოვისა და ბალტიის ზღვებზე იწყება ახალი საზღვაო ნაესადგურების მშენებლობა და ძველის გაფართოება. ჰიდროტექნიკური მშენებლობის ამ გამოცოცხლებას დიდად შეუწყობ ხელი იმ დროის გამოჩენილმა მოღვაწეებმა და მკვლევარებმა: მ. სერდიუკოვმა, ე. როდევჩიმა, ნ. ბოგუსლავსკიმ, ნ. პუზირევსკიმ, დ. ნეელოვმა, მ. და ნ. გრესევიჩოვებმა (გარსევიჩოვილებმა), ვ. ტიმონოვმა, ვ. ლობტინმა, ნ. ლელიაევსკიმ და სხვებმა. მათმა ფუნდამენტალურმა ნაშრომებმა წყლის გზების, კაშხალთმშენებლობის, საზღვაო ნაგებობებისა და სხვათა შესახებ დიდი როლი ითამაშეს არა მარტო იმ პერიოდში, არამედ შემდგომშიც. შეიძლება ითქვას, რომ ზოგიერთი მათგანის გამოკვლევებს დღესაც არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა. იმავე პერიოდში შუა აზიასა და ამიერკავკასიაში მოეწყო რამდენიმე საინჟინრო სარწყავი სისტემა; ჩატარებულ იქნა ნაწილობრივი დაშრობითი სამუშაოები რუსეთის ევროპული ნაწილის შუა და ჩრდილოეთ სარტყლებში და სხვა.

გასაგებია, რომ იმ დროს ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობას ძალიან მკალები ყურადღება ექცეოდა, რაც გამოწვეული იყო ქვეყანაში საყოფარღო მარეველობის სუსტი განვითარებით. ამ მიზეზის გამო ოქტომბრის რევოლუციამდე შეფის რუსეთში არსებობდა თანამედროვე ტიპის მხოლოდ რამდენიმე მცირე ჰიდროელექტროსადგური 1600 კვტ საერთო სიმძლავრით, მათგან ყველაზე დიდი იყო ჰინდიკუშის 1350 კვტ სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგური ტაჯიკეთში.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოში დიდი ხნიდანაა ცნობილი ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სხვადასხვა სახეობანი: სარეგულაციო ნაგებობანი — ქებირები, კაშხალები სარწყავი სისტემებისათვის, წყალსადენები, არხები, მაგალითად, XII საუკუნეში აგებული „თამარის არხი“ ალაზნის ველზე და სამგორის სველი სარწყავი სისტემა, რომლებიც მტრების შემოსევის შედეგად განადგურდა.

## 2. ჰიდროტექნიკის განვითარება საბჭოთა კავშირში

ოქტომბრის ღიღმა სოციალისტურმა რევოლუციამ შექმნა სახალხო მეურნეობის უველა დარგის მძლავრი განვითარების პირობები. ეს შეეხო როგორც წყლის მეურნეობას, ისე ჰიდროტექნიკურ მშენებლობას. პარტიისა და მთავრობის ყურადღება პირველყოფლისა მიქცეული იყო მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობისათვის ენერგეტიკული ბაზის შესაქმნელად. „ჩვენ უნდა გვეკონდეს ახალი ტექნიკური ბაზა ახალი ეკონომიური მშენებლობისათვის. ეს ახალი ტექნიკური ბაზა ელექტრობაა. ჩვენ ამ ბაზაზე უნდა ავაგოთ უველაფერი“<sup>1</sup>.

ჩვენს ქვეყანაში სოციალისტური მშენებლობის პროგრამამ თავისი კონკრეტული გამოხატულება პპოვა პირველსავე სახალხო-სამეურნეო გეგმაში — გოელროში, რომელიც ე. ი. ლენინის დახასიათებით წარმოადგენდა კომუნისტური პარტიის მეორე პროგრამას. ამ გეგმით გათვალისწინებული

<sup>1</sup> ე. ი. ლენინი, ოზხ., ტ. 30, გვ. 401.

იყო 10 ჰიდროელექტროსადგურის აგება 640 ათასი კვტ საერთო დადგმული სიმძლავრით.

გოელროს<sup>1</sup> გეგმის შედგენის პერიოდში ქვეყნის წყლის რესურსების შესწავლის საქმე ძალიან დაბალ დონეზე იყო, ამიტომ ამ გეგმაში ზოგიერთი ჰიდროდინამიკის ადგილმდებარეობა და სიმძლავრე ნაჩვენები იყო საორიენტაციოდ. გარდა ამისა, ქვეყნის ზოგიერთ რაიონში ჯერ კიდევ გრძელდებოდა სამოქალაქო ომი, რამაც გოელროს კომისიას საშუალება არ მისცა გაეთვალისწინებინა ამ რაიონებისათვის პირველი რიგის ობიექტები. ცხადია, შემდგომში ჰიდროენერგომშენებლობის აღნიშნული გეგმა შეესებულ იქნა ახალი ჰიდროელექტროსადგურებით.

ამრიგად, ქვეყნის სახალხო მეურნეობის აღდგენის პერიოდში დაიწყო 13 ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა 847 ათასი კვტ საერთო დადგმული სიმძლავრით, რომელთაგან იმ დროისათვის ყველაზე დიდი — ვ. ი. ლენინის სახელობის ვოლგის ჰიდროელექტროსადგური ლენინგრადთან, აგრეთვე ერევნის I და ბოზუსის (ტაშკენტში) ჰიდროელექტროსადგურები საექსპლუატაციოდ გადაეცა 1926 წ., ხოლო ზემო ავქალის (თბილისთან) და ხარიუზოვის (ალტაიში) ჰიდროელექტროსადგურები — 1927 წ.

1928 წლისათვის 1917 წელთან შედარებით ელექტროენერჯის წლიური გამოშვებება გადიოდა 10-ჯერ, ხოლო ელექტროენერჯის საერთო გამოშვებება ქვეყნის ყველა ელექტროსადგურში — 2-ჯერ.

გოელროს გეგმა, რომელიც უკვე ითვალისწინებდა 1,5 მილიონი კვტ საერთო სიმძლავრის 30 რაიონული ელექტროსადგურის აგებას, შესრულებულ იქნა უმოკლეს ვადაში, 1931 წლისათვის, როცა რაიონული ელექტროსადგურების სიმძლავრემ უკვე 2 მილიონ კვტ-ს გადააჭარბა.

წყლის რესურსების ათვისების საქმეში მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადაიდგა სახალხო მეურნეობის განვითარების ომის წინა პერიოდში (1929—1940 წწ.) — პირველი ხუთწლიანი გეგმის პერიოდში. აშენდა ისეთი დიდი ჰიდროელექტროსადგურები, როგორცაა: ვ. ი. ლენინის სახელობის დნებარის (ამუშავდა 1932 წ.), ქვემო სვირის (1933 წ.), რიონის (1933 წ.), გიზელდონისა (1934 წ.). ჩრდილოეთ კავკასიაში, უგლიჩის (1940 წ.), რიბინსკისა ვოლგაზე (1941 წ.) და სხვა. გარდა ამისა, აშენდა მრავალი საკომლექსური და სარაიონო მნიშვნელობის ჰიდროელექტროსადგური.

შიგა წყლის გზებზე აგებულ იქნა ორი ახალი სანაოსნო არხი: თეთრი ზღვა-ბალტიისა 227 კმ საერთო სიგრძით და მოსკოვის სახ. არხი 128 კმ სიგრძით. ამ უკანასკნელმა გარდა სატრანსპორტო ამოცანისა, რაც გამოიხატა დედაქალაქის მდ. ვოლგის ზემო წელთან დაკავშირებაში, გადაწყვიტა ქ. მოსკოვის წყალმომარაგებისა და მდ. მოსკოვის წყლით უზრუნველყოფის ამოცანა. გარდა ამისა, აშენდა დიდი სანაოსნო რაბები: ვოლხოვის, სვირის, დნებარისა და ვოლგის კაშხალებთან.

დიდი სამუშაოები ჩატარდა აგრეთვე საზღვაო ტრანსპორტის გასაფართოებლად. აგებულ იქნა ნავსადგურები შავ ზღვაზე, თეთრ ზღვაზე, ბარენცის

<sup>1</sup> გოელროს — რუსეთის ელექტრიფიკაციის სახელმწიფო კომისია, რომელიც შეიქმნა ვ. ი. ლენინის წინადადებით. მისი თავმჯდომარე იყო გ. მ. კრეზინოვსკი. ამ კომისიის მიერ შედგენილი ქვეყნის ელექტრიფიკაციის გეგმა დაამტკიცა საბჭოების სრულიად რუსეთის VIII ყრილობამ 1920 წ. დეკემბერში.

ზღვაზე და წყნარი ოკეანის ზღვებზე. მოხდა ჩრდილოეთის საზღვაო გზის სატრანსპორტო ათვისება; აშენდა რიგი საზღვაო გემთშემკეთებელი და გემთ-საშენებელი ქარხნები.

ფართო ღონისძიებები ჩატარდა საინჟინრო მელიორაციის დარგში. შე-იქმნა დიდი საინჟინრო სარწყავი სისტემები უზბეკეთში, ყაზახეთში, ტაჯი-კეთში, აზერბაიჯანში, საქართველოსა და სომხეთში, აგრეთვე ვოლგისპირეთ-ში, ყუბანში, თურგსა და სამხრეთ ციმბირში.

დიდი მასშტაბის დაშრობითი სამუშაოები ჩატარდა ბელორუსიაში, კავ-შირის ცენტრალურ ოლქებში, ლენინგრადის ოლქში, საქართველოში (კოლ-ხეთის დაბლობის დაშრობა) და სხვა რაიონებში.

ქალაქებისა და მსხვილ სამრეწველო დაწესებულებათა მშენებლობის განვითარებასთან დაკავშირებით წარმოიშვა წყალსადენისა და კანალიზაციის დიდი სისტემების მშენებლობის აუცილებლობა. ასეთი სისტემები აშენდა დონბასში, ურალის რიგ რაიონებში (მაგნიტოგორსკში, სვერდლოვსკში), და-სავლეთ ციმბირში და ჩვენი ქვეყნის სხვა რაიონებში, რაც მრავალ შემთხვე-ვაში დაკავშირებული იყო სპეციალური კამპალების, წყალსაცავების, არხე-ბის, დიდი დიამეტრისა და დიდი სიგრძის წყალსატარებისა და სხვა სახის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობასთან.

საბჭოთა ხალხის მშვიდობიანი შემოქმედებითი შრომა შეწყდა სსრ კავ-შირზე ფაშისტური გერმანიის თავდასხმის გამო 1941 წ. 22 ივნისს. ომის დროს ძალიან გართულდა მრავალი ქალაქისა და სამრეწველო დაწესებულე-ბის ელექტროენერჯით მომარაგება, რაც გამოწვეული იყო ელექტროსად-გურების დანგრევით. თავდაცვის სახელმწიფო კომიტეტის გადაწყვეტილებით საომარი მოქმედების ზონიდან ღრმა ზურგში გადატანილ იქნა სამრეწველო და სამხედრო მნიშვნელობის დიდი ობიექტები, რომელთა ელექტროენერჯით უზრუნველყოფის საქმე მოითხოვდა ელექტროსადგურების დაუყოვნებლივ მშენებლობას. შექმნილ მდგომარეობასთან დაკავშირებით დაიწყო მცირე და საშუალო სიმძლავრის რიგი ახალი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა ურალში, შუა აზიაში და ყაზახეთში. ჩრდილოეთ კავკასიის ტერიტორიის მტრისაგან განთავისუფლების შემდეგ 1944—1945 წწ. დაიწყო მაიკოპის, ორჯონიკიძისა და კრასნოპოლიანსკის ჰიდროელექტროსადგურების მშენებ-ლობა. ამავე წლებში დაიწყო აგრეთვე მშენებლობა მინგაჩაურის ჰიდრო-ელექტროსადგურისა მდ. მტკვარზე, აზერბაიჯანში და გიუმუშის ჰიდრო-ელექტროსადგურისა მდ. რაზდანზე, სომხეთში.

მტრისაგან ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიების განთავისუფლების კვალობაზე საბჭოთა ხალხი უმაღ იწყებდა დაბრუნებული ჰიდროელექტროსადგურების აღდგენას. 1944 წ. თებერვალში დაიწყო ვ. ი. ლენინის სახელობის დნეპრ-ჰესის აღდგენითი სამუშაოები. სრულად აღდგენილ იქნა ვოლხოვის, რაუხიალას, ენსოს, ქვემო სვირის, ნივა II და ბაქსანის ჰიდროელექტროსადგურები. 1945 წ. ბოლოსათვის ყველა ჰიდროელექტროსადგურის ჯამურმა სიმძლავრემ მიადწია 1,25 მილიონ კვტ-ს.

სახალხო მეურნეობის აღდგენისა და განვითარების ომის შემდგომი პირველი ხუთწლედის წარმატებით შესრულების შედეგად მწყობრში ჩადგა ის ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი, რომლებიც დაინგრა ომის დროს; ამასთანავე შესაძლებელი გახდა დაწყებულიყო მრავალი ახალი დიდი ჰიდროელექტრო-სადგურის და სანაოსნო არხების მშენებლობა. ამ პერიოდში საექსპლუატა-

ციოდ გადაეცა ხრამი I, ფერხადის, სევანის, ნივა III, სოხუმის, მაიკობისა და სხვა ჰიდროელექტროსადგურები 2 მილ. კვტ საერთო სიმძლავრით.

1950 წ. სსრ კავშირის მინისტრთა საბჭომ მიიღო უმნიშვნელოვანესი გადაწყვეტილება რიგი უდიდესი ჰიდროელექტროსადგურებისა და საირიგაციო და სანაოსნო არხების მშენებლობის დაწყების შესახებ, რომლის შესაბამისად დაიწყო ვოლგაზე კუბიშევისა და ვოლგოგრადის, ხოლო დნებარზე კახოვკის ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა. ფართოდ გაიშალა სამხრეთ უკრაინისა და ჩრდილოეთ ყირიმის მაგისტრალური არხის მშენებლობის სამუშაოები ამ რაიონების მიწების მორწყვის მიზნით. დაიწყო აგრეთვე ვოლგა-დონის სანაოსნო არხის, ციმლიანსკის დიდი წყალსაცავისა და ციმლიანსკის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა. ცხადია, პარალელურად წყდებოდა როსტოვისა და ვოლგოგრადის ოლქების მიწების მორწყვის საკითხიც.

სსრ კავშირის მთავრობის ზემოთ აღნიშნული დადგენილებით დასახულ მშენებლობათა მასშტაბები მოასწავებდა ახალ ეტაპის დასაწყისს საბჭოთა ჰიდროენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკის ისტორიაში. საშუალოთა მოცულობანი ერთ სამშენებლო მოედანზე უდიდეს ზომებს აღწევდა: მიწისა—200 მილ. მ.მდე, ბეტონისა—10 მილ. მ.მდე. ასეთი მოცულობის საშუალოთა მოკლე დროში შესრულება მოითხოვდა შრომატევადი სამუშაოების სხვადასხვაგვარ მაღალმწარმოებლურ მექანიზაციასა და მუშებისა და ინჟინერ-ტექნიკური მუშაკების მაღალ კვალიფიკაციას. საბჭოთა მრეწველობამ საცესებით უზრუნველყო ჩვენი მშენებლობის საკირო ტექნიკით აღჭურვა.

სსრ კავშირის ჰიდროტექნიკური მშენებლობის 50-იანი წლების გეგმები წარმატებით შესრულდა დადგენილ ვადებში. 1952 წლის 27 ივლისს საექსპლუატაციოდ გადაეცა ვ. ი. ლენინის სახელობის ვოლგა-დონის სანაოსნო არხი და ციმლიანსკის წყალსაცავი დონზე. ამ ნაგებობებმა დაკავშირეს ერთიან წყალსატრანსპორტო ქსელში კასპიისა და შავი ზღვის აუზების მდინარეები. ამავე წელს დამთავრდა და მწყობრში ჩადგა უსტკამენოვოგორსკის მძლავრი ჰიდროელექტროსადგური მ.დ. ირტიშზე.

1954-56 წწ. დამთავრდა მინგეჩაურის, კახოვკის, გორკის, ირკუტსკის, ტუბულის, ყარა-ყუმისა და სხვა ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა. 1957 წ. დასაწყისში საექსპლუატაციოდ გადაეცა ჰიდროელექტროსადგური ვოლგის ყველაზე დიდ შენაკადზე — კაზახე 500 ათასი კვტ სიმძლავრით. ამავე წლის შემოღობვაზე სრული სიმძლავრით ამუშავდა იმ დროისათვის მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი ვ. ი. ლენინის სახელობის ვოლგის ჰიდროელექტროსადგური კუბიშევთან 2,3 მილიონი კვტ დადგმული სიმძლავრით. ამ სადგურის საშუალო წყლიანობის გამოიმუშავება 11,0 მილიარდ კვტ. სთ-ს აღწევს.

1962 წ. სრული სიმძლავრით ამუშავდა სკკპ XXII ყრილობის სახელობის ვოლგოგრადის უდიდესი ჰიდროელექტროსადგური 2,541 მილიონი კვტ დადგმული სიმძლავრითა და წელიწადში დაახლოებით 14 მილიარდ კვტ-სთ ელექტროენერჯის გამოიმუშავებით. ეს გამოიმუშავება 8-ჯერ მეტია, ვიდრე რუსეთის ყველა ჰიდროელექტროსადგურისა 1913 წელს. ამ ჰიდროკვანძის განხორციელებით პარალელურად გადაწყდა ვოლგისპირეთისა და კასპიისპირა დაბლობის 1,5 მილ. ჰექტარი ფართობის მორწყვისა და 6 მილ. ჰექტარი მიწების გაწყლიერების ამოცანა.

50-იანი წლების მეორე ნახევარი ხასიათდება ჩვენი ქვეყნის აღმოსავლეთ რაიონების საწარმოო ძალთა განვითარებისა და აგრეთვე ციმბირის უმდიდ-

რესი ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ათვისების დაწყებით. ანგარაზე მთელი გაქანებით წარმოებდა ირკუტსკის ჰესის მშენებლობა, ხოლო თბზე — ნოვოსიბირსკის ჰესისა. ციმბირის ამ და სხვა ჰიდროელექტროსადგურების ბაზაზე იქმნებოდა ახალი მსხვილი სამრეწველო და ენერგოტექნიკური საწარმოები.

1954 წ. მდ. ანგარაზე დაიწყო მისი კასკადის უმძლავრესი საფეხურის ბრატსკის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა, რომლის პირველი აგრეგატი ამუშავდა 1961 წ., ხოლო მთლიანად დამთავრდა 1966 წ. ამ ჰიდროსადგურის სიმძლავრე აღწევს 4,5 მილიონ კვტ-ს, საშუალო წლიური გამოშვებულია კი 22,9 მილიარდ კვტ სთ-ს. აღსანიშნავია, რომ მდ. ანგარას გააჩნია ჩანადენის ბუნებრივი რეგულატორი — ბაიკალის ტბა, რომლის საშუალო მრავალწლიური დონე ირკუტსკის ჰესის შექმნასთან დაკავშირებით ამაღლდა. ამასთან ერთად თვით ბრატსკის ჰიდროკვანძი ჰქმნის უდიდეს წყალსაცავს 48 მილიარდი მ<sup>3</sup> სასარგებლო მოცულობით. ცხადია, რომ ჩანადენის ასეთმა ორმა მძლავრმა რეგულატორმა შესაძლებელი გახადა ბრატსკის ჰიდროელექტროსადგურისათვის მაღალი გამოშვებების უზრუნველყოფა (20,2 მილიარდი კვტ. საათი). ბრატსკის ჰიდროკვანძის ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი განლაგებულია კლდოვან ფუძეზე პალენსკის ქორომების ვიწრო ვასწორში. მის ძირითად ნაგებობას წარმოადგენს ბეტონის გრავიტაციული კაშხალი გაფართოებული ნაკერებით, რომლის სიმაღლე აღწევს 126 მ-ს. მეტად საყურადღებოა, რომ ამ ჰიდროკვანძის ღირებულება უფრო დაბალია, ვიდრე კუბიშივეის ჰიდროკვანძისა. მაშინ როდესაც ბრატსკის ჰიდროელექტროსადგურის ელექტროენერჯის გამოშვება 2-ჯერ მეტია ვ. ი. ლენინის სახელობის ვოლგის ჰიდროელექტროსადგურის გამოშვებებზე.

1955 წ. დაიწყო 6,0 მილიონი კვტ სიმძლავრის კრასნოიარსკის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა მდ. ენისეიზე (პირველი აგრეგატები ამუშავდა 1967 წ.). იგი სრული სიმძლავრით მწყობრში ჩადგა 1972 წ. მისი საშუალო წლიური გამოშვებები აღწევს 20,4 მილიარდ კვტ. სთ-ს. კარგმა გეოლოგიურმა და ტოპოგრაფიულმა პირობებმა და უნიკალური სიმძლავრის (500 ათასი კვტ) ჰიდროაგრეგატების გამოყენებამ წინასწარ განსაზღვრეს სამუშაოთა შედარებით მცირე მოცულობა და ჰესის მაღალი ეფექტურობა.

1946—1958 წწ. პერიოდში საბჭოთა კავშირში აშენებულ და აღდგენილ იქნა 63 ჰიდროელექტროსადგური 9,6 მილიონი კვტ ჯამური სიმძლავრით. ამის შედეგად 1958 წ. ბოლოსათვის ქვეყნის ყველა ჰიდროელექტროსადგურის სიმძლავრე შეადგენდა 10,9 მილიონ კვტ-ს, ვ. ი. 1945 წელთან შედარებით იგი 8,7-ჯერ გაიზარდა. იმავე 1958 წელს ჰიდროელექტროსადგურების საერთო გამოშვებები შეადგენდა 46,5 მილიარდ კვტ-ს.

ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის განვითარების ახალი პერსპექტივები დასახულ იქნა სახალხო მეურნეობის განვითარების შეიდწლიანი გეგმით (1959—1965 წწ.). ამ პერიოდის პრინციპული განმასხვავებელი ნიშანი ის იყო, რომ ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის ცენტრი გადატანილ იქნა საბჭოთა კავშირის აღმოსავლეთ ნაწილში და დაიწყო მაღალწინეიანი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა ციმბირში, შუა აზიაში, კავკასიასა და შორეულ აღმოსავლეთში. იმავე წლებში გრძელდებოდა სამუშაოები ვოლგის, კამის და დნეპრის ჰიდროელექტროსადგურების კასკადების შექმნისათვის ქვეყნის ევროპულ ნაწილში.

ამ პერიოდში სრული სიმძლავრით ამუშავდა და მწყობრში ჩადგა ისეთი

დიდი ჰიდროელექტროსადგურები, როგორცაა სკკ XXII ყრილობის სახელობის ვოლგის ჰიდროელექტროსადგური, ბრატსკის, ვოტკინსკის, კრემენჩუგის, ბუხტარმის, გოლოვნიას, უჩ-ჟურგანის, პავლოვსკის, დნეპროპეტროვსკის, კიევის, ონდის, ზედა-ტულომის, კუმის, იოვის, პლიავინის, ლაჯანურის, ხრამის II და მამაქანის ჰიდროელექტროსადგურები. იმავე წლებში დაიწყო სერგებიანსკის, ქვემო-კამის, კანევის, ჩირკეის, ენგურის, თათევის, ნურეკის, ტოკტოგულის, ჩარვაკის, ხანტაის, ზეის, საიანის და უსტ-ილიმის ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა.

მთლიანად შეიდგულა (1959—1965 წწ.) ამუშავდა 11,4 მილიონი კვტ-ის ახალი ჰიდროელექტრო სიმძლავრეები, რის შედეგად ჰიდროელექტროსადგურების საერთო სიმძლავრემ მიაღწია 22,2 მილიონ კვტ-ს, ე. ი. გაიზარდა 2-ჯერ და უფრო მეტად. ჰიდროენერჯის გამოშვებებამ კი იმავე 1965 წლისათვის მიაღწია 81,4 მილიარდ კვტ.სთ-მდე. ამგვარად, 1965 წლისათვის საბჭოთა კავშირში გამოყენებული იყო ქვეყნის ეკონომიური ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის მხოლოდ 7,4%. მიუხედავად ამისა ჰიდროენერჯის გამოშვებების მიხედვით 1965 წელს ჩვენი ქვეყანა გამოვიდა მესამე ადგილზე მსოფლიოში აშშ-ისა და კანადის შემდეგ. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ 1965—1970 წწ. ხუთწლედის პერიოდის დასაწყისისათვის საბჭოთა კავშირში უკვე მუშაობდა 2 მილ. კვტ-ზე მეტი სიმძლავრის სამი ჰიდროელექტროსადგური, ხოლო 600-დან 1 000 ათას კვტ-მდე სიმძლავრის — ხუთი ჰიდროელექტროსადგური.

ჰიდროტექნიკური მშენებლობის გეგმები, რომლებიც ჩვენს ქვეყანაში ხორციელდება, გამოირჩევა ღრმა მეცნიერული ჩანაფიქრით. ისინი ითვალისწინებენ სსრ კავშირის უმდიდრესი წყლის რესურსების გამოყენებას ერთდროულად სხვადასხვა მიზნისათვის. ენერგეტიკისათვის, ირიგაციისა, წყალმომარაგებისა, ნაოსნობისათვის და სხვა. წყლის რესურსების ასეთი უკონფლიქტო კომპლექსური გამოყენება შესაძლებელი ხდება მხოლოდ სოციალისტურ სახელმწიფოში. აღსანიშნავია, რომ კაპიტალისტური სისტემის პირობებში მეურნეობის ცალკეული დარგების კერძო მფლობელთა ინტერესების დაპირისპირების გამო ძალიან დიდი ჰიდროკვანძებიც კი რომელიმე ერთი მიზნისათვის შენდება, ხოლო ძალიან იშვიათად რამდენიმე სამეურნეო ამოცანის გადასაწყვეტად. წყლის რესურსების კომპლექსურ გამოყენებას ჩვენში განსაკუთრებით მიაქციეს ყურადღება ომის შემდგომ ეტაპზე. ამის დამადასტურებელია ზემოთ ჩამოთვლილი ჰიდროკვანძები, რომელთა უმრავლესობა ერთდროულად წყვეტს სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობის რიგ პრობლემებს.

საბჭოთა ჰიდროენერგეტიკის დიდი წარმატებების ნათელ დადასტურებას წარმოადგენს ის განუწყვეტლად მზარდი ტექნიკური დახმარება, რომელსაც სსრ კავშირი უწევს მრავალ ქვეყანას ჰიდროელექტროსადგურების საძიებო სამუშაოებსა და დაპროექტებაში, მათ მშენებლობაში და მოწყობილობათა მიწოდებაში. საბჭოთა პროექტებითა და საბჭოთა სპეციალისტების დახმარებით აშენდა და შენდება ჰიდროელექტროსადგურები რიგ ქვეყნებში: ინდოეთში — ბჰაკრაჰ, გაერთიანებულ არაბთა რესპუბლიკაში — ასუჰანის; ავღანეთში — ნადლუს, ვიეტნამის დემოკრატიულ რესპუბლიკაში — თხაკ-ბას, ნეპალში, — როსის, ტუნისში — კასების და სხვა. მათთვის ძირითადი მოწყობილობანი დამზადდა და მზადდება საბჭოთა ქარხნებში.

საბჭოთა ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის განვითარების ზემოთ ჩატარებულ საერთო მიმოხილვაში არაერთხელ იყო ხსენებული საქართველოს ზოგიერთი ჰიდროენერგეტიკული დანადგარი, რომლებიც აშენდა საბჭოთა ხელისუფლების დროს და რომელთაც საპატიო ადგილი უქირავთ საბჭოთა კავშირის ჰიდროენერგეტიკის განვითარების ისტორიაში. აქ ჩვენ მოვიყვანთ მხოლოდ დამატებით ცნობებს, რათა სრული წარმოდგენა ვიქონიოთ საქართველოს ჰიდროტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონეზე.

საქართველო განსაკუთრებით გამოირჩევა მდიდარი ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით. ჩვენს მდინარეების პოტენციური სიმძლავრე 15,5 მილიონ კვტ-ს აღემატება, რაც შესაძლებელს ხდის ყოველწლიურად გამოუმუშავდეს 135,8 მილიარდი კვტ-სთ ელექტროენერგია. წყლის ენერჯის პოტენციური სიმძლავრის მიხედვით მოკავშირე რესპუბლიკებში საქართველოს მესამე ადგილი უქირავს (რუსეთისა და ტაჯიკეთის შემდეგ), ხოლო ჰიდროენერგეტიკული რესურსების იმ რაოდენობით, რომელიც ერთ კვადრატულ კილომეტრზე მოდის (1943 კვტ-სთ), — პირველი. იგი მდინარეთა პოტენციური სიმძლავრის მიხედვით უსწრებს მრავალ ქვეყანას: შვეციას, რუმინეთს, ინგლისს, ჩეხოსლოვაკიას, ბულგარეთს და სხვა.

საქართველოს მდინარეთა პოტენციური სიმძლავრე უდრის საფრანგეთისა და იტალიის ან შვეიცარიის, ესპანეთისა და გერმანიის მდინარეთა ერთად აღებულ ასეთსავე სიმძლავრეს.

გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან საქართველოს მდინარეების ჰიდროელექტური ენერჯის გამოყენების საკითხმა მიიზარო როგორც ქართველი საზოგადო მოღვაწეების (ნ. ნიკოლაძე, ი. ჭავჭავაძე და სხვ.), ისე რუსი და უცხოელი ინჟინრების, მათ შორის ევროპის კონცესიონერთა, ყურადღება. მრავალი პროექტი, რომლებიც ითვალისწინებდნენ ჰიდროელექტროსადგურების აგებას მტკვარზე, არაგვზე, რიონზე, ენგურსა და სხვა მდინარეებზე, განუხორციელებელი დარჩა<sup>1</sup>.

გასაბჭოებამდე საქართველოში აგებულ იქნა მცირე სიმძლავრის მხოლოდ რამდენიმე ჰიდროელექტროსადგური: ბორჯომისა — 290 ცხ. ძ. (აიგო 1898—1903 წწ.), ახალი ათონისა — 180 ცხ. ძ. (1902—1913 წწ.), გაგრის მდ. ჟოეკვარაზე — 810 ცხ.ძ. (1904 წ.), სოხუმის მდ. ბესლეთზე — 600 ცხ.ძ. (1908—1909 წწ.), ბიჭვინთის — 45 ცხ.ძ. (1913 წ.), ბოლნისის — 60 ცხ.ძ. (1913 წ.), ახალქალაქის — 120 ცხ.ძ. (1914 წ.) და სხვა. სულ მოქმედი ჰიდროელექტროსადგურების საერთო სიმძლავრე 1913 წლისათვის შეადგენდა დაახლოებით 1,3 ათას კვტ-ს.

ჰიდროენერგეტიკული და ჰიდროტექნიკური მშენებლობის ფართო განვითარება საქართველოში იწყება საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების შემდეგ. 1922 წლის 10 სექტემბერს მდ. მტკვარზე დაიწყო ზემო ავჭალის (ზაპენი) ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა და ამით საფუძველი ჩაეყარა საქართველოში მძლავრი ჰიდროენერგომშენებლობის საქმეს. იგი ექსპლუატაციაში შევიდა 1927 წელს. სადგურის სრული საპროექტო სიმძლავრე უდრიდა 36,8

<sup>1</sup> გ. ჩოგვაძე, ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა საქართველოში, თბილისი, 1968, გვ. 18—19.

ათას კვტ-ს. ზაპესი პირველი დიდი ჰიდროელექტროსადგური იყო სსრ კავშირში ვოლხოვკისის შემდეგ; მისი სიმძლავრე 3,5-ჯერ აღემატებოდა საქართველოში 1913 წელს მოქმედ ყველა ელექტროსადგურის სიმძლავრეს.

1928 წ. მდ. რიონზე დაიწყო საქართველოში მეორე სარაიონო მნიშვნელობის ჰიდროელექტროსადგურის — რიონჰესის მშენებლობა, რომლის სიმძლავრე 48 ათას კვტ უდრიდა. მისი მშენებლობა დამთავრდა 1933 წელს.

ომამდელი ხუთწლეულების მანძილზე სულ საქართველოში აშენდა ხუთი ჰიდროელექტროსადგური: ზაპესი (1927 წ.), აბჰესი (1928 წ.), რიონჰესი (1933 წ.), აწჰესი (1937 წ.) და ალაზანჰესი (1939 წ.).

დიდი სამამულო ომის შემდეგ მწყობრში ჩადგა ხრამჰესი I (1947 წ.), სოხუმჰესი (1948 წ.), ჩითახევჰესი (1949 წ.), ორთაქალჰესი (1954 წ.), შაორჰესი (1955 წ.), ბალნარჰესი (1955 წ.), იგოეთჰესი (1955 წ.), ბუუჟაჰესი (1956 წ.), კუმათჰესი II (1956 წ.), ტყიბულჰესი (1956 წ.), გუმათჰესი I (1958 წ.), ლაჩანურჰესი (1959 წ.), ტირიფონჰესი (1961 წ.) და ხრამჰესი II (1963 წ.). რესპუბლიკისათვის დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა სამგორის სარწყავი სისტემის ნაგებობათა მშენებლობის დამთავრებას 1951 წლის 4 ნოემბერს, რითაც გადაწყდა კომპლექსური ამოცანა მდ. იორის წყლის გამოყენებისა ერთდროულად სამგორის გვალვიანი მიწების მორწყვისათვის და ენერგეტიკული მიზნებისათვის. ამუშავდა საშუალო სიმძლავრის სამი ჰიდროელექტროსადგური, რომლებიც განლაგებულია სამგორის ზემო მაგისტრალურ არხზე: საცხენისჰესი, მარტყოფჰესი და თეთრიხევჰესი. მოგვიანებით მწყობრში ჩადგა ამ სისტემის მეოთხე ჰიდროელექტროსადგური — სიონჰესი, რომელიც ექსპლუატაციაში შევიდა სიონის მარეგულირებელ წყალსაცავთან ერთად. ეს წყალსაცავი შეიქმნა 22 მ სიმაღლის მიწის კაშხალით, რომელიც იმ დროისათვის ყველაზე მაღალი იყო საბჭოთა კავშირში.

საქართველოს სსრ განუწყვეტლივ მზარდი მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა და ტრანსპორტი მოითხოვს რესპუბლიკის ენერგეტიკული ბალანსის მკვეთრ გადიდებას ახალი ჰიდროენერგეტიკული სიმძლავრეების მშენებლობის გზით. ამ გზაზე გადაწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მდ. ენგურზე მძლავრი ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის მშენებლობას, რომელიც ამჟამად მიმდინარეობს.

ენგურის ჰიდროელექტროსადგური იგება ორი მოსაზღვრე მდინარის — ენგურისა და ერისწყლის ვარდნის გამოყენებით, სახელდობრ მდ. ენგურის ერისწყალში გადადებით. ენგურჰესი — ეს არის ხუთი ჰიდროელექტროსადგურის კომპლექსი, რომელშიც შედის ძირითადი შერეული (კაშხალ-დერივაციული) ტიპის დანადგარი (ენგურჰესი), კაშხალთან მდებარე ვარდნილჰესი I და სამი ერთი ტიპის კალაოტის დანადგარი ვარდნილჰესი II, ვარდნილჰესი III და ვარდნილჰესი IV, რომლებიც განლაგებულია წყალგამყვან არხზე. ამ არხიდან წყალი უშუალოდ შავ ზღვას ერთვის.

ენგურჰესის პირველი საფეხურის საერთო დაწნევა შეადგენს 409,5 მ-ს, აქედან 226 მ იქმნება კაშხალით, ხოლო დანარჩენი 183,5 მ სადაწნეო დერივაციით. ვარდნილჰესების შემდგომ ოთხ საფეხურზე გამოიყენება 100 მ ვარდნა. ენგურის ჰიდროელექტროსადგურების შეჭამებული დადგმული სიმძლავრე იქნება 1,64 მლნ. კვტ, ხოლო ელექტროენერჯის საშუალო წლიური გამოიმუშავება 5 460 მლნ. კვტ-სთ.



საყურადღებოა, რომ ენგურაჰის თითქმის ყველა ნაგებობა საინჟინრო თვალსაზრისით რთული და გაბედულია. ამ მხრივ ყველაზე დიდ ინტერესს იწვევს უნიკალური, 271,5 მ სიმაღლის, თაღოვანი კაშხალი, რომლის მშენებლობა მიმდინარეობს ძალიან რთულ ტოპოგრაფიულ და გეოლოგიურ პირობებში. უნიკალურია აგრეთვე 15,05 კმ სიგრძისა და 9,5 მ დიამეტრის სადაწნეო დერივაციული გვირაბი. გვირაბი გადის ძალიან რთულ გეოლოგიურ პირობებში და იმყოფება დიდი დაწნევის ქვეშ.

რესპუბლიკის სახალხო მეურნეობის ელექტროენერჯით უზრუნველყოფის საქმეში მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს კიდევ ორი ახალი მძლავრი ჰიდროელექტროსადგური მდ. რიონზე — ნამახვანაჰესი (480 ათასი კვტ) და ვარციხეჰესი (170 ათასი კვტ); ამ უკანასკნელის მშენებლობა დაიწყო 1971 წ. გარდა ამისა „თბილისის ზღვის“ წყლით უზრუნველყოფისა და ქ. თბილისის წყალმომარაგების გაუმჯობესების მიზნით 1971 წელს დაიწყო ენეალის ჰიდროკომპლექსის მშენებლობა მდ. არაგზე, რომელშიც გათვალისწინებულია 100 მ სიმაღლის მიწის კაშხალისა და 80 ათასი კვტ სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურის („თინვალჰესის“) აგება.

ამრიგად, საქართველოს ჰიდროენერჯეტიკოსებისა და ჰიდრომშენებლების მთავარ ამოცანას წარმოადგენს უახლოესი ხუთწლედების მანძილზე დასახონ და განახორციელონ მაღალეფექტური ჰიდროელექტროსადგურები, რომლებმაც უნდა უზრუნველყოფონ რესპუბლიკის მუდმივად მზარდი მოთხოვნილება ელექტროენერჯიაზე.

**ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეობანი  
და მუშაობის საერთო პირობები**

თ ა ვ ი 11

**ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძები, ჰიდრონაგებობები  
ჰიდროენერგეტიკულ და მელიორაციულ სისტემებში,  
კაშხალები და მათი კლასიფიკაცია**

**§ 2-1. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეობანი**

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს ზოგადად ჰყოფენ ორ ძირითად ჯგუფად: საერთო დანიშნულებისა და სპეციალურ ნაგებობებად.

საერთო დანიშნულების ნაგებობებს მიეკუთვნება:

1) წყალშემტორავი — კაშხალები, ჯებირები, რაბები და სხვა ნაგებობანი, რომლებიც გადალობვენ მდინარის ნაკადს და ქმნიან წყლის დონეთა სხვაობას (დაწნევას);

2) სარეგულაციო ანუ სამმართავი, რომელთა დანიშნულებას შეადგენს მდინარეების, ზღვებისა და ტბების ნაპირების დაცვა-გამაგრება, მდინარეთა კალაპოტებში ნაკადის დინების რეგულირება, ნატანის შეკავება და სხვ.;

3) წყალსატარი — არხები, ჰიდროტექნიკური გვირაბები, ლარები და მილსადენები, რომლებითაც წარმოებს წყლის საანგარიშო ხარჯების მიწოდება ერთი პუნქტიდან მეორეში;

4) წყალმიმღები, რომლებითაც ხორციელდება წყლის მიღება მდინარიდან, ტბიდან ან წყალსაცავიდან და მისი მიწოდება წყალსატარში;

5) წყალსაგდები, რომლის დანიშნულებაცაა წყლის გადაგდება წყალსატევეებიდან (წყალსაცავებიდან, ტბორებიდან, არხებიდან, საწნეო აუზებიდან და სხვ.).

საკვირაო შევნიშნოთ, რომ წყალმიმღებები შეიძლება მიეკუთვნოთ სპეციალურ (დარგობრივ) ნაგებობათა ჯგუფსაც, რადგან წყალმიმღებები, მაგალითად, ჰიდროელექტროსადგურებისა როგორც კონსტრუქციული გადაწყვეტილი, ისე წყლის მიღების პირობებითაც განსხვავდებიან ასეთივე დანიშნულების ნაგებობებისაგან, რომლებიც გამოიყენებიან წყალმომარაგებაში ან ირიგაციისში.

სპეციალური დანიშნულების ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს მიეკუთვნება:

1) ჰიდროენერგეტიკული — ჰიდროელექტროსადგურების შენობები, ავანკამერები, საწნეო აუზები, გამთანებრებელი კოშკები, შახტები და სხვ.;

2) წყლის ტრანსპორტის ანუ წყალსატრანსპორტო — სანაოსნო რაბები, გემთაშენები, მისადგომები, ტრესავალები, ხე-ტყის დასაცურებლები და ა. შ.;

3) ჰიდრომელიორაციული (სარწყავი და დამშრობი) — წყალმიმღებები, რაბ-რეგულატორები, სალექრები, წყალგამყოფები, ღრენაეები, კოლექტორები და ა. შ.;

4) წყალმომარაგებისა და კანალიზაციის — კაბტაეები, სატუმბო სადგურები, წყალსაწინევი კოშკები, ტბორ-საცივრები, გამშენდი მოწყობილობები და ა. შ.;

5) თევზსამეურნეო — თევზსავალები, თევზამყვანები (აშენები), თევზსაშენი ტბორები და ა. შ.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაყოფა წარმოებს აგრეთვე სამსახურის რაიონის მიხედვითაც. აქედან გამოდინარე, ერთმანეთისაგან განასხვავებენ: სამდინარო, სატბო და საზღვაო ნაგებობებს.

მნიშვნელობის მიხედვით ჰიდროტექნიკური ნაგებობები იყოფა სამ ჯგუფად:

1) ძირითადი, რომელთა მწყობრიდან გამოსვლა იწვევს კვანძის ან სისტემის მუშაობის სრულ ან მნიშვნელოვან შეწყვეტას (კაშხალი, ჰიდროელექტროსადგურის შენობა, საექსპლუატაციო გვირაბი და ა. შ.);

2) მეორეხარისხოვანი, რომელთა ღროებით გამოსვლა მწყობრიდან არ იწვევს კვანძის ან სისტემის მუშაობის შეწყვეტას, მაგრამ გარკვეულად აფერხებს მას (საყრდენი კედლები, ყინულმცველი კედლები, ჭებირები, არხების მოპირკეთება და ა. შ.).

3) დამხმარე, რომლებიც არსებობენ მხოლოდ ძირითად და მეორეხარისხოვან ნაგებობათა მშენებლობის პერიოდში (ზღუდარები, ესტაკადები, ქარგილები და ა. შ.).

სამსახურის ხანგრძლივობის მიხედვით ჰიდროტექნიკური ნაგებობები იყოფა მუდმივ და ღროებით ნაგებობებად. მუდმივს მიეკუთვნება ნაგებობები, რომლებიც გამოიყენებიან ობიექტის ექსპლუატაციის მთელ პერიოდში, ზოლო ღროებითს ის ნაგებობები, რომლებიც მოქმედებენ მხოლოდ მუდმივ ნაგებობათა მშენებლობის ან რემონტის პერიოდში (ზღუდარები, ღროებითი წყალსადგებები და სხვა). ცხადია, დამხმარე ნაგებობები მიეკუთვნება ღროებით ნაგებობათა თანრიგს.

სსრ კავშირში ამჟამად მოქმედ სამშენებლო წესებისა და ნორმების შესაბამისად (CHИП II—50—74), სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობის, საწარმოო ეფექტურობის, ჰიდროკვანძებში და სისტემებში მათი მნიშვნელობის, სამსახურის ხანგრძლივობის, ავარიით ან ექსპლუატაციის დარღვევით გამოწვეული შედეგების, შემტობრავ ნაგებობათა მაქსიმალური სიმაღლისა და წყალსაცავის მოცულობების, ფუძის გეოლოგიური აგებულების, რაიონის სეისმოლოგიის, ხეობის ტოპოგრაფიული პირობების და სხვ. მიხედვით ჰიდროტექნიკური ნაგებობები იყოფა კლასებად. ამ დაყოფას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს იმისათვის, რათა სწორად იქნეს დადგენილი ნაგებობათა საიმედოობის საზომი, ე. ი. სიმტკიცისა და მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტების მნიშვნელობანი, სამშენებლო მასალების ხარისხი და სხვა. ვასაგებია, რომ რამდენად მეტი საპასუხისმგებლოა დასაგეგმარებელი ნაგებობა, იმდენად უფრო დიდი აიღება აღნიშნული მარაგები.

ზემოსხნეული ნორმებისა და წესების შესაბამისად ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კლასებად დაყოფა წარმოებს 1-1 ცხრილის მიხედვით.

კლასებად დაყოფის აღნიშნული წესების თანახმად, კომპლექსური ჰიდროკანძის ძირითად ნაგებობებს უნდა დაუდგინდეს კომპლექსის იმ მონაწილის (ენერგეტიკა, სამდინარო ტრანსპორტი, მელიორაცია, წყალმომარაგება) კლასი, რომლის მაჩვენებლები შეესაბამება ყველაზე მაღალ კლასს.

დასაშვებადაა მიჩნეული 1,5 მლნ. კვტ-ზე ნაკლები სიმძლავრის ჰიდრაულიკური ან სითბური ელექტროსადგურების ძირითად ნაგებობათა კლასის აწევა იმ შემთხვევაში, თუ ეს ელექტროსადგურები იზოლირებულია სისტემისაგან და ემსახურება მსხვილ დასახლებულ პუნქტებს, სამრეწველო დაწესებულებებს, ტრანსპორტს და სხვა. ამასთან, ცხადია, ელექტროსადგურების კლასის აწევა უნდა მოხდეს ელექტროენერჯით მომარაგების შეწყვეტის შედეგების პასუხისმგებლობის გათვალისწინებით.

ცხრილი 1-1

ჰიდროტექნიკური მშენებლობის ობიექტებისა და მაჩვენებლების დასახელება	ნაგებობათა კლასები	
	ძირითადი	მეორეხარისხო- ვანი
ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ჰიდრაულიკური, ჰიდრო- მაკულულებული და სითბური ელექტროსადგურებისა, რომელთა სიმძლავრეა:		
1,5 მლნ. კვტ და მეტი	I	II
1,5 მლნ. კვტ-ზე ნაკლები	II-IV	III-IV
ჰიდროტექნიკური ნაგებობები ატომური ელექტროსადგურებისა, რომელთა სიმძლავრეა:		
500 ათასი კვტ და მეტი	I	III
101-დან 500 ათას კვტ-მდე	II	III
100 ათასი კვტ და უფრო ნაკლები	III	IV
ჰიდროტექნიკური ნაგებობები შიგა წყლის გზებზე:		
ჰეაჰესტრალურზე	II	III
მეგისტრალური და ადგილობრივი მნიშვნელობის	III	IV
ადგილობრივი მნიშვნელობის — პატარა მდინარეებზე	IV	IV
ნაგებობები სამდინარო ნაესადგურებისა, რომელთა სანა- ოვაციო ტერიტორია შეადგენს:		
3 მლნ-ზე მეტ პირობ. ტ.	II	III
151 ათასიდან 3 მლნ. პირობ. ტ-მდე	III	IV
150 ათას პირობ. ტ-მდე	IV	IV
სამდინარო ჰიდროკანძები და მაგისტრალური არხები სარწყავი სისტემების 400 ათას ჰექტარზე მეტი სარწყავი ფართობით	II	III
სამდინარო ჰიდროკანძები და მაგისტრალური არხები მელიორაციული სისტემებისა შემდეგი სარწყავი და დასაპ- რობი ფართობით:		
51-დან 400 ათას ჰა-მდე	III	IV
50 ათას ჰა-მდე	IV	IV
შენიშვნა: სადამწყო თრონტოს შექმნაში მონაწილე თევზ- გატარ ნაგებობებს უდევნენ იგივე კლასს, რასაც წყალშემტბორავ ნაგებობებს		

ძირითადად ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კლასი (გარდა IV) დაწეული უნდა იქნეს ერთეულით: I და II კლასის ნაგებობებისათვის, რომლებიც არ

მონაწილეობენ სადანწეო ფრონტის შექმნაში (პესის შენობების, სადაწნეო დერეფანი და სატურბინო წყალსატარების, სადაწნეო აუზებისა და გამთანაბრებელი კამერების გამოკლებით); ენერგეტიკული, მელიორაციული და სანაოსნო ნაგებობებისათვის, რომელთა ექსპლუატაციის პირობები საშუალებას იძლევა ნაგებობათა რემონტი ჩატარდეს ჰიდროკვანძის მუშაობის შეუფერხებლად, და ისეთი სარწყავი სისტემის ნაგებობებისათვის, რომლის სამსახურის ვადა წინდაწინაა განსაზღვრული და არ აღემატება 10 წელს.

სათანადო დასაბუთების საფუძველზე დასაშვებია დროებითი ნაგებობები მიეკუთვნოს IV კლასს იმ შემთხვევაში, თუ ამ ნაგებობათა ავარიას შეუძლია გამოიწვიოს კატასტროფული ხასიათის შედეგები სამშენებლო მოედნისათვის, დასახლებული პუნქტებისა, ნაგებობებისა და საწარმოებისათვის ან გამოიწვიოს I, II და III კლასის ობიექტების ძირითად ნაგებობათა მშენებლობის შეფერხება. სათანადო დასაბუთების შემთხვევაში დასაშვებია ზღუდარები და სამშენებლო გვირაბები მიეკუთვნოს III კლასს..—

### § 2-3. საშენადრო ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძები

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეობანი, რომლებიც ზემოთ იყო ჩამოთვლილი, ხშირად განიხილებიან მთლიანობაში, რაც ნაწილობრივ წყლის მეურნეობის ღონისძიებათა კომპლექსურობის შედეგია. ნაგებობათა ასეთ კომპლექსებს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძები ანუ შემოკლებით ჰიდროკვანძები ეწოდება. მათგან საჭიროა განსაკუთრებით აღინიშნოს საშენადრო ჰიდროკვანძები, რომლებიც ზოგჯერ წარმოადგენენ სხვადასხვა წყალსამეურნეო დანიშნულების ნაგებობათა რთულ შეერთებას საერთო-წყალშემტბორავ, წყალსატარ და სარეგულაციო ნაგებობებთან. როდესაც კვანძში შედის წყალშემტბორავი ნაგებობა (კაშხალი), მაშინ მას დაწინევიან ჰიდროკვანძს უწოდებენ, წინააღმდეგ შემთხვევაში — უდაწნეოს.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძები ძირითადად დარგობრივია და ამის შესაბამისად შეიძლება იყოს:

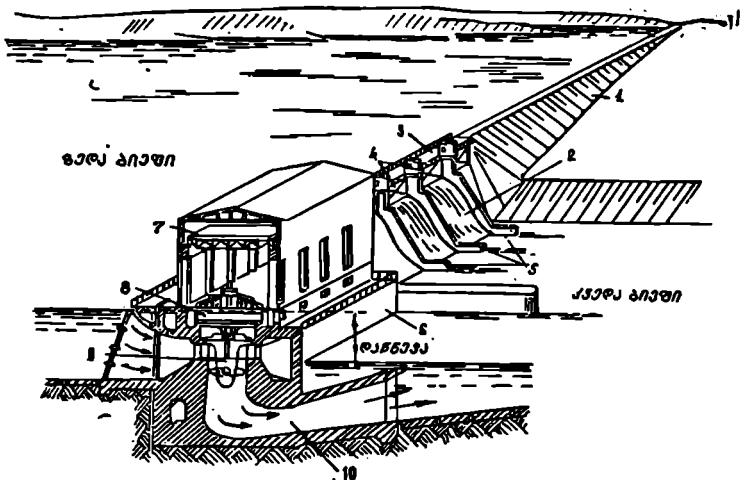
ა) ჰ ი დ რ ო ე ნ ე რ გ ე ტ ი კ უ ლ ი, როდესაც ჰიდროკვანძის დანიშნულებას შეადგენს ჰიდროენერჯის მიღება. მის შედგენილობაში, გარდა შემტბორავი ნაგებობებისა, შედის ჰიდროელექტროსადგური, რომელიც უშუალოდ იყენებს წყლის შექმნილ ვარდნილს ანუ დაწინევას (ნახ. 2-1).

ბ) ს ა ტ რ ა ნ ს პ ო რ ტ ო, როდესაც ჰიდროკვანძი ძირითადად ემსახურება წყლის ტრანსპორტს. მის შედგენილობაში შედიან სატრანსპორტო ნაგებობანი (რაბები, გემთამწეები ან ლიფტები, ტიფსაველი და სხვა).

გ) წ ყ ა ლ მ ი მ ლ ე ბ ი, რომლის დანიშნულებას შეადგენს წყლის მიღება და მიწოდება წყალსატარ ნაგებობაში სხვადასხვა სამეურნეო მიზნების დასაკმაყოფილებლად (ენერგეტიკა, წყალმომარაგება, ირიგაცია და სხვა) (ნახ. 2-2);

დ) ჩ ა ნ ა დ ე ნ ი ს მ ა რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ე ლ ი ა ნ უ ს ა წ ყ ა ლ ს ა ც ა ვ ო, როდესაც ჰიდროკვანძს ეკისრება წყალდიდობის დროს წყლის დაგროვების ფუნქციები და მისი შემდგომი გაშვების უზრუნველყოფა მოშხმარებლის (ენერგეტიკა, ირიგაცია, ნაოსნობა და ა. შ.) მიერ მოთხოვნილ პერიოდებში (ნახ. 2-3).

სოციალისტური მეურნეობის პირობებში ამა თუ იმ მთავარი წყალსამეურნეო ამოცანის გადაწყვეტის დროს ძალიან ხშირად განიხილება აგრეთვე



ნახ. 2 — 1. ენერგეტიკული ჰიდროტექნიკური კვანძის კრილი — ხელი:

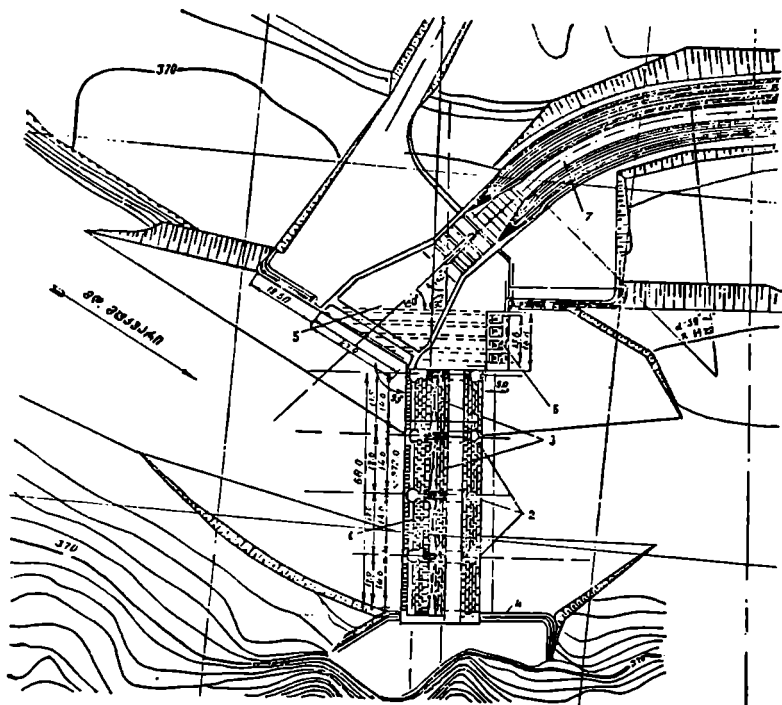
- 1—შიწის კაშხალი; 2—ბეტონის წყალსამედი კაშხალი; 3—ხიდი; 4—საკეტები; 5—ბურჯები; 6—ჰიდროელექტროსადგურის შენობა; 7—ხილური ამწე; 8—გენერატორი; 9—ტურბინა; 10—გამწოვი მილი.

სხვა წყალსამეურნეო ამოცანებით, ე. ი. წყლის გამოყენების საკითხები წყდება კომპლექსურად. აქედან გამომდინარე ჰიდროტექნიკური კვანძებით ხშირ შემთხვევაში არის კომპლექსური ხასიათის. შემადგენელი ელემენტების შესაბამისად ეს კვანძები ღებულობს სათანადო სახელწოდებებს, მაგალითად: ენერგეტიკულ-სატრანსპორტო (ნახ. 2-4), სატრანსპორტო-წყალმიმღები, წყალმიმღები-ენერგეტიკული, ენერგეტიკულ-სატრანსპორტო-წყალმიმღები და სხვ.

ჰიდროკვანძის მიერ შექმნილი დაწნევის მიხედვით ერთმანეთისაგან განარჩევენ: ა) დაბალ დაწნევიან — 2-დან 8—10 მ-მდე დაწნევით, ბ) საშუალო დაწნევიან — 8 — 10-დან 30—40 მ-მდე დაწნევით და გ) მაღალ დაწნევიან ჰიდროკვანძებს 40 მ-ზე მეტი დაწნევით.

უკანასკნელი ორი-სამი ათეული წლის მანძილზე კაშხალთმშენებლობის პრაქტიკაში განხორციელდა უნიკალური სიმაღლის კაშხალები. ამასთან დაკავშირებით მაღალდაწნევიან ჰიდროკვანძებიდან შეიძლება პირობით გამოეყოთ ზემოაღნიშნული დაწნევის ჰიდროკვანძები, რომელთა დაწნევა აღემატება 150—200 მეტრს.

დაბალდაწნევიან ჰიდროკვანძებს ხშირ შემთხვევაში აგებენ წყლის მიღების მიზნით ან ნაოსნობისათვის, ხოლო ძალიან იშვიათად—ენერგეტიკული მიზნებისათვის. საშუალო დაწნევის ჰიდროკვანძები წარმოადგენს ენერგეტიკულ და სატრანსპორტო-ენერგეტიკულ ჰიდროკვანძებს, ხოლო პატარა მდინარეებზე — ჩანადენის მარეგულირებელ ჰიდროკვანძებს. რაც შეეხება მაღალი და ზემოაღნიშნული დაწნევის ჰიდროკვანძებს, მათ ძირითადად აგებენ ენერგეტიკული მიზნებისათვის და ჩანადენის რეგულირებისათვის.

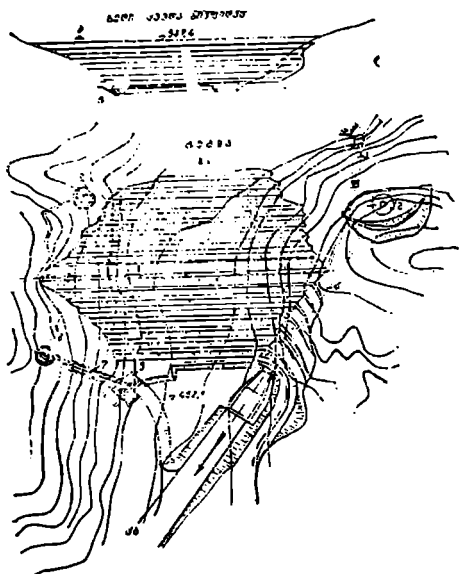


ნახ. 2 — 2. წყალშიღები (სათავე) ჰიდროტექნიკური კვანძი:

- 1—დამალბლურბლიანი წყალსაშვები კაშხალი („ფარბიანი“ კაშხალი); 2—შუალედური ბერ-  
 ყები; 3—ბრტველი საკეტები; 4—სანაპირო ბურჯი (ყედელი); 5—სანაპირო წყალშიღები ფსკე-  
 რული გამრეცი გალერეებით; 6—გამრეცი გალერეების გამოსავალი ხერტები;  
 7—ღერიაციული არხი.

ენერგეტიკულ ჰიდროკვანძებში ჰესის შენობებისა და საერთოდ ნაგებობათა განლაგების სქემები ვრცლად შეისწავლება ჰიდროსადგურების კურსში. ჩვენ აქ მხოლოდ მოკლედ გავეცნობით ამ საკითხებს იმ აუცილებლობის გამო, რომ ნაკადის წყლის ენერჯის გამოყენებისა და ნაგებობათა ურთიერთგანლაგების სქემები გეოლოგიურ და სხვა პირობებთან ერთად წარმოადგენს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ტიპებისა და კონსტრუქციების განმსაზღვრელ ძირითად ფაქტორებს.

თუ საკითხს დავაყენებთ ზოგადად, მაშინ ენერგეტიკულ ჰიდროკვანძში ჰიდროელექტროსადგურის შენობა შეიძლება მოთავსდეს სხვადასხვაგვარად. იმის მიხედვით, თუ რა მდებარეობა უჭირავს ჰესის შენობას სადაწნეო ფრონტის მიმართ, განასხვავებენ ჰესის შენობის მოთავსების ორ ძირითად სქემას: 1) ჰესის შენობა მოთავსებულია უშუალოდ შემტბორავ ნაგებობათა ფრონტში და თვით წარმოადგენს შემტბორავ ნაგებობას და 2) ჰესის შენობა მოთავსებუ-



ნახ. 2—3. ჩანადრის მარეგულირებელი მალაღაწენიანი ენერგეტიკული ჰიდროტექნიკური კვანძი:

1—მიწის კაშხალი; 2—მასტური წყალაგდები; 3—სამშენებლო (წყალსაგდები) გვირაბის ზედა უბანი; 4—სამშენებლო გვირაბის ქვედა უბანი, რომელიც გამოყენებულია საექსპლუატაციო წყალსაგდებად; 5—ქვის სამანქანო შენობა; 6—ენერგეტიკული გვირაბი; 7—გვირაბული სატურბინო წყალსატარები; 8—წყალმიღები კოშკი

დავუბრუნდეთ ისევ ჰიდროტექნიკურ კვანძებს და მოკლედ შევეხოთ მათი შედგენილობის საკითხს.

ჰიდროკვანძის შედგენილობაში შეიძლება შედიოდეს სხვადასხვა დანიშნულების მუდმივი და დროებითი ნაგებობანი.

მუდმივ ნაგებობებში განარჩევენ ძირითად, მეორეხარისხოვან (იხ. § 2-1) და დამხმარე ნაგებობებს.

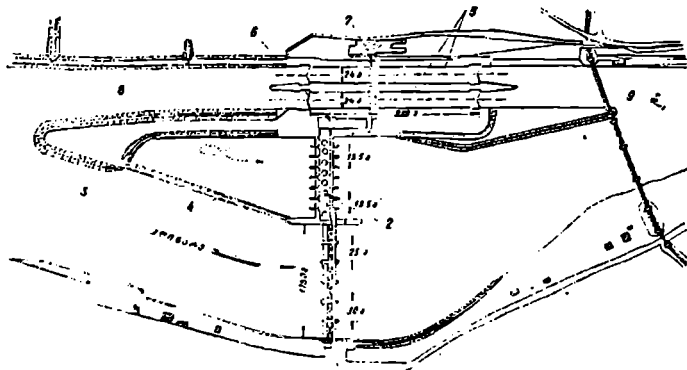
ძირითადი ნაგებობები უზრუნველყოფს ჰიდროკვანძის ნორმალურ მუშაობას; მათ მიეკუთვნება ყველა საერთო და სპეციალური ნაგებობები.

საერთო ნაგებობებს მიეკუთვნება: ა) კაშხალი, რომლებიც ქმნიან დაწინევას და ზემო ბიეფის ტევადობას; ბ) წყალსაგდებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ჰარბი წყლის გადაგდებას და წყალსაცავის ნაწილობრივ ან სრულ დაცვას; გ) ყინულ- და თოშსაგდები და ყინულშემკავებელი ნაგებობები, რომლებსაც განსაკუთრებით საპირობებენ ჰიდროკვანძები ჩრდილოეთის მდინარეებზე; დ) ნატანის გამრეცხი ნაგებობები; ე) ნაკადის სარეგულაციო ნაგებობები—გრძივი და განივი ჯებირები,

ლია შემტობორავი ნაგებობის უკან უშუალოდ მის მახლობლად და, მაშასადამე, განთავისუფლებულია წყლის წნევისაგან ზემო ბიეფის მხრიდან. პირველი სქემის შემთხვევაში იქმნება ეგრეთ წოდებული კალაპოტური ან ჩაშენებული ტიპის ჰიდროელექტროსადგურები (ნახ. 2-1, 2-4), ხოლო მეორე სქემის დროს — კაშხალთან მდებარე ჰიდროელექტროსადგურები (ნახ. 2-5).

კალაპოტური და ჩაშენებული ტიპის ჰიდროელექტროსადგურებიდან შეიძლება გამოვყოთ ზოგი ახალი ტიპის ჰიდროსადგური კაშხალის ტანში ან ბურჯში მოთავსებული სამანქანო შენობებით (შეთავსებული ჰესები), რომლებიც გარკვეულ პირობებში იძლევიან ტექნიკურად და ეკონომიურად ხელსაყრელ გადაწყვეტას. სხვა ტიპის ჰიდროელექტროსადგურების შესახებ, რომლებშიც დაწინევის შესაქმნელად გამოყენებულია გრძელი წყალსატარი ნაგებობანი (დერივაციი), შემდეგ პარაგრაფში გვექნება ლაპარაკი.



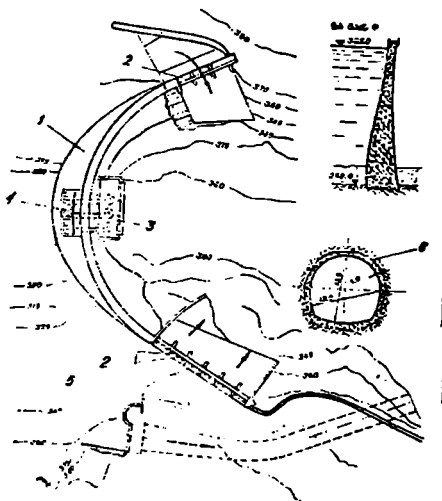


ნახ. 2—4. ენერგეტიკულ-სატრანსპორტო ჰიდროტექნიკური კვანძი ვაკის მდინარეზე:  
 1—საკეტებიანი წყალ-აშუები კაშხალი; 2—ქვის ნენობა; 3—აენაკამერა; 4—უინულმცევი კედელი; 5—სანაოსნო რაბები; 6—განმანაწილებელი მოწყობილობა; 7—ძაბვის ამწევი ქვესადგური; 8—შიასავლელი არხი; 9—ქვედა არხი.

ნაპირსამაგრი მოპირკეთება და ა. შ.; ე) შემაშლლებელი ნაგებობები, რომელთა ამოცანას შეადგენს კვანძის სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობათა სწორი კონსტრუქციული და ჰიდრავლიკური შეუღლება, მაგალითად. შემაშლლებელი ბურჯები, ჯებირები, გამყოფი ბურჯები და სხვა.

დამხმარე ნაგებობები, რომლებიც არ წარმოადგენენ ჰიდრონაგებობებს. საჭირონი არიან ძირითად და საეკიალურ ნაგებობათა ექსპლუატაციის განსახორციელებლად. მათ მიეკუთვნებიან საცხოვრებელი და ადმინისტრაციულ-სამეურნეო ნაგებობები, წყალმომარაგების, კანალიზაციის, კავშირგაბმულობისა და განათების სისტემები. კვანძის ტერიტორიაზე არსებული მისასვლელი და საექსპლუატაციო გზები, სახელოსნოები და სხვა.

დროებით ნაგებობებს მიეკუთვნება: ზღუდარები, რომლებიც იცავენ წყლისაგან მშენებარე ნაგებობათა ქვაბულებს, დროებითი ხიდები, გზები, ძა-



ნახ. 2—5. შალაღწევიანი მარჯვლივბელი ენერგეტიკული ჰიდროტექნიკური კვანძი კაშხალთან მდებარე ჰიდროელექტროსადგურით:

- 1—შალაღ წილივანი კაშხალი; 2—ლია წყალსაგდები;
- 3—ჰიდროელექტროსადგურის ნენობა; 4—წყალმიმღები კაშხალის ტანში; 5—დამატებითი გვირაბული წყალსაგდები; 6—გვირაბული წყალსაგდების კვეთი.

ლოვანი სადგურები, ბეტონის ქარხნები, ხის დასამუშავებელი და მექანიკური სახელოსნოები, მშენებელ მუშათა დაბები და სხვა ნაგებობები, რომლებიც საჭირონი არიან მულმივ ნაგებობათა მშენებლობის პერიოდში.

ღროებით ნაგებობათა ნაწილი, მაგალითად, გზები, სახელოსნოები, მუშათა დაბების შენობების ნაწილი, ღროებითი წყალსადგებები და სხვ. რჩება ექსპლუატაციის პერიოდში და უთავსდება მულმივ ნაგებობებს.

§ 2-8. დერივაციული ჰიდროელექტროსადგურების  
ნაგებობათა შედგენილობა

ჰიდროელექტროსადგურის დაწნევა შეიძლება შეიქმნას სხვადასხვა სქემით. ამა თუ იმ სქემის არჩევა დამოკიდებულია მდინარის გამოყენების რაიონის ტოპოგრაფიულ და გეოლოგიურ პირობებზე, აგრეთვე ზოგიერთ სხვა ფაქტორზე, რომელთაგან მნიშვნელოვანია ეკონომიური ფაქტორი.

განარჩევენ ჰიდროელექტროსადგურის სამ ძირითად სქემას:

1) კაშხალურს, რომლის დროს ჰესის მთელი დაწნევა იქმნება კაშხალით (ნახ. 2-1, 2-3, 2-4, 2-5);

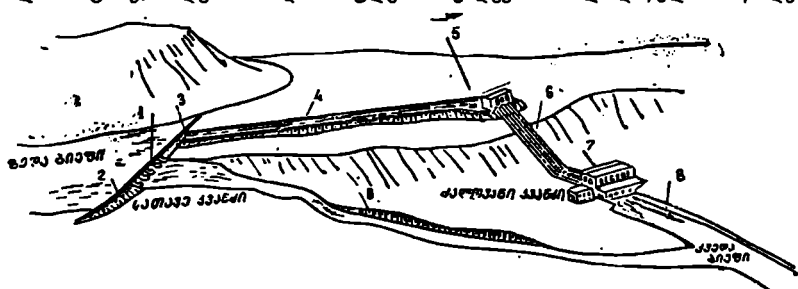
2) დერივაციულს, როდესაც დაწნევა იქმნება დერივაციული არხით, მილსადენით ან გვირაბით (ნახ. 2-6, 2-7);

3) შერეულს — კაშხალ-დერივაციულ სქემას, რომელშიაც დაწნევა იქმნება, როგორც კაშხალით, ისე დერივაციით.

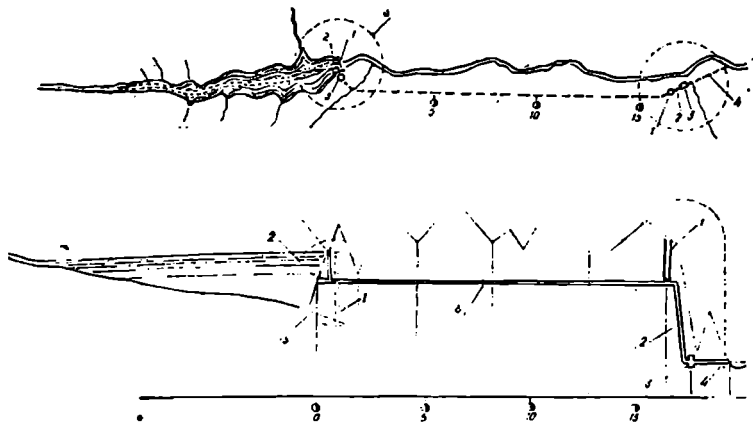
კაშხალური სქემის შემთხვევაში ჰესის დაწნევა იქმნება კაშხალის მიერ წყლის დონის აწევით, რაც, ცხადია, იწვევს ნაპირებისა და მომიჯნავე ტერიტორიების დატბორვას.

საჭიროა შევნიშნოთ, რომ ტერიტორიების დატბორვის გამო ხშირად აუცილებელი ხდება მის ზონაში მოქცეული თითქმის ყველა ნაგებობის, დასახლებული პუნქტის, სამრეწველო დაწესებულების, გზის და სხვ. გადატანა. კვანძის მიერ შესაქმნელი შეტბორვის სიმაღლის (დაწნევის) დადგენის დროს სწორედ აღნიშნულ გარემობას უნდა მიექცეს დიდი ყურადღება და მიღებულ იქნეს ეკონომიურად ხელსაყრელი გადაწყვეტა.

დერივაციული სქემის შემთხვევაში კაშხალის სიმაღლე შეიძლება იყოს ძალიან მცირე, რადგან მის დანიშნულებას შეადგენს მხოლოდ წყლის მიწოდე-



ნახ. 2-6. უდაწნეო დერივაციული ჰიდროელექტროსადგურის ნაგებობათა განლაგების სქემა: 1—წყალსაშვები კაშხალი; 2—ყრუ კაშხალი; 3—წყალმიღები; 4—დერივაციული არხი; 5—სადრეიეო თუზი; 6—სადრეიეო მილსადენები; 7—ჰიდროელექტროსადგურის შენობა; 8—გამყვანი არხი; 9—მდინარის კალაპოტი.



ნახ. 2—7. საღაწნეო ღეროვანი შერეული ტიპის ჰიდროელექტროსადგურის ნაგებობათა განლაგების სქემა (გეგმა და გრძივი პროფილი):

ა—სათავე კენძის ნაგებობანი: 1—კაშხალი; 2—წყალშიღები; 3—საკეტების სამართავი შახტი; ბ—საღაწნეო ღეროვანი გვირაბი; გ—ძალოვანი კენძის ნაგებობანი: 1—გამთანაბრებელი რეზერვუარი; 2—საღაწნეო მილსადენი; 3—ტესის მიწისქვეშა შენობა; 4—უღაწნეო გამყვანი გვირაბი.

ბის უზრუნველყოფა ღეროვანობაში (არხში, მილსადენში ან გვირაბში), რომლითაც იქმნება ჰიდროელექტროსადგურის დაწნევა. ღეროვანი არხი გაჰყავთ მდინარის ხეობის იმ მხარეზე (ფერდობზე), რომელიც უფრო მონერხებულია ამ მიზნით. ამასთანავე ცხადია, რომ მისი ტრასა ძირითადად უნდა მიჰყვებოდეს ადგილმდებარეობის ჰორიზონტალებს და შეძლებისდაგვარად გადიოდეს მოკლე გზით. არხში წყლის დინების სიჩქარე აიღება საკმარისად მცირე, რის შედეგად აღწევენ მდინარის ქანობზე მნიშვნელოვნად ნაკლებ ქანობს და, მაშასადამე, სათანადო დონეთა სხვაობას (დაწნევას) არხის ბოლოში.

როდესაც ადგილმდებარეობის რელიეფი მიუღებელია არხის გასაყვანად (ციცაბო, დანაოქებული და ხეობებიანი ფერდობები ან მთაგორიანი ადგილები), მაშინ გაჰყავთ გვირაბი ანდა, მცირე საანგარიშო ხარჯების შემთხვევებში, ღეროვანი მილსადენი. გვირაბში წყლის მოძრაობა შეიძლება იყოს უღაწნეო და დაწნეითი, ამის შესაბამისად განარჩევენ უღაწნეო და დაწნეით ღეროვან გვირაბებს, რომელთაც შესაბამისი ფორმის განივკვეთები აქვთ.

მესამე, შერეული ანუ კაშხალ-ღეროვანი სქემა ხასიათდება იმ უპირატესობით, რაც გააჩნია პირველ ორ სქემას. იგი მიზანშეწონილია განსაკუთრებით იმ ადგილებში, სადაც მდინარეს ზედა უბანში აქვს მცირე ვარდნა (ქანობი), რომელიც არახელსაყრელია არხის გამოყენებისათვის, ხოლო ქვედა უბანში მნიშვნელოვანი ქანობი. ასეთი ტოპოგრაფიული პირობების შემთხვევაში სათანადო სიმაღლის კაშხალის აგებით მდინარის ზედა უბანზე შეიძლება შეიქმნას მარეგულირებელი წყალსაცავი, ხოლო ქვედა უბანზე განხორციელდეს ღეროვანობა. საქართველოს სსრ სამთო პირობებისათვის ჰიდროელექტროსადგურის შერეული სქემა ერთ-ერთი მიზანშეწონილი სქემაა. ამ სქემით განხორციელდა ჩვენში რამდენიმე ჰიდროელექტროსადგური: ხრამპეტი I, შაორპეტი,

ტყიბულაძის, ლაჭანაძის. მშენებლობის სტადიაშია, როგორც აღვნიშნეთ, დიდი სიმაღლის შერეული ტიპის ჰიდროელექტროსადგური მდ. ენგურზე, რომელსაც ექნება მსოფლიოში უნიკალური სიმაღლის თაღოვანი კაშხალი ( $h=271,5$  მ) და 15,05 კმ სიგრძის სადაწნეო დერივაციული გვირაბი.

ჰიდროენერგომშენებლობაში მიმართავენ უფრო რთული სქემების გამოყენებასაც. ამის მაგალითებია ჰიდროსადგურთა დერივაციული კასკადები, ერთი მდინარის ჩანადენის მეორე მდინარის აუზში გადაგდების, ტბებისა და წყალსაცავების ურთაერთდაკავშირების და სხვა სპეციალური სქემები.

როდესაც ჰიდროელექტროსადგურის დაწნევის შესაქმნელად გამოყენებულია ამა თუ იმ ტიპის დერივაცია, მაშინ ჰესის დანადგარი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ნაგებობათა შემდეგი სამი მთავარი კვანძის სახით:

1) სა მ დ ი ნ ა რ ო ა ნ უ ს ა თ ა ვ ე ჰ ი დ რ ო კ ვ ა ნ ძ ი — კაშხალის, წყალსაგდების, წყალმიღების და ზოგჯერ სპეციალური ნაგებობების (სანაოსნო რაბის, თევზსავალის, ტივსავალის და სხვ.) შედგენილობით;

2) დ ე რ ი ვ ა ც ი ა — ღია არხის, დაწნევითი ან უდაწნეო გვირაბის, ანდა დერივაციული მილსადენის სახით. დერივაციაზე შეიძლება მოთავსდეს რიგი ნაგებობებისა: სალექარი, რომელშიც წარმოებს ნაკადის განთავისუფლება შეწონილი ნატანისაგან, რაბები — წყლის მიწოდების რეგულირებისათვის, ხიდები — გზების გადაკვეთის ადგილებში, ხელოვნური წყალსატარები — აკვედუკები და დიუქურები — ხეობათა გადაკვეთის ადგილებში და სხვ.;

3) ძ ა ლ ო ვ ა ნ ი კ ვ ა ნ ძ ი — ჰიდროელექტროსადგურის შენობის, ძაბვის აწვევ და განმანაწილებელ მოწყობილობების, სადაწნეო მილსადენების, სადაწნეო აუზის ან გამთანარებელი რეზერვუარის შედგენილობით. დამატებით ძალოვანი კვანძის შედგენილობაში შეიძლება შედიოდეს უქმი წყალსაგდები, ენერჯის მშთანთქმელები, შემაუღლებელი ნაგებობანი (ვარდნილები, სწრაფდენები) და სხვ.

ცხადია, ჰესის სათავე კვანძის ნაგებობათა შედგენილობას განსაზღვრავს შეტბორვის სიმაღლე, ადგილობრივი ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობები, მდინარეზე არსებული ნაოსნობის ან დაცურების, ტერიტორიების სარწყავი წყლის მოთხოვნილების, ზემო და ქვემო ბიეფების რეჟიმების პირობები და სხვა დაპატებითი ფუნქციები, რომლებიც ეკისრება კვანძს.

რაც შეეხება ჰიდროელექტროსადგურების ძალოვან კვანძებს, მათ ერთმანეთისაგან განასხვავებენ იმისდამხედვით, თუ დერივაციის რა ტიპებია გამოყენებული. აქედან გამომდინარე განიხილავენ ძალოვანი კვანძების ორ სახეობას: უდაწნეო დერივაციისა და დაწნევითი დერივაციის შესაბამისს. დერივაციული ჰიდროელექტროსადგურის შემთხვევაში, მდინარის ჰიდრაულიკური ენერჯის გამოყენების რაიონის ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობების შესაბამისად, ჰესის შენობა შეიძლება მოთავსებულ იქნეს უშუალოდ მდინარის ნაპირზე ან მისგან საკმარისი მანძილით დაშორებით. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში საჭიროა ჰესის შენობის წყალქვეშა ნაწილიდან გამოსული ნამუშევარი წყალი გაყვანილ იქნეს მდინარეში სპეციალური გამყვანი ნაგებობით — ღია გამყვანი არხით ან დახურული გალერეითი (გვირაბით).

განარჩევენ ჰესის შენობის ღია და მიწისქვეშა მოთავსებას. ამა თუ იმ სქემის მიზანშეწონილობა დასაბუთებული უნდა იქნეს გეოლოგიური, ტოპოგრაფიული და ეკონომიური ფაქტორების გათვალისწინებით. ამასთან ერთად მხედ-

ველობაში უნდა იქნეს მიღებული სამხედრო-თავდაცვითი მოსაზრებანიც. ჰესის შენობის მიწისქვეშა მოთავსების დროს ხშირ შემთხვევაში გამოიყენება უდაწნეო გამყვანი გვირაბი, ხოლო უფრო იშვიათად დაწნევითი გვირაბი.

#### § 2-4. ჰიდროტექნიკური ნაგებობები მელიორაციულ სისტემაში

მიწების მელიორაცია ანუ გაუმჯობესება მოიცავს საინჟინრო, აგროტექნიკურ და სატყეო-ტექნიკურ ღონისძიებათა ფართო წრეს, რომელიც ტარდება გამოყენებული და ახლად ასათვისებელი ტერიტორიების კეთილმოწყობისათვის.

სსრ კავშირის პირობებში საინჟინრო მელიორაცია წარმოადგენს რაციონალურად ორგანიზებულ მიწათმოქმედების შემადგენელ ნაწილს, რომელიც ნიადაგის ფიზიკური და ქიმიური თვისებების შესაცვლელად იყენებს წყლის ფაქტორს. იგი აგროტექნიკასთან ერთად ხელს უწყობს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების უხვი და მყარი მოსავლის მიღებას. <საინჟინრო მელიორაციას მიეკუთვნება: მიწების მორწყვა ანუ ირიგაცია, მიწების დაშრობა ღია არხებითა და მიწისქვეშა დრენაჟებით, მიწის მასივების დაცობების (მეწყურების) და ნიადაგის წალეკვის ანუ ეროზიის წინააღმდეგ ბრძოლა.

ჰიდრომელიორაციული ნაგებობები წარმოადგენს ჩვეულებრივ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს, რომელთაც სხვადასხვა დანიშნულება აქვთ. ეს ნაგებობები შეიძლება დაეყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: 1) სამდინარო და 2) შიდასასისტემო ანუ ქსელის ნაგებობებად.

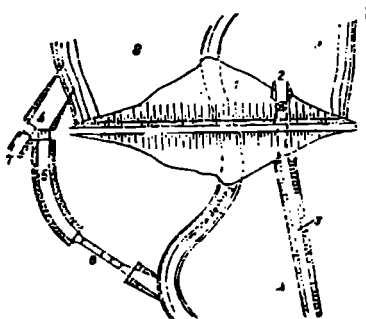
ზოგად შემთხვევაში სამდინარო ანუ სათავე ნაგებობათა ჯგუფში შეიძლება შედიოდეს (ნახ. 2-8 და 2-9):

- ა) წყალსაშენები და ყრუ კაშხალი, სანაპირო ჯებირები;
- ბ) წყალმიმღები ნაგებობა (რეგულატორი) ან წყალსაწევი დანადგარი;
- გ) ჰიდროელექტროსადგურის ნაგებობები;
- დ) სანაოსნო რაბი, ტრესავალი, მორსაშენები;
- ე) ნაგებობები ნატანთან საბრძოლველად (სალექრები, გამრეცხები, ქველმიმმართველი სისტემები);
- ვ) თევზსავლები და თევზამწყეები;
- ზ) ნაპირსამაგრი და გამსწორებელი ნაგებობები.

აღნიშნულ ნაგებობათა საერთო კომპლექსს სამდინარო ჰიდროკვანძი ეწოდება.

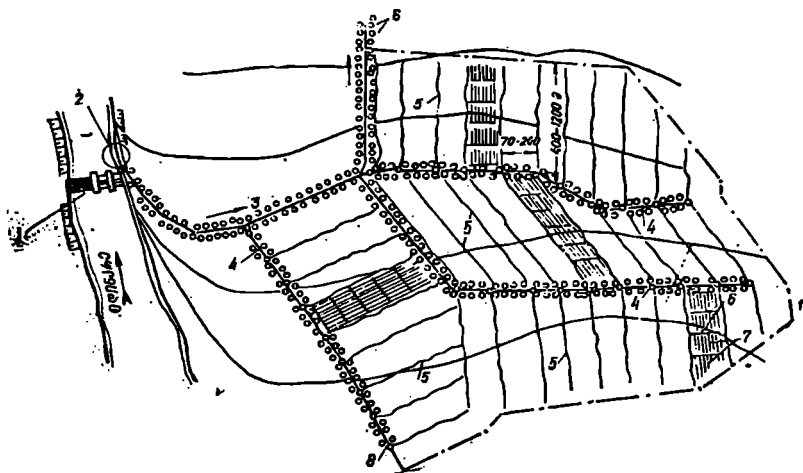
შიდასასისტემო ანუ ქსელის ნაგებობებს მიეკუთვნება:

- ა) მარეგულირებელი ნაგებობები — წყალგამშენები რაბები (ანუ რეგულატორები), წყალგამყოფები, წყალსაზომები, რომელთა დანიშნულებაა წყლის ხარჯების რეგულირება, შემტბორავი რაბები წყლის დონეთა



ნახ. 2-8. წყალსაშენი ჰიდროკვანძი პატარა მდინარეზე:

- 1—მიწის კაშხალი; 2—წყალმიმღები ნაგებობა; 3—მაგისტრალური არხი; 4—წყალსავალი რაბი; 5—წყალსავალი არხი; 6 — ეარღილი; 7 — ლომანური არხი; 8—წყალსაშენი.



ნახ. 2—9. წყალმიმღები ჰიდროკანსისა და თვითმდენი სარწყავი სისტემის სქემა:

1—წყალსაშვები კაშხალი; 2—წყალმიმღები ნაგებობა; 3—მაგისტრალური არხი; 4—განმანაწილებელი არხები; 5—დროებითი სარწყავები; 6—გამოყვანი კვლები; 7—სარწყავი კვლები; 8—ნარგავები არხების გაყოლებით.

რეგულირებისათვის, წყალსაგდები რაბები წყლის გადასაგდებლად სარწყავი სისტემის ავარიის ან ჭარბი წყლის მოვარდნის შემთხვევაში; რაბები ერთიანდება საერთო კომპლექსში, რომელსაც რაბების კვანძი ეწოდება (ნახ. 2-10);

ბ) წყალსატარები — არხები, აკვედუკები, დიუკერები, გვირაბები, ღარები, მილსადენები, ღვარსაშვებები;

გ) ბიფების შემაუღლებელი ნაგებობები — ვარდნილები, სწრაფდენები, კონსოლები, მილები და სხვ.;

დ) სალექები და გამრეცხები ნატანის დასალექად და მოსაცილებლად;

ე) სანაოსნო რაბები და ხე-ტყის დასაცურებელი ნაგებობები;

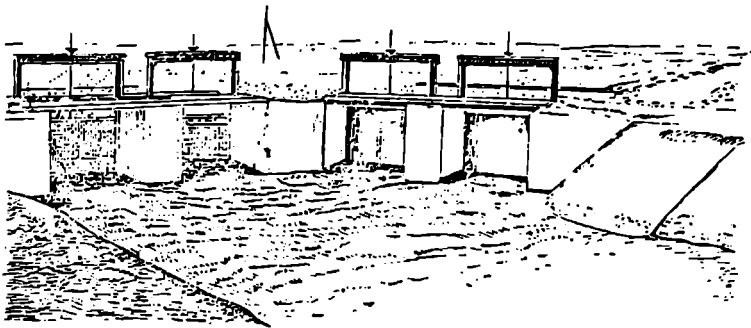
ვ) ჰიდროელექტროსადგურები არხებზე;

ზ) ხიდები და მილები არხებზე;

თ) სარწყულელები.

მნიშვნელობის მიხედვით ჰიდრომელიორაციულ სისტემებშიც განარჩევენ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამ სახეობას — ძირითადას, მეორეხარისხოვანს და დამხმარეს; ძირითადას მიეკუთვნება ნაგებობები, რომელთა ავარია ან რემონტი მნიშვნელოვნად ამცირებს მელიორაციული სისტემის ეფექტიანობას ან მთლიანად გამოჰყავს იგი მუშაობიდან.

მეორეხარისხოვან ნაგებობათა მუშაობიდან გამორთვა (დაზიანება) იწვევს სისტემის მუშაობის შეწყვეტას და მისი მოქმედების ეფექტიანობის მნიშვნელოვან შემცირებას, მაგრამ შეუძლია გაართულოს ექსპლუატაცია.



ნახ. 2—10. რაბების კვანძი მაგისტრალურ არხზე.

დამხმარე ნაგებობებს მიეკუთვნება დროებითი ნაგებობები, რომლებიც საპირონი არიან ძირითად და მეორეხარისხოვან ნაგებობათა მშენებლობისა და რემონტის დროს.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეობანი, რომლებიც ზემოთ იყო ჩამოთვლილი, გვხვდებიან როგორც ირიგაციულ და დამშრობ სისტემებში, ისე ჰიდროკვანძებში, რომლებიც ხშირ შემთხვევებში ემსახურებიან სხვადასხვა წყალსამეურნეო მიზნებს.

#### § 9-5. კაშხალეაი და მათი კლასიფიკაცია

ჰიდროკვანძის ნაგებობათა შორის კაშხალი ყველაზე მნიშვნელოვანი და რთული ნაგებობაა, რომლის ღირებულება ხშირ შემთხვევაში განსაზღვრავს კიდევ კვანძის, ხოლო ზოგჯერ მთელი წყალსამეურნეო ღონისძიების ეკონომიურობას.

კაშხალების მოწყობის მიზანი შეიძლება იყოს:

1) წყლის დონის აწევა მდინარეში რაიმე სიმაღლეზე სხვადასხვა სამეურნეო ინტერესების დასაკმაყოფილებლად, კერძოდ, შექმნილ ვარდნილზე მდინარის ნაკადის ენერჯის უშუალო გამოყენებისათვის ელექტროენერჯის მისაღებად (ნახ. 2-1), არხის ან გვირაბის საშუალებით მდინარიდან წყლის გასაყვანად ჰიდროელექტროსადგურის ტურბინებისათვის (ნახ. 2-6; 2-7) ან მიწების მორწყვისათვის (ნახ. 2-9), მდინარის სიღრმის გაზრდისათვის ნაოსნობის, წყალსადენის წყალმიმღებ მოწყობილობათა მოთავსების, სანიტარული და საქალაქო კეთილმოწყობის, სპორტული, თავდაცვითი და სხვა მიზნებისათვის;

2) ტევადი წყალსაცავების შექმნა წყლის დროებითი დაგროვებისა და მოთხოვნილების შესაბამისად მისი შემდგომი ხარჯვის მიზნით (ნახ. 2-3) ან წყალდიდობის შეკავებისათვის ქვემოთ მდებარე ტერიტორიების დაცვის მიზნით. ძალიან ხშირად კაშხალის საშუალებით წყლის დონის აწევა ან ტევადი წყალსაცავის შექმნა შეიძლება ნაკარანხები იყოს ერთდროულად რამდენიმე მიზნისათვის, ე. ი. ნაკადის კომპლექსური გამოყენებისათვის.

კაშხალის, არხის ან მდინარის იმ მხარეს, სადაც წყლის შეტბორვილი დონეა წარმოქმნილი, ეწოდება ზ ე დ ა ბ ი ე ფ ი (შემოკლებით ზ. ბ.), ხოლო მის მეორე მხარეს — ქ ე ე დ ა ბ ი ე ფ ი (ქ. ბ.). ზედა და ქვედა ბიეფების დონე

ხეტა სხვაობას კაშხალის მიერ შექმნილი დაწნევა ანუ შეტბორვის სიმაღლე ეწოდება.

ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში გვხვდება მრავალი ტიპის კაშხალი, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან კონსტრუქციით, მასალითა და აგების წესით; თითოეული მათგანი გამოიყენება შესაფერის პირობებში. კონკრეტულ შემთხვევაში კაშხალის ყველაზე უფრო მიზანშეწონილი და ხელსაყრელი ტიპის არჩევა დამოკიდებულია კაშხალის დანიშნულებაზე, მშენებლობის რაიონის ადგილობრივ ბუნებრივ და სამეურნეო პირობებზე და მშენებლობის ვადებზე. ბუნებრივი პირობებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანია: მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმი — ჩანადენის სიდიდე და მისი განაწილება წლის დროთა მიხედვით, მყარი ნატანის მოძრაობის ხასიათი, ყინულოვანი რეჟიმი, მშენებლობის რაიონის გეოლოგიური და ტოპოგრაფიული პირობები, კლიმატი. ბუნებრივ-სამეურნეო პირობებს მიეკუთვნება აგრეთვე ადგილობრივი საშენი მასალების არსებობა.

კაშხალის შესაფერისი ტიპის დასაბუთება წარმოებს სხვადასხვა საპროექტო ვარიანტის შედარების გზით. რა თქმა უნდა, მოცემული პირობებისათვის საბოლოოდ აირჩევა მათ შორის ეკონომიურად ხელსაყრელი და ტექნიკურად მიზანშეწონილი ვარიანტი.

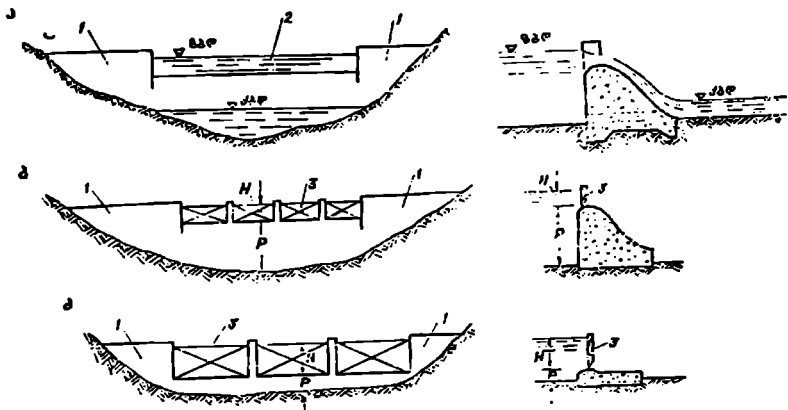
კაშხალების გვეგარების დროს საჭიროა ყოველთვის იქნეს გათვალისწინებული წყლის გატარების შესაძლებლობა ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში. თუ გადაწყვეტილია, რომ კაშხალი უნდა აიგოს ყ რ უ, ე. ი. ისეთი, რომელიც არ გაატარებს წყალს, მაშინ ჰიდროკვანძში აუცილებელია მოეწყოს სპეციალური წყალსაგდები ნაგებობები — წყალსაგდებები. ასეთ გადაწყვეტას უმთავრესად მიმართავენ მაღალდაწნევიან ჰიდროკვანძებში ანდა იმ შემთხვევებში, როდესაც კაშხალების ასაგებად გამოიყენება ადგილობრივი მასალები.

იმისათვის, რომ თავიდან იქნეს აცილებული სპეციალური (სადაწნეო ფაქონტიდან გამოყოფილი) წყალსაგდების მოწყობა, ხშირად კაშხალში ითვალისწინებენ ბეტონის წყალსაშვებ ნაწილს თხემზე მოთავსებული საკეტებით ან უსაკეტბოდ, ხოლო დაბალდაწნევიან ჰიდროკვანძებში — დასაშლელ (ფარებიან) ნაწილს.

უსაკეტბო წყალსაშვები კაშხალი წყლის გატარებას იწყებს მაშინ, როდესაც ზედა ბიეფის დონე აიწევს წყალსაშვები ზღურბლის ნიშნულზე მაღლა (ნახ. 2-11). წყალსაცავის ნაწილობრივი ან სრული დაცლის, აგრეთვე მშენებლობის პერიოდში წყლის გატარების უზრუნველსაყოფად კაშხალის წყალსაშვებ და ყრუ ნაწილებში აწყობენ სიღრმით ხვრეტებს.

წყლის ხარკები, რომლებიც ტარდება კაშხალის უსაკეტბო წყალსაშვები ნაწილით, დამოკიდებულია ზედა ბიეფის წყლის დონის მდებარეობაზე, მათი სიდიდე მით მეტია, რაც უფრო დიდია წყალსაშვებზე გადაღინებული ფენის სისქე, ე. ი. რაც უფრო მაღალია აღნიშნული დონე. მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ ასეთი წყალსაშვები ქმნის ექსპლუატაციის არახელსაყრელ პირობებს, რადგან მდინარის ხარკების ცვალებადობის შესაბამისად ზედა ბიეფის დონეც განუწყვეტლივ ცვალებადობს. გარდა ამისა, დიდი წყალდიდობის (კატასტროფული ხარკების) დროს წარმოებს ზედა ბიეფის დონის მნიშვნელოვანი აწევა და, მაშასადამე, სომიქნავე ტერიტორიების დატბორვის ფართობის გაზრდა, რაც შეიძლება საზიანო აღმოჩნდეს სახალხო მეურნეობისათვის.





ნახ. 2—11. წყალსაშვები კაშხალები:

ა—საკეტებო; ბ—საკეტებიანი (მაღალზღურბლიანი); გ—საკეტებიანი (დაბალზღურბლიანი);  
 1—ყრუ ნაწილი; 2—წყალსაშვები ნაწილი; 3—საკეტები; 4—სიღრმული წყალჩასაშვები.

ეს და ზოგიერთი სხვა უხერხულობანი შეიძლება თავიდან იქნეს აცილებული, თუ წყალსაშვები კაშხალის ზღურბლს მოვათავსებთ უფრო დაბალ ნიშნულზე და მასზე მოვაწყობთ ამა თუ იმ ტიპის საკეტებს (ნახ. 2-11 ბ, გ). ცხადია, საკეტების მანევრირებით ყოველთვის შეიძლება უზრუნველყოთ ზედა ბიეფის სტაბილური დონე ან მისი ცვალებადობა შევზღუდოთ დასაშვები შეტბორვის სიმაღლის ფარგლებში.

მასალების მიხედვით კაშხალები შეიძლება იყოს: 1) მიწის; 2) ქვყარილი და მშრალადწყობილი; 3) ქვა-მიწის; 4) ქვის, ხანარზე წყობით; 5) ბეტონის; 6) რკინბეტონის; 7) ხის; 8) ლითონის და 9) კომბინირებული სხვადასხვა მასალისაგან.

კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით კაშხალები შეიძლება დაყოფილი იქნეს ოთხ ძირითად ჯგუფად: 1) გრავიტაციული კაშხალები, რომელთაც გააჩნიათ მნიშვნელოვანი საკუთარი წონა; 2) თალოვანი, გეგმაში მრუდწირული მოხაზულობის კაშხალები, რომლებიც გადასცემენ წყლის, ნატანის, ყინულისა და სხვა სახის წნევებს მდინარის ხეობის კლდოვან ნაპირებს ქუსლების საშუალებით; 3) კონტრაფორსული კაშხალები, რომელთა კონსტრუქცია იქმნება რომელიმე ტიპის საღაწნეო გადახურვით (თალებით, ბრტყელი ფილებით, მასიური კონსოლური თავებით, გუმბათებით) და კონტრაფორსებით, რომლებიც გადასცემენ გადახურვისაგან მიღებულ დატვირთვას ფუძეს; 4) ჩაანკრებულ ანუ კონსოლური კაშხალები, რომლებშიდაც ძერისადმი წინაღობა უმთავრესად უზრუნველყოფილია ფუძეში კონსტრუქციის ჩაანკრებით. აღნიშნული კაშხალები შეისაწვლება სახელმძღვანელოს სათანადო განყოფილებებში.

როგორც ვთქვით, წყლის გატარების ხასიათის მიხედვით კაშხალი შეიძლება იყოს ყრუ (არაწყალსაშვები) და წყალსაშვები ან წყალჩასაშვები ხერხებით. კაშხალის ნაწილი, რომელზედაც ზედაპირული წყალსაშვები ხერხებია მოწყობილი, ჰიდრაულიკურად მუშაობს წყალსაშვების პრინციპზე და მას წყალსაშვები ნაწილი ეწოდება, ხოლო წყალჩასაშვები ხერხები

კი სადაწნეო მიღების პრინციპზე (ნახ. 2-11). ხვრეტები ეწეობა რაიმე სიღრმეზე (ზოგჯერ სხვადასხვა სიღრმეზე), რომელთა ზღურბლების ნიშნულები განსაზღვრავენ წყალსაცავის შესაძლო დაცლის დონეებს; თუ ხვრეტის ზღურბლი მდინარის კალაპოტის ფსკერთანაა მოწყობილი, მაშინ მას ფსკერული ხვრეტი ეწოდება. ასეთი ხვრეტები საშუალებას იძლევა დაცლილ იქნეს მთელი წყალსაცავი.

წყლის ხარჯების გატარების რეგულირების მიზნით საჭიროა ხვრეტებში მოეწყოს საკეტები. სიღრმით ხვრეტებს ყოველთვის აქვს საკეტები, ხოლო ზედაპირულ წყალსაშვებ ხვრეტებს შეიძლება იგი არ გააჩნდეს.

ზღურბლის სიმაღლის მიხედვით წყალსაშვები კაშხალები ორ ჯგუფად იყოფა:

ა) მაღალზღურბლიანი (ნახ. 2-11 ა, ბ), რომელთა

$$\frac{P}{H} > 2,5 \div 3,0;$$

ბ) დაბალზღურბლიანი (ნახ. 2-11 გ), რომელთათვის

$$\frac{P}{H} < 1.$$

წყალსაშვებ კაშხალებს, ფარდობით

$$1 < \frac{P}{H} \leq 2,5 \div 3,0,$$

შეიძლება ეწოდოს კაშხალები შემადლებული ზღურბლით.

კაშხალების დაყოფას აწარმოებენ აგრეთვე მისი ძირითადი დანიშნულების მიხედვით; კერძოდ, როდესაც კაშხალს მხოლოდ წყლის დონის აწევის ფუნქცია ეეისრება, მას წყალსაწევ კაშხალს უწოდებენ, ხოლო თუ კაშხალი ქმნის ტევად წყალსაცავს, მაშინ საწყალსაცავო კაშხალს. უნდა შევნიშნოთ, რომ ეს დაყოფა პირობითია, რადგან ყოველგვარი კაშხალი, დაბალი იქნება ის თუ მაღალი, ამა თუ იმ ზომით წყალსაწევია.

კაშხალებისა და სხვა შემტბორავი ნაგებობის (პესის შენობის წყალქვეშა კონსტრუქციები, სანაოსნო რაბები, გემთამწეები, საყრდენი კედლები და ბეტონისა და რკინაბეტონის სხვა ნაგებობები, რომლებიც მონაწილეობენ სადაწნეო ფრონტის შექმნაში) კლასიფიკაციას აწარმოებენ ამ ნაგებობათა ავარიით გამოწვეული შედეგებისა და მათი სიმაღლის შესაბამისად<sup>1</sup>. ამასთანავე, ძირითადი წყალშემტბორავი ნაგებობების კლასი ინიშნება ხსენებულ ნორმებში მოცემული 1 და ზემოთ მოყვანილი 1-1 ცხრილებით განსაზღვრული უდიდესი კლასის მიხედვით.

## § 2-6. ზაფა ბიჰვის ჰიდროლოგიური რაიონი

### 1. შეტბორვასა და დატბორვასთან დაკავშირებული მოვლენები

კაშხალის მიერ შექმნილი წყლის შეტბორვა ვრცელდება მისგან მნიშვნელოვან მანძილზე, რაც იწვევს მდინარისა და მისი შენაკადების დონის აწევას. შეტბორვის წარმოქმნის შედეგად წარმოებს მის ზონაში მოქცეული მიწების, საწარმოების, ნაგებობების დატბორვა, გრუნტის წყლების დონის აწევა, მდი-

<sup>1</sup> იხ. СНиП II = 50 = 74, таблица 1.

ნარეზე არსებული სატუმბო, ჰიდროძალოვანი და სხვა დანადგარების მუშაობის რეჟიმის შეცვლა.

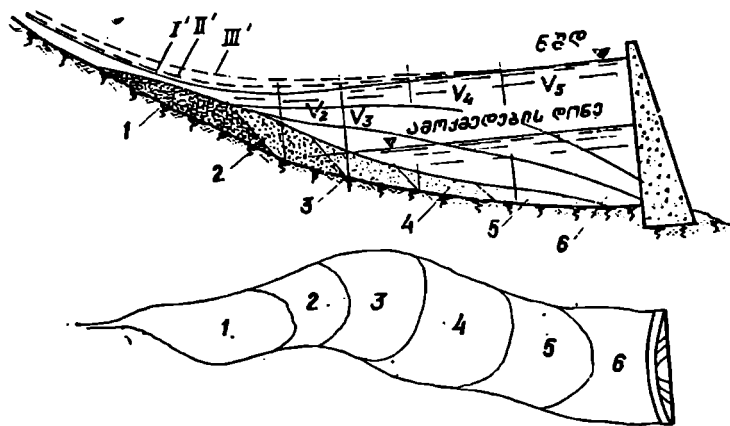
გრუნტის წყლების დონის აწევის შედეგად მისი სარკობრივი ზედაპირი შეიძლება აღმოჩნდეს ისეთ სიმაღლეზე, რომ მან უარყოფითად იმოქმედოს კულტურული მცენარეების განვითარებაზე და შეცვალოს ისინი წყალმოყვარე, ნაკლებადლირებული ჰაობის ბალახებით. ზოგიერთ ადგილებში კი გრუნტის წყლები შეიძლება ისე დაუახლოვდეს მიწის ზედაპირს, რომ წარმოიშვას ჰაობი. გარდა ამისა, აღნიშნული დონე შეიძლება აწეულ იქნეს ნაგებობათა საძირკვლების ფუძეთა ნიშნულებზე მაღლა, რის გამოც გრუნტების წყლიანობის პირობების შეცვლასთან დაკავშირებით შეიძლება წარმოიშვას ნაგებობათა წინასწარ გაუთვალისწინებელი დეფორმაციები (დაჯდომა).

გრუნტის წყლების დონის აწევის მიზეზის გამო შეიძლება დაიტბოროს და მწყობრიდან გამოვიდეს შენობათა სარდაფების სათავსები, კომუნალურ და სამრეწველო საწარმოთა მიწისქვეშა მეურნეობა, შახტები, საბადოები, სასარგებლო ნამარხების კარიერები და სხვ.

## 2. წყალსაცავების დალაშქვა

საჭიროა აღინიშნოს იმ ცვლილებების შესახებაც, რომლებიც დაკავშირებულია წყალსაცავების შექმნასთან. ეს ცვლილებები მდგომარეობს იმაში, რომ შეტბორვის შექმნის შედეგად მცირდება მდინარის დინების სიჩქარეები და ნატანის ზიდვის უნარი კაშხალის მიმართულებით, რაც იწვევს ნაკადიდან ნატანის დაცვენას. ეს პროცესი, პირველ ყოვლისა, იწყება წყალსაცავის ბოლოში (კუდა ნაწილში) და გრძელდება კაშხალამდე ისე, რომ წარმოებს ნატანის ერთგვარი დახარისხება სიმსხოს კლებადი მიმდევრობით (ნახ. 2-12).

მყარი ნატანის დალექვის გამო წყალსაცავის ტევადობა თანდათან მცირდება; ამასთან, ამ შემცირების ტემპი დამოკიდებულია ნატანის რაოდენობაზე.



ნახ. 2-12. წყალსაცავის დალაშქვის სქემა:

- 1—ხრეში; 2—ქვიში; 3—ქვიშნარი; 4—თიხალაშობიანი ნაწილაკები; 5—უწყრილესი ნაწილაკები; 6—მკედარი მოცულობა.

წყალსაცავის ტევადობაზე, მისი მუშაობის პირობებსა და სხვა ფაქტორებზე. წყალსაცავის მოცულობა ნაწილობრივ მცირდება მისი ნაპირების ჩამონგრევის ხარჯზეც, რაც ტალღების გამრეცი მოქმედების შედეგად წარმოებს, მცირდება აგრეთვე მეწყერების, ჩამონაშალებისა და ზეავების შედეგად.

ბუნებრივია, რომ წყალსაცავის დაღამვის წინააღმდეგ წარმოებს გარკვეული ბრძოლა. ამ მიზნით კაშხალის ტანში აწყობენ ფსკერულ გამრეც ხერცებს, ასევე, ზოგჯერ ნატანისაგან მექანიკური წესით წმენდენ წყალსაცავის ბოლო ნაწილს, რომელიც საერთოდ ძვირი ჯდება და ამართლებს მხოლოდ მაშინ, თუ მიწის ხაპვის პროდუქტები — ქვიშა, ხრეში და კენჭი გამოიყენება როგორც საშენებლო მასალა.

ძვირი ჯდება, მაგრამ უფრო ეფექტურია გამაფრთხილებელი ღონისძიებანი — მდინარის ზემოწელის რეგულირება ან ნატანის შეკავება სპეციალური ზღურბლებით, ეგრეთ წოდებული ნატანშემკავებლებით, რომლებიც შეიძლება შესრულდეს მარტივად.

ცხადია, წყალსაცავის ინტენსიურმა დაღამებამ შეიძლება გამოიწვიოს წყლის მომხმარებელი სისტემის ნორმალური მუშაობის დარღვევა, ხოლო ზოგჯერ მუშაობის სრული შეწყვეტაც. გარდა ამისა, ნატანის დაღეკვამ წყალსაცავის ზედა ნაწილში შეიძლება გააძნელოს ნაოსნობა სიღრმეთა შემცირების გამო.

ზედა ბიეფების ფორმირების საკითხების შესწავლის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მდინარეთა ხასიათი, მათი თხევადი და მყარი ჩანადენის ბუნებრივი რეჟიმები და ის სპეციფიკური პირობები, რომლებითაც ხასიათდება ესა თუ ის მდინარე. მაგალითად, ბარის მდინარეებზე, რომელთა მყარი ნატანის ჯამურ ჩანადენში ფსკერული ნატანი შეადგენს მცირე პროცენტს, ზედა ბიეფი ილექება ძირითადად შეწონილი ნატანით. მდინარეთა მთის და მთისწინა უბნებზე კი წყალშიმღებ ნაგებობათა ზედა ბიეფები, რომელთა შეტბორვის სიმაღლე არ აღემატება 3—8 მეტრს, მეტწილად ფორმირდება ფსკერული ნატანის ხარჯზე, მაგრამ საწყის პერიოდში ფორმირებაში გარკვეულ მონაწილეობას ღებულობს აგრეთვე შეწონილი ნატანიც.

მთის მდინარეთა შეტბორილ ბიეფებში წყალსაცავის დაღამვა მთავრდება ახალი კალაპოტის წარმოქმნით, რომელიც წინანდელი კალაპოტის ანალოგიური იქნება, მხოლოდ მოთავსდება უფრო მაღალ ნიშნულებზე. 2—12 ნახაზზე ნაჩვენებია წყალსაცავის დაღამვის I, II და III ეტაპები, რომელთაც შეესაბამებინან სათანადოდ წყლის I', II' და III' ღონეები.

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ ბარის მდინარეებზე შექმნილი წყალსაცავების დაღამვის ვადები ხანგრძლივია (50—100 წელზე მეტი), რადგან აღნიშნული მდინარეები შეიცავენ ნატანის მცირე რაოდენობას. მთის მდინარეებზე კი ნატანის მნიშვნელოვანი რაოდენობის გამო წყალსაცავების მოცულობათა დიდი ნაწილი ძალიან სწრაფად ილექება — სულ რამდენიმე წლის განმავლობაში.

## 8. წყალსაცავების თერმული და ყინულოვანი რეჟიმი

წყალსაცავების თერმული რეჟიმი ყალიბდება იმ თბოგაცვლის ზემოქმედებით, რომელიც წარმოებს წყალსა, ატმოსფეროსა და წყალსაცავის კალაპოტს (ქვაბულს) შორის.

გაზაფხულზე და ზაფხულში წყალსაცავში მიღებული სითბოს რაოდენობა უფრო მეტია, ვიდრე გაცემული და ამიტომ წყალი მასში თანდათან თბება. შუა ზაფხულში წყლის ტემპერატურა უახლოვდება ჰაერის ტემპერატურას. დაცხუნების შედეგად წყალი, ხდება რა უფრო თბილი, ვიდრე წყალსაცავის კალაპორტი, გადასცემს მას ატმოსფეროდან მიღებულ სითბოს ნაწილს. შემოდგომაზე კი პირიქით, აცივების შედეგად წყალი (ხოლო მისი საშუალებით წყალსაცავის კალაპორტი) სითბოს გადასცემს ატმოსფეროს. ყინვების დადგომის შემდეგ იწყება წყლის ზედაპირული ფენების გაცივება ნულ გრადუსზე რამდენადმე დაბლა და ყინულის წარმოშობა.

წყნარ წყალსაცავებში სწრაფად შექმნილი ყინულის ფენა და მასზე მოფენილი თოვლის ნალექი წყალს იცავს შემდგომი გაცივებისაგან; ამასთან, ყინულის წარმოქმნის მომენტში წყლის ღრმა ფენების ტემპერატურა ინარჩუნებს დადებით მნიშვნელობებს.

ღენად წყლებში ნაკადის ტურბულენტური მოძრაობის გამო, ხოლო დიდ წყალსაცავებში ლელვის მოქმედების შედეგად, წყლის გაცივება ვრცელდება სიღრმეში. წყლის სიღრმითი ფენების გაცივების შედეგად კი იქმნება სიღრმითი (წყალშიგა) ყინული (თოში, ფსკერული ყინული). ეს პროცესი უმაღლეს წყდება წყალსაცავის ზედაპირზე ყინულის ფენის წარმოქმნის შემდეგ. იმ მომენტში, რომელიც წინ უძღვის წყალსაცავის ზედაპირზე ყინულის გაძგიფვას, გადაცივებული წყლის სიზრვის ტემპერატურა უახლოვდება 0°. გაძგიფვის დადასტოვების შემდეგ ყინულის ფენით დაფარული წყალსაცავის ტემპერატურაზე გავლენას ახდენს ძირითადად ორი ფაქტორი — წყალსაცავის გამდინარობა და მისი კალაპორტის ფსკერის თერმული რეჟიმი. ცხადია, ფსკერიდან სითბო გადაეცემა ყინულის ფენის ქვედა ზედაპირს წყლის სიზრქით. ამასთან, წყლის იმ ზედაპირული ფენის ტემპერატურა, რომელიც უშუალოდ ეხება ყინულს, ყოველთვის რჩება 0° ტოლი, ხოლო წყლის ფსკერული ფენების ტემპერატურა ყველაზე მაღალია.

თუ განვიხილავთ სხვა ერთნაირ პირობებში მომუშავე ორ წყალსაცავს, იმ წყალსაცავის თბოვაცევა უფრო ინტენსიურია და შესაბამისად წყალიც უფრო ცივია, რომლის გამდინარობა მეტია.

წყალსაცავებში ცალკეული კვეთების საშუალო ტემპერატურა სხვადასხვაა; მაგალითად, შეტბორვის ამოსოლვის რაიონში იგი 0° უახლოვდება. კაშხალის მიმართულებით კი იზრდება და ყველაზე მეტ მნიშვნელობას აღწევს წყალსაცავის უფრო ღრმა და განიერ არეში.

იმ უშენაკადო ან მცირეშენაკადიან წყალსაცავებზე, რომლებიც არ განიცდიან ლელვას, გაძგიფვა იწყება 2—10 დღით უფრო ადრე, ვიდრე ჩვეულებრივ პირობებში მყოფ მდინარეებზე, თუმცა მათი ყინულწარმოქმნის დასაწყისის ვადები ერთნაირს ემთხვევა.

წყალსაცავებში, რომლებიც ხასიათდებიან სწრაფი დინებით, განსაკუთრებით სამხრეთ რაიონებში, გაძგიფვის პერიოდში შეტბორვის ამოსოლვის არეში იქმნება პირობები, რომლებიც ხელს უწყობენ თოშის წარმოშობას და ყინულხერგილის განვითარებას.

წყალსაცავებში ყინულსვლა წარმოიშობა მაშინ, როდესაც დიდი წყალდიდობის გატარება წარმოებს ჯერ კიდევ ყინულის ფენის პირობებში; ამ შემთხვევაში წყალსაცავებში იქმნება დინების გადიდებული სიჩქარეები ( $v > 0,5$

მ/წმ), რომელთაც მოძრაობაში მოჰყავთ ყინულოვანი ველი. ძალიან დიდ წყალსაცავებში ყინულსვლა შეიძლება წარმოიშვას აგრეთვე ქარის გავლენით.

საკირთა აღინიშნოს, რომ წყალსაცავების შენელებული გახსნა შეიძლება გახდეს ყინულხერგილის წარმოშობის მიზეზი შეტბორვის ამოსოფლის ზონაში, რაც იწვევს წყლის დონის მნიშვნელოვან აწევას (3—5 მ და მეტი).

ზამთარში წყალსაცავების ქვედა ბიეფებში, ჰიდროკვანძებიდან უახლოეს მანძილზე, შეიმჩნევა მდინარის გაუყინავი უბნები (ყინულრუები), რაც წყალსაცავებიდან შემოსული შედარებით თბილი წყლის გავლენით ხდება. ქვემოთ (დინების მიმართულებით) გადაადგილებასთან ერთად წყალი თანდათან ცივდება და ჰიდროკვანძიდან გარკვეულ მანძილზე იქმნება ყინულის ნაწიბური. მეტეოროლოგიური და ჰიდრაულიკური პირობების განუწყვეტელი ცვალებადობის გამო ყინულის ნაწიბური მუდმივ მოძრაობაში იმყოფება — შორდება ან უახლოვდება ჰიდროკვანძს. ცხადია, ყინულის ნაწიბურის წარმოქმნით შეიძლება რამდენადმე შეიტბოროს ქვედა ბიეფის დონე.

#### 4. წყალსაცავების ბიოლოგიური რეჟიმი

წყალსაცავებში მნიშვნელოვნად იცვლება წყლის ბიოლოგიური რეჟიმი, რადგან მინდვრების, სახნავ-სათესი მიწებისა და საერთოდ ტერიტორიების დიდი ფართობების დატბორვის შედეგად მათში თავს იყრის მინერალურ ნივთიერებათა უდიდესი მარაგი, რომელიც ხელს უწყობს წვრილმანი და უწყრილმანესი ორგანიზმების სიცოცხლეს. ცხადია, ეს ორგანიზმები წარმოადგენენ საკვებს თევზებისათვის.

მდინარის ჩვეულ პირობებთან შედარებით წყალსაცავში გაცილებით უკეთესი პირობებია თევზის მოშენებისათვის, მაგრამ მასში თევზის ფარის შემადგენლობა იცვლება. მნიშვნელოვანი სიჩქარეებით გამდინარე წყალს შეგუებული თევზების ჯიშები იცვლება ტბის ჯიშის ტიპის თევზებით, რომლებისთვისაც უფრო შესაფერისია მცირე გამდინარე წყლის პირობები.

თევზის მეურნეობის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ექსტენსიური მე-თევზეობის შემთხვევაში წყალსაცავის 1 ჰა ფართობიდან შეიძლება მიღებულ იქნეს 30—50 კგ თევზი, ხოლო კარგად ორგანიზებული, ინტენსიური მეთევზეობის შემთხვევაში, გაცილებით უფრო მეტი — 500 კგ-მდე ჰექტარიდან.

#### 5. წყალსაცავების მინერალიზაციის რეჟიმი

წყალსაცავების შექმნა გარკვეულ გავლენას ახდენს წყლის ხარისხზეც. ისეთ წყალსაცავებში, რომლებიდანაც აორთქლება უმნიშვნელოა, მარილების კონცენტრაციაც დროის მიხედვით უმნიშვნელოდ იზრდება და პრაქტიკულად ეთანადება შენაკადის ბუნებრივ მინერალიზაციას. პირიქით, წყალსაცავებში, რომლებიდანაც აორთქლებაზე იკარგება წყლის მნიშვნელოვანი რაოდენობა, მარილების კონცენტრაციამ დროის განსაზღვრულ პერიოდებში შეიძლება საგრძნობლად გადააჭარბოს მარილების კონცენტრაციის შენაკადის წყალში.

წყალსაცავის მარილიანობის (მინერალიზაციის) ბალანსი იცვლება დროის მიხედვით და დამოკიდებულია მარილების კონცენტრაციაზე შენაკადში, თვით შენაკადის სიდიდეზე, აორთქლების ინტენსიობაზე, წყალსაცავიდან წყლის გაშვებისა და ავსების სიდიდეზე და სხვ. თუ ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქ-

ტორის დროის მიხედვით ცვალებადობის სურათი ცნობილია, მაშინ ძნელა არ იქნება გაანგარიშებით დადგინდეს წყალსაცავის მინერალიზაციის თანამიმდევრობა დროის ცალკეული მონაკვეთების მიხედვით წყლისა და მარილების სათანადო ბალანსების შედგენის საფუძველზე.

მარილების კონცენტრაციასთან ერთად წყალსაცავებში წარმოებს ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესები, რომლებიც გავლენას ახდენენ წყლის ხარისხზე. ამიტომ, წყალმომარაგებისა და მორწყვისათვის წყალსაცავის წყლის გამოყენების შემთხვევაში საჭიროა შედგენილ იქნეს ამ მოვლენების პროგნოზი სპეციალური გამოკვლევების საფუძველზე.

## 6. წყალსაცავების ორგანიზაცია

წყალსაცავების შექმნა, გარდა დადებითი სახალხო-სამეურნეო ეფექტისა, იწვევს: ა) ტერიტორიების დატბორვას წყალსაცავის ქვაბულის ფარგლებში; ბ) წყალსაცავის მომიჯნავე მიწების შეტბორვას (იხ. პ. 1); გ) წყალსაცავის ნაპირების გადაშლაზე.

ერთმანეთისაგან განასხვავებენ მუდმივ და დროებით დატბორვას. მუდმივ დატბორვას მიეწერება ისეთი ხანგრძლივობისა და განმეორების დატბორვა, რომლის დროს შეუძლებელია დასატბორავი ტერიტორიის სამეურნეო ექსპლუატაცია. დროებით დატბორვას კი ისეთი ხანგრძლივობისა და განმეორების დატბორვა, რომლის დროს შესაძლებელია დასატბორავი ტერიტორიის გეგმაზომიერი სამეურნეო გამოყენება. დროებითი დატბორვა წარმოებს წყალსაცავში წყლის დონის აწევის შედეგად წყალდიდობის, ყინულხერგილის წარმოშობის ან ნაპირებზე ქარის მიერ წყლის აწევის დროს.

ნაპირების გადაშლაზე წარმოებს წყალსაცავში წარმოქმნილი ტალღების მოქმედების შედეგად. ეს მოვლენა წყალსაცავის ირგვლივ წარმოქმნის დამრეც ნაპირებს — „პლაჟებს“, რაც ხშირ შემთხვევაში იწვევს დატბორვის ფართობის გაზრდას და წყალსაცავის დალუქვის (დაღამვის) პროცესის გაძლიერებას.

დატბორვითა და შეტბორვით (იხ. პ. 1) გამოწვეული ზარალის კომპენსაციისათვის საჭიროა გაღებულ იქნეს ხარჯები დატბორვის ან შეტბორვის ზონიდან გადასახლებაზე და ახალ ადგილებში დასახლებაზე ანდა შეტბორვის ზონაში სადრენაჟო სამუშაოების ჩატარებაზე, თუკი ეს ღონისძიება ეკონომიურად უფრო მიზანშეწონილი აღმოჩნდება; შეტბორვისაგან საწარმოების დაცვაზე დაწესების განხორციელებით ან მათ გადატანაზე სხვა ადგილებში; მაღაროების საწინააღმდეგო ღონისძიებებზე; სარკინიგზო და საავტომობილო გზების, ელექტროგადამცემი ხაზების, საგზაო ნაშენების გადაკეთებაზე ან გადატანაზე; წყალსადინარი მოწყობილობების, საკანალიზაციო კოლექტორების, მიწისქვეშა კაბელების არხებისა და ქალაქის მიწისქვეშა მეურნეობის სხვა ელემენტების გადაკეთებაზე; დატბორვილი ტყეების აღდგენაზე, თუკი მათ დაცვითი მნიშვნელობა ჰქონდათ; წყალსაცავის ნაპირებზე არსებული მატერიალურ-კულტურულ ფასეულობათა დაცვაზე და სხვ.

მოუხედავად ზემოაღნიშნულისა, წყალსაცავის შექმნით დამატებით აღწევენ მრავალ სასარგებლო შედეგს: სანაოსნო გზების სიგრძის გაზრდას; დასახლებული ადგილების წყალმომარაგების პირობების გაუმჯობესებას წყლის გადაქაჩვის სიმადლის შემცირების გამო; სოფლის მეურნეობის წარმოების პი-

რობების გაუმჯობესებას წყალსაცავის მომიჯნავე მიწებზე; თევზის მეურნეობის განვითარებას ზედა ბიეფში; სამხრეთის გვალიანი რაიონების კლიმატურ პირობებზე ხელსაყრელ ზემოქმედებას და სხვ.

წყალსაცავის ადგილმდებარეობის არჩევის დროს ყოველმხრივ უნდა ვეცადოთ, რომ მინიმალურად დაიტბოროს და შეიტბოროს მსხვილი დასახლებული და სამრეწველო ცენტრები, სოფლის დასახლებული პუნქტები, მსხვილი ნაგებობანი, რკინიგზები და საავტომობილო გზები, სასოფლო-სამეურნეო სავაჭრულები და სასარგებლო ნამარხები. იმისათვის, რათა ალიკვეთოს მაღარიის გავრცელება, საჭიროა თავიდან ავიცილოთ წყალმარჩხი უბნების წარმოქმნა.

რაგორც წესი, კაშხალები, რომლებიც წარმოქმნიან წყალსაცავებს, უნდა აშენდეს დიდი დასახლებული პუნქტების (ქალაქების) ზემოთ.

წყალსაცავის ორგანიზაციისათვის ღონისძიებათა ღირებულების და მათი განხორციელების ხერხების დასადგენად საჭიროა ადგილზე ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შედგეს დასაბუთებული პროექტი, რომელშიც გათვალისწინებული უნდა იქნეს დატბორვასთან და შეტბორვასთან დაკავშირებული ყველა ზემოჩამოთვლილი ღონისძიება. აგრეთვე ღირებულება იმ სამუშაოებისა, რომლებიც დაკავშირებულია წყალსაცავების გამოყენებასთან თევზის მეურნეობის ორგანიზაციისათვის და წყალსატრანსპორტო მიზნებისათვის. ყველა ზემოჩამოთვლილი ღონისძიების დაგეგმვის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს წყალსაცავში წყლის დონის ცვალებადი რეჟიმი.

მუდმივი და დროებითი დატბორვის, აგრეთვე შეტბორვის საზღვრების დადგენა უნდა მოხდეს თითოეული წყალსაცავისათვის ცალკე-ცალკე, იმ გავლენის შეფასების საფუძველზე, რომელსაც შესაქმნელი წყალსაცავი მოახდენს მისი მოთავსების რაიონის სამეურნეო ცხოვრების პირობების შეცვლაზე.

წყალსაცავების კასკადის არსებობის შემთხვევაში წყლის დონეთა რეჟიმის მახასიათებლები განსაზღვრულია წყალსაცავისათვის და მის ქვემოთ მდებარე მდინარის უბნისათვის დადგენილი უნდა იქნეს ზემოთმდებარე წყალსაცავების მარეგულირებელი გავლენის გათვალისწინებით.

დიდი წყალსაცავების ორგანიზაცია, განსაკუთრებით ვაკის მდინარეებზე, ეხება მცხოვრებთა დიდი რაოდენობის ინტერესებს და მოითხოვს შრომისა და კაპიტალდამანდების ფრიად მნიშვნელოვან დანახარჯებს, რომლებიც ზოგჯერ აღწევენ ჰიდროკვანძის საერთო ღირებულების 30—40%. ამიტომ დატბორვის შედეგებისა და წყალსაცავის ორგანიზაციის ღონისძიებების გულდასმით გამოვლინებას ენიჭება უმნიშვნელოვანესი, ხოლო ზოგჯერ გადამწყვეტი მნიშვნელობა წყალდენის წყლის რესურსების გამოყენებისა და ჰიდროკვანძის პარამეტრების დადგენისათვის.

## § 2-7. ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავების სახეობანი და მათი მახასიათებლები

### 1. წყალსაცავების სახეობანი

საწყალსაცავო კაშხალები, რომლებიც იგება მდინარეებზე ჩანადენის რეგულირებისათვის, უნდა უზრუნველყოფდნენ წყლის მნიშვნელოვანი მოცულობის დაგროვებას, რომელიც გაშვებული ან დაბარჯული იქნება მომხმარებლის (ენერგეტიკა, ირიგაცია, ნაოსნობა და ა. შ.) მიერ მოთხოვნილ პერიოდებში.



წყლის დონე წყალსაცავებში არ არის სტაბილური (მუდმივი), იგი იცვლება დროის მიხედვით და აღწევს უმაღლეს მდებარეობას წყალდიდობის წყლის მიღების შემდეგ, ხოლო უდაბლეს საექსპლუატაციო დონეს — შემდგომი ავსების დაწყების მომენტისათვის. აღნიშნულ დონეებს შორის მოთავსებულ წყლის მოცულობას სასარგებლო მოცულობა ანუ სარეგულაციო კრიზში ეწოდება, ხოლო უმაღლეს და უდაბლეს დონეთა სხვაობას — ზედა ბიეფის ამოქმედების სიმაღლე ან სარეგულაციო კრიზისის სიმაღლე.

იმისდა მიხედვით, თუ რა მოცულობის წყალსაცავი იქმნება კაშხალით, განარჩევენ დღელაშური, კვირეული, წლიური (სეზონური) და მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავებს.

ცნობილია, რომ მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე გაცილებით დიდია დღის განმავლობაში, ვიდრე ღამის საათებში. აქედან გამომდინარე წყლის მიღება ენერგეტიკული წყალსაცავიდან დღე-ღამის განმავლობაში წარმოებს არათანაბრად, მაშინ როდესაც მდინარის ხარკი, რომელიც მასში შეედინება, თითქმის მუდმივია ამ დროის განმავლობაში. ბუნებრივია, წარმოიშობა იმის აუცილებლობა, რომ დახარჯულ იქნეს წყლის მარაგი ელექტროენერგიის მაქსიმალური მოთხოვნილების საათებში და აღდგენილ იქნეს იგი ღამით, როდესაც მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე და, მაშასადამე, წყალზე მცირდება. წყალსაცავებს, რომლებიც ასეთი რეჟიმით მუშაობენ, უწოდებენ დღელაშური რეგულირების წყალსაცავებს. მათი სარეგულაციო მოცულობა შეადგენს დღე-ღამის განმავლობაში მოთხოვნილი წყლის მოცულობის ნაწილს, ამიტომ ასეთი წყალსაცავები შედარებით პატარაა და იგი შეიძლება თითქმის ყველა მდინარეზე შეიქმნეს.

ანალოგიური რეჟიმით მუშაობენ კვირეული (დეკადური) რეგულირების წყალსაცავებიც. ისინი აწარმოებენ კვირის (დეკადის) განმავლობაში წყალსაცავში შემოსული თანაბარი ხარჯების გადანაწილებას იმავე პერიოდში ელექტროენერგიის მოთხოვნილების გრაფიკის შესაბამისად.

წლიური (სეზონური) რეგულირების წყალსაცავების მოცულობა შედარებით დიდია, იგი აღწევს მოცემულ კვეთში მდინარის მთელი წლიური ჩანადენის 20—30%. ასეთი წყალსაცავები აწარმოებს მდინარის ჩანადენის გადანაწილებას წლის განმავლობაში ისე, რომ წყალდიდობის წყლების დაგროვებით შექმნილი წყლის მოცულობის მარაგს იყენებენ იმავე წლის წყალმცირე თვეების ხარჯების გასაზრდელად.

მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავების მოცულობა ბევრად მეტია, ვიდრე წლიური რეგულირებისა; მან შეიძლება მიაღწიოს მოცემულ კვეთში მდინარის დამახასიათებელი წლის მთელი ჩანადენის მოცულობას. ასეთი წყალსაცავების დანიშნულებაა დაავროს მდინარის წყალუხვი წელიწადის ჰარბი წყლის მოცულობა გვალვიანი წლების დადგომის პერიოდისათვის და გაზარდოს ნაკადის ხარჯები ამ წლებში.

წლიური და მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავების შესაქმნელად საჭიროა განსაკუთრებით ხელსაყრელი გეოლოგიური და ტოპოგრაფიული პირობები, რომელთაც არც თუ ხშირად ვხვდებით მდინარეთა ხეობებში. ამ მიზნით ფრიად მოსახერხებელია ბუნებრივი ტბების გამოყენება, თუკი ასეთი შესაძლებლობანი არსებობს მდინარეებზე.

როგორც წესი, მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავი ამავე დროს გამოიყენება წლიური, კვირეული და დღეღამური რეგულირებისათვის, ხოლო წლიური რეგულირების წყალსაცავი — კვირეული და დღეღამური რეგულირებისათვის.

დღეღამური და კვირეული რეგულირების წყალსაცავები იცლება და ივსება შესაბამისად დღე-ღამისა და კვირის განმავლობაში, ხოლო წლიური რეგულირების წყალსაცავი ყოველწლიურად იცლება განსაზღვრულ ნიშნულამდე, რის შემდეგ წყალდიდობის პერიოდში იწყებს ავსებას ნ შ დ-მდე. მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავებში სასარგებლო მოცულობის მხოლოდ ნაწილი იცლება და ივსება ყოველწლიურად; მისი სრული ამოქმედება ხდება მცირე წყლიანი წლების რიგის დასასრულს.

ს ე ზ რ ი რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ი ს წ ყ ა ლ ს ა ც ა ვ ე ბ ს შეიძლება მივაკუთნოთ წყალდიდობის სპეციალური წყალსაცავები, რომლებიც დიდი წყალდიდობის გატარების დროს აკავებენ მისი ჩანადენის ნაწილს და ამით ამცირებენ მაქსიმალურ ხარჯებს; წყალდიდობის ჩავლის შემდეგ წყალსაცავი იცლება და, ამგვარად, მზადდება ტევადობა შემდეგი წყალდიდობის ჩანადენის მისაღებად.

ხშირად წყალსაცავები, რომელთა დანიშნულებას შეადგენს მცირე ხარჯების გაზრდა, ამავე დროს ასრულებს წყალდიდობის წყალსაცავების როლს; ამ შემთხვევაში წყალსაცავის სასარგებლო ტევადობიდან ზოგჯერ საჭიროა გამოიყოს სპეციალური მოცულობა წყალდიდობის ტრანსფორმაციისათვის და მაქსიმალური ხარჯების მოსახსნელად.

ცხადია, ყველა წყალსაცავში ფორსირების მოცულობა  $V_{ფ}$  გამოიყენება მაქსიმალური ხარჯების შესამცირებლად წყალდიდობისას, რომელიც იწვევს წყალსაცავის გადავსებას ნ შ დ ზემოთ.

## 2. წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები და მახასიათებლები

წყალსაცავის ძირითად მაჩვენებლებსა და მახასიათებლებს წარმოადგენს (ნახ. 2-13):

- ა) ნორმალური შეტბორვის დონე (ნშდ);
- ბ) საგანგებო წყალდიდობის დონე ანუ ე. წ. ფორსირებული დონე (ფდ);
- გ) ამოქმედების ანუ „მკვდარი მოცულობის“ დონე (მმდ);
- დ) სასარგებლო (სარეგულაციო) მოცულობა,  $V_{სარ}$ ;
- ე) მკვდარი მოცულობა  $V_{მკ}$ ;
- ვ) სრული მოცულობა (წყალსაცავის ფსკერსა და ნშდ-ს შორის),  $V_{სრ}$ ;
- ზ) ფორსირების მოცულობა (ნშდ-სა და ფდ-ს შორის),  $V_{ფ}$ ;
- თ) სარკობრივი ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე,  $\Omega$ ;
- ი) სარკობრივი ზედაპირების  $F$  ფართობებსა და წყლის  $H$  დონეთა შორის დამოკიდებულების მრუდი (ნახ. 2-14);
- კ)  $V$  მოცულობებსა და წყლის  $H$  დონეთა შორის დამოკიდებულების მრუდი (ნახ. 2-14);
- ლ) წყალსაცავის ფარდობითი ტევადობა, რომელიც ხასიათდება წყალსაცავის ტევადობის კოეფიციენტით  $\beta = \frac{V_{სარ}}{W_0}$ , სადაც  $W_0$  საშუალო მრავალწლიური ჩანადენია.

წყალსაცავის ერთ-ერთ მახასიათებელს წარმოადგენს აგრეთვე ფარდობა

$\frac{V_{სა}}{\Omega_{შ.ა}}$ . სადაც  $\Omega_{შ.ა}$  დატბორვის ფართობია. მთიან პირობებში არსებული წყალსაცავებისათვის აღნიშნული ფარდობა მერყეობს 8—15-მდე, ხოლო ვაკის წყალსაცავებისათვის 2—5-მდე.

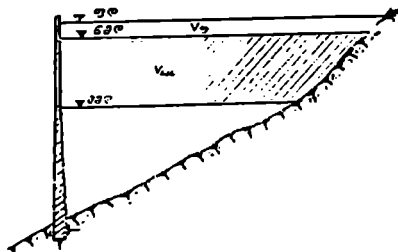
წყალსაცავის სარეგულაციო მოცულობა, რომელიც საჭიროა ამა თუ იმ მიზნებისათვის (ენერგეტიკა, ირიგაცია, ნაოსნობა, წყალმომარაგება და ა. შ.), განისაზღვრება წყალსამეურნეო ანგარიშების საფუძველზე. აღნიშნულ ანგარიშებში გაითვალისწინება წყლის როგორც სასარგებლო გაშვებანი, ისე დანაკარგები წყალსაცავიდან აორთქლებაზე, ყინულის წარმოქმნასა და ფილტრაციაზე (ფუძეში და შემოვლით).

წყალსაცავების დაპროექტების დროს მხედველობაში მიიღება მათი დალაშქვა, რისთვისაც გაითვალისწინება სათანადო მოცულობა. ამ მოვალეობას ასრულებს წყალსაცავის ე. წ. „მკვდარი მოცულობა“. ეს მოცულობა აიღება იმ ვარაუდით, რომ არ მოხდეს მისი ავსება (დალაშქვა) იმ  $T$  დროზე ადრე, რომელიც გაითვალისწინებულია დანადგარის მოქმედებისათვის (ჩვეულებრივ, წყალსაცავის საანგარიშო სამსახურის ხანგრძლივობა  $T$  აიღება 50—100 წელი).

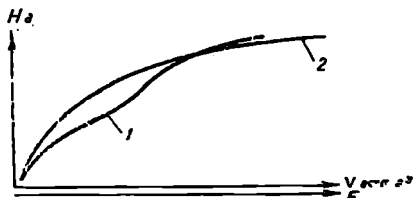
საჭირო  $V_{სა}$  მკვდარი მოცულობის, აგრეთვე  $V_{სა}$  სასარგებლო მოცულობის მოსალოდნელი შემცირების სიდიდის დასადგენად (რაც შეიძლება მოხდეს წყალსაცავის ბოლო ნაწილში მშდ-ის ზემოთ უფრო მსხვილი ნატანის დალექვით) გამოიყენება კალაპორტური პროცესების თეორიის შეთოდები.

წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის წინასწარი განსაზღვრისათვის შეიძლება დაეუშვათ, რომ მდინარის მთელი მყარი ნატანი რჩება წყალსაცავის ფარგლებში. ამ შემთხვევაში  $V_{სა}$  მკვდარი მოცულობა უნდა იყოს მეტი ან ტოლი მყარი ნატანის იმ მოცულობისა, რომელიც ილექება წყალსაცავში მისი სამსახურის  $T$  წლის განმავლობაში, ე. ი.

$$V_{სა} = \left[ \frac{\rho W_0}{\gamma_1} \left( 1 + \frac{\beta}{\gamma_2} \right) + V_{სა.ა} \right] T, \quad (2-1)$$



ნახ. 2-13. წყალსაცავის დამახასიათებელი დონეები და მოცულობები.



ნახ. 2-14. წყალსაცავის სარკობრივი ზედაპირების ფართობებისა და მოცულობების მრუდები:

1 — სარკობრივი ზედაპირების ფართობების მრუდი;  
2 — მოცულობათა მრუდი; H — წყლის დონეები;  
V — წყლის მოცულობები; F — სარკობრივი ზედაპირების ფართობები.

სადაც  $\rho$  არის მდინარის საშუალო წლიური სიმღერევე;

$\gamma_1$  — შეწონილი ნატანის მოცულობითი წონა;

$\gamma_2$  — ფსკერული ნატანის მოცულობითი წონა;

$\beta$  — შეწონილი ნატანის მოცულობის ფარდობა ფსკერული ნატანის მოცულობასთან;

$W_0$  — მდინარის საშუალო წლიური ჩანადენი;

$V_{\text{სა}}$  — ნაპირების გაჩეცვის შედეგად მოსალოდნელი დანალექის მოცულობა.

მკვდარი მოცულობის სიდიდის ან მმდ-ის ნიშნულის დადგენის დროს, გარდა დალექვის (დალაშვის) პროცესის გათვალისწინებისა, საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული სხვა ფაქტორებიც, მაგალითად:

ა) მმდ-ის ნიშნული უნდა იყოს იმ ზღვრულ მინიმალურ ნიშნულზე მაღლა, რომელიც დასაშვებია წყალშიმღებ ნაგებობათა ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად (მაგალითად, არხებში წყლის მიწოდების უზრუნველყოფა და ა. შ.);

ბ) მკვდარი მოცულობა დანიშნული უნდა იქნეს ისეთნაირად, რომ სასარგებლო ტევადობის მთლიანი დახარჯვის დროს არ მოხდეს ზაფხულში წყლის გაცხელება და გაფუქება, წყალსაცავის მოშამბნარება (ამოზრდა) და მალარიის გავრცელება;

გ) მკვდარი მოცულობა უნდა დაინიშნოს თევზის მეურნეობის სპეციალურ მოთხოვნებთან გათვალისწინებით;

დ) თუ წყალსაცავის ზედა ბიეფი გამოყენებულია წყლის გზად, მაშინ მმდ ნიშნული არჩეული უნდა იქნეს ისეთნაირად, რომ წყალსაცავის სანაოსნოდ დახარჯვის პირობებში უზრუნველყოფილი იქნეს საჭირო სანაოსნო სიღრმეები ზედა ბიეფში;

ე) წყალსაცავთან პილროელექტროსადგურის აგების შემთხვევაში სარეგულაციო პრიზმის სიღრმე, რომელიც განსაზღვრავს მმდ ნიშნულს, დადგენილი უნდა იქნეს პილროელექტროსადგურის მაქსიმალური სიმძლავრისა და ენერჯის გამოუმუშავების მიღების პირობიდან.

წყალსაცავის შესაქმნელად რაიონს იძლევა ან მომხმარებელი, ანდა განისაზღვრება მდინარის გამოყენების საერთო სქემით. ასევე ითქმის ნორმალური შეტბორვის დონის (ნ მდ) შესაზებაც. შერჩეული რაიონის შეფასებას ახდენენ წყალსაცავიდან შესაძლო ფილტრაციის, კაშხალისათვის ხელსაყრელი გეოლოგიური, ტოპოგრაფიული და სამშენებლო პირობების თვალსაზრისით. წყალსაცავისათვის საჭიროა არჩეულ იქნეს ისეთი ადგილი, სადაც საანგარიშო ტევადობა მიიღება მინიმალური დატბორვითა და შეტბორვით, ამას, კი, ჩვეულებრივ, ცალკეანაპირებიანი ზეობები შეესაბამება.

ეკონომიური თვალსაზრისით ყველაზე უკეთესი იქნება ის ვარიანტი, რომლის დროს შენტბორავი კვანძის ნაგებობათა ღირებულებისა და დატბორვასთან და შეტბორვასთან დაკავშირებული ხარჯების ჯამი, დაყვანილი წყალსაცავის ერთეულ სასარგებლო მოცულობაზე (1 მ<sup>3</sup>) ან პილროკვანძის მიერ შექმნილ ერთეულ პროდუქტიაზე (მაგალითად, 1 კვტ-სთ-ზე) იქნება მინიმალური.

კაშხალის აგების შემდეგ ამა თუ იმ ზომით ცვლილებას განიცდის აგრეთვე ქვედა ბიეფის ჰიდროლოგიური რეჟიმი, ამასთან წყალსაწვევი კაშხალები (დაბალდაწვევიანი კაშხალები) შედარებით უმნიშვნელოდ ცვლიან ან არ ცვლიან მდინარის ნაკადისა და კალაპოტის საერთო რეჟიმს, მაშინ როდესაც საწყალსა-ცავო კაშხალები პირიქით, ფრიალ ჰკვეთრად ცვლიან ამ რეჟიმს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ თუ კაშხალით წყლის ხარჯების რეჟიმი არ იცვლება (ნაკადის რეგულირება არ წარმოებს), მაშინ ქვედა ბიეფში პრაქტიკულად დატული იქნება ბუნებრივი ჰიდროლოგიური პირობები, მაგრამ, როდესაც ზედა ბიეფში წარმოებს წყლის დაგროვება (რეგულირება) და დალაშქის პროცესი, მაშინ წყალსაცვიდან ქვედა ბიეფში გაშვებული წყალი თითქმის თავისუფალია ნატანისაგან („მშიერი“ წყალი) და იგი იწყებს ქვედა ბიეფის კალაპოტის გარეცხვას (ეროზიას). ეს პროცესი განსაკუთრებით ინტენ-სიურად წარმოებს კაშხალის მახლობლად, რაც იწვევს კალაპოტის ფსკერის თანდათანობით დადაბლებას მნიშვნელოვან სიგრძეზე. ბუნებრივია, ფსკერის დადაბლებას თან სდევს წყლის დონის დაწვევა მთელ აღნიშნულ უბანზე. ეს პროცესი, რომელსაც ზოგჯერ რეტროგრესიას უწოდებენ, გაგრძელ-დება მანამდე, სანამ არ აღდგება ნატანის ტრანზიტი ზედა ბიეფიდან, ე. ი. სა-ნამ წყალსაცვი მთლიანად არ იქნება დალამული ნატანით.

კაშხალების ჰიდრაულიკური და სტატიკური გაანგარიშების დროს, ცხადია, გათვალისწინებული უნდა იქნეს ქვედა ბიეფის მოსალოდნელი დაწეული დონე. მხედველობაშია აგრეთვე მისაღები გრუნტის წყლების მოსალოდნელი დონის დაწვევა ქვედა ბიეფში და მასთან დაკავშირებული სხვა მოვლენები (მიწების გამოშრობა, კებიდან წყალშომარაგების გაუარესება, კავიტაციის მოვლენის გაძლიერება ქვის ტურბინებში და სხვ.).

ვაკის მდინარეებზე, რომლებიც შეიცავენ ნატანის მცირე რაოდენო-ბას, კალაპოტის დადაბლების პროცესი ქვედა ბიეფში მიმდინარეობს ძალიან ნელა და დაწევის სიღიდეც უმნიშვნელოა.

როდესაც კაშხალის აგებით იცვლება მდინარის რეჟიმი, მაგალითად, მისი რეგულირების დროს, მაშინ საჭიროა შემოწმდეს, თუ როგორ ტრანსფორმირ-დება ქვედა ბიეფის ხარჯები და დონეები და ეხება თუ არა ეს დარღვევა ქვე-და ბიეფის წყლითმოსარგებლეთა ინტერესებს. ცხადია, კალაპოტის დეფორ-მაცია ამ შემთხვევაში იწარმოებს, მაგრამ მისი ხასიათი დამოკიდებული იქნება წყლის გაშვების რეჟიმზე. რაც უფრო რეგულირებულია ნაკადი, მით უფრო ნაკლებად იქნება წყალდიდობის ხარჯები ქვედა ბიეფში და მით უფრო ძლიერი ხასიათის იქნება რეტროგრესიის მოვლენა. სამაგიეროდ შესუსტებული იქნება კალაპოტის ადგილობრივი დეფორმაციები, რომელთაც ადგილი ექნებოდა წყალდიდობის დროს.

დასასრულს რამდენიმე სიტყვა ქვედა ბიეფის თერმული რეჟიმის შესახებ, რომელიც მხედველობაშია მისაღები ჩრდილოეთის ქვეყნების მდინარეებში. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა აღინიშნოს, რომ მცირედაწვევიანი ჰიდრო-კვანძის შემთხვევაში ქვედა ბიეფის თერმული რეჟიმი თითქმის არ იცვლება, გამონაკლის შეადგენს მდინარის უბანი უშუალოდ წყალსაგებების უკან, სადაც დინების გაძლიერებული სიჩქარეების გამო ზედაპირული ყინული არ წარ-მოიქმნება, მაგრამ იქნება ე. წ. ყინულარუ (რუსულად პოლინია), რომელიც

წარმოადგენს სიღრმითი (ფსევრული) ყინულისა და თოშის წარმოშობის წყაროს. გადაიტანება რა თოში და ყინული დინების მიმართულებით ქვემოთ, მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ საექსპლუატაციო გართულებანი სამრეწველო და წესებულებების, ქალაქებისა და თბოელექტროსადგურების წყალმიმღებებში.

ჰიდროტექნიკური კვანძები, რომლებიც არეგულირებენ მდინარის ჩანადენს და ქმნიან წყალსაცავებს, ახდენს სითბოს აკუმულაციას ზედა ბიეფში, სადაც წყლის ძირითადი მასის ტემპერატურა რამდენიმე გრადუსით ნულზე მეტია. ამ გარემოების შედეგად ჰიდროკვანძის ქვემოთ ყინულის ფენა არ წარმოიქმნება იმ მანძილზე, რაც საჭიროა იმისათვის, რომ ქვედა ბიეფში გაშვებული წყლის ტემპერატურა შემცირდეს 0°-მდე. ეს მანძილი, ანუ, როგორც ამბობენ, ყინულლრუს (პოლინიის) სიგრძე, ზოგჯერ იზომება ათეული კილომეტრით, მაგალითად, დნეპრის კაშხალის უკან იგი აღწევს დაახლოებით 30 კმ. ზამთრის მიწურულისათვის ქვედა ბიეფის ყინულის ფენის ნაწილური (ყინულლრუს კიდე) წყლის ტემპერატურის ცვლილების გამო თანდათან უახლოვდება ჰიდროკვანძს, მაგრამ არასდროს არ აღწევს მას. ცხადია, ყინულლრუს არსებობა აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იქნეს პროექტში ქვედა ბიეფის საანგარიშო დონეთა დადგენის დროს. ეს იმას ნიშნავს, რომ ზამთრის დონეები დადგენილი უნდა იქნეს არა ზამთრის ხარჯების მრუდის, არამედ ზაფხულის ხარჯების მრუდის მიხედვით.

როგორც აღვნიშნეთ, ყინულლრუს არსებობა ქმნის თოშის წარმოშობის შესაძლებლობას ქვედა ბიეფში, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს საექსპლუატაციო გართულებანი მდინარის ქვედა უბანზე. ↓

#### § 2-2. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუნქციონირება და მათი გეოლოგიური პირობების როლი

##### 1. კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ფუძეების მოკლე დახასიათება

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სტატიკურ და დინამიკურ მუშაობაში პასუხსაგები როლი ეკისრება მათ ფუძეებს. ისინი უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ ძირითად მოთხოვნილებებს: ა) საკმარის სიმტკიცეს; ბ) მცირე და შესაძლო თანხარ დეფორმაციებს; ვ) სილამაქიან და საპასუხისმგებლო ნაგებობათა შემთხვევაში (დიდი დაწნევის პირობებში მომუშავე ნაგებობებისათვის) — პრაქტიკულად უკუმშვადობას; გ) მცირე წყალშედწევადობას და საკმარის წყალმედევადობას, რაც იმას ნიშნავს, რომ პრაქტიკულად არ იცვლიდეს ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს ფილტრაციული ნაკადის ზემოქმედების პირობებში; დ) კლდოვანი ქანების მონოლითურობას, ხოლო არაკლდოვანი გრუნტების შემთხვევაში — მათ შესაძლო დიდ ერთგვაროვნებას, რომელიც გამოირიცხავს სუსტი, ძლიერ კუმშვადი ან ადვილად გამოსარეცხი გრუნტების შუაშრეებისა და ლინზების არსებობას; ე) არაერთგვაროვანი, ე. ი. სხვადასხვა ქანებისაგან (ფენებისაგან) შედგენილი ფუძეების შემთხვევაში არ შეიცავდეს სუსტი, ძლიერ კუმშვადი გრუნტების შუაშრეებს, რომელთა არსებობა გამოიწვევდა ნაგებობათა დატოვებას (დასხლეტვას); კერძოდ, მიუღებელია ფენები, რომლებიც დახრილია ქვედა ბიეფისაკენ, აგრეთვე ძლიერ დახრილი ფენების წყება, რომელთა მექანიკური მახასიათებლები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

სათანადო მოთხოვნილებები წაყენებათ აგრეთვე კალაპოტის ფერდობებსაც; საჭიროა, რომ ნაგებობათა ფუძეები და ფერდობები არ განიცდიდეს

დეფორმაციებს სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოლოგიური მიზეზებით, მაგალითად, ტექტონიკური მოვლენების შედეგად, ქანების ძვრით, მეწყერებით, ზეავეებით და ა. შ.

ცხადია, ბუნებაში შედარებით იშვიათად ვხვდებით სადაწნეო ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისათვის ისეთ ადგილებს, რომლებიც მთლიანად დააკმაყოფილებდნენ ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნილებებს. ამიტომ გეგმარების დროს საჭიროა შეირჩეს ნაგებობათა და კონსტრუქციების ისეთი ტიპები, რომლებიც შესაფერისი იქნებიან მოცემული პირობებისათვის. ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს, რომ, ხშირ შემთხვევაში, ეკონომიურად მიზანშეწონილია ჩატარდეს ბუნებრივი ფუძეების გაუმჯობესების სამუშაოები ისეთი მოცულობით, რომ შესაძლებელი გახდეს გათვალისწინებულ ნაგებობათა მშენებლობა. თუ ფუძეების გაუმჯობესების სამუშაოთა ჩატარება დაკეშირებულია ისეთ ხარჯებთან, რომელსაც ეკონომიური თვალსაზრისით ვერ გავაპართლებთ, მაშინ უარი უნდა ეთქვას შერჩეულ ადგილზე მოცემული დაწნევის ნაგებობათა მშენებლობაზე ან მივიღოთ გადაწყვეტილება დაწნევის შემცირების შესახებ იმ ზღვარამდე, რომლის დროს ფუძეზე გაწეული ხარჯები ეკონომიურად გამართლებული იქნება.

ზეკოალინისულიდან გამოვლინარეობს, რომ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა პროექტირებისა და მშენებლობისათვის საჭიროა წინასწარ ჩატარდეს გეოლოგიურ-საძიებო სამუშაოები, რათა გამოვლინებულ იქნეს ფუძის გეოლოგიური პირობები, ე. ი. დადგენილ იქნეს მთის ქანების განლაგების ხასიათი.

წარმოშობის მიხედვით მთის ქანები იყოფა ამოფრქვეულ, დანალექ და მეტამორფულ ქანებად.

ამოფრქვეული (მაგმატური) ქანები. ეს ქანები მიიღება დედამიწის სიღრმეში არსებული გეარუარებული ლავის მიწის ზედა ფენებში ამოფრქვეული (ამოწვეით) და შექდგოში გაცივებით. ამოფრქვეული ქანები ხასიათდება თვისებებით: ერთგვაროვნებით, მაღალი სიმტკიცის ზღვრით კუშშვაზე (1000—3200 კგ/სმ<sup>2</sup>) და ახლჩეაზე (50—200 კგ/სმ<sup>2</sup>). მაღალი დრეკადობის მოდულით. ასეთი ქანები წარმოადგენს ძალიან კარგ ფუძეს სადაწნეო ჰიდრონაგებობისათვის, თუ ქანებში ადგილი არა აქვს მნიშვნელოვან ტექტონიკურ დარღვევებს ანდა მათ არ განუცდიათ ძლიერი გამოფიტვა.

ამოფრქვეული ქანები იყოფა: ა) ინტრუზიულ (სიღრმით) და ბ) ეფუზიურ (გადმოფრქვეულ) ქანებად; ინტრუზიულ ქანებს მიეკუთვნება: გრანიტი, სიენიტი, დიორიტი, გაბრო და პერიოდოტიტი. ისინი ტექტონიკური მოვლენების (ნახსლეტების, ძლიერი ბზარიანობის) და გამოფიტვის შედეგად განიცდიან მნიშვნელოვან სტრუქტურულ ცვლილებებს. ასეთი ცვლილებანი იწვევს ქანების დაშლას (რღვევას) ცალკეულ ნაწილებად, რაც ზოგჯერ მნიშვნელოვან სიღრმეზე ვრცელდება.

ეფუზიურ ანუ ლაქურ ქანებს მიეკუთვნება: ბაზალტები, დიაბაზები, პორფირიტები, ანდეზიტები, ტრახიტები და ფელზიტები. აღნიშნული ქანები მართალია წარმოადგენს ძალიან მტკიცე ქანებს, მაგრამ ხასიათდება მნიშვნელოვანი დრუიანობითა და ბზარიანობით, რაც გამოწვეულია ლავის გაცივების პირობებით. ამ მხრივ განსაკუთრებით უნდა გამოეყოთ ბაზალტი, რომელსაც, როგორც ფუძეს, უნდა მოვეყიდოთ დიდი სივრთხილით, ადგან იგი უფრო მეტად, ვიდრე სხვა ეფუზიური ქანები, ხასიათდება აღნიშნული ნაკლოვანი

ნაარეგობით. ეს გარეშობა გასათვალისწინებელია წყალსაკაევიდან ფილტრაციის შეფარების დროს.

**დანალექი კლდოვანი ქანები.** დანალექი ქანები წარმოიქმნება ამოფრქვეული ქანების დაშლის შედეგად. რაც განოფიტის, ტემპერატურის რყევის, ფორმება და ბზარებში წყლის გაყინვის, დენალი წყლის. მყინვარებისა, ქარისა და სხვა ფაქტორების გავლენით ხდება. გარდა ამისა, ხდება აგრეთვე ქიმიური გამოფიტვა ქიმიურ რეაქციათა გავლენით. კერძოდ, წყალში სხვადასხვა მინერალების, მაგალითად, თაბაშირის ვახსნის შედეგად და სხვ. წყალში ნახშირორჟანგის არსებობა ზრდის მასში მინერალების ხსნადობის უნარს. დადგენილია აგრეთვე, რომ ქანების დაშლა მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმების მოქმედების შედეგადაც წარმოებს.

დანალექი ქანები ხასიათდება ფენიანობით, რადგან ისინი წარმოიქმნებიან დროთა განმავლობაში ქანების დაშლის პროდუქტების გადატანით და მიწის ზედაპირზე ან წყლის აუზების ფსკერზე დალექვით. კლდოვან დანალექ ქანებს მიეკუთვნება კირქვები, ქვიშაქვები, მერგელები, ხოლო არაკლდოვანს — თიხები, თიხნარები და სხვ. განსაკუთრებით გამოყოფილი უნდა იქნეს მონატუხი ქანები: კაჟარი, კენკი, ხრეში და ქვიშა.

საერთო წარმოშობის პირობების მიხედვით დანალექი ქანები იყოფა ტერიგენულ, ორგანოგენულ და პალეოგენურ ქანებად.

ა) ტერიგენული ქანები. მათ მიეკუთვნება ქვიშაქვები და კონგლომერატები. ქვიშის ან ხრეშის მარცლების შემკერებელ ცემენტზე დამოკიდებულებით ტერიგენული ქანების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე მერყეობს 2300-დან 30—40 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე და პრაქტიკულად არ განიცდის დეფორმაციას დატვირთვის ქვეშ. ყველაზე დიდ წინაღობას კუმშვას უწევს კაჟიანი ქვიშაქვები, ხოლო შედარებით ნაკლებს — რკინიანი ქვიშაქვები და კონგლომერატები; კიდევ უფრო ნაკლებს კირიანი ქვიშაქვები, თუშკა ზოგიერთ მათ სახესხვაობას შეიძლება გააჩნდეს მაღალი წინაღობის უნარი კუმშვაზე. ყველაზე სუსტია თიხოვანი ქვიშაქვები და კონგლომერატები.

ბ) ორგანოგენული ქანები. მათ მიეკუთვნებიან კირქვები და დოლომიტები, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე იცვლება საკმარისად ფართო ზღვრებში. კერძოდ, 2800-დან 15 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე. ხოლო უფრო ბზირად 1400-დან 500—300 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე. ეს ქანები პრაქტიკულად არაერთარ დაჯდომას არ იძლევა. ჩვეულებრივ, კირქვები და დოლომიტები ხასიათდება ძლიერი ბზარიანობით და, მამასადაშე, მნიშვნელოვანი ფილტრაციით, რაც დროთა განმავლობაში კიდევ უფრო მატულობს მათი ვახსნის ან გამოტუტვის შედეგად ბზარების თანდათანობითი გაფართოების გამო. კირქვების გამოტუტვით იქმნება დიდი ზომის სიკარიელები. ეგრეთ წოდებული კარსტები, რაც კიდევ უფრო ავითარება ფილტრაციას, რომლის საწინააღმდეგო ღონისძიებათა განხორციელება დაკავშირებულია დიდ სიძნელეებთან და ხარჯებთან. აქედან გამომდინარე, ასეთი კირქვები წარმოადგენს კაშხალებისათვის არაბელსაყრელ ფუძეს. რაც შეეხება დოლომიტებს, ისინი შედარებით უფრო წყალმედვია, მაგრამ სამაგიეროდ მათში წარმოიქმნება დარბილებისა და დენანტეგრაციის ზონები. სწორედ ამიტომ ასეთ ქანებზე კაშხალების მშენებლობისათვის საჭიროა გულდასმით იქნეს შესწავლილი ფუძის ქანების გეოლოგიური ხასიათი და მისი გამაგრებისათვის ჩატარდეს დიდი სამუშაოები.



გ) ქალთა გენერაციის განვითარება. ამ ქანებს მიეკუთვნება: თაბაშირები, ანჰიდრიდები და ქვამარილი, რომლებიც მნიშვნელოვნად ჩამორჩებიან სიმტკიცით ქვიშაქვებსა და კირქვებს. მათი სიმტკიცის ზღვარი ყუმიშვებზე ირავება 500-დან 50 კგ-სმ<sup>2</sup>-მდე; ამასთან, ხასიათდება ძალიან მცირე წყალმწებრობით. რა თქმა უნდა, თაბაშირისა და ანჰიდრიდის მასივები საშიშია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძეებზე, განსაკუთრებით კი ისეთი მასივები, რომლებიც ბზარით ხასიათდებიან.

**მეტამორფული ქანები.** ისინი წარმოიშენენ მიწის ქერქის სიღრმეში დანალექ და ამოფრქვეულ ქანებზე ღიდი წნევის, მაღალი ტემპერატურის, აირებისა და ცხელი წყლის ხსნარების მოქმედების შედეგად. მათ რიცხვს მიეკუთვნება: გნეისები, ფიქლები, კვარციტები, მარმარილო. ლილიტები და სხვ. დანალექი ქანებისაგან წარმოქმნილი მეტამორფული ქანების საშენებლო ღირსებანი ფრიალ სხვადასხვანაირია და დამოკიდებულია მეტამორფიზმის ხარისხზე, ამიტომ ასეთი ქანები გულდასმით უნდა იქნეს გამოკვლეული ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის. ამასთან უნდა გვახსოვდეს, რომ, რაც უფრო დაბალია მეტამორფიზმის ხარისხი, მით მეტად გავს ეს ქანები იმ ქანებს, რომლებიდანაც არიან ისინი წარმოშობილი, ე. ი. ქვიშებს, თიხებს, მერგელებს, კირქვებს, და მით უფრო მცირეა მათი სიმტკიცე, ძლიერია გაოფიტულობა, დეფორმაცია და ა. შ.

**ამოფრქვეული ნახევრად კლდოვანი ქანები.** ისინი წარმოადგენენ ვულკანური ამონაფრქვევების (ვულკანური ფერფლის, ქვიშის დასხვ.) გამკვრივებულ და შეცემენტებულ პროდუქტებს. მათ ტუფებს უწოდებენ, ანდა — წერილფოროვან ლავებს ვულკანური მასალების მონატეხებით, რომელთაც ტუფოლავებს უწოდებენ (მაგალითად, ცნობილი არტიკის ტუფი). ამ ქანების სიმტკიცე მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე კლდოვანისა და დამოკიდებულია გამკვრივების ხასიათსა და ცემენტის ხარისხზე. ცალკეულ შემთხვევაში მათი სიმტკიცე შეიძლება იყოს მაღალი, მაშინ მათ ზოგჯერ კლდოვან ქანებს აკუთვნებენ.

ტუფების დეფორმაცია დატვირთვის ქვეშ პრაქტიკულად ნულის ტოლია, ფორიანობა კი ზოგჯერ მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს; წყალში ეს ქანები საესებით მდებარეობს.

**დანალექი ნახევრად კლდოვანი ქანები.** განსაზღვრულ ქანებს მიეკუთვნება სუსტად შეცემენტებული (ანუ თიხის ცემენტის) და სუსტად გამკვრივებული ქვიშაქვები, რომელთაც აქვთ მცირე სიმტკიცე. ჩვეულებრივ, ეს ქანები ხასიათდება ძლიერი ბზარითა და ნაკლები მდებარეობით აგრესიული წყლებისადმი; შედარებით ადვილად იშლება ეროზიით (ირეცხება) ნაგებობათა ქვედა ბიფეხში.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისათვის არახელსაყრელი თვისებებით ხასიათდება ნახევრად კლდოვანი დანალექი ქანების ყველაზე რდი ჩვეულებრივი, რომელთაც ქნის თიხოვანი დანალექები, დაწყებული ძლიერ გამკვრივებული თიხებიდან (არგილიტები), თიხნარებიდან (ალევიტები) და კყოვანი თიხებიდან ოპოკებამდე და მერგელებამდე ჩათვლით. ეს ქანები ერთმანეთისაგან განსხვავდება დანალექის შედგენილობითა და ხასიათით და გამკვრივების ხარისხით; მათზე დამოკიდებული მათი მექანიკური თვისებებიც.

ასეთი ქანების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვის დროს მერყეობს 10-დან 50 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე. მაგრამ მთელ რიგ შემთხვევებში თიხოვან ფიქლებს (არგილიტებს), მერგელებს და ოპოკებს შეუძლია მნიშვნელოვნად უფრო დიდი წინაღობა გასწიოს. კერძოდ, 200—300 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე და უფრო მეტიც. სიმტკიცის ზღვარი კრაზე მერყეობს 0,8—1,0-დან 20 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე, ხოლო ზოგჯერ 40—50 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე. აქაბთან უმცირესი წინაღობა მიიღება ფენათა განლაგების მიმართულებით, ხოლო უდიდესი — მის ნორმალურად. აღნიშნული ქანების სიმტკიცე მშრალ მდგომარეობაში მნიშვნელოვნად უფრო მაღალია, ვიდრე წყლით გაჯერებულ მდგომარეობაში (25% და უფრო მეტით).

თიხოვანი ქანების ყველაზე უფრო დამახასიათებელი მაჩვენებელია დასხლტის საშიშროება; ქანის თიხიანობის ხარისხის შესაბამისად ბეტონის ხახუნის კოეფიციენტი ამ ქანებზე მერყეობს 0,3-დან 0,5 ÷ 0,55-მდე. მშენებლობის დროს ძალიან დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს ქანის ზედა ფენის დაცვას ქვაბულის გათხრის შემდეგ, რათა გამოშრობის შედეგად ბეტონის დაწყობაზე არ განიცადოს სპეციფიკური დაშლა (დახეთქვა). წინააღმდეგ შემთხვევაში მისი ტენიანობისა და წყალგაჯერებულობის გაზრდის გამო დახეთქილი ქანი იშლება და ზოგჯერ შექიდილ თიხოვან მასად გადაიქცევა, ამის შედეგად კი მისი ხახუნის კოეფიციენტი ეცემა 0,2—0,25-მდე და უფრო დაბლა. აღნიშნული გარემოების გამო ასეთი ქანებისათვის დგინდება სამშენებლო სამუშაოთა წარმოების განსაკუთრებული წესი, რომლის მიხედვით ფუძეში ქანის გაშიშვლების შემდეგ დაუყოვნებლივ უნდა მოხდეს ნაგებობის საძირკლის ნაწილის დაბეტონება, მაგრამ თუ ეს სამუშაოთა გეგმით ჭერ კიდევ არ შეიძლება გაკეთდეს, მაშინ ფუძე დროებით უნდა დაიფაროს ბიტუმის ან სხვა სააზოლაკიო მასალის ფენით.

ბეტონისა და თიხოვანი ქანების (მერგელები, ოპოკები, არგილიტები) კავშირი ხასიათდება შექიდიულობის სიდიდით, რომელიც მერყეობს 3—5 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე, მაგრამ ეს დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მდგომარეობაშია ქანის ზედაპირი ბეტონის წყობის დროს. თუ ეს ზედაპირი გამოშრა და ქანმა დაიწყო დახეთქვა, მაშინ დაწყობილი ბეტონის ქვეშ მისი ტენიანობის მიზეზით წარმოიქმნება გაჯერებული ან დარბილებული თიხის შუაშრე, რის შედეგად ბეტონის შექიდიულება ქანთან პრაქტიკულად ნულის ტოლი ხდება. ცხადია, ბეტონის წყობაზე ქანის ზედაპირის დამცველი ფენით დაფარვის ღონისძიება ზრდის ბეტონის კავშირს ფუძესთან.

ნაგებობის დატვირთვის ქვეშ თიხოვანი არაშეცემენტებული ნახევრად კლდოვანი ქანები არც ისე იშვიათად განიცდის საგრძნობ დაჯდომას (დეფორმაციებს) რბილი გრუნტების ანალოგიურად. ეს ქანები საერთოდ პრაქტიკულად წყალშეუღწევია, მაგრამ შეცემენტებული თიხოვანი ნახევრად კლდოვანი ქანების სახესხვაობებში ფილტრაცია წარმოებს ბზარებით და მან შეიძლება მიადწიოს მნიშვნელოვან სიდიდეს; არაშეცემენტებულ ქანებში ბზარები ჩვეულებრივ იხურება ნაგებობების დაწოლით.

დასასრულს საჭიროა აღინიშნოს, რომ განხილული ტიპის ქანები ხშირად განიცდის გამოფიტვის პროცესებს, ამიტომ მათ, როგორც ფუძეებს, საჭიროა ძალიან დიდი ყურადღებით მოვეპყროთ და, ამასთანავე, გულდასმით გამოვიკვიროთ ისინი კაშხალების მშენებლობის ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის.

## 2. არაკლდოვანი (რბილი) ფეძეების მოკლე დახასიათება

ჰიდროტექნიკური მშენებლობის წარმოება რბილ ანუ არაკლდოვან ქანებზე მოითხოვს მათ გულდასმით საინჟინრო-გეოლოგიურ გამოკვლევებს, რათა შერჩეულ და დასაბუთებულ იქნეს ნაგებობათა შესაფერისი ტიპები და ფორმები. აღნიშნული ქანები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: 1) შეუკავშირებელი ანუ ფხვიერი გრუნტები, რომელთა ნაწილაკებს შორის არ არსებობს შეჭიდულობა, და 2) შეუკავშირებელი გრუნტები, რომელთა ნაწილაკებს შორის არსებობს გარკვეული შეჭიდულობა. ქვემოთ მოცემულია მათი მოკლე, საინჟინრო-გეოლოგიური დახასიათება.

შეუკავშირებელი გრუნტები. შეუკავშირებელ ანუ ფხვიერ გრუნტებს მიეკუთვნება კენჭოვანი, ხრეშოვანი, ქვიშოვანი გრუნტები და მათი ნარევიები. ნაგებობათა დატვირთვებს ისინი წინაღობას უწევენ ნაწილაკებს შორის წარმოშობილი ხახუნის შედეგად. გარდა ამისა. ამ გრუნტების ზიდვისუნარიანობა დამოკიდებულია აგრეთვე მათ სიმკვრივესა და მოცულობითს წონაზე.

შეუკავშირებელი გრუნტების ზიდვისუნარიანობა განისაზღვრება სპეციალური ანგარიშების საფუძველზე, მაგრამ თუ მხედველობაში მივიღებთ ამათ ფუძეებზე ჰიდროტექნიკური მშენებლობის გამოცდილებას, შეიძლება მივუთითოთ, რომ მათი ზიდვისუნარიანობა საკმარისია 30—40 მ-მდე და ზოგჯერ უფრო მეტი დაწნევის შემტბორავ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისათვის.

ამოფრქვეული ქანების მარცვლებისაგან წარმოქმნილი შეუკავშირებელი გრუნტები ხასიათდება წყალმდეგობით. მაგრამ თუ ისინი წარმოქმნილია კირქვების, დოლომიტების, თაბაშირისა და მათი მსგავსი დანალექი ქანების დენინტეგრაციის შედეგად, მაშინ. ისე როგორც მათი დედაქანები, შეიძლება განიცადონ გამორეცხვა.

საჭიროა აღინიშნოს ზოგიერთ თავისებურებათა შესახებაც: ამ მხრივ გამოირჩევა წვრილმარცვლოვანი ქვიშა — მცურავი ქანები. რომლებიც წყლით გაჭერებულ მდგომარეობაში ხასიათდებიან დენადობით, ბუნებრივი ფერდოს მცირე კუთხით (3—7-დან 0°-მდე. ტენიანობის შესაბამისად) და მცირე ზიდვისუნარიანობით. მაგრამ ამასთანავე უნდა შევნიშნოთ. რომ ასეთი ქანები გამოსადეგია მცირედაწნევიანი კაშხალების ფუძეებად იმ პირობით. თუ ისინი შემოზღუდული იქნებიან ნაგებობის მთელ კონტურზე ნარანდელი ან სხვა სახის საიშედო კედლებით, რომლებიც მინიმუმამდე შეამკირებენ მათში წყლის მოძრაობის სიჩქარეს.

ცხადია, შეუკავშირებელი გრუნტები განიცდის დეფორმაციას, რომელიც დამოკიდებულია მათ სიმკვრივესა და განლაგებაზე, ხოლო ეს უკანასკნელი — დანალექის წარმოქმნის პირობებსა და გრანულიმეტრულ შემადგენლობაზე. წვრილმარცვლოვან ერთგვაროვან ქვიშებს, ჩვეულებრივ, გააჩნია ფხვიერი აღნაგობა და კრიტიკულზე მეტი ფორიანობა. დინამიკური დატვირთვების პირობებში ამ ქვიშებმა შეიძლება განიცადოს მოულოდნელი მკვეთრი დაჭდობა და ძვრაზე წინალობის შემცირებასთან ერთად გაუზნებელი მდგომარეობა მიიღოს. ეს მოვლენა ჭერ კიდევ არასაკმარისადაა შესწავლილი და ამიტომ ნაგებობათა საიმედოობისათვის წარმოებს ასეთი ქვიშების ხელოვნური გამკვრი-

ეება ვიბრირებოთ, ხიმიწების დასობით, სიღრმითი აფეთქების გამოყენებით და ა. შ.

ბუნებრივია, შეუქავეშირებელი გრუნტები ხასიათდება მნიშვნელოვანი ფილტრაციით, ხოლო არაერთგვაროვან გრუნტებში შეიძლება განვითარდეს სუფოზიის მოვლენებიც. ამ გარემოებას დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს კაშხალების გეგმარების დროს. რათა შეიზრჩეს მათი მიწისქვეშა ნაწილების ისეთი ზომები და ფორმები, რომლებიც აგვაცილებენ სუფოზიის მოვლენის ხასიათობას.

შექავეშირებელი (თიხოვანი) და ორგანოვანი რბილი გრუნტები. შექავეშირებულ გრუნტებს მიეკუთვნება სხვადასხვა სიმკვრივის თიხები, თიხნარები, ლიოსები და ლამები. თიხები და თიხნარები ხასიათდება შიგა ხახუნის კოეფიციენტის ბევრად მეტი შემცირებული მნიშვნელობებით. ვიდრე არაშევიდული ქვიშოვანი გრუნტები ( $\mu_{\text{ფრ}} = 0,1 \div 0,35$ ).

ზოგჯერ იმისა, რომ წყლით გაჭერებულ თიხოვან ფუძეებს ყოველთვის ეახინა რაღაც შევიდულობა (0,001-დან 1—2 კმ/სმ<sup>2</sup>-მდე).—ჩვეულებრივ, ნაგებობების ძირსა და გრუნტს შორის იგი არ არსებობს და გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მოიღება. მხედველობაშია მისაღები თიხის ტენიანობის მნიშვნელოვანი როლი, დრო, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რათა მიიღონ დატვირთვის შესაბამისი სიმკვრივე, და თიხის შესაძლო გაუმკვრივებლობა ანუ გაჭირჩქევა. რასაც შეუძლია ნულამდე შეამციროს ძვრისადმი მათი წინაღობის კოეფიციენტი.

თიხოვანი გრუნტები ხასიათდება დიდი კუმშვადობით, რის გამო ნაგებობებს წაყენება ნთელი რიგი დამატებითი კონსტრუქციული მოთხოვნილებები, რათა უსაშიშრო გახდეს მოსალოდნელი მნიშვნელოვანი დაჭლომები. გაოდა: ამისა, აღნიშნული გრუნტები ხასიათდება დიდი წყალშეღწევადობით. მაგრამ ხშირად მცირე წყალმდეგია. ე. ი. წყლით გაჭერების შედეგად კარგავენ მექანიკურ ღირსებებს.

საჭიროა აღინიშნოს იმის შესახებაც, რომ ბუნებაში თიხოვანი გრუნტები ხასიათდება მრავალფეროვნებით, რაც განპირობებულია მათი გრანულმეტრული შემადგენლობათა და დაღეჭვის პირობებით. ერთმანეთისაგან განასხვავებენ ალუვიულ, ტურ, ზღვიურ, მყინვარულ წარმოშობის თიხებს და სხვ. ყველაზე დიდი სიმკვრივეთა და ხარისხის ერთგვაროვნებით ხასიათდება ზღვიური წარმოშობის თიხები, ხოლო უმცირესით — ალუვიალური თიხები.

შექავეშირებელი გრუნტების ჩვეულებრივ მიეკუთვნება აგრეთვე ლიოსები და ლიოსისებრი ნაკროფოროვანი გრუნტები, რომელთა დამახასიათებელია დატვირთვის სიმტკიცის დაკარგვა და მნიშვნელოვანი დაჭლომა წყლით დასველების შემთხვევაში. მათ ვხედვით უმთავრესად ზემო ნაწილებზედა ტერასებსა და წყალდაყრუვებზე სარკავშირის შუა ზოლში და სამხრეთში, მათ შორის საქართველოშიც. ეს გრუნტები მოითხოვს განსაკუთრებულ ყურადღებას, რადგან ლიოსოვანი ფუძეების დაჭლომამ, რომელიც, მაგალითად, არსებზე აღწევს 0,5—1,5 მ და უფრო მეტს, და გახსნილი ბზარების წარმოშობამ შეიძლება ნაგებობა ავარიულ მდგომარეობაში მიიყვანოს. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა მივიღოთ სპეციალური ზომები, კერძოდ, ლიოსოვანი გრუნტების წინასწარი დაღობის, მოსალოდნელი დაჭლომისადმი თვით კონსტრუქციის შეგუების ღონისძიებანი და ა. შ.

თუ არაკლდოვან დანალექ ქანებსა და ნიადაგებში აჩვენებს მცენარეულ და ორგანულ ნივთიერებათა ნარჩენები, მაშინ ეს ქანები განსაკუთრებულ თვისებებს იქნენ და ლებულობს ორგანოგენული რბილი გრუნტების სახელწოდებას. მათ შიგუთენება ლამები და ტორფები, რომლებიც ხასიათებიან მცირე მოცულობითი წონით, მაღალი ტენიანობით, მცირე შეჭიდულობითა და საგანგებო კუმშვადობით. ყველა ეს თვისება ამცირებს აღნიშნული გრუნტების ზილვისუნარიანობას და მათ ხისტ ნაგებობათა ფუძეებად გამოუსადეგარს ხდის. გარკვეულ პირობებში ისინი დასაშვებია მიწის ნაგებობათა ფუძეებად.

დასასრულს საკიროა აღინიშნოს, რომ თიხოვანი, ქვიშოვანი, ქვიშნაროვანი და ხრეშოვანი გრუნტები, ზოგჯერ სუსტი ლამოვანი წარმონაქმნების შუაშრეებითა და ლინზებით, ხშირად გვხვდება რთული კომპლექსების სახით. ასეთ კომპლექსებს, ჩვეულებრივ, წარმოადგენს მეთხეული დანალექები, რომელთაგან განსაკუთრებით დამახასიათებელია მდინარეული ნარწყულები თანამდროვე და ძველი კალაპოტების დამარხული ნარჩენებით. ეს კომპლექსები საერთოდ საკმარისად საიმედო გრუნტს წარმოადგენს, მაგრამ სუსტი ქანების შუაშრეებისა და ლინზების არსებობის შემთხვევაში სუსტდება გრუნტის მთელი მასის წინაღობა დეფორმაციებისადმი.

#### § 2-10. ჰიდროტექნიკა ნაგებობათა გეგმარებისა და მშენებლობისათვის საშირო წინასწარი საძიებო-კვლევითი სამუშაოები

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების გეგმარებისა და მშენებლობისათვის საკიროა ჩატარდეს მთელი რიგი წინასწარი საძიებო-კვლევითი სამუშაოები. რათა სრულად იქნეს გათვალისწინებული მშენებლობის რაიონის ბუნებრივი მდგომარეობა და ამასთანავე უზრუნველყოფილ იქნეს ექსპლუატაციაში ნაგებობათა საიმედო მუშაობა.

ქვემოთ ჩამოთვლილია და მოკლდაა დახასიათებული ყველა საძიებო და კვლევით სამუშაოთა სახეობანი.

#### 1. ტოპოგრაფიული სამუშაოები

ამ სამუშაოებში იგულისხმება მდინარის ხეობისა და ჰიდროკანძის მშენებლობის უბნების ტოპოგრაფიული აგეგმვისა და სათანადო რუკების შედგენის სამუშაოები. აეროფოტო გადაღება, მდინარისა და მისი შენაკადების კრძივი პროფილების, კაშხლის გასწორების (მდინარის კვეთების) სხვადასხვა ვარიანტის პროფილების აგება, დასაგეგმარებელი წყალსაცავის ტოპოგრაფიული რუკების შედგენა სხვადასხვა მასშტაბში (1:25000, 1:10 000: 1:5 000 და 1:1 000). გარდა ამისა, მშენებლობის დროს საკიროა გეკონდეს საპროექტო და გეოდეზიური მასალები ნაგებობათა ძირითადი ღერძების აღვილზე გადასატანად, აგრეთვე ხაზოვანი ტიპის საინჟინრო ნაგებობათა პროფილები ტანაზე (დაშკველი ჭებირები, არხები, მისასვლელი გზები, ელექტროგადამცემი ხაზები და სხვ.).

გარდა აღნიშნულისა, აუცილებელია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის პროცესში და ექსპლუატაციის დროს გაწარმოებდეთ დაკვირვებას ნაგებობათა შეუღულ დაჭლომასა და თარაზულ გადაადგილებებზე.

აღნიშნულ სამუშაოთა ჩატარების მიზანს შეადგენს მშენებლობის რაიონის ქანების წარმოქმნის გეოლოგიური ისტორიის ახსნა და მათი გეოლოგიური დახასიათების შედგენა აღწერისა და გრაფიკული გამოსახვის გზით (გეოლოგიური და გეომორფოლოგიური რუკების, კრილების, გაშიშვლებების გრაფიკული წარმოდგენა და სხვ.).

გეოლოგიური დახასიათება შეიცავს ოროგრაფიისა და გეომორფოლოგიის, ჰიდროგრაფიის, რაიონის სტრატეიგრაფიის, ქანების განლაგების ტექტონიკური დარღვევების, მათი გამოფიტვის ხასიათისა და ხარისხის აღწერებს, აგრეთვე ქანებისა და მათი ფაციალური ცვლილებების პეტროგრაფიულ (ლითოლოგიურ) აღწერას. იგი უნდა შეიცავდეს თანამედროვე (მეოთხეული) ქანების, მათ შორის მიწის ქერქის ყველაზე ზედა ნაწილის, და თანამედროვე უბი-უ-გეოლოგიური მოვლენების (მეწყობების, ზეავეების, დაჯდომების, კარსტებისა და სხვ.) აღწერებსაც.

გრაფიკული შაბლა გეოლოგიური რუკებისა და კრილების, დიაგრამების, პროფილების სახით ნათლად უნდა გვიჩვენებდეს ქანების განლაგების ელემენტებს (ვარდნას, განვრცობას), ფენების თანამიმდევრობასა და სიმძლავრეს მათი ასაკის ჩვენებით. კონტურებს გეგმასა და კრილებში. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს სუსტ, არაწყალმდეგ ქანებს და შუაშრეებს, რადგანაც ისინი ყველაზე მეტად საშიშია ნაგებობებისათვის.

ჰიდროგეოლოგიური გამოკვლევების მიზანია შესწავლილ იქნეს მიწა-ქვეშა წყლები ჰიდროტექნიკური მშენებლობის რაიონში. ამ გამოკვლევათა საფუძველზე დგება წყლოვანი პორიზონტების განლაგების სიღრმეთა ჰიდროგეოლოგიური რუკები. ჰიდროიზოპიქსებისა და პიეზოიზოპიქსების, ქანების წყალგაჰარობის, წყლების ქიმიზმის რუკები და სხვ.; აგრეთვე ჰიდროგეოლოგიური პროფილები, კერძოდ, სხედასხვა ქანების წყალშთანთქმელობის პროფილები.

ჰიდროგეოლოგიურ გამოკვლევათა შასალები უნდა იძლეოდეს ჰიდრონაგებობათა აგების შექმდეგ მიწისქვეშა წყლების შემადგენლობისა და რეჟიმის მოსალოდნელ ცვლილებათა წინასწარგანკვერტის საშუალებას, რათა დაისახოს არახელსაყრელ შედეგებთან ცვაბულებში წყლის მოღინება, კარსტების გავრცელება, წყლების დონეთა აწევა წყალსაცავის შეტბორვის დროს, ბეტონზე ზემოქმედება და ა. შ.) ბრძოლის მეთოდები.

გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური გამოკვლევების პარალელურად საჭიროა ჩატარდეს ჰიდრონაგებობათა ფუძეების ქანების გეოტექნიკური გამოკვლევანი მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენის მიზნით. ასეთი გამოკვლევა აუცილებელია იმისათვის, რათა სწორად იქნეს შეფასებული ფუძეების სიპტიცე და ნაგებობათა მდგრადობა.

გეოტექნიკურ გამოკვლევათა შედეგად უნდა შედგეს გეოტექნიკური რუკები და პროფილები (კრილები), რომლებზედაც პირობითი ნიშნებით ნაჩვენებია იქნება ქანების გეოტექნიკური მახასიათებლები მათ გეოლოგიურ აგებულებასთან და ლითოლოგიურ შემადგენლობასთან კავშირში. უნდა შედგეს აგრეთვე გეოტექნიკური მონაცემების ცხრილები და გრაფიკები.

## ა. ჰიდროლოგიური (ჰიდრომეტრიული) გამოკვლევანი

ჰიდრომშენებლობის საძიებო სამუშაოთა ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს ჰიდროლოგიური (ჰიდრომეტრიული) გამოკვლევანი. რომელთა საფუძველზე შეისწავლება გამოსაყენებელი მდინარის (ტბის) ჰიდროლოგიური რეჟიმი — თხიკრი და მყარი ჩანადენის სიდიდე მრავალწლიურ ასპექტში, წყლის ხარჯებისა და დონეების ცვალებადობის რეჟიმი წლის განმავლობაში, ზანთრის რეჟიმი, კალაპოტის პროცესები და სხვ.

მდინარის (ან ტბის) ჰიდროლოგიური რეჟიმის შესასწავლად, პირველ ყოვლისა, გამოიყენება ჰიდრომეტროლოგიური სამსახურის მთავარ სამმართველოსადმი ან სხვა უწყებინადაში დამორჩილებულ ჰიდროლოგიურ სადგურებში და საგუშაგოებზე მიღებული დაკვირვებათა შედეგები. გარდა ამისა, წარმოებს დამატებითი სადგურებისა და საგუშაგოების ორგანიზება, რომლებიც მოქმედებენ საძიებო სამუშაოთა მთელ პერიოდში (ზოგჯერ მშენებლობის პერიოდშიც), მაგრამ არანაკლები 1 წლის განმავლობაში.

გამოსაყენებელ წყალდენზე (მდინარეზე, ტბაზე) ჩატარებულ ხანგრძლივ დაკვირვებათა მონაცემები იმ ძირითად ჰიდროლოგიურ მასალას ქმნის, რომლის საფუძველზე წარმოებს დასაგეგმარებელი ჰიდრომშენებლობის ობიექტის წყალსამუშაოთა გამოკვლევანი.

ზემოჩამოთვლილ ძირითად საძიებო-კვლევით სამუშაოთა ჩატარების პერიოდში აუცილებელია შესწავლილ იქნეს მთელი რიგი სხვა დამატებითი საკითხებისა, რომელთაც ანგარიში უნდა გაეწიოს ჰიდრომშენებლობის ობიექტის ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთების დროს. კერძოდ, გამოკვლევული უნდა იქნეს რაიონის კლიმატური პირობები (ე. ი. მონაცემები ნალექების, აორთქლების, ქარების შესახებ და სხვ.), სეისმურობა (მიწისძვრების სიძლიერე ბალდში), მონაცემები წყალდენის ექსპლუატაციის შესახებ ობიექტის აშენებამდე (არსებულთა ნაგებობანი, დანადგარები და ა. შ.) და აშენების შემდეგ მის ზემოთ და ქვემოთ; თევზის მკურნეობის ხასიათი და მისი განვითარების პერსპექტივები მომავალში: ნიადაგები და მკენარეულობა. რომლებზედაც შეიძლება გავლენა მოახდინოს მოკეპულმა ჰიდროტექნიკურმა ობიექტმა, მშენებლობის დროს არსებულ დასაბუთებათა, კოჟუნიაციებისა და საწარმოო ბაზების შესაძლო გამოყენების საკითხები და სხვ.

## 4. სამშენებლო-საწარმოო გამოკვლევანი

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისათვის საჭიროა გამოვიკლიოთ მთელი რიგი საკითხებისა, რომელთაც პირდაპირი კავშირი აქვთ მშენებლობის მატერიალურ-ტექნიკურ უზრუნველყოფასთან. სამშენებლო წარმოების ტექნოლოგიასა და ორგანიზაციასთან, მშენებლობის წარმოების ეკონომიკასთან და ა. შ. ასეთ საკითხებს მიეკუთვნება გამოკვლევანი ადგილობრივი საშენი მასალების (ქვის, კენკის, ხრეშის, ქვიშის, თიხნარის და თიხის) საბალოებისა მათი ადგილმდებარეობის. მარაგის, განლაგების ხასიათის (ფენების უარდნა და განუტობა, გადახსნის სისქე, ჰიდროგეოლოგიური პირობები) და ხარისხის დადგენის მიზნით: არსებულ სამიშოსკლო გზებთან მშენებლობის დაკავშირებისა და მშენებლობის რაიონში არსებულ სამშენებლო ინდუსტრიის საწარმოთა

განოყენების პირობების დადგენა: მშენებლობის წყლითა და ელექტროენერჯით მოპარაგების, მუშა-მოსამსახურეთა დასახლების, ავრეთვე სამშენებლო შოედნისა და სამშენებლო მეურნეობის (დამხმარე საწარმოთა, დროებითი გზების და დროებითი ნაგებობების ჩათვლით) დაგეგმარებისათვის საჭირო მონაცემების დადგენა და სხვა.

#### § 2-11. შუამდგომარე ნაგებობათა ადგილის არჩევა გეოლოგიური კიროზების მიხედვით

კაშხალები, ქვისის შენობები, რაბები და საერთოდ ყველა სახეობის შემტორაჟი ნაგებობანი განიციდის მრავალმხრივ ძალოვან ზემოქმედებას, რომელიც შათივე საშუალებით გადაეცემა ფუძის გრუნტებს. აქედან გამომდინარე ქიღროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისათვის შესაფერისი ადგილის დასადგენად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება გეოლოგიურ პირობებს.

ქიღროტექნიკურ ნაგებობათა კომპლექსში, ძალიან ხშირად, კაშხალი წარმოადგენს ყველაზე უფრო მნიშვნელოვან და საპასუხისმგებლო ნაგებობას. რომელიც სათანადო მოთხოვნილებებს უყენებს ფუძის გეოლოგიურ პირობებს. ამ მხრივ განსაკუთრებით საყურადღებოა მაღალი კაშხალები, რომელთაც ღიდი განეითარება და გავრცელება პოვეს ჩვენს საუყუნეში როგორც საზღვარგარეთ, ისე საბჭოთა კავშირში.

მაღალი კაშხალების მშენებლობისათვის გაზრდილ მოთხოვნილებებს აკმაყოფილებს კლდოვანი ფუძეები; რაც შეეხება არაკლდოვან ფუძეებს. მათზე შეიძლება განხორციელდეს მცირე (8—12 მ) და საშუალო სიმაღლის (30—40 მ) ბეტონისა და რკინაბეტონის კაშხალები. გამონაკლისს წარმოადგენს მიწის კაშხალები, რომლებიც 80—100 მ-მდე დაწნეების პირობებშიც არ უყენებენ ფუძეებს განსაკუთრებულ მოთხოვნილებებს და პრაქტიკულად შეიძლება თითქმის ნებისმიერ გეოლოგიურ პირობებში ვაშენოთ.

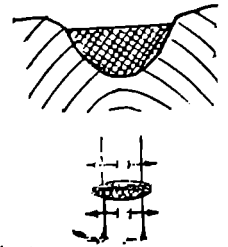
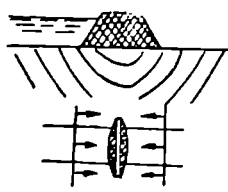
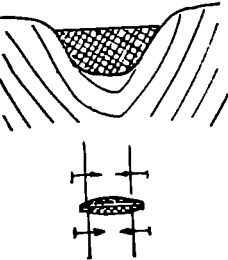
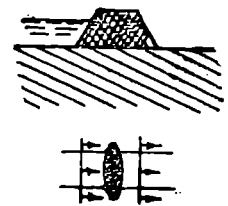
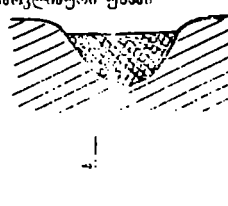
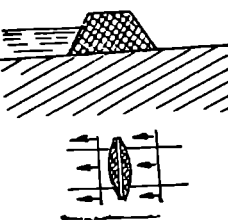
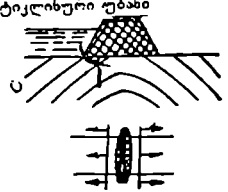
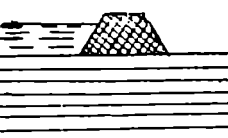
კაშხალის ადგილის არჩევის დროს მნიშვნელოვანია აგრეთვე ვიცოდეტ ქანების განლაგების სურათი კვეთის გეოლოგიურ კრილში. განსაკუთრებით სასურველია ფუძის ერთგვაროვნება, რათა ექსპლუატაციის პერიოდში თავიდან აცილებულ იქნეს ნაგებობის არათანაბარი დაჭდომა. ამ თვალსაზრისიდან გამომდინარე მისაღებია ფუძეები, რომელთა ქანები განლაგებულია ჰორიზონტალურ და ოდნავ დახრილ ფენებად. არასასურველია ქანები, რომელთაც ტექტონიკურ დარღვევათა გამო გააჩნიათ ჰორიზონტთან ძლიერ დახრილი ფენების უბნები. ანევე არასასურველია კაშხალის ფარგლებში ქანები მკვეთრად განსხვავებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით.

მდინარეთა ხეობების გასწორების (კვეთების) გეოლოგიური აგებულების ძირითადი სქემები მოცემულია 2-1 ცხრილში. აღნიშნულ ცხრილში ა ნახაზზე ნაჩვენებია ანტიკლინური უბანი არახელსაყრელია, რადგან ზოგიერთი ფენით შეააღლებელია წყლის ფილტრაცია ქვედა ბიეფში.

გარდა ამისა, ანტიკლინის დერძის გასწვრივ, ჩვეულებრივ, ქანები ძლიერადაა დაშლილი. რაც ზრდის მათი ფილტრაციულობის უნარს და ამცირებს სოტკიცეს. ეს შენიშვნები ძალაში რჩება აგრეთვე ბ ნახაზზე ნაჩვენები სინკლინური უბნებისათვისაც. თუმცა ქანების დაშლილობა აქ, ჩვეულებრივ, რამდენადმე ნაკლებია.



მდინარის ხეობის გასწორების (კვეთის) გეოლოგიური აგებულების ძირითადი სქემები

ხეობის მიმართულება მისი ქანების განვითარების მიხედვით	მდინარის ხეობის ტიპი	ხეობის მიმართულება მისი ქანების განვითარების მიხედვით	მდინარის ხეობის ტიპი
<p>ტექტონიკური განვითარება</p>	 <p>(ნახ. ა)</p>		<p>სინკლინური უბანი</p>  <p>(ნახ. ე)</p> <p>მონოკლინური უბანი თანახმად- ეარდნილი ფენებით</p>
	 <p>(ნახ. ბ)</p> <p>მონოკლინური უბანი</p>	<p>ტექტონიკური განვითარება</p>	 <p>(ნახ. გ)</p> <p>მონოკლინური უბანი ზუაფინა- ლადეარდნილი ფენებით</p>
	 <p>(ნახ. დ)</p> <p>ანტიკლინური უბანი</p>		 <p>(ნახ. ზ)</p> <p>ჰორიზონტალური განლაგება</p>
 <p>(ნახ. ზ)</p>	 <p>(ნახ. თ)</p>		

ყველა იმ ხეობიდან, რომლებიც მიჰართულია განვრცობის პარალელურად, მონოკლინური ხეობები (ნახ. გ) საერთოდ ყველაზე მეტად ხელსაყრელია. ცალკეული ფენებით ფილტრაცია შესაძლებელია, მაგრამ სხვა ერთნაირ პირობებში ქანების დაშლილობა აქ უმცირესია.

ტექტონიკური განვრცობის მართობულადაც ანტიკლინური უბანი (ნახ. დ) არახელსაყრელია, რადგან ქანების დაშლილობა, შეხამებული ქვემო ბიეფისაკენ მათ დახრილობასთან, შეიძლება გახდეს კაშხალის ტანის გადაადგილების მიზეზი. ქანების დაშლილობის შემთხვევაში არ არის გამოაჩენილი აგრეთვე ფილტრაცია.

სინკლინური უბანი (ნახ. ე) ხელსაყრელია ნაგებობების მდგრადობის თვალსაზრისით, მაგრამ ნაყლებად ხელსაყრელია ფილტრაციული თვალსაზრისით.

რაც შეეხება ნახაზზე ნაჩვენებ მონოკლინურ უბნებს, პირველ მათგანი (ნახ. ვ) არახელსაყრელია, ხოლო მეორე უბანი (ნახ. ზ) — ხელსაყრელია როგორც კაშხალის ძვრისადმი წინააღმდეგობის, ისე ფილტრაციის თვალსაზრისითაც. (ვ) ნახაზზე ნაჩვენები უბნის პირობები უმჯობესდება ქანების უფრო ციკაბო დახრილობის შემთხვევაში.

(თ) ნახაზზე ნაჩვენებია ქანების პორიზონტალური განლაგება, რამაც გარკვეულ პირობებში შეიძლება გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი ფილტრაცია და ძვრა. ასეთ შემთხვევებში ქანების დაშლილობა უმნიშვნელოა და იგი, ჩვეულებრივ, შემოიფარგლება გამოფიტვის ზონით.

კაშხალის მშენებლობის ადგილის არჩევის დროს საჭიროა მოიქნოს რაიონები ისეთი გეოლოგიური პირობებით, რომლებიც უზრუნველყოფს საიმედოობას ფილტრაციული თვალსაზრისით. ამ მხრივ ძალიან კარგია, როდესაც ქანები წარმოადგენს რაც შეიძლება წყალშეუღწევადს ან მცირე წყალშეღწევადს, მაგრამ ამასთანავე დასაშვებია მცირე სისქის წყალშეღწევადი ფენების არსებობაც.

რაიონებში, რომლებიც ხასიათდებიან კარსტული მოვლენებით, შეიძლება იმდენად დიდი აღმოჩნდეს წყლის განღიება (ფილტრაცია) ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში, რომ უარი თქვას იქ კაშხალის მშენებლობაზე. დანარჩენ შემთხვევებში ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა ღონისძიებანი.

115  
თავი III

### ჰიდროტექნიკური ნაგებობაზე მოქმედი დატვირთვები

#### § 1-1. ზოგადი მითითება

მოქმედი საშენებლო ნორმებისა და წესების თანახმად<sup>1</sup>, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა გაანგარიშების დროს დატვირთვები და ზემოქმედებანი აღებული უნდა იქნეს შემდეგი შენაშებით:

1. ძირითადი შენაშება შეიცავს დატვირთვებს, რომლებიც რეგულარულად მოქმედებენ ნაგებობაზე მისი ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში:

<sup>1</sup> СН и П, II-50-74. Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования, М., стройиздат, 1975.

ა) ნაგებობა და მასზე მოთავსებულ მუდმივ მოწყობილობათა წონა;

ბ) წყლის წნევა ნორმალური შეტბორვის დონის დროს;

გ) ტალღური ზემოქმედებანი;

დ) ფილტრაციული წყლების წნევა, დამყარებული ან რეგულარულად განმეორებადი არადამყარებული ფილტრაციის რეჟიმის დროს, როდესაც ფილტრაციის საწინააღმდეგო და სადრენაჟო მოწყობილობანი ნორმალურად მუშაობენ;

ე) ყინულის დატვირთვები და ზემოქმედებანი;

ვ) თოვლის დატვირთვა;

ზ) ქარის დატვირთვა;

თ) გრუნტის წნევა მის ზედაპირზე არსებული ტვირთების გათვალისწინებით წყლის ყველაზე არახელსაყრელი დონეების დროს;

ი) ნატანის წნევა წყალსაცავის დაღეკვის დროს;

კ) სამთო წნევა;

ლ) წევის ძალები, რომლებიც წარმოიქმნება ამწე, გადამტვირთავი და სატრანსპორტო მექანიზმებით;

მ) დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნება გემების მიყრითა და მიბმით;

2. განსაკუთრებული შეხამება, რომელშიც, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი დატვირთვებისა და ზემოქმედებისა, შეტანილია:

ნ) წყლის წნევა მაქსიმალური საანგარიშო ხარჯების გატარების დროს ფორსირებული დონის პირობებში (გაითვალისწინება „ბ“ პუნქტის მაგიერად);

ო) ფილტრაციული წყლების წნევა, რომელიც წარმოიქმნება ფილტრაციის საწინააღმდეგო და სადრენაჟო მოწყობილობათა ნორმალური მუშაობის მოშლათ (გაითვალისწინება „დ“ პუნქტის მაგიერად);

პ) ყინულის დატვირთვები კატასტროფული ძალის ყინულსკელის დროს (გაითვალისწინება „ე“ პუნქტის მაგიერად);

რ) დატვირთვა კატასტროფული სიძლიერის ქარისაგან (გაითვალისწინება „ზ“ პუნქტის მაგიერად);

უ) სეისმური ზემოქმედებანი;

ს) ტემპერატურული და შეკლებითი ზემოქმედებანი ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში;

ტ) გემის დარტყმა.

დატვირთვათა ყველა შეხამებისათვის მხედველობაშია მისაღები როგორც სტატიკური, ისე (შესაბამის შემთხვევებში) დინამიკური დატვირთვები და ზემოქმედებანი. ცალკეულ შემთხვევებში საჭიროა ნაგებობანი გაანგარიშდეს იმ დატვირთვებსა და ზემოქმედებებზე, რომელთაც ადგილი აქვთ შვინებლობის პერიოდში, რემონტის დროს ან ნაგებობათა გამოცდის პროცესში.

სათანადო დასაბუთების შემთხვევაში ტემპერატურული და შეკლებითი ზემოქმედებანი ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში შეიძლება მიეკუთვნოს დატვირთვათა და ზემოქმედებათა ძირითად შეხამებას.

მხედველობაშია აგრეთვე მისაღები ნაგებობათა მოსალოდნელი გადატვირთვა წყლის წნევისაგან, რომელიც წარმოიშობა ზემოთ ან ქვემოთ დინების მიმართულებით მოთავსებულ ნაგებობათა დანგრევის შედეგად, ან ძალები, რომლებიც წარმოიშობა ნაგებობის ნაწილის დანგრევით.

დატვირთვათა და ზემოქმედებათა შესამება დადგენილი უნდა იქნეს ნაგებობაზე მათი ერთდროული მოქმედების პრაქტიკული შესაძლებლობის შესაბამისად.

ჰიდრონაგებობებზე მოქმედი ძალები განისაზღვრება სათანადო მეთოდების გამოყენებით, ამასთან, თითოეული ნაგებობის საკუთარი წონა გაიანგარიშება მისი ზოგების მიხედვით. რომელთაც ავიღებთ პროექტის ნახაზებიდან, ანდა იგი შეიძლება წინასწარ იქნეს განსაზღვრული ემპირიული ფორმულებით. ნაგებობებზე მოთავსებულ მოწყობილობათა წონა, ქარისა და თოვლის წნევები. წყლის ძალები და დატვირთვები გემებისაგან განისაზღვრება იმ ხერხებით, რომლებიც მოცემულია სხვა კურსებში.

### § 3-2. წყლის ჰიდროსტატიკური, ჰიდროდინამიკური და ფილტრაციული წნევები

წყლის ჰიდროსტატიკური და ჰიდროდინამიკური წნევები განისაზღვრება ჰიდრავლიკის ფორმულებით, ამასთან წყლის მოცულობითი წონა აიღება  $\gamma = 1000 \text{ კგ/მ}^3$ .  $W_1$  ჰიდროსტატიკური წნევა ნაჩვენებია 3-1 ნახაზზე და იგი დამატებით განმარტებებს არ მოითხოვს.

წყლის ჰიდროდინამიკური წნევა ნაგებობის ან მისი ელემენტის სიბრტყეზე ზოგად შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით

$$W_{\text{წ}} = \xi \gamma \frac{Q}{2g} v (1 - \cos \alpha), \quad (3-1)$$

სადაც  $Q$  არის წყლის ხარჯი;

$v$  — წყლის მოძრაობის სიჩქარე;

$\alpha$  — კუთხე ქველის მიმართულებასა და იმ სიბრტყეს შორის. რომელიც ღებულობს ქველის დარტყმას;

$\xi$  — გარსდენის კოეფიციენტი;

$g$  — თავისუფალი ვარდნის აჩქარება.

როდესაც  $\alpha = 90^\circ$ , მაშინ (3-1) ფორმულა შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$W_{\text{წ}} = \xi \gamma \frac{Q}{2g} v = \xi \gamma \omega \frac{v^2}{2g}, \quad (3-1a)$$

სადაც  $\omega$  არის ქველის განივკვეთის ფართობი;

$\gamma$  — წყლის ზვედრითი წონა.

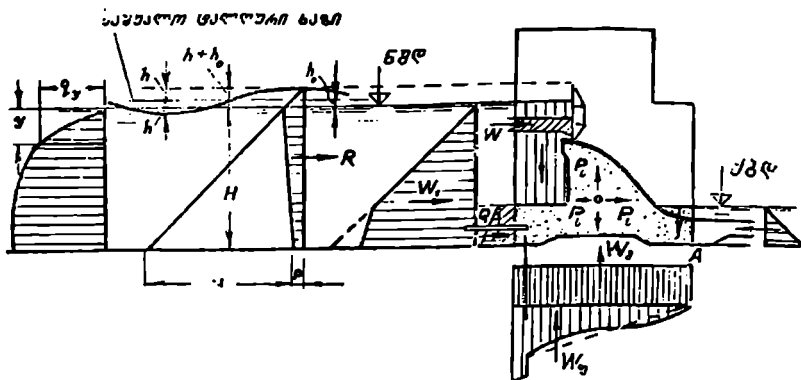
წყალსაცემი კედლებისათვის, რომლებიც განლაგებულია წყალსაცემები ქაშხალიდან  $(0,6-2)H$  მანძილზე, გარსდენის კოეფიციენტი  $\xi = 0,6 \div 0,8$

როდესაც წყალსაცემზე მოწყობილია შთანმტქმელები, მაშინ მისი ფორტი. სიგრძის ერთეულზე მოქმედი  $W_{\text{წ}}$  პორაზონტალური ძალა შეიძლება განისაზღვროს დ. კუმინის ფორმულით:

$$W_{\text{წ}} = \frac{h_2^2}{2} (1 - \eta^2) + \frac{q^2}{gh_2} \left(1 - \frac{1}{\eta}\right), \quad (3-2)$$

სადაც  $h_2$  არის მეორე შეუღლებული სიღრმე იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალსაცემზე არ არის მოწყობილი შთანმტქმელები;

$\eta$  — შთანმტქმელების მოწყობის შედეგად მეორე შეუღლებული სიღრმის შემცირების კოეფიციენტი, რომელიც ეფექტური შთანმტქმელების შემთხვევაში აიღება 0.8 ტოლი;



ხა. 3-1. ნაგებობისა და მასზე მოქმედ დატვირთვათა სქემა.

$q$  — წყლის ხერდიითი ხარჯი.

გრუნტის ერთეულ მოცულობაზე მოქმედი ფილტრაციული წნევა  $W_{ფ}$  განისაზღვრება ფორმულით

$$W_{ფ} = \gamma I, \quad (3-3)$$

სადაც  $I$  ფილტრაციის გრადიენტია გრუნტის აღებული მოცულობის საზღვრებში.

ეს წნევა გრუნტის მასივის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია დენის წირის მხებდაც ამ წერტილში.

ერთმანეთისაგან განასხვავებენ ჰიდრონაგებობის ძირზე მოქმედ წყლის წნევის ორ სახეობას (ხა. 3-1):

1) შემატრევივებელ ჰიდროსტატიკურს ( $W_a$ ), რომელიც ძირის ნებისმიერ წერტილში ტოლია შესაბამისი სიმაღლის წყლის სვეტის წონისა (სვეტის სიმაღლე იზომება ქვედა ბიეფის დონიდან ნაგებობის ძირის განსახილველ წერტილამდე);

2) ფილტრაციულ ჰიდროდინამიკურს ( $W_b$ ), რომელიც წარმოიქმნება ნაგებობების მიერ შექმნილი დაწნევის შედეგად და ძირის ზედა წიბოს ქვეშ ტოლია დაწნევის სიდიდისა ძირულს საგრძეზე დანაკარგების გამოკლებით, ზოლო ქვედა წიბოს ქვეშ ან საერთოდ ქვედა ბიეფში, ფილტრაციული ნაკადის გაოსვლის ადგილში (მაგალითად, დრენაჟში) — ნულისა.

ფილტრაციული უკუწნევის ეპიურა აიგება სათანადო მეთოდების გამოყენებით (იხ. თავი IV).

### § 2-3. წყლის ტალღების წნევა

ქარის ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად წყალსაცავებში წარმოიქმნება დღევა, რაც იწვევს წყლის ქარბ წნევას ჰიდრონაგებობაზე. ამ წნევას ტალღური წნევა ეწოდება; მისი სიდიდე დამოკიდებულია ტალღის პარამეტრებზე — ტალღის  $h$  სიმაღლეზე და  $\lambda$  სიგრძეზე, აგრეთვე წყლის სიღრმეზე ნაგებობის წინ, კედლის დახრილობის კუთხეზე ჰორიზონტთან და ქარის მიმართულებაზე ნაგებობის ფრონტის მიმართ.

თანახმად მოქმედი ნორმებისა, ქარის ტალღების პარამეტრები განისაზღვრება სათანადო გრაფიკებით. გარდა ამისა, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აკრეთვე ნ. ლაბზოვსკის შემდეგი ფორმულები<sup>1</sup>:

$$h = 0,073 K w \sqrt{D \frac{h}{\lambda}}; \quad (3-4)$$

$$\lambda = 0,073 w \sqrt{\frac{D}{\frac{h}{\lambda}}}; \quad (3-5)$$

$$D_0 = 30 w^2 \frac{h}{\lambda}; \quad (3-6)$$

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{1}{9 + 19e^{-14/w}}; \quad (3-7)$$

$$K = 1 + e^{-0,4 \frac{D}{w}}, \quad (3-8)$$

სადაც  $h$  არის ტალღის სიმაღლე ღრმა წყალში, მ;

$\lambda$  ტალღის სიგრძე ღრმა წყალში, მ;

$w$  — ქარის სიჩქარე წყლის ზედაპირიდან 10 მ სიმაღლეზე, მ/წმ;

$D$  — ტალღის გაქანების სიგრძე, კმ;

$D_0$  — ტალღის გაქანების ზღვრული სიგრძე, კმ,

$K$  — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ტალღების განვითარების გადიდებულ ინტენსივობას გაქანების დასაწყისში; მსხვილი

წყალსაცავეებისათვის ტალღის დახრილობა  $\frac{h}{\lambda} \approx \frac{1}{10} \div \frac{1}{15}$ .

ერთმანეთისაგან განარჩევენ დაუშლელ და დაშლილ ტალღებს, ამასთან, თუ წყლის სიღრმე  $H \geq 2h$ , მაშინ ნაგებობასთან მისული ტალღა რჩება დაუშლელი და იგი აირეკლება კედლიდან. ანარეკლი და პირდაპირი ტალღების ინტერფერენციის შედეგად კი წარმოიქმნება ე. წ. მდგარი ტალღა. ვერტიკალური ტიპის ნაგებობებზე ტალღური წნევის განსაზღვრისათვის აღნიშნული ინტერფერირებული ტალღის სიმაღლეს ლებულობენ  $2h$ -ის ტოლს (ნახ. 3-1).

დაპროექტების პირველ სტადიაში ნაგებობათა გაანგარიშება მდგარ ტალღაზე შეიძლება ჩატარდეს მიახლოებითი მეთოდით, რომლის შესაბამისად სრული გვერდითი ქარბი წნევა კედლის 1 გრძ. მ-ზე განისაზღვრება ფორმულით

$$R = \gamma K_1 \left[ \frac{\left( H + \frac{\rho}{\gamma} \right) (H + h + h_0)}{2} - \frac{H^2}{2} \right], \quad (3-9)$$

სადაც

$$\rho = \frac{h}{ch \beta}; \quad h_0 = ah \operatorname{cth} \beta; \quad \alpha = \frac{\pi h}{\lambda}; \quad \beta = \frac{2\pi H}{\lambda};$$

<sup>1</sup> В. П. Лихачев, С. В. Лузан, А. В. Михайлов и др., Методы расчета устойчивости и прочности гидротехнических сооружений, изд. 2-ое (под редакцией М. М. Гришнина), Гостройиздат, М., 1966.

$K_1$  არის შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 3-1 ცხრილის მიხედვით;

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>.

ცხრილი 3-1

$K_1$  კოეფიციენტის მნიშვნელობანი (8-9) და (8-10) ფორმულებში

$\frac{H}{\lambda}$	$K_1$ მნიშვნელობანი, როდესაც $\frac{h}{\lambda}$				
	0,08	0,067	0,05	0,04	0,033
0,1	0,89	0,94	1,01	1,07	1,13
0,15	0,79	0,83	0,83	0,95	1
0,2	0,73	0,75	0,82	0,87	0,93
0,25	0,72	0,73	0,79	0,84	0,88

გრაფიკულად  $R$  ტალღური წნევის ეპიურა ნაჩვენებია 3-1 ნახაზზე, რომლიდანაც აგრეთვე ჩანს, რომ  $h_0$  არის საშუალო ტალღური ხაზის ამალღება წყლის მშვიდი პორიზონტიდან, ხოლო  $p$  — ხვედრითი ტალღური წნევა კედლის ძირში.

ტალღური წნევისაგან გამოწვეული გადაწყირავებელი მომენტი ფუძის  $A$  წერტილის მიმართ ტოლია

$$M_A = \gamma K_1 \left[ \frac{\left( H + \frac{p}{\gamma} \right) (H + h + h_0)^2}{6} - \frac{H^3}{6} \right]. \quad (3-10)$$

ამ მომენტის მიხედვით, ცხადია, ადვილად განისაზღვრება  $R$  ძალის მოუხების წერტილის მდებარეობა.

ტალღის ფოსოს (ღრმულის) უდიდესი დაწევის მომენტში (ნახ. 3-2) კედელზე მოქმედი უარყოფითი ჰარბი წნევა განისაზღვრება ფორმულით

$$R' = \gamma K_1 \left[ \frac{H^2}{2} - \frac{\left( H - \frac{p}{\gamma} \right) (H + h_0 - h)}{2} \right], \quad (3-11)$$

სადაც  $p$ ,  $h_0$  და  $K_1$  განისაზღვრებიან ისე, როგორც ზემოთ იყო მითითებული.

აღნიშნული წნევის ეპიურა, აგრეთვე უარყოფითი შემასწორებელი წნევის ეპიურა, ნაჩვენებია იმავე 3-2 ნახაზზე.

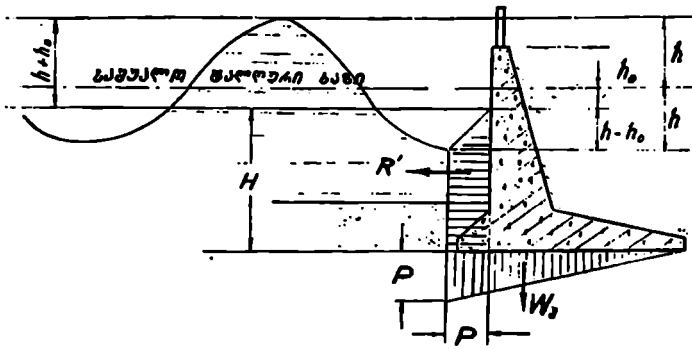
როდესაც სიღრმეები უფრო ნაკლებია, ე. ი.  $H < 2h$ , მაშინ ნაგებობა განიცდის გადატანით მოძრავე წყლის მასის წნევას, ე. ი. წარმოიქმნება დაშლილი მცემი ტალღა (ზვირთეცმა). ამ შემთხვევაში მაქსიმალური ხვედრითი ტალღური წნევა შეიძლება განისაზღვროს ნ. ჭუნკოვსკის ფორმულით (ნახ. 3-3).

$$p = K \frac{U^2}{2g}, \quad (3-12)$$

სადაც  $U$  არის წყლის მასის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე:

$$U = 0,75 \sqrt{g 2h} + 2h \sqrt{\frac{\pi g}{2\lambda_1} \operatorname{cth} \frac{2\pi}{\lambda_1} H}. \quad (3-13)$$

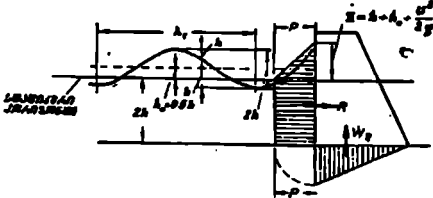
აქ  $\lambda_1$  ტალღის სიგრძეა კედლის წინ.  $K$  სიდიდე აიღება 1,7-ის ტოლი.



ნახ. 3-2. უარყოფითი ტალღური წნევის განსაზღვრის სქემა.

ყველა ჩამოთვლილ შემთხვევაში ტალღურმა წნევამ შეიძლება გამოიწვიოს დაპატებითი შემატევიტივებელი წნევა  $W_2$ , რომლის განსაზღვრა ნათლად ჩანს (3-3) ნახაზზე.

დასასრულს საჭიროა აღინიშნოს დახრილ კედლებზე მოქმედ ტალღურ წნევათა შესახებაც. ცხადია, თუ ნაგებობის კედელი დახრილია პორიზონტთან

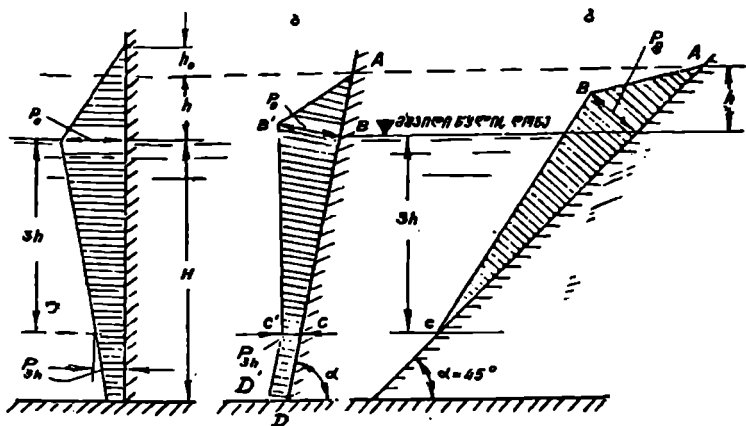


ნახ. 3-3. მკეში ტალღის (ზევითსევის) წნევის სქემა.

რაღაც კუთხით, მაშინ ვერტიკალურ კედლის შემთხვევასთან შედარებით მასზე იმოქმედებს რამდენადმე შემცირებული ტალღური წნევა. თანახმად ნორმებისა, როდესაც კედლის დახრილობის კუთხე პორიზონტთან თავსდება  $90^\circ > \alpha > 45^\circ$  შუალედში, მაშინ მასზე მოქმედი ტალღური წნევის შიახლოებითი ეპიურა აიგება ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 3-4 ბ ნახაზზე. ანისათვის იგივე სიმაღლის ვერტიკალურ კედლებზე მოქმედი ტალღური წნევის ეპიურიდან (ნახ. 3-1) აიღება  $p_0$  წნევა მშვიდი პორიზონტის დონეზე (ნახ. 3-4) და  $p_1$  წნევა —  $3h$  სიღრმეზე; შემდეგ დახრილ კედლებზე აიგება  $ABCD D'C'B'$  ეპიურა, რომლის ორდინატები ტოლი იქნება: ტალღის  $h$  სიმაღლეზე წელისა ( $A$  წერტილი), მშვიდ პორიზონტის დონეზე  $p_0$  ( $B$  წერტილი), ხოლო  $3h$  სიღრმეზე და ფსკერთან —  $p'_3 = p_0 \left( \frac{\alpha}{45^\circ} - 1 \right)$ . როდესაც  $\alpha = 45^\circ$ , მაშინ  $p'_3 = 0$  (ნახ. 3-4 ე).

დამატური კედლები (ფერდობების შემთხვევაში), მაგალითად, როდესაც მათი განივი იელები 1:1,5—1:5 შუალედში, ფერდობზე ტალღის მოძრაობის დროს წარმოებს მისი გადაყეება (გადაფორმირება): მიგორებით მოძრაობა ზემოთ და შესვეფრა დაკორცებულ ტალღასთან. ტალღის დაშლა ხდება შესაბამისი კრიტიკული სიღრმის დროს: ამ სიღრმის სიდიდე (რომელიც დამოკიდებულია ფერდოს კანობაა. ტალღის სიმაღლესა და სიგრძეზე ფერდოს ძირთან),





ნახ. 3—4. ვერტიკალურ და ციკაბო კედლებზე მოქმედი ტალღური წნევების ეპიურება.

აგრეთვე ტალღის მოძრაობის სიჩქარეთა და წნევათა განაწილების ეპიურების ორდინატები შეიძლება განისაზღვროს სპეციალური ფორმულებით<sup>1</sup>.

#### § 8-1. ყინულისა და ნახანის წნევები

ყინულის წნევა. მოქმედი ტექნიკური პირობების თანახმად<sup>2</sup>. საპლნარო პილოტტექნიკურ ნაგებობათა გეგმარების დროს საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს შემდეგი სახის ყინულის დატვირთვები და ზემოქმედებანი:

- 1) ყინულის დინამიკური წნევა თავისუფლად მცურავი ხორგების დარტყმისას;
- 2) ყინულის ხერგილოვანი მასის დინამიკური წნევა;
- 3) ყინულის მთლიანი საფარის სტატიკური წნევა მისი ლერმული გაფართოების დროს;
- 4) თავისუფლად მცურავი ყინულის ველის სტატიკური წნევა ქარით ან დინებით გამოწვეული მიყრის დროს;
- 5) მიყინული ყინულის საფარის ზემოქმედება წყლის დონის რყევას დროს;
- 6) ხორგების გამკვეთი ზემოქმედება ნაგებობის ზედაპირზე ქარით, დინებით ან წყლის დონის რყევით გამოწვეული მოძრაობის დროს.

მდინარეებში ან წყალსაცავებში ყინულის დინამიკური წნევა ვერტიკალურ კედლებზე ცალკეული ხორგების დარტყმის დროს, როდესაც მათი მიმართულია დაახლოებით ნორმალურია ნაგებობის ფრონტისადმი (80—90°), შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$W_{\text{ყ}} = K_{\text{თხ}} \overline{Q}, \quad (3-14)$$

<sup>1</sup> Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега (СН 92—60). Госстройиздат, М., 1960.

<sup>2</sup> Технические условия ледовых нагрузок на речные сооружения (СН 76—59). Госэнергониздат, М., 1960.

სადაც  $W_0$  არის ყინულის წნევა, ტ;

$v$  — ყინულის მოძრაობის სიჩქარე, მ/წმ (დიდი წყალსაცავებისათვის  $v \leq 0,6$  მ/წმ);

$h$  — ხორგის სისქე, მ, რომელიც აიღება 1% უზრუნველყოფის ზამთრის პერიოდის მაქსიმალური სისქის 0,8 ტოლი;

$\Omega$  — ხორგის ფართობი, მ<sup>2</sup>;

$K$  — კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 3-2 ცხრილიდან დამსხვრევაზე ყინულის  $R_e^1$  სიმტკიცის ზღვრის შესაბამისად.

ცხრილი 3-2  
K კოეფიციენტის მნიშვნელობა (8-14) ფორმულაში

ყინულის სიმტკიცის ზღვარი $R'_e$ , ტ/მ <sup>2</sup>	30	50	60	100
K	2,36	3	3,3	4,3

ნაგებობაზე ყინულის ხერგილოვანი მასის დინამიკური წნევის სიდიდის შეფასება წარმოებს აღებული ობიექტის ყინულოვანი მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე.

ყინულის მთლიანი საფარის თერმული გაფართოების დროს ნაგებობისა და ყინულის შეხების ფართობის ერთეულზე მოსული სტატიკური წნევა საბჭოთა კავშირის ათი გეოგრაფიული პუნქტისათვის მოცემულია 3-3 ცხრილში.

ცხრილი 3-3  
ყინულის საფარის სტატიკური წნევა მიზი თერმული გაფართოების დროს

პუნქტი	ყინულის სა- ფარის წნევა, ტ/მ <sup>2</sup>	პუნქტი	ყინულის სა- ფარის წნევა, ტ/მ <sup>2</sup>
ლენინგრადი	20	ვლადივოსტოკი	17
გორკი	18	დონის-როსტოვი	19
სფერლოვსკი	20	თბილისი	15
კრასნოიარსკი	18	ტაშენტი	18
იაკუტსკი	30	ოტარი (ყაზახეთი)	20

წყალსატევებისათვის თავისუფლად მცურავი ყინულის ველის სტატიკური წნევა  $P_0$  მიყრის დროს, როდესაც იგი გამოწვეულია ყინულის ველის გარე ზედაპირზე ჰაერის ხახუნით, განისაზღვრება ფორმულით

$$P_0 = (0,001 \div 0,002) W^2 F \sin \beta, \quad (3-15)$$

სადაც  $W$  არის ქარის 1% უზრუნველყოფის მაქსიმალური სიჩქარე მიყრის პერიოდში, მ/წმ, როდესაც  $45^\circ < \beta < 135^\circ$ ;

$F$  — ყინულის ველის ფართობი, მ<sup>2</sup>;

$\beta$  — კუთხე ნაგებობის ფრონტსა და ქარის მიმართულებას შორის.

დატვირთვები, რომლებიც წარმოიქმნება წყლის დონის მერყეობის დროს კერტიკალურ კედლებზე მიყინული ყინულის საფარის მოქმედებით, განისაზღვრება შესაბამის ნაგებობათა გეგმარებისათვის არსებული ტექნიკური ზირობების მხედვით.

ხორგების მოძრაობის დროს, რაც ქართ, დინებით ან წყლის დონის რყევით შეიძლება იყოს გამოწვეული, მათი გამკვეთი მოქმედება ნაგებობათა ზედაპირზე აუცილებლად მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული პროექტირების დროს. ამისათვის სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთების საფუძველზე ნაგებობათა ზედაპირების დაცვისათვის გათვალისწინებული უნდა იქნეს სპეციალურ ღონისძიებათა გატარება, მაგალითად, გლუვი ზედაპირების შექმნა, ბეტონის ზედაპირული ფენის მედეგობის გაზრდა, მოპირკეთების მოწყობა და ა. შ.

ნატანის წნევა. წყლისა და ნატანის ხვედრითი წნევა კაშხალის ძირთან განისაზღვრება შესაბამისი ხვედრითი წნევების შეჭამებით

$$p_{\Sigma} = \gamma H + \gamma_{\Sigma} h_{\Sigma}, \quad (3-16)$$

სადაც  $H$  არის წყლის სიღრმე კაშხალთან;

$h_{\Sigma}$  — ნატანის ფენის სისქე;

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა;

$\gamma_{\Sigma}$  — ნატანის მასის მოცულობითი წონა;

$\xi_{\Sigma}$  — კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია დალექილი ნატანის გრუნტების თვისებებსა და ნაგებობის ძვრადობის ხარისხზე.

ნატანის მასის მოცულობის წონა

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_1 - \gamma(1-n). \quad (3-17)$$

აქ  $\gamma_1$  არის ნატანის მასის მოცულობითი წონა მშრალ მდგომარეობაში;

$n$  — ნატანის ფარდობითი ფორიანობა.

თუ ნატანი შედგება ქვიშოვანი, ქვიშა-ხრეშოვანი და საერთოდ მსხვილმარცვლოვანი მასალებისაგან, მაშინ ძვრადი ნაგებობისათვის  $\xi_{\Sigma}$  კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\xi_{\Sigma} = \xi g^2 \left( 45^\circ - \frac{\Psi}{2} \right). \quad (3-18)$$

უძვრადი ნაგებობისათვის (კლდოვანი ფუძეების შემთხვევა ანდა როდესაც არაკლდოვანი ფუძის ჰორიზონტალური გადაადგილებანი დამთავრებულია) ეს კოეფიციენტი განისაზღვრება როგორც გვერდითი წნევის  $\xi$  კოეფიციენტი, ე. ი.

$$\xi_{\Sigma} = \xi = \frac{\mu}{1-\mu}, \quad (3-19)$$

სადაც  $\mu$  ნატანის გრუნტის პუასონის კოეფიციენტია და აიღება სათანადო ცხრილიდან.

ღრმა წყალსაცავებში კაშხალთან ილექება მხოლოდ ლამისა და თიხის უწყვილესი ნაწილაკები, აგრეთვე კოლოიდური ნაწილაკები. რომელთა შორის შუალედები შევსებულია აფსკური წყლით. ამ შემთხვევაში შიგა ხახუნის კუთხე ფ ნულს უახლოვდება, ამიტომ მაქსიმალური წნევა

$$p_{\Sigma} = \gamma H + \gamma_{\Sigma} h_{\Sigma}. \quad (3-20)$$

§ 8-5. სეისმური დაზარალებები

მიწისძვრის დროს ფუძის სეისმური რხევების გავლენით ნაგებობებში წარმოიქმნება ინერციული ძალები, რომელთაც სეისმურ ძალებს უწოდებენ. აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ სეისმურ რაიონში მშენებლობისათვის საჭიროა დასავეგვარებელი ჰიდრონაგებობანი ვარდა ჩვეულებრივი დატვირთვებისა (ნაგებობისა და მასზე მოთავსებულ მოწყობილობათა საკუთარი წონა, წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა, ტალღების, ნატანის, ყინულის წნევები და სხვ.) გაანგარიშდეს სეისმური ძალების ზემოქმედებაზე, რომელიც ქმნის დამატებით ძაბვით მდგომარეობას (სეისმურ ძაბვითს მდგომარეობას).

ანგარიში წარმოებს იმ დაშვების საფუძველზე, რომ სეისმური ძალები მოქმედებს სტატიკურად და ამასთანავე ნაწილდება ნაგებობაში მასების განლაგების შესაბამისად.

ნაგებობათა გვეგვარების დროს საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს, რომ სივრცეში სეისმურ ძალებს შეიძლება ექნეთ ნებისმიერი მიმართულება, ამიტომ გაანგარიშების დროს განიხილება როგორც გრძივი, ისე განივი ღერძების მიმართულებით მოქმედი ჰორიზონტალური ძალები. ამასთანავე ორივე მიმართულებით სეისმური ძალების მოქმედება გაითვალისწინება ცალ-ცალკე.

მშენებლობის რაიონში ან პუნქტში მიწისძვრის ძალა ფასდება სეისმურობით, რომელიც გოსტ 6249—52 სკალის შესაბამისად გამოისახება ბალოებით და აიღება სსრ კავშირის ტერიტორიის სეისმური დარაიონების რუკის ანდა სსრ კავშირის სეისმურ რაიონებში განლაგებული სირითადი დასახლებული პუნქტების სიის მიხედვით.

მშენებლობის პუნქტის სეისმურობის დაზუსტება წარმოებს ქალაქების, დაბებისა და სამრეწველო საწარმოთა ტერიტორიების სეისმური მიკროდარაიონების რუკების საფუძველზე, რომლებიც დგება სპეციალური ინსტრუქციის შესაბამისად.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა საანგარიშო სეისმურობა აიღება 3-4 ცხრილის მიხედვით.

ცხრილი 3-4

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა საანგარიშო სეისმურობა

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კლასები	ნაგებობათა საანგარიშო სეისმურობა, როდესაც მშენებლობის პუნქტის სეისმურობა ხასიათდება ბალოებით			
	6	7	8	9
I	7	8	9	—
II და III. აგრეთვე IV კლასის ძირითადი ნაგებობანი	6	7	8	9
IV კლასის შიორიხარისხოვანი ნაგებობანი დროებითი ნაგებობანი	6	7	7	8
	სეისმური	ზემოქმედების	გაუთვალისწინებლად	

იმ პუნქტებში, რომელთა სეისმურობა განისაზღვრება 9 ბალით. I კლასის ჰიდროტექნიკური ნაგებობები უნდა აშენდეს დამატებითი ანტისეისმური ღონისძიებების გათვალისწინებით სპეციალური პროექტების მიხედვით.

ინერციული ძალები. ინერციული ანუ სეისმური S ძალა წარმოადგენს მოცულობითს, მოდებულია ნაგებობის (ან მისი ელემენტის) სიმძიმის ცენტრში და განისაზღვრება ფორმულით

$$S = 1,5 QK_s, \quad (3-21)$$

სადაც  $Q$  არის დატვირთვა, რომელიც წარმოქმნის ინერციის ძალას (ნაგებობის ელემენტების და მასზე მოთავსებულ მოწყობილობათა საკუთარი წონა);

$K_u$  — სეისმურობის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 3-5 ცხრილიდან ნაგებობის საანგარიშო სეისმურობის შესაბამისად.

ცხრილი 3-5

სეისმურობის  $K_u$  კოეფიციენტის მნიშვნელობანი

საანგარიშო სეისმურობა ბალობით	7	8	9
$K_u$ კოეფიციენტის მნიშვნელობანი	0,025	0,05	0,1

ნაგებობის ელემენტარულ მოცულობაზე მოქმედი სეისმური ძალა განისაზღვრება ფორმულით

$$S_k = Q_k K_u \left( 1 + 0,5 \frac{x_k}{x_0} \right), \quad (3-22)$$

სადაც  $Q_k$  არის ელემენტარული მოცულობის საკუთარი წონა და მასზე მოქმედი ვერტიკალური დატვირთვა  $k$  წერტილში;

$x_k$  — მანძილი ნაგებობის ძირიდან განსახილველი ელემენტარული მოცულობის სიმაღლის ცენტრამდე;

$x_0$  — მანძილი ძირიდან მთელი ნაგებობის სიმაღლის ცენტრამდე.

არსებული ნორმებითა და ტექნიკური პირობებით (СНП II-A, 12-69) ნებადართულია საყრდენი კედლების ტიპის ნაგებობისა და მიწისქვეშა პილართექნიკური ნაგებობისათვის (ე. ი. ხისტი ნაგებობისათვის) საანგარიშო სეისმური ძალა განისაზღვროს ფორმულით

$$S_k = Q_k K_u, \quad (3-23)$$

რომელიც რეკომენდებულია სეისმომდევობის სტატიკური თეორიით.

პილართექნიკური ნაგებობანი (მაღალი კაშხალები, წყალსაწნევი და გამთანბრებელი კოშკები, მაღალი საყრდენი კედლები და სხვ.), რომელთა საანგარიშო სეისმურობა 7 ბალია და უფრო მეტი, საჭიროა გაანგარიშდეს სეისმომდევობის თანამდროვე დინამიკური თეორიის საფუძველზე, რომელიც უფრო რთულია, მაგრამ ამასთანავე, უფრო ზუსტიც, რადგან იგი ითვალისწინებს ნაგებობის ინდივიდუალურ თავისებურებებს — სიხისტეს, მასების განაწილებას, საკუთარი რხევის სიხშირეებს (პერიოდებს), მიღვევადობის მახასიათებლებს და ა. შ.; მაშასადამე, საკმარისი სისრულით აღწერს ნაგებობის სეისმური რხევების პროცესს.

დინამიკური მეთოდის თანახმად  $S_k$  საანგარიშო სეისმური ძალა ნაგებობის რომელიმე  $k$  წერტილში, სადაც შეყურსულია მასა  $Q_k$ , წონით, შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს როგორც სისტემის რხევის ყველა მთავარი მიმართულებით მოქმედი ძალების ჯამი

$$S_k(t) = \sum_1^n S_{ik}(t) = \sum_1^n Q_k K_u \beta_i(t) \eta_{ik}, \quad (3-24)$$

სადაც  $S_{ii}(t)$  არის  $k$  წერტილში მოქმედი, დროში ცვალებადი სეისმური ძალა, რომელიც შეესაბამება  $i$ -ურ მთავარ მიმართულებას (თავისუფალი რხევის  $i$ -ური ფორმას);

$Q_i$  — ინერციული ძალის გამომწვევი ვერტიკალური შეყურსული დატვირთვა  $k$  წერტილში (ნაგებობის საკუთარი წონის ნაწილი);

$K_k$  — სეისმურობის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა აიღება 3-5 ცხრილიდან;

$\beta_i(t)$  — გასაანგარიშებელი ნაგებობის თავისუფალი რხევის  $i$ -ური ფორმის შესაბამისი დინამიკური კოეფიციენტი, რომელიც ცვალებადია დროში;

$\eta_{ii}$  — კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნაგებობის დეფორმაციის ფორმაზე მისი თავისუფალი რხევის  $i$ -ური ფორმის დროს და  $Q_i$  დატვირთვის მდებარეობაზე (ნახ. 3-5); იგი განისაზღვრება ფორმულით

$$\eta_{ii} = \frac{X_i(x_i) \sum_1^n Q_i X_i(x_i)}{\sum_1^n Q_i X_i^2(x_i)}, \quad (3-25)$$

სადაც  $X_i(x_i)$  და  $X_i(x)$  ნაგებობის გადახრებია თავისუფალი რხევის დროს განსახილველ  $k$  წერტილში და ყველა  $j$  წერტილში, სადაც საანგარიშო სქემის შესაბამისად შეყურსული მასებია განლაგებული.

ამასთანავე, ადგილი აქვს ტოლობას

$$\sum_1^n \eta_{ii} = 1.$$

ნაგებობის თავისუფალი რხევის რომელიმე  $i$ -ური ტონის შესაბამისი საანგარიშო სეისმური დატვირთვის მაქსიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$S_{ii} = Q_i K_i \beta_i \eta_{ii}, \quad (3-26)$$

სადაც  $\beta_i$  არის  $\beta_i(t)$  დინამიკურობის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც დამოკიდებულია ნაგებობის თავისუფალი რხევის  $T_i$  პერიოდზე და რხევების მიღევაზე.

$\beta_i$  მნიშვნელობა განისაზღვრება ზემოხსენებულ ნორმებში მოცემულ სპექტრალური გრაფიკის მიხედვით ან შემდეგი ფორმულით:

$$\beta_i = \frac{1}{T_i}, \quad (3-27)$$

სადაც  $T_i$  არის ნაგებობის თავისუფალი რხევის პერიოდის რიცხვითი მნიშვნელობა.

ამ შემთხვევაში  $\beta_i$  მნიშვნელობა აიღება არანაკლებ 0,8 და არაუმეტეს 3.

ინეთ ნაგებობათა გაანგარიშებისას, რომელთა დეფორმაცია რხევების დროს განისაზღვრება უმთავრესად კონსტრუქციის ღუნვით, მაგალითად, გეგმაში მცირე ზომის მაღალი ნაგებობის (კაშხალების კონტრფორსები განივი მიმართულებით, გამთანაბრებელი კოშკები, ანძები და სხვ.) გაანგარიშებისას რხევათა შედარებით მცირე მიღევის გამო  $\beta_i$  კოეფიციენტს ზრდიან 1,5-ჯერ.

კიდევ უფრო მიზანშეწონილია ასეთი ნაგებობებისა და კონსტრუქციებისათვის გამოყენებულ იქნეს ფორმულა<sup>1</sup>

$$\beta_i = \frac{2}{\sqrt{T_i}} \quad (3-28)$$

ცალკეულ შემთხვევებში (მცირე სიმაღლის ბეტონის მასიური გრავიტაციული კაშხალები, მასიური საანკერო საყრდინები და სხვ.) დასაშვებია გათვალისწინებულ იქნეს მხოლოდ ძირითადი ტონის რხევები. მაშინ (3—26) ფორმულაში შემავალი  $\beta_i$  და  $\eta_i$  კოეფიციენტები შეესაბამება ნაგებობის თავისუფალი რხევის პირველ ფორმას ( $i=1$ ).

მსგავს შემთხვევებში დასაშვებია დინამიკურობის კოეფიციენტისათვის აღებულ იქნეს მნიშვნელობა  $\beta_1=3$ , ხოლო ფორმის კოეფიციენტი გამოთვლილ იქნეს გამარტივებული ფორმულით

$$\eta_{1i} = \frac{x_i \sum_1^n Q_j x_j}{\sum_1^n Q_j x_j^2} \quad (3-29)$$

სადაც  $x_i$  და  $x_j$  — სიმაღლეებია ნაგებობის ფუძიდან განსახილველ  $k$  წერტილამდე და ყველა  $j$  წერტილამდე, რომლებშიც ნაგებობის მასა შეყურსულადაა მიჩნეული.

მაღალი ნაგებობანი (გრავიტაციული და კონტრფორსული კაშხალების სექციები, თაღოვანი კაშხალები, კოშკები, ანძები და სხვ.), აგრეთვე კარკასული ნაგებობანი (პესის შენობები), რომელთა ძირითადი ტონის რხევის პერიოდი აღემატება 0,3 სეკ, საჭიროა გაანგარიშდეს თავისუფალი რხევის მაღალი ფორმების გათვალისწინებით (ჩვეულებრივ, ხუთი ფორმის გათვალისწინებით).

თავისუფალი რხევის მაღალი ფორმების გათვალისწინებისას რეკომენდებულია საანგარიშო ძალები ნაგებობაში გაანგარიშდეს როგორც საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა ძალებისა, რომლებიც შეესაბამებიან რხევის ყოველ გათვალისწინებულ ფორმას, ამასთანავე აღებულ კვეთში მოქმედი ყველა ძალვა, გარდა მაქსიმალურისა, აიღება 0,7 კოეფიციენტით:

$$N_k = \sqrt{N_{\max}^2 + 0,5 \sum_1^n N_i^2} \quad (3-30)$$

<sup>1</sup> Ш. Г. Напетааридзе, Вопросы усовершенствования существующей методики определения сейсмической нагрузки. Сб. «Сейсмостойкость сооружений», Изд-во «Мещинреба», Тбилиси, 1965.

სადაც  $N_i$  არის სეისმური დატვირთვით გამოწვეული ძალების (მღუნავი მომენტის, განივი ძალისა და სხვა ძალებების) საანგარიშო მნიშვნელობა განსახილველ კვეთში;

$N_{max}$  — ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობა განსახილველ კვეთში, რომელიც განისაზღვრება რხევის ცალკეული ფორმების შესაბამისი სეისმური ძალებით გამოწვეულ ძალეათა ეპიურების შედარებით;

$N_i$  — სხვა ეპიურებით განსაზღვრული ძალების მნიშვნელობანი იმავე კვეთში; შეჯამება წარმოებს მოცემული ძალების ყველა ეპიურის მიხედვით, გარდა იმ ეპიურისა, რომელსაც შეესაბამება ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობა  $N_{max}$ .

წყლის პიდროდინამიკური (სეისმური) წნევა. კაშხალებისა და წყლის წნევის ქვეშ მყოფ სხვა პიდროტექნიკურ ნაგებობათა გაანგარიშების დროს, გარდა სეისმური ინერციული ძალებისა, საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს წყლის სეისმური (პიდროდინამიკური) წნევა.

სეისმური წნევის ინტენსიურობის განსაზღვრისათვის მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს პ. კულმაჩის ფორმულები, რადგან როგორც სათანადო ანალიზმა აჩვენა, დახრილი სადაწნეო ზედაპირების შემთხვევებში მოქმედი ნორმებით რეკომენდებული ფორმულის გამოყენება დაკავშირებულია საგრძნობ ცდომილებებთან<sup>1</sup>.

ამგვარად, ვისარგებლებთ დამოკიდებულებით

$$p = \rho_0 \bar{\beta}, \quad (3-31)$$

სადაც  $p$  არის წნევის ორდინატები დახრილი სადაწნეო ზედაპირის შემთხვევაში;

$\rho_0$  — წნევის ორდინატები ვერტიკალური სადაწნეო ზედაპირის შემთხვევაში;

$\bar{\beta}$  — კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ვერტიკალთან სადაწნეო ზედაპირის დახრილობის  $\alpha$  კუთხეზე; მისი მნიშვნელობანი შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულებით:

$$\bar{\beta} = \left(1 - \frac{\alpha^2}{153,6}\right) \cos \alpha, \text{ როდესაც } 0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ; \quad (3-32)$$

$$\bar{\beta} = \cos^2 \alpha, \text{ როდესაც } 45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ. \quad (3-33)$$

$\rho_0$  ორდინატების განსაზღვრისათვის გვაქვს ფორმულა

$$\rho_0 = K_{\text{სყ}} \frac{8H}{\pi^2} R, \quad (3-34)$$

აქ  $K_{\text{სყ}}$  არის სეისმურობის კოეფიციენტი;

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>;

$H$  — წყლის სიღრმე სადაწნეო გადახურვასთან, მ;

$R$  — უგანზომილებო სიდიდე, რომლის მნიშვნელობანი მოცემულია 3-6

ცხრილში  $\frac{x}{H}$  ფარდობის შესაბამისად (სადაც  $x$  არის გადახურვის

წერტილების ორდინატები, რომელთა ათვლა წარმოებს წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან).

<sup>1</sup> П. П. Кульмач, Об определении сейсмического давления воды по СНиП П-А, 12—62, Журн. «Гидротехническое строительство» № 5, М., 1966.



$\frac{x}{H}$	R	$\frac{x}{H}$	R
0,00	0,000	0,55	0,736
0,05	0,164	0,60	0,815
0,10	0,283	0,65	0,838
0,15	0,368	0,70	0,859
0,20	0,446	0,75	0,886
0,25	0,517	0,80	0,891
0,30	0,575	0,85	0,901
0,35	0,626	0,90	0,911
0,40	0,676	0,95	0,915
0,45	0,717	1,00	0,916
0,50	0,752	—	—

საქიროა ხაზი გაესვას იმ გარემოებას, რომ წყლის სეისმური (ჰიდროდინამიკური) წნევა გათვალისწინებული უნდა იქნეს არამარტო ნაგებობის ძაბვითი მდგომარეობისა და მდგრადობის შემოწმებისას, არამედ აგრეთვე მისი სეისმური რხევების სიხშირეთა (პერიოდების) გაანგარიშების დროსაც, როგორც მიერთებული მასა. ამ ფაქტორის გაუთვალისწინებლობამ შეიძლება გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი ცდომილებანი ანგარიშებში, რადგან დადასტურებულია, რომ წყლის სეისმური წნევა მნიშვნელოვნად ამცირებს ნაგებობის რხევათა სიხშირეებს და, მაშასადამე, ზრდის პერიოდებს. სპექტრალური გრაფიკის, ანუ, რაც იგივეა, (3—27) და (3—28) ფორმულებს თანახმად, რხევის პერიოდების გადიდებით მცირდება დინამიკური კოეფიციენტები და საბოლოო ჯამში ნაგებობაზე მოქმედი ინერციული (სეისმური) ძალები.

თუ რაბის, არხისა და მათ სსგავს ნაგებობათა კედლებს ან ფერდობებს შორის მანძილი აღემატება წყლის  $h$  სიღრმეს სამჯერ უფრო ნაკლებ, მაშინ წყლის სეისმური წნევის ინტენსიურობა განისაზღვრება ფორმულით

$$p' = ep. \tag{3-35}$$

სადაც  $p$  განისაზღვრება (3-31) ფორმულით;

$e$  არის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 3—7 ცხრილიდან  $\frac{b}{h}$  ფარდობაზე დამოკიდებულებით, სადაც  $b$  მანძილია რაბის, არხის ან სხვა ნაგებობათა კედლებს (ფერდობებს) შორის  $\frac{h}{3}$  დონეზე.

ცხრილი 3-7

$e$  კოეფიციენტის მნიშვნელობანი

$\frac{b}{h}$	$e$
0,5	0,4
1	0,7
1,5	0,8
2	0,9
3 და მეტი	1

მიწის წნევის ცვლილება სეისმური რხევის დროს. საყრდენი კედლების გაანგარიშების დროს, გარდა ინერციული სეისმური ძალებისა, რომლებიც განისაზღვრებიან (3—21) ან (3—23) ფორმულებით, საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს გრუნტის სეისმური წნევა.

მიწის აქტიურ და პასიურ სეისმურ წნევათა სიდიდენი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$\begin{aligned} q &= (1 + 2K_v \operatorname{tg} \varphi) p; \\ q' &= (1 - 2K_v \operatorname{tg} \varphi) p', \end{aligned} \quad (3-36)$$

სადაც  $p$  და  $p'$  არის, შესაბამისად, მიწის აქტიური და პასიური წნევები სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინებლად;

$\varphi$  — გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხე.

სეისმური ძალების განსაზღვრა თაღოვანი კაშხალებისა და ზოგიერთი სხვა ნაგებობისათვის. მოქმედი ნორმების თანახმად, თაღოვანი კაშხალის ანგარიშის დროს მისი შუა ზედაპირის ერთეულ ფართობზე მოსული სეისმური ინერციული ძალა, რომელიც განპირობებულია კაშხალისა და მასზე მოთავსებულ მოწყობილობათა საკუთარი წონით და მიმართულია ხეობის გრძივად, შეიძლება გაანგარიშდეს ფორმულით

$$S = d\gamma_1 K_v \left[ 1 + 0,5 \frac{x}{x_0} \cos \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\psi}{\psi_0} \right) \right], \quad (3-37)$$

სადაც  $d$  არის კაშხალის სისქე განსახილველ კვეთში, მ (ნახ. 3-6);

$\gamma_1$  — კაშხალის მასალის მოცულობითი წონა, ტ/მ<sup>3</sup>-ში;

$x$  და  $x_0$  — შესაბამისად, მანძილები ფუძიდან განსახილველ კვეთამდე და ნაგებობის სიმძიმის ცენტრამდე;

$\psi_0$  — თალის ცენტრალური კუთხის ნახევარი;

$\psi$  — განსახილველ წერტილში გამავალი მსახველის კუთხური კოორდინატი.

ხეობის განივად მოქმედი სეისმური ძალების გათვალისწინების შემთხვევაში ნებადართულია მივიღოთ

$$S = d\gamma_1 K_v. \quad (3-38)$$

წყლის სეისმური წნევის ინტენსიურობა. თაღოვანი კაშხალზე მოქმედი წყლის სეისმური წნევის ინტენსიურობა განისაზღვრება ფორმულით

$$p = \alpha p_0, \quad (3-39)$$

სადაც  $p_0$  წყლის სეისმური წნევის ინტენსიურობაა ევრტიკალურ ბრტყელ საღაწეო წახნაგზე, ტ/მ<sup>2</sup> და განისაზღვრება (3—34) ფორმულით;

$\alpha$  — კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია განსახილველი წერტილის კუთხური კოორდინატზე და განისაზღვრება:

ხეობის გრძივი მიმართულებისათვის ფორმულით

$$\alpha = 0,5 + \frac{\psi}{2\psi_0};$$

ხეობის განივი მიმართულებისათვის ფორმულით

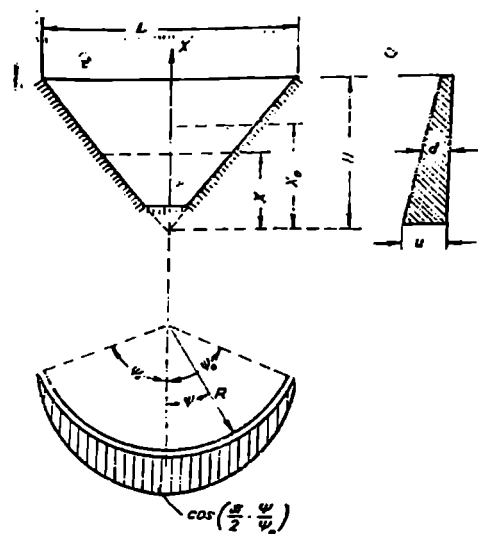
$$\alpha = \frac{\psi}{2\psi_0}$$

დასასრულს, მოქმედი ნორმებიდან მოგვეყავს მითითებანი ზოგიერთ სხვა ნაგებობათა შესახებაც.

ჩამომეწყერების ზედაპირთა მეთოდით აღვიღობრივი მასალებისაგან ასაგები კაშხალებისა და არხების ფერდობების მდგრადობის შემოწმებისას საანგარიშოდ აღებული უნდა იქნეს ჩამომეწყერების ის ზედაპირები, რომელთა დროს ფერდოს მდგრადობის კოეფიციენტი ძირითადი დატვირთვების მოქმედებისას იქნება მინიმალური.

(3—21) და (3—22) ფორმულებით სეისმური ინერციული ძალების განსაზღვრის დროს კაშხალის ტანის გრუნტის ან ქვაყრილის ერთეული მოცულობის წონა საჭიროა განისაზღვროს ამ მოცულობაში არსებული წყლის წონის გათვალისწინებით.

გვირაბებისა და წნევის ქვეშ მომუშავე სხვა მიწისქვეშა წყალსატარების შემოკეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული წყლის დამატებითი დაწნევა. რომელიც განისაზღვრება ფორმულით



ნახ. 3-6. თაღვან კაშხალზე მოქმედი სეისმური ინერციული ძალებისა და წყლის სეისმური წნევის ინტენსიურობის განსაზღვრის სქემა.

$$H_6 = \frac{K_6}{\pi} \gamma s T_0, \quad (3-40)$$

სადაც  $s$  არის გრძივი სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარე შთის ქანში (გრუნტში), მ/წმ;

$T_0$  — ქანის (გრუნტის) ნაწილაკების სეისმური რხევის საანგარიშო პერიოდი, რომელიც მიიღება 0,5 წმ ტოლი.

შენიშვნა. როდესაც  $s < c$ , სადაც  $c$  ზეარის გავრცელების სიჩქარეა წყალში და ტოლია 1500 მ/წმ-ში, მაშინ  $s$  სიჩქარის მაგივრად აიღება  $c$ .

მთის გამონამუშევრის სამაგრზე მოქმედი ფხვიერი გრუნტის სეისმური წნევა (სეისმური სამთო წნევა გვირაბებში და მათ მსგავს მიწისქვეშა ნაგებობებში) შეიძლება განისაზღვროს (3—36) ფორმულების გამოყენებით, თუ ჩავთვლით, რომ მათში  $p$  და  $p'$  შეესატყვისება სამთო წნევას, რომელიც განსაზღვრულია სეისმური ზემოქმედების გაუთვალისწინებლად.

ნაგებობათა დინამიკური სისტემა. ნაგებობათა დინამიკი-  
დან ცნობილია, რომ, თუ პარამონიული რხევის დროს აღმზნები ძალის სიხში-  
რე (პერიოდი) გაუტოლდა სისტემის თავისუფალი რხევის სიხშირეს, წარმო-  
იშობა რეზონანსის მოვლენა, რომლის დროს სისტემის რხევის ამპლიტუდები  
ვანუსაზღვრულად იზრდება. მართალია, ნაგებობის სეისმური რხევების დროს  
ადგილი არა აქვს პარამონიულ რხევებს, მაგრამ შეიძლება განვითარდეს რეზო-  
ნანსის მაგვარი მოვლენა. ეს მოხდება ანალოგიურ შემთხვევაში, ე. ი. როდისაც  
ნაგებობის თავისუფალი რხევის  $T_0$  პერიოდი ახლოსაა ან ემთხვევა სეისმური  
რხევის  $T$  პერიოდს. ამის შედეგად ნაგებობაში წარმოქმნილმა სეისმურმა  
ინერციის ძალებმა შეიძლება რამდენჯერმე გადააჭარბოს (3—21) ან (3—24)  
ფორმულებით გაანგარიშებულ ძალთა სიდიდეს და გამოიწვიოს ნაგებობის  
დანგრევა.

ნაგებობას ეწოდება დინამიკურად სისტემა, თუ მისი თავისუფალი  
რხევის პერიოდი მნიშვნელოვნად ნაკლებია სეისმური რხევის პერიოდზე:  
უკანასკნელი დაახლოებით ტოლია  $T \approx 1$  წმ, ამიტომ რეზონანსის მაგვარი მოვ-  
ლენის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა დინამიკურად სისტემა ნაგებობათა  
თავისუფალი რხევის პერიოდი არ აღემატებოდეს  $T_0 \approx 0,5 \div 0,6$  წმ სიდიდეს.

ნაგებობებს, რომელთა თავისუფალი რხევის პერიოდი  $T_0 > 1$  წმ, უწო-  
ლებენ დინამიკურად მოქნილ ნაგებობებს. იმავე მოსაზრების გამო  
ასეთ ნაგებობათა თავისუფალი რხევის პერიოდი მნიშვნელოვნად უნდა აღემა-  
ტებოდეს სეისმური რხევის პერიოდს,  $T_0 \geq 1,5 \div 2$  წმ.

## თ ა ვ ი V

### წყლის ფილტრაცია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ძველ და მათი შემოვლით

§ 4-1. ფილტრაცია არააღლოვან ფუძეებზე ახალ ნაგებობათა ძველ  
და მისი გაანგარიშების მეთოდები

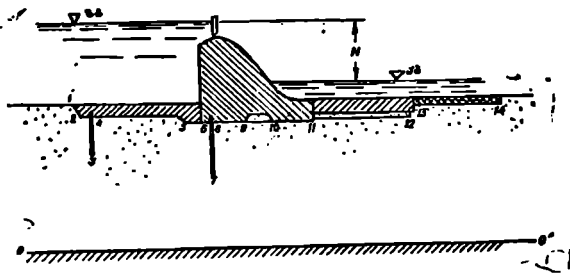
#### 1. ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური

. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძეებისა და ნაპირების, აგრეთვე ფერდო-  
ბების გრუნტები, რომელთაც ისინი ეხებიან, გარდა მცირე გამოწვევისა  
(განსაკუთრებით მკვირივი კლდოვანი ქანები და მკვირივი თიხოვანი გრუნტები),  
ცოტად თუ ბევრად წყალკონვალდია, ამიტომ ნაგებობის მიერ შექმნილი დაწნე-  
ვის შედეგად წყალი მოძრაობს ფორებიდან და ბზარებით ზედა ბიფიდან ქვედა  
ბიფიდანაქვს. აღნიშნულ მოვლენას წყლის ფილტრაცია ეწოდება.

განახვევებენ ფილტრაციის ორ სახეობას: 1) ფილტრაციას ნაგებობათა  
ფუძეებში ანუ ე. წ. დაწნევიით ფილტრაციას და 2) ფილტრაციას  
ნაგებობათა შემოვლით ნაპირებში (ფერდობებში) ანუ უდაწნეო ფილ-  
ტრაციას. ქვემოთ ემათერესად დაწნევიით ფილტრაციის მოვლენებზე გვექ-  
ნება საუბარი, ხოლო უდაწნეო ფილტრაციის საკითხებს შევეხებით ამ თავის  
დასასრულს.

ფილტრაციული წყლები აწარმოებს ფიზიკურ-ქიმიურ და მექანიკურ ზე-  
მოქმედებას როგორც ნაგებობებზე, ისე მათი ფუძეებისა და ნაპირების გრუნ-  
ტებზე. ეს ზემოქმედებანი. თუ გათვალისწინებული არ იქნა სათანადო ღონის-  
ძიებანი, შეიძლება გახდეს ნაგებობათა ავარიის მიზეზი.

ჰიდროტექნიკური ანგარიშების მიზანს შეადგენს, ერთი მხრივ, ფილტრაციული წყლების მოძრაობის პირობებისა და ამ პირობებზე ნაგებობათა ზომებისა და ფორმების გაკლენის შესწავლა, ხოლო, მეორე მხრივ, აღნიშნული პირობების შესწავლის საფუძველზე ნაგებობის ისეთი ზომებისა და ფორმების დადგენა, რომლებიც გამორიცხავენ ფუძის გრუნტის სუფოზიისა (გამორეცხვის) და ამობურცვის მოვლენებს.



ნახ. 4-1. კაშხალის მიწისქვეშა (ფილტრაციული) კონტური.

არაკლოვან ფუძეზე ასაგები წყალსაშვები კაშხალის კონსტრუქცია შეიძლება შეირჩეს სხვადასხვაგვარად. 4-1 ნახაზზე ნაჩვენებია მისი ჩვეულებრივი კონსტრუქცია, რომელსაც აქვს შემდეგი ელემენტები: 1—2—4—5—6—ძირული—წყალშეუღწევი საფარი ფილტრაციის გზის გასაგრძელებლად: 6—8—9—10—11—კაშხალის ტანი, რომელიც გადასცემს მასზე მოსულ დატვირთვებს ფუძის გრუნტს; 11—12—წყალსაცემი—მასიური იატაკი (ფილა) კაშხალზე გადადინებული წყლის ნაკადის დარტყმების მისაღებად და ფილტრაციის გზის გასაგრძელებლად (გარდა ცალკეული შემთხვევებისა, როდესაც წყალსაცემის ქვეშ ეწყობა სადრენაჟო ხერხები); 13—14—რისბერმა—წყალშეღწევადი საფარი, რომელიც იცავს კალაპოტს გარეცხვისაგან და ამავე დროს უზრუნველყოფს ფილტრაციული წყლების უაფრთხო გამოსვლას ქვედა ბიეფში; 2—3—4 და 6—7—8—ვერტიკალური ზღუდეები—ნარანდები (შუენტები) ფილტრაციის გზის გასაგრძელებლად.

4-1 ნახაზზე ნაჩვენები ნაგებობის ვერტიკალურ კრილში ფილტრაციული ნაკადის ზედა საზღვარს წარმოადგენს ნაგებობის ელემენტებისა და გრუნტის შუღლების 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—12—13—14 ტეხილი ხაზი, რომელსაც მიწისქვეშა ანუ ფილტრაციული კონტური ეწოდება. აღნიშნული კონტურის 1—2—3—4—5—6—7—8—9 და 10—11 უბნები წყალშეუღწევადაა, ხოლო 9—10 და 11—12—13—14 უბნები წყალშეღწევადაა. ფილტრაციული ნაკადის ქვედა საზღვარს წარმოადგენს  $OO_1$  ხაზი—წყალსაცემი.

წყალსატორი ნაგებობის იმ ნაწილს, რომელზედაც ტარდება ღია წყლის ნაკადი, ფლუტბეტი ეწოდება: მის შედგენილობაში შედის ძირული, კაშხალის ტანი, წყალსაცემი და რისბერმა.

**2. ფილტრაციული ამოცანების კვლევის ჰიდროდინამიკური  
(თეორიული) მეთოდი**

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფილტრაციული ანგარიშები მიზნად ისახავს: 1) ფილტრაციული წნევების განსაზღვრას ფილტრაციის არის ნებისმიერ წერტილში, პირველ რიგში კი ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურის გასწვრივ. 2) ფუძის გრუნტის ფილტრაციული მდგრადობის შემოწმებას ფილტრაციული ნაკადის ქვედა ბიეფში გამოსვლის ზონებში და 3) ფილტრაციული ხარჯების განსაზღვრას, რომელსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს მაშინ, როდესაც ნაგებობის ფუძეში განლაგებულია ძლიერ წყალშეღწევადი გრუნტები.

კაშხალებისა და სხვა წყალშემტბორავ ნაგებობათა ქვეშე ფილტრაციული წყლის მოძრაობის ამოცანის თეორიული ამოხსნა დაკავშირებულია დიდ მათემატიკურ სიძნელეებთან. ამონახსნები ზოგიერთი პრაქტიკული შემთხვევისათვის მიღებულია აქად. ნ. პავლოვსკის, ხოლო შემდგომში მისი მიმდევრების მიერ. ეს ამონახსნები ემყარება შემდეგ დაშვებებს: 1) გრუნტი, რომელშიც წარმოებს ფილტრაციული წყლების მოძრაობა, ერთგვაროვანია; 2) სითხე — უქუშმვადი, ხოლო მისი მოძრაობა უწყვეტი და დამყარებული (ინერციის ძალების გარეშე); 3) ფილტრაციული წყლების მოძრაობა ემორჩილება დარსის კანონს:  $v = kj$  (სადაც  $v$  ფილტრაციის სიჩქარეა;  $k$  — ფილტრაციის კოეფიციენტი;  $j$  — ჰიდრაულიკური გრადიენტი).

ფილტრაციული წყლის ნაკადის მოძრაობის ელემენტების განსაზღვრისათვის იყენებენ დარსის კანონს დიფერენციალურ ფორმაში:

$$v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad v_y = -k \frac{\partial h}{\partial y}, \quad v_z = -k \frac{\partial h}{\partial z}, \quad (4-1)$$

სადაც  $h$  ჰიეზომეტრული წნევაა წერტილში, რომლის კოორდინატებია  $x$ ,  $y$  და  $z$ , ხოლო  $v_x$ ,  $v_y$  და  $v_z$  — სიჩქარის მდგენელები ანუ მისი პროექციები  $ox$ ,  $oy$  და  $oz$  ღერძებზე.

მოძრაობის განუწყვეტელობის განტოლების მისაღებად წერენ ფილტრაციული ნაკადის არეში მოთავსებულ ჩაკეტილ ფიგურაში (ელემენტარულ პარალელებიპედში) სამივე მიმართულებით შემავალ და გამოშვალ წყლის მოცულობათა ტოლობას. შედეგად მიიღება შემდეგი სახის მეორე რიგის კერძო-წარმოებულებიანი დიფერენციალური განტოლება

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0, \quad (4-2)$$

რომელსაც **ლ ა პ ლ ა ს ი ს განტოლება** ეწოდება.

აღნიშნული სამკომპონენტიანი დიფერენციალური განტოლება, რომელიც ასახავს ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობას სივრცულ არეში, მათემატიკურად ძალიან რთული გადასაწყვეტია. მისი ამოხსნა მოსახერხებელი გახდა მხოლოდ უკანასკნელ ხანებში უმარტივესი ამოცანებისათვის (ღერძულ-სიმეტრიული არეებისათვის).

პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით გაცილებით მეტი ღირებულებითაა ის ამონახსნები, რომლებიც მიღებულია ფილტრაციის ბრტყელი ამოცანების განხილვით. ასეთ ამოცანებისათვის (4—2) განტოლება რამდენადმე მარტივდება, რადგან მიიღება დაშვება იმის შესახებ, რომ ფილტრაციული ნა-

კადის მოძრაობა წარმოებს კაშალის ლერძის მართებულ ვერტიკალურ სიბრტყეში და იგი არ არის დამოკიდებული შესაზე —  $z$  კოორდინატაზე.

ამგვარად, ბრტყელი ამოცანებისათვის (4—2) ვანტოლება დადს შემდეგ სახეზე:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0, \text{ ანუ } \nabla^2 h = 0. \quad (4-1)$$

თუ ლაპლასის (4—3) გატობლაში  $h$  განხილული იქნება როგორც პოტენციალური ფუნქცია, მაშინ იგი ანალოგიური იქნება მათემატიკური ფიზიკის ცნობილი განტოლებისა, რომელიც ასახავს სითბოს, ელექტრული პოტენციალისა და მანვრტური მანების სტაციონარულ განაწილებას იზოტროპიულ არეში. აქედან გამომდინარე იზოთერმული მრუდეების თვისებები, რომლებითაც ხაზათდებიან აღნიშნული პოტენციალური მოძრაობანი, შეიძლება გავრცელდეს ფილტრაციული წყლების მოძრაობაზეც.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ (4—3) დიფერენციალური განტოლების გადაწყვეტაც დაკავშირებულია საკმაოდ დიდ მათემატიკურ სიძნელეებთან. კონკრეტული ამონახსნები მიღებულია მხოლოდ სქემატიზებული მიწისქვეშა კონტურებისათვის კონფორმული ასახვის მეთოდის გამოყენებით.

ჰიდროდინამიკური ბადის აგება. ბრტყელი ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობის ამოცანის თეორიული ამონახსნი გეომეტრიულად წარმოდგინება ხაზების ორი სისტემით:

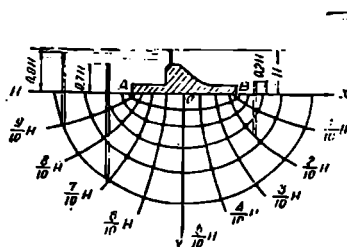
ა) ეკვიპოტენციალებით, ე. ი. თანატოლი პოტენციალების ანუ ტოლდაწნევის ხაზებით ( $h = \text{const}$ ). და

ბ) სითბის დენის წირებით. ანუ სითბის ნაწილაკთა მოძრაობის ტრაექტორიებით; დენის წირის მხები ალებულ წერტილში განსაზღვრავს ფილტრაციული ნაკადის სიჩქარის მიმართულებას იმავე წერტილში.

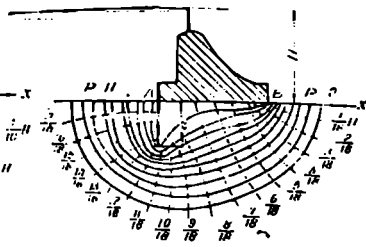
პოტენციალური მოძრაობის თეორიაში მტიციდება, რომ ხაზების ეს ორი სისტემა—ეკვიპოტენციალები და დენის წირები ურთიერთორთოგონალურია და გადაკვეთაში ქმნიან ჰიდროდინამიკურ ანუ ფილტრაციულ ბადეს. ლაპლასის (4—3) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ერთგვაროვანი გრუნტების შემთხვევაში ფილტრაციული ბადის ხაზების მდებარეობა არ არის დამოკიდებული გრუნტის ფილტრაციის  $k$  კოეფიციენტზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ ნაგებობის ადგილი მიწისქვეშა კონტურის შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური ბადე უცვლელი დარჩება ყველანაირი ერთგვაროვანი შეღწევალი გრუნტებისათვის.

ჰიდროდინამიკური ბადის ასაგებად გამოიყენება ეკვიპოტენციალებისა და დენის წირების განტოლებანი, რომლებიც მიღებულია ლაპლასის (4—3) განტოლების ამოხსნით.

მავალითათვის 4-2 და 4-3 ნახაზებზე ნაჩვენებია თეორიული გზით მიღებული ჰიდროდინამიკური ბადეები მარტივი ფილტრაციული კონტურებისათვის: ა) ნაგებობისათვის, რომელსაც არა აქვს ვერტიკალური ზღუდე, ე. ი. წარმოადგენილია ბრტყელი ფლუტბეტის სახით, და ბ) ნაგებობისათვის, რომელსაც ზედა წახნაგთან მოწყობილი აქვს ერთი ვერტიკალური ზღუდე ნარანდის ან კბილის სახით. პირველ შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური ბადე წარმოგვიძვება ელიფსთა (დენის წირები) და ჰიპერბოლათა (ეკვიპოტენციალები) ოჯახით (ნახ. 4-2); მეორე შემთხვევაში კი ვერტიკალური ზღუდის მოწყობით ბადემ განიცადა ტრანსფორმაცია, რომელიც თითქმის ქრება ნაგებობის ძირიდან



ნახ. 4-2. ჰიდროდინამიკური ბადე ბრტყე-  
ლი უნარანდო ფლუტბეტისათვის.



ნახ. 4-3. ჰიდროდინამიკური ბადე ფლუტ-  
ბეტისათვის, რომელსაც ზედა წახანთან  
მოწყობილი აქვს ერთი ვერტიკალური ზღე-  
ლე (ნარანდი ან კილი).

2 ს სიღრმეზე და მის ქვევით, ე. ი. აღნიშნული სიღრმიდან დაწყებული ღენის  
წირების მრუდები მცირედით განსხვავდება ელიფსებისაგან (ნახ. 4-3).

#### 8. ჰიდროდინამიკური ბადის აგების ექსპერიმენტული მეთოდები

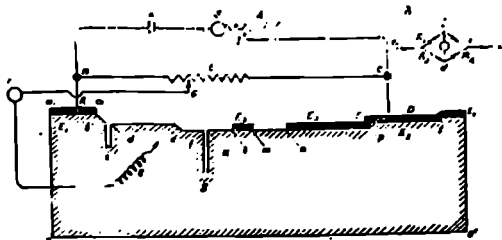
ნაგებობათა რთული მიწისქვეშა კონტურების შემთხვევაში ფილტრაცი-  
ული ამოცანების ამოხსნა დიდ მათემატიკურ სიძნელეებს აწყდება, როგორც  
დაძლევა თითქმის შეუძლებელი ხდება. მსგავს შემთხვევებში პრაქტიკაში გა-  
ნაყოფინება ექსპერიმენტული მეთოდები, ამასთან ყველაზე უფრო სწორად ის  
მეთოდები, რომლებიც დამყარებულია ფილტრაციული წყლებისა და სხვა-  
ნაირი ელექტროდენის. მაგნიტური და სითბური ნაკადის) პოტენცია-  
ლურ მოძრაობათა შორის არსებულ ანალოგიაზე. ეს მოძრაობანი ლაპლასის  
(4-3) განტოლებით გამოისახება და ერთნაირი სასაზღვრო პირობების შემ-  
თხვევაში ხასიათდება ერთნაირი მოძრაობის ბადეებით. გარდა ამისა, ზოგჯერ  
ფილტრაციული მოვლენების გამოკვლევებს აწარმოებენ ლაბორატორულ პი-  
რობებში უშუალოდ ნაგებობის მოდელზე, რომლის ფუძისათვის იყენებენ შე-  
ნაბაჟის გრუნტს.

ექსპერიმენტის ჩატარება ძალიან მოხერხებულია ელექტროდენით. ეს მე-  
თოდი, რომელიც ცნობილია ელექტროჰიდროდინამიკური ანალოგიის (ეშდა)-  
მეთოდის სახელწოდებით, პირველად რეკომენდებულ და დამუშავებულ  
იქნა ნ. პავლოვისკის მიერ. შემდგომში, რა თქმა უნდა, მან სათანადო სრულ-  
ყოფა და განვითარება პოვა.

ეშდა-ს მეთოდში ერთგვაროვანი წყალშემღწევადი გრუნტი წარმოდგენი-  
ლია ერთგვაროვანი არით: ელექტროგამტარი სითხით (ელექტროლიტით) ან  
ლითონის თხელი ფურცლით (მაგალითად, სტანიოლით), ანდა ელექტროგამტარ-  
ი ქაღალდით, რომელიც მზადდება სხვადასხვა კუთრი გამტარობით: წყლის  
წნევა წარმოდგენილია ელექტრული ღენის ელექტრომომოძრავებელ ძალით  
ან ელექტრული პოტენციალით,  $k$  ფილტრაციის კოეფიციენტი —  $c$  კუთრი  
გამტარობით. ფილტრაციული ხარჯი — ღენის ძალით.

სითხის ხელსაწყო იწყობა შედგება:  $0,001$  ბრტყელ აბაზანაში, რომელსაც უკმდეგომ  
ელექტროლიტით 1 ატენენ (ნახ. 4-4 ა), ღვამენ  $a b c \dots kl, mn$  წყალშემღწევადი კედლს, რომელიც  
დამზადებულია ელექტროგამტარი მასალიდან, მაგალითად, პლესიგლასისაგან, და  
აქვს ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურის ფორმა (მაგალითად, 4-1 ნახ. ნაჩვენები ფორმა). ხელ-  
საწყოში ზედა და ქვედა ბოჭებებს ფსკერის ხაზები არის შენაბამისად  $u v$  და  $x y$  სილინდრის.





ნახ. 4-4. ე. ჯ და ს ხელსაწყო სქემა.

მომკერები, ღრენაებთა —  $lm$  და  $np$ , ხოლო წყალშეღწევადი ფენა  $00'$  კერის ხაზი — კერქლის  $00'$  კველი. თუ წყალშეღწევადი ფენა (წყალაყავი) არ არსებობს ან ძალიან ღრმად არის მოთავსებული, მაშინ ეს საზღვარი იცვლება პირობითი საზღვრით. სპილენძის მოკვერები უერთდება ღენის წყარო 2 — გაღვანერ ბატარეას ან ავტოელემენტს.

ელექტროწრედი შედგება გენერატორისაგან 2, ამპერმეტრისაგან 3, რონტატისაგან 4,  $2-C-D$  და  $2-B-A$  გამტარებისაგან ( $lm$  და  $np$  მოკვერებს გამტარებუ ნაქსენები არ არის) და ელექტროლიტისაგან 1. მოკვერებს შეიწარმენება  $E_1$  და  $E_2$  პოტენციალები; მათი სხვაობა  $E = E_1 - E_2$  ნეტრამში შეესაბამება  $II - II_2$  დაწვევას. წრელს  $B$  და  $C$  წერტილებში ჩართულია ავრეთეუ ჩეობორდი 5 ან ავოპეტრი.

სითხის 1 ნებისმიერ წერტილში პოტენცილის განახიმაჟ ხელსაწყო აქვს 6-7-8 გამტარი. რომელიც მილის მოძრაუი კონტაქტურაან 6 ვალვანოპეტრის 7 ვალვო წამახელ ნემსამაჟ 8. რომლის ბოლო თავდება აღნიშნულ წერტილში.

პოტენციალები განიხივა ემყარება ფიზიკიდან ცნობილ უტეტონის ბოვან პრინციპს (ნახ. 4-4 ბ), რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: თუ  $a$  წერტილში ხდება ელექტროლიტის ორ  $abc$  და  $adc$  ტოტად განშტოება, მაშინ სხვადასხვა ტრტზე მოთავსებულ  $b$  და  $d$  წერტილების შემკერებულ გამტარში დენი არ გაივლის (გამტარში ჩართული ვალვანოპეტრი ვიკიენებს ნულს). თუ წინალობათა შორის მყარდება ფარლობა  $R_1:R_2 = R_3:R_4$ . მამდას ხელსაწყო სქემაში (ნახ. 4-4 ა) უტეტონის ბოვან ქმეიან: ეკლი  $B-A-B-1-U-C$ , ხოლო შერტე  $B-6-5-C$  ტოტე. მათი შეკერებუელი ხაზი წარმოიყენელია 6-7-8 გამტარით, რომლის ბოლოები შეიძლება მიერთებულ იქნეს ჩეობორდის 5 და სითხის 1 ნებისმიერ წერტილზე.

თუ ხელსაწყოში  $E$  სხეულ ელექტრომომჩარეებულ ძალას ერთელვან ტოლად მივიღებთ (მამსადაჟაჟ,  $II = 1$ ) და ჩეობორდის წინალობას  $n$  თანატოლ ნაწილად დაავრეთ (ჩვეულებრივ, 10 ან 20 ნაწილად), მაშინ სითხის 1 აქეში ჩვეუ შეკვიძლია მივძებნით წერტილები ნებისმიერი შეალუდერი პოტენციალებით. შეკერებუთ რა ერთმართა პოტენციალებს მქონე წერტილებს მხოტე ხახუბით, მივიღებთ  $\frac{1}{n} E$  ანუ  $\frac{1}{n} H$ -ზე გატარებულ ეკვოპტენციალებს.

ამის შემდეგ ავლებემ მხოტე მოხანულობის დენის წრეებს ეკვიპოტენციალებს ნორმალურად ი.ე. რომ წარმოიქმნას პილოლინამიუერი ბაღე მრულწირული ევადრატებით ან სწორკუთხედებით.

მამდას ხელსაწყო ვამოიყენება არაერთგვაროვანი აჩუებისათვისაც, მავალითაჟ, რომელსაც ფედის ცრუნტი შედგება ორი ან რამდენიმე ფენისაგან ან ღინისაგან, რომელთა  $k_1, k_2, \dots$  ფოლტრაციის კოეფიციენტები სხვადასხვაა. ამისათვის საჭიროა შეირჩეს სხვადასხვა  $c_1, c_2, \dots$  ელექტროგამტარობის ელექტროლიტები ისე, რომ შეარდღეს თანაფარლობა  $k_1:k_2 = c_1:c_2$ , ამასთანაჟე. ისინი გამაჩნულ უნდა იქნენ ხელსაწყოში ფედის ევრტიკალურ გეოლოკიურ კრილში განდავების შესაბამისად, ელექტროვაუტმარო დაყოფილ-კონტაქტური კვლებით.

ამამაჟე აჩუებოს მამდას რეთე ხელსაწყოებუ, რომლებითაც შეიძლება ვამოიყენებულ იქნეს ფოლტრაციის ნავებობათა ქვეუ არა მარტო სობრტეუმი, არამჟე ავრეთეუ სეკრეუმი. ამ შემთხვევაში ელექტროგამტარ ახედ გამოიყენება გრათოდის ფხენილი ან ელექტროლიტი.

სხვა ექსპერიმენტული მეთოდებიდან შეიძლება აღინიშნოს ცუებე მინის ან პლექსივლის კერტიტე ღარში, რომელშიც მოთავსებულია ნავებობის მოღელი. ფოლტრაციულ ნავადის მოღელირება წარმოებს ღმინარულად მოძრაუი ბლანტი სითხით (ცლიტერინით). ჩა-

უძებოთ რა ნაკლის სხვადასხვა წერტალში საუბავს, შეიძლება მივიღოთ დენის წირებას გამოსაძლედათ და რის კვლევზე.

კვება ფილტრაციას შეიძლება ჩატარდეს გამოსაცელი გრუნტით სავსე ღარში, რომელშიც იღვმება ნაგებობის მოღელი და წარმოებს ფილტრაცია ზედა ბოუტილამ ქვედა ბოუტილამ. ეს მეთოდი მრავალგვარია, ძვირი ჯდება და ამასთანავე ხასიათდება მცირე სისუსტით. მეორე მანერა, იგი მატად ძვირფასია ფილტრაციული დეფორმაციების — სუფოზიისა და ამოხრევის მოკლენებას შეაწყველად (ეს მოკლენები განხილული იქნება ქვემოთ).

#### 4. ჰიდროდინამიკური ბადის აგების გრაფიკული მეთოდი

ნაგებობის რთული მიწისქვეშა კონტურების შემთხვევებში ჰიდროდინამიკური ბადეების ააგებად ფართოდ გამოიყენება გრაფიკული მეთოდი, რომელიც ემყარება ბადის ხაზების ორთოგონალობასა და სიმლოვრეს, აგრეთვე ბადის უჯრედების მსგავსებას. უჯრედები ხშირად წარმოადგენს კვადრატებს, უფრო იშვიათად კი სწორკუთხედებს. ამ უქანასკნელ შემთხვევაში დატული უნდა იქნეს უჯრედების გვერდების სიგრძეთა ფარდობის მუდმივობა. ამ ფარდობას ბადის ფორმის კოეფიციენტი ეწოდება.

ჰიდროდინამიკური ბადე იგება შემდეგნაირად: ნაგებობის ნახაზზე პირველი დენის წირად მიიღება მიწისქვეშა კონტური, ხოლო უქანასკნელად — წყალშედწვევი ფენა; თუ წყალშედწვევადი ფუძე განუსაზღვრელი სისქისაა, მაშინ უქანასკნელ დენის წირად შეიძლება მივიჩნიოთ ნახევარი წრე, რომელიც მოიხაზება ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურის შუა წერტილიდან ამ კონტურის პერიმეტრალური პარაბოლის 2—2,5 სიგრძის ტოლი რადიუსით. მეორე დენის წირი საჭიროა გატარდეს პირველისაგან რაღაც მანძილზე ისეთნაირად, რომ მიჰყვებოდეს მიწისქვეშა კონტურის გადაღწევებს; მიღებულ ზოლს ჰყოფენ ეკვიპოტენციალებით მრუდწირულ კვადრატებად (თუ ბადე კვადრატულია) ან სწორკუთხედებად. შემდეგ გატარდება მომდევნო დენის წირი და გაგრძელდება ეკვიპოტენციალები ისე, რომ წარმოიქმნას მრუდწირული კვადრატები, ამასთან ერთად. ესაღია, საჭიროა კორექტირება გაუკეთდეს წინა დენის წირს და ა. შ. უქანასკნელი დენის წირი, როგორც აღვნიშნეთ, უნდა დაემთხვეს წყალშედწვევადი არის საზღვარს, თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ საჭიროა გადაკეთდეს მთელი ბადე, თუმცა შეიძლება დატოვებულ იქნეს ბოლო დენის წირებს შორის მოთავსებული მრუდწირული სწორკუთხედებიანი ზოლი.

უჯრედების ფორმის შემოწმება ხდება შუა ხაზების გაზომვით, რომლებიც ურთიერთ ტოლი უნდა იყვნენ კვადრატული ბადის შემთხვევაში ანდა მათი სიგრძეთა ფარდობა იყოს მუდმივი, თუ ბადე წარმოდგენილია მრუდწირული სწორკუთხედებით. ბადის რთული ფორმის შემთხვევაში პირველი დაყოფის შედეგად მიღებული მცირე ზომის უჯრედებს კიდევ ჰყოფენ ოთხ ნაწილად და მიღებული უჯრედების შუა ხაზებს ამოწმებენ ზემოთ აღნიშნული წესის შესაბამისად.

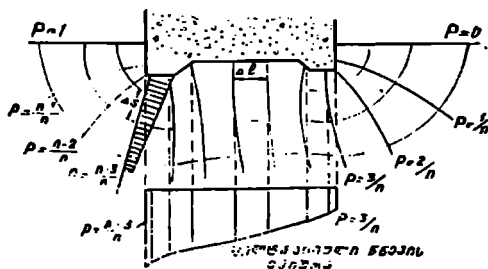
ჰიდროდინამიკური ბადის აგების შედეგად ნაგებობის ფუძის წყალშედწვევი არე იყოფა ხარჯის ზოლებად და წნევის სარტყლებად. ხარჯის ზოლს უწოდებენ მეზობელი დენის წირებს შორის მოთავსებულ არეს, ხოლო წნევის სარტყელს — მეზობელ ეკვიპოტენციალებს შორის მოთავსებულ არეს. ხარჯის ზოლების რიცხვის შეფარდებას წნევის სარტყლების რიცხვთან უწოდებენ ბადის მოდულს. იგი მუდმივია მოცემული ფორმის მიწისქვეშა კონტურისა და წყალშედწვევადი არისათვის.

გრაფიკული მეთოდით გულდასპით აგებული ჰიდროდინამიკური ბადეები თითქმის იგივე სიზუსტეს იძლევა, რასაც ანალიზურად აგებული, ხოლო პირველი მიახლოებით შესრულებული ბადეები 5%-მდე განსხვავებას, რაც შეიძლება პრაქტიკისათვის საკმაოდ სიზუსტედ იქნეს მიჩნეული. /

**წ. ფილტრაციული წნევების, გრადიენტების, სიჩქარეებისა და ხარჯების განსაზღვრა ჰიდროდინამიკური ბადის გამოყენებით**

აუაგებთ რა ჰიდროდინამიკურ ბადეს, ადვილად შეიძლება განესაზღვროთ ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობის ყველა ელემენტი როგორც ფუძის, ისე მიწისქვეშა კონტურის ნებისმიერი წერტილისათვის.

წყლის წნევა ნებისმიერ წერტილში განისაზღვრება მუზობელ ეკვიპოტენციალებს შორის ინტერპოლაციით, ხოლო ფილტრაციული წნევის ეპიურა ფლუტბეტის მიწისქვეშა კონტურისათვის აიგება ორდინატების გადაზომვით ისე, როგორც ეს 4-5 სახაზზეა ნაჩვენებო.



ნახ. 4-5. ფილტრაციული წნევა ეპიურის აგება ბადის გამოყენებით.

ფილტრაციული ნაკადის საშუალო გრადიენტი მუზობელ ეკვიპოტენციალებს შორის ტოლი იქნება წნევათა სხვაობის ფარდობისა შესაბამის სივრცეთან:

$$I_{\text{საშ}} = \frac{H}{\Delta l} = \frac{H}{n\Delta l} \quad (4-4)$$

სადაც  $H$  არის ნაგებობაზე მოქმედი დაწნევა;

$n$  — წნევის სარტყლების რიცხვი;

$\Delta l$  — ღენის წირის სიგრძე მუზობელ ეკვიპოტენციალებს შორის.

მუზობელ ეკვიპოტენციალებს შორის ნაკადის დინების საშუალო სიჩქარე დენის წირისათვის განისაზღვრება ფორმულით

$$v_{\text{საშ}} = kI_{\text{საშ}} = \frac{kH}{n\Delta l} \quad (4-5)$$

ხვედრითა ვილტრაციული ხარჯი ნაგებობის ფუძეში განისაზღვრება, როგორც ჭამი ცალკეულ ზოლებში ვაჰავალი ელემენტარული ხვედრითი ხარჯებისა. კვადრატული ბადის შემთხვევაში ეს ხარჯი

$$q = \sum_0^m \frac{kH}{n\Delta l} \Delta S = \frac{m}{n} kH \quad (4-6)$$

სადაც  $m$  ჰიდროდინამიკური ბადის ხარჯის ზოლების რიცხვია.

მამასადავნი, ნაგებობის ქვეშ ვაჰავალი სრული ფილტრაციული ხარჯი მიიღება ფორმულით

$$Q = qB = \frac{m}{n} KHB, \quad (4-7)$$

აქ  $B$  ნაგებობის სიგანეა ნაპირიდან ნაპირამდე.

ავაკარად, ჰიდროდინამიკური ბადის საშუალებით ადვილად განისაზღვრება ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობის ყველა ელემენტი.

#### წ. ჰიდროდინამიკური ბადის აგება არაერთგვაროვანგრუნტებიანი ფუძეებისათვის

როდესაც ნაგებობის ფუძის გრუნტი არაერთგვაროვანია, ფილტრაციული ამოცანის თეორიული გადაწყვეტა მნიშვნელოვნად რთულდება. ჭეუჭეობით შეტნაკლებად თეორიულად შესწავლილია ფუძეში გრუნტების განლაგების ორი შემთხვევა: პირველი, როდესაც ჰორიზონტალურად განლაგებულია სხვადასხვა წყალშეღწევალობის გრუნტების საქმარისად სქელი ფენები; მეორე — გრუნტის ერთი ფენა, რომელსაც ორი მიჰართულებით აქვს სხვადასხვა ფილტრაციის კოეფიციენტი (როგორც ეს ხდება დანალექ ქანებში) — ჰორიზონტალური მიჰართულებით დიდი, ხოლო ვერტიკალური მიჰართულებით — მცირე.

არაერთგვაროვანი გრუნტების შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური ბადის ასაგებად მიზანშეწონილია ვაჰოყენებულ აქნეს ზემოთ განხილული გრაფიკული მეთოდი, რომელიც პრაქტიკისათვის საყესებით მიხალებ სიზუსტეს იძლევა. ამ შემთხვევაში ბადე ხაზითდება შემდეგი თავისებურებებით:

ა) ფენათა ზედაპირების ვაელის ღროს დენის წირები ვადახრება თავისი მიჰართულებიდან რალაც კუთხით, რომელიც დამოკიდებულია  $\frac{k_1}{k_2}$  ფარდობაზე. სადაც  $k_1$  და  $k_2$  მეზობელ ფენათა ფილტრაციის კოეფიციენტებია; ვადახრის კუთხე (ნახ. 4—6) შეიძლება ვანისაზღვროს შემდეგი ტოლობიდან:

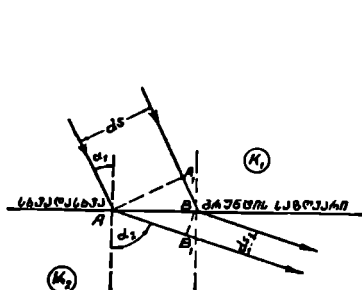
$$\frac{lg \alpha_1}{lg \alpha_2} = \frac{k_1}{k_2}, \quad (4-8)$$

საიდანაც ვამოჰდინარეობს, რომ, თუ  $\alpha_1 = 0$ , მაშინ  $\alpha_2 = 0$ , ე. ი. როდესაც დენის წირები ფენათა ვაჰყოფი ხაზის ნორმალურია, მათი ვადახრა არ წარმოებს;

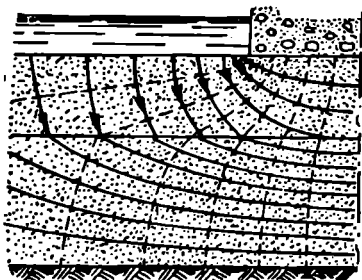
ბ) თუ ჰიდროდინამიკური ბადის ფორმა  $k_1$  არეში იყო კვადრატული  $ds_1 \approx dl_1$  გვერდებით, მაშინ გრუნტის  $k_2$  არეში იგივე ბადე ვახდება სწორკუთხოვანი  $ds_2$  და  $dl_2$  გვერდებით, ამასთან, ბადის გვერდების ფარდობა ანუ ფორმის კოეფიციენტი  $\frac{ds_2}{dl_2} = \frac{k_1}{k_2} \neq 1$ . მაშინ, როდესაც  $k$  არეში იგი ერთის ტოლია.

ტოლია.

4-7 ნახაზზე ნაჩვენებია ჰიდროდინამიკური ბაღე ორფენიანი არაერთგვაროვანი ფუძისათვის: საიდანაც ჩანს, რომ გრუნტის მეორე ფენის ბადის ხაზები წარმოადგენს პირველი ფენის ბადის შესაბამისი ხაზების გავრძელებას.



4-6. ფენათა გაყოფხაზზე დენის წარბის გარდატეხის სქემა.



ნახ. 4-7. წლის ფილტრაციის სქემა ორფენიან ფუძეში.

დასასრულს საჭიროა აღინიშნოს, რომ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძეები შეიძლება წარმოადგენდეს ანიზოტროპიულ გრუნტებს, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტები სხვადასხვა მიმართულებით სხვადასხვაა. ასეთ გრუნტებში განასხვავებენ ფილტრაციის მთავარ ღერძებს ანუ მთავარ მიმართულებებს მაქსიმალური ( $k_{max}$ ) და მინიმალური ( $k_{min}$ ) ფილტრაციის კოეფიციენტებით. ეს ღერძები უზაიგოთმართებულია და შეიძლება იყენენ მიმართულნი ჰორიზონტალურად და ვერტიკალურად ან ჰორიზონტალ რადაც კუთხნათ.

ასებობს ასეთი ამოცანების ჰიდრომექანიკური ამონახსნები, მაგრამ პრაქტიკული გამოყენებისათვის უფრო მოხერხებულია ჰიდროდინამიკური ბადის დამახინჯების მეთოდი. რომელიც შეიმუშავა რ. დახლერმა. ამ მეთოდის გამოყენებით ანიზოტროპიული (არაერთგვაროვანი) გრუნტი დაიყვანება იზოტროპიულზე (ერთგვაროვანზე). რომლისთვისაც ჰიდროდინამიკურ ბადეს აგებენ ჩვეულებრივი წესით. შევლევ ამახინჯებენ რა მას  $k_{max}$  მიმართულებით ელემენტების წაგრძელებით, ერთგვაროვანი გრუნტი უკანვე გადაჰყავთ ანიზოტროპიულ გრუნტში და ანით აღეწვენ ამოცანის გადაწყეტას.

#### § 4-2. ნაგებობის მიწისქვეშა ამონახსნის მოქმედი ფილტრაციული წნევის განსაზღვრის მეთოდიანი

ჰიდრონაგებობის მიწისქვეშა კონტურზე მოქმედი ფილტრაციული წნეები შეიძლება განისაზღვროს ფილტრაციული ბადის აუგებლადაც ზუსტი ჰიდრომექანიკური ამონახსნების ან სხვადასხვა მიახლოებითი მეთოდების გამოყენებით. ჰიდრომექანიკური ამონახსნები მიღებულია შედარებით მარტივი ფილტრაციული კონტურებისათვის, ხოლო პრაქტიკაში რთული კონტურებისათვის

თანდათანობით გამოიყენება ის მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც ემყარებიან კერძო პილდრომექანიკური ამონახსნების განზოგადებას.

ნაგებობის ძირზე შეიძლება მოქმედებდეს მიწისქვეშა წყლების ორი სახის წნევა: 1) შეხატ-ვტივებელი (პილდროსტატიკური), რომელიც ნაგებობის ძირის ნებისმიერ წერტილში ტოლია წყლის სვეტის წონისა, რომლის სიმაღლე შეესაბამება წერტილის ჩაძირვის სიღრმეს ქვედა ბიეფის წყლის დონიდან; და 2) ფილტრაციული (პილდროდინამიკური), რომელიც წარმოიქმნება ნაგებობის მიერ შექმნილი დაწნევით და ტოლია მიწისქვეშა კონტურის დასაწყისში  $H$  დაწნევის სიდიდისა, ხოლო ქვედა ბიეფში ფილტრაციული წყლების გამოსვლის ადგილზე — ნულისა. ზოგად შემთხვევაში მიწისქვეშა კონტურის განაპირა წერტილებს შორის აღნიშნული წნევა განაწილებულია მრუდწირული კანონით.

შემატივტივებელი და ფილტრაციული წნევები ქმნის ჯამურ წნევას, რომელსაც ზოგჯერ უწოდებენ ფილტრაციულ უკუწნევას ნაგებობის ძირზე.

ქვემოთ მოკლედ განხილულია ფილტრაციული წნევების განსაზღვრის მეთოდები.

### ზუსტი პილდრომექანიკური ამონახსნები

აკად. ნ. პავლოვსკინ მის მიერ დამუშავებული ფილტრაციის პილდროდინამიკური თეორიის საფუძველზე მოგვცა ამონახსნები ზოგიერთი მარტივი მიწისქვეშა კონტურისათვის. იმავე თეორიის საფუძველზე ე. ზამაჩინის, ე. კონსლოვის, ნ. მელეშჩენკოს, ნ. ვერიგინის, ა. რომანოვის, პ. ფილჩაკოვის, ე. არავინის, ს. ნუმეროვის, რ. ჩუგაევისა და სხვათა ნაშრომებში გამოკვლეულია სადაწნეო ფილტრაციის რიგი სხვა ამოცანებისა, რომელთაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვთ.

ფილტრაციული წნევებისათვის ზუსტი ან მიახლოებითი პილდროდინამიკური ამონახსნები მიღებულია შემდეგი სახის მიწისქვეშა კონტურებისათვის: ფუძეში ჩაულრმავებელი და ჩაულრმავებული ბრტყელი ფლუტბეტებისათვის. ერთნაარანდიანი ბრტყელი ფლუტბეტისათვის ნარანდის სხვადასხვა მდებარეობის დროს. ბრტყელი ფლუტბეტისათვის. რომელსაც აქვს ნახევარწრიული აუბრუნაო ტრანშეა ან ბრტყელი დრენაჟი, ორ- და რამდენიმენარანდიანი ბრტყელი ფლუტბეტებისათვის და სხვ.

მიღებული ამონახსნების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

1) როდესაც ნაგებობას არა აქვს ნარანდები, მაშინ მის ძირზე მოქმედებს მაქსიმალური ფილტრაციული წნევა (ან შემთხვევას 4-8 ნახაზზე შეესაბამება

$$\frac{s}{b} \cdot 0 \text{ მრუდი});$$

2) ფილტრაციული წნევის განაწილებაზე მნიშვნელოვან ვაქვლენას ახდენს წყალშეღწევადი ფენის სისქე ანუ, რაც იგივეა, წყალსაკავის  $T$  ჩაღრმავების სიდიდე, ამასთან, თუ  $T=0$ , ე. ი. ნაგებობა მოთავსებულია უშუალოდ წყალსაკავზე, მაშინ წნევის განაწილება წარმოებს წრფივი კანონით, ხოლო:

თუ  $T \neq 0$  ან  $T$  ი., — მუდ-  
წარული კაონით:

3) როდესაც ფლუტბე-  
ტი ჩაღრმავებულია უსას-  
რულო სიღრმის ( $T = \infty$ )  
წყალშელწვევალ გრუნტში.  
მაშინ წნევა ფლუტბებზე  
რანდენადმე მცირდება.  
ამასთან. ჩაღრმავების გა-  
ზრდით წნევა მცირდება  
ფლუტბების დასაწყისში.  
სოლო იზრდება ქვედა ნა-  
წილში: დაწინების ფარდობ-  
ითი ვარდნა ვერტიკალურ  
გზებზე (ფლუტბების ვერ-  
ტიკალურ წახნაგებზე) 1,2-  
2-ჯერ მეტია. ვიდრე პორი-  
ზონტალურ გზებზე (ფლუტბე-  
რეტის ძირის გასწვრივ):

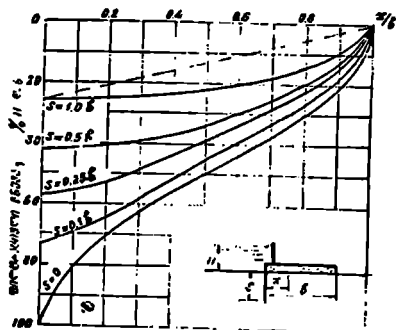
4) როდესაც ნაგებობას  
აქვს ძირის დასაწყისში ფრ-  
თი ნარანდი, მაშინ ფლ-  
ტრაციული წნევა უკალ-  
წნიშენლოვნად მცირდება  
ნარანდის უკან (0,28H-დან  
0,7H-მდე). რაც დამოკიდე-  
ბულია ნარანდის ფარდობ-  
ითს სიღრმეზე ძირის სიგა-  
ნის მიმართ, რომელმც იცე-  
ლება  $s=0,1h$ -დან  $s=1,0$   
h-მდე შუალედში (ნახ. 4-8):

5) როდესაც ნარანდი მოთავსებულია ფლუტბების დასაწყისიდან რაღაც  
მანძილზე. მაშინ ძირზე მოქმედებს უფრო მეტი წნევა, ვიდრე იმ შემთხვევა-  
ში, როდესაც ნარანდი მოთავსებულია ფლუტბების დასაწყისში. ამასთანვე  
წნევის სიდიდე დამოკიდებულია ნარანდის ჩაშვების ფარდობითს სიღრმეზე  
(მაგალითისათვის 4-10 ნაწახზე შეიძლება შედარდეს  $s=0,25h$  და  $0,50h$   
შემთხვევები):

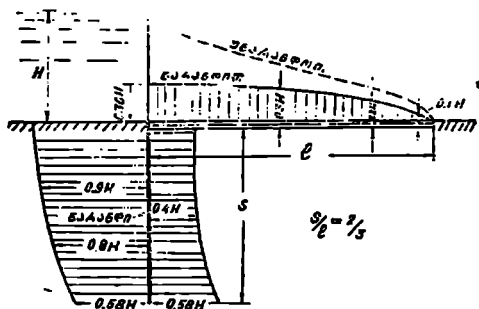
6) როდესაც მიწისქვეშა კონტურს აქვს ორა ნარანდი — დასაწყისში და  
ბოლოში, ფილტრაციული წნევა რამდენადმე უფრო მაღალია, ვიდრე მაშინ,  
როდესაც მას აქვს ერთი ნარანდი დასაწყისში:

7) ყველა ზემონათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ ვერტიკალური ზღუ-  
დეების — ნარანდების გამოყენება ამცირებს ფილტრაციულ წნევას, ამასთან,  
უფრო ჰნიშვნელოვნად, ვიდრე კონტურის პორიზონტალური ნაწილის  
წაჭრძელება.

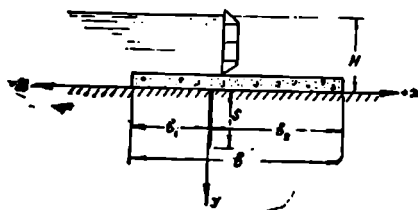
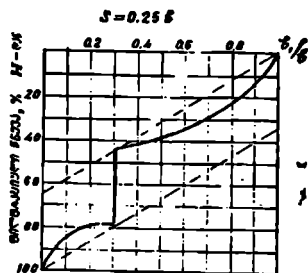
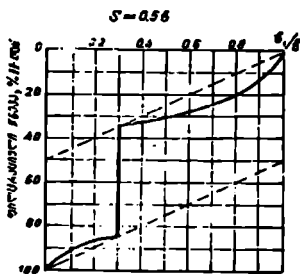
საკვირაო აღინიშნოს, რომ ფილტრაციული წნევის შეპკირება შეიძლება



ნახ. 4—8. ნაგებობის ძირზე მოქმედი ფილტრაციული  
წნევის ეპიურები ერთი ზედა ნარანდის დროს  $\frac{s}{b}$  კრ-  
დობის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.



ნახ. 4—9. ფილტრაციული წნევის განაწილება ფლტ-  
ბების ძირზე და ზედა ნარანდზე.



ნახ. 4-10. ფლუტ-სილი წნევის ეპიურები ერთნაჩანდლანი მიწისქვეშა კონტურისათვის  $\frac{s}{h}$  ფარლობის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, როდესაც ნარჩანდი მოთავსებულია ძირის ზედა წახნაგიდან რაღაც (0,3h) მანძილზე.

ნობდეს აგრეთვე ნაგებობის ქვეშ დრენაჲის მოწყობით. დრენაჲეებისა და მათი მუშაობის პირობების შენახებ საუბარი გვექნება ქვემოთ (იხ. პ. 4).

წინევათა ეპიურები, რომლებიც წარმოდგენილია 4-8, 4-9 და 4-10 ნახა-  
სებზე. შედგენილია ნ. პავლოვსკის ზუსტი ამონახსნების საფუძველზე. 4-8 ნა-  
ხაზზე ნაჩვენებია ფლუტბეტის ძირზე წინევათა განაწილების ეპიურები შექ-  
თნვეერაათვის, როდესაც ნარჩანდი მოთავსებულია ფლუტბეტის დასაწყისში,  $\frac{s}{b}$   
ფარლობა იცვლება 0-დან 1-მდე შუალედში და წყალშედწვეალი ფენის სისქე  
 $T$  ∞: 4-9 ნახაზზე — წნევის განაწილება ნარჩანდის ორივე მხარეზე და  
ფლუტბეტის ძირზე, როდესაც ნარჩანდი მოთავსებულია ფლუტბეტის დასა-  
წყისში,  $\frac{s}{b} = \frac{2}{3}$  და  $T$  ∞. თუ წყალშედწვეალი ფენა სასრული სისქისაა,  
მაშინ წნევის განაწილების ხასიათი რამდენადმე განსხვავებულია, ამასთან, მით  
უფრო ნაკლებად, რაც უფრო მცირეა  $\frac{s}{T}$  ფარლობა. წინევათა ეპიურების ასა-  
გებად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ე. ზამარინის მიერ შედგენილი ნომო-  
გრამები და ცხრილები.

4-10 ნახაზზე მოცემულია წნევის ეპიურები შემთხვევისათვის, როდესაც  
ნარჩანდი მოთავსებულია ფლუტბეტის დასაწყისიდან 0,3h მანძილზე,  $T$  ∞  
 $s=0.25b$  და  $0.50b$ . ამ გრაფიკებზე ქვედა მრუდები გვიჩვენებს წნევის განაწი-  
ლებას ფლუტბეტის დასაწყისიდან ნარჩანდამდე, ზედა მრუდები — იგივეს ნა-



რანდიდან წყალშეღწევი ფლუტბეტის ბოლომდე. მრუდებს შორის ვერტიკალზე გაზომილი მანძილი კი ტოლია დაყვანილი დაწნევის დანაკარკისა ნარანდზე.

ფლუტბეტის ბოლოებში ორი თანატოლი სიგრძის ნარანდის მოწყობის შემთხვევაში წნევის განაწილების ეპიურები შეიძლება აიგოს ე. ზამარინის შესაბამისი ნომოგრამების გამოყენებით, რომლებიც იძლევიან პრაქტიკულად მისაღები სიზუსტის რეზულტატებს.

ყველა ზემოჩამოთვლილი მიწისქვეშა კონტურებისათვის სათანადო ამონახსნები უფრო სრულად მოცემულია სპეციალურ და საცნობარო ლიტერატურაში<sup>1</sup>.

## 2. მიახლოებითი მიდრომექანიკური ამონახსნები

დიდ მათემატიკურ სიზნელთა გამო ოთელი მიწისქვეშა კონტურებისათვის ფილტრაციული ამოცანების ზუსტი თეორიული გადაწყვეტა ჯერ კიდევ არ არის მრღებელი ჩაყვრის სახით. ასეთ შემთხვევაში, როგორც აღვნიშნეთ, გამოიყენება მიახლოებითი მეთოდები. რომლებიც ეყრდნობიან კერძო მიდრომექანიკურ ამონახსნებს. ამ მხრივ საყურადღებოა ეგრეთ წოდებული ფრაგმენტების მეთოდი, რომლის საფუძვლები დაამუშავა აკად. ნ. პავლოვსკიმ და შენევე განაზოგადა ე. კოზლოვმა. და ნარანდების თანდათანობით ასახვის მეთოდი, რომლის იდეა წამოაყენა აკად. მ. ლაერენტიევა. ხოლო დამუშავა ნ. პეტეშჩენკომ და პ. ფილჩაკოვმა. ამ მეთოდის გამოყენებით მრავალნარანდიანი ფლუტბეტი სათანადო ამსახველი ფუნქციის გამოყენებით დაიყვანება ერთნარანდიან ან უნარანდო ბრტყელ ფლუტბეტზე, რომლებისთვისაც ცნობილია ზუსტი თეორიული ამონახსნები.

ფრაგმენტების მეთოდისათვის შედგენილია ნომოგრამები, ხოლო ნარანდების თანდათანობით ასახვის მეთოდისათვის — ცხრილები. აღნიშნული მასალების გამოყენებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ფილტრაციული წნევები მიწისქვეშა კონტურის დაშაასიათებელ წერტილებში.

პრაქტიკული გამოყენებისათვის მეტად მოხერხებულია წინალობის კოეფიციენტთა მეთოდი, რომელიც წარმოადგენს ფრაგმენტების მეთოდის ნაირსახეობას. იგი დამუშავა რ. ჩუგაევმა. ეს მეთოდი არ მოითხოვს ნომოგრამებისა და ცხრილების გამოყენებას და ამავე დროს უზრუნველყოფს პრაქტიკისათვის სავსებით დაშაკმაყოფილებელ სიზუსტეს. ამ უპირატესობათა გამო თანამედროვე ტექნიკური პირობებითა და ნორმებით იგი რეკომენდებულია გამოყენებისათვის.

ქვემოთ განხილულია წინალობის კოეფიციენტთა მეთოდი რამდენადმე შეუქმნული სახით.

წინალობის კოეფიციენტთა მეთოდი<sup>2</sup>. იგი ეფუძნება ფრაგმენტების მეთოდის ანალოგიურ, მაგრამ უფრო ზოგად დებულებას იმის შესახებ. რომ სქემატირების შემდეგ ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური ყოველთვის შეიძლება დაყოფილ იქნეს ცალკეულ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ

<sup>1</sup> Справочник по гидротехнике. Госстройиздат, М., 1955.

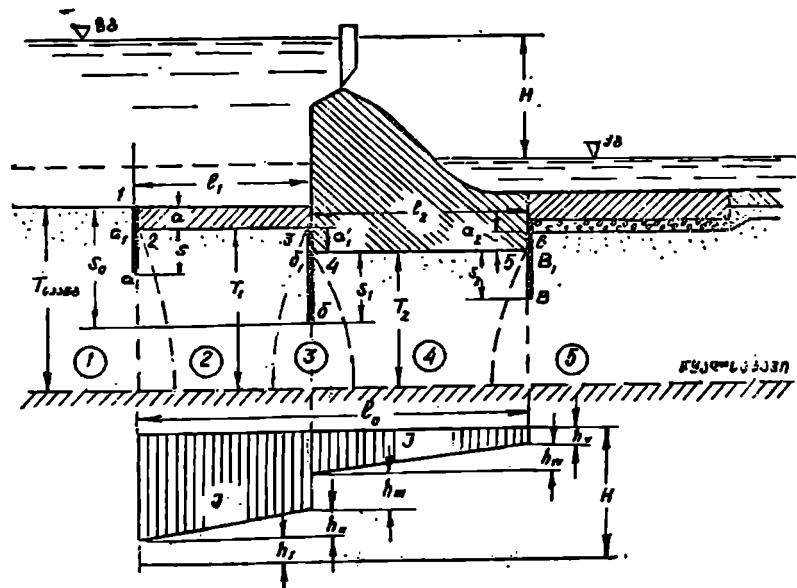
<sup>2</sup> Р. Р. Чугаев, Подземный контур гидротехнических сооружений, Госэнергоиздат, М., Л., 1962.

ელემენტებად (უბნებად), რომელთა შორის პრაქტიკულად შეიძლება განეასხვადონ მხოლოდ სამი ტიპობრივი ელემენტი:

1) შესავალი ან გამოსავალი ელემენტი. რომელსაც ზოგად შემთხვევაში აქვს შესავალი ან გამოსავალი ნარანდის სახე (4-11 ნახაზზე აღნიშნული ელემენტებია 1—ა—2 და 5—ბ—6): კერძო შემთხვევაში, როდესაც არ არის ნარანდი, ელემენტობთ 1—2 შესავალ ან 5—6 გამოსავალ საფეხურს; ღებოლოს, როდესაც არ არის არც ნარანდი და არც საფეხური, შიილება „ბრტყელი შესავალი“ ან „ბრტყელი გამოსავალი“ ელემენტი;

2) შიგა ვერტიკალური ელემენტი (ზღუდე) შიგა 3—ბ—4 ხარანდის სახით (4-11 ნახაზზე ნაჩვენებია მხოლოდ ერთი შიგა ნარანდი: ცალკეულ შემთხვევებში ასეთი ნარანდი შეიძლება იყოს ორი ან რამდენიმე); თუ ნარანდის სიგრაჟე  $s_1 = 0$ , მაშინ ამ კერძო შემთხვევაში შიგა ნარანდის მაკიერა ელემენტობთ შიგა 3—4 საფეხურს;

3) პორიზონტალური ელემენტი (4-11 ნახაზზე 2-3 და 4-5 ელემენტები).



ნახ. 4—11. ნაგებობის ფუძის უბნებად დაყოფის სქემა (რ. ჩუგაევის მიხედვით).

წნევის  $h$  დანაკარგი მიწისქვეშა კონტურის ნებისმიერი ელემენტის სიგრაჟეზე, მაგალითად. კონტურის 2—3 ან 3—ბ—4 უბანზე და ა. შ. (ნახ. 4-11), გამოისახება დამოკიდებულებით

$$h \cdot h_1 - h_2 = \zeta \frac{q}{k}, \quad (4-9)$$

სადაც  $h_1$  და  $h_2$  არის დაწნევები, შესაბამისად. კონტურის ელემენტის საწყის და ბოლო წერტილებში;

$\xi$  — ჩალაც პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც შეიძლება ეწოდოს კონტურის მოცემული ელემენტის წინაღობის კოეფიციენტი;

$q$  — ფილტრაციის ზედრითი ხარჯი;

$k$  — ფილტრაციის კოეფიციენტი.

დამკვეთელია, რომ  $\xi$  კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია კონტურის მოცემული ელემენტის მხოლოდ ფორმაზე და  $l/T$  ფარდობაზე, სადაც  $l$  ელემენტის რომელიმე ზომაა, ხოლო  $T$  — წყალსაკეის ჩაღრმავების სიდიდე. ამასთან ერთად წყალშედწევაზე ფუძე წარმოდგენილია როგორც თავისებური პორიზონტალური მილი, რომელსაც სიგრძეზე აქვს ცალკეული ადგილობრივი წინაღობანი.

თუ დავუშვებთ აგრეთვე, რომ კონტურის ცალკეული ელემენტის (უბნის) სიგრძეზე დაწნევის კარგვა წარმოებს წრფივი კანონით და ამასთანავე აღნიშნულ წნევის დაწკარავებს 1—2, 2—3, 3—4, 4—5 და 5—6 უბნებზე, შესაბამისად,  $h_1, h_{II}, h_{III}, h_{IV}$  და  $h_V$  სიდიდეებით. მაშინ ამ აღნიშვნების თანახმად ნაგებობაზე მოქმედი სრული დაწნევა

$$H = h_1 + h_{II} + \dots + h_V \quad \frac{q}{k} (\xi_1 \quad \xi_V) = \frac{q}{k} \Sigma \xi, \quad (4-10)$$

სადაც  $\Sigma \xi$  წინაღობის ჯამური კოეფიციენტია,

$$\frac{q}{k} \quad \frac{H}{\Sigma \xi}. \quad (4-11)$$

თუ გვეცოდინება  $H$  და  $\Sigma \xi$ , ძნელი არ არის განისაზღვროს დაწნევის დანაკარგები ცალკეულ უბნებზე, მაგალითად, პირველ უბანზე:

$$h_1 = \frac{q}{k} \xi_1 = \frac{\xi_1}{\Sigma \xi} H. \quad (4-12)$$

დადგენილია, რომ  $\xi$  წინაღობის კოეფიციენტი რიცხვითი მნიშვნელობანი არ არის დამოკიდებული ფილტრაციის მიმართულებაზე: მაგალითად, 3—6—4 ნარანდისათვის  $\xi$  რიცხვითი მნიშვნელობა არ შეიცვლება, თუ 4-11 ნახაზე მარჯვენა ბიფის წყლის დონეს ავწევთ მარცხენა ბიფის წყლის დონეზე მაღლა და ამით ვაძლეებთ წყალს იპოპაროს მარჯვნიდან მარცხნივ. ამასთან დაკავშირებით, როდესაც შესავალ და გამოსავალ უბნებს აქვთ ერთნაირი ფორმა და ზომები, მაშინ  $\xi_{ავ} = \xi_{გამ}$ : როგორც ვხედავთ, მსგავს შემთხვევებში უნდა ვიცოდეთ მხოლოდ სამი კოეფიციენტის მნიშვნელობა:  $\xi_{ავ}$  ან  $\xi_{გამ}$ ,  $\xi_a$  (პორიზონტალური უბნებისათვის) და  $\xi_{აკ}$  (ვერტიკალური ელემენტებისათვის). ამ კოეფიციენტთა მნიშვნელობანი მიღებულია მიახლოებითი პირობითი პირობითი ამონახსნების საფუძველზე.

1) შიგა ვერტიკალური ელემენტი (ნარანდი) (3—6—4 უბანი 4-11 ნახაზე): ა) შემთხვევა, როდესაც

$$\left. \begin{aligned} 0.5 \leq \frac{T_2}{T_1} \leq 1.0, \\ U \leq \frac{S_1}{T_2} \leq 0.8. \end{aligned} \right\} \quad (4-13)$$

$$\zeta_{\text{კ}} = \frac{a'_1}{T_1} + 1,5 \frac{s_1}{T_2} - \frac{0,5 \frac{s_1}{T_2}}{1 - 0,75 \frac{s_1}{T_2}}, \quad (4-14)$$

სადაც  $T_1$  და  $T_2$  არიან სიღრმეები მიწისქვეშა კონტურის ჰორიზონტალური უბნებიდან წყალსაკავამდე (ფაქტიურ ან საანგარიშო წყალსაკავამდე; იხ. ქვემოთ):

$a'_1$  — კონტურის საფეხურის სიღრმე;

$s_1$  — ნარანდის სიგრძე.

ბ) შემთხვევა, როდესაც

$$\left. \begin{aligned} 0,5 \leq \frac{T_2}{T_1} \leq 1,0. \\ 0,8 \leq \frac{s_1}{T_2} \leq 0,96. \end{aligned} \right\} \quad (4-15)$$

$$\zeta_{\text{კ}} = \frac{a'_1}{T_1} + 12 \left( \frac{s_1}{T_2} - 0,8 \right) + 2,2. \quad (4-16)$$

თუ ნარანდი არ არის, ე. ი.  $s_1 = 0$ , მაშინ რჩება მხოლოდ საფეხური, რომლის წინაღობის კოეფიციენტი (4—14) ზორმულის თანახმად

$$\zeta_{\text{კ}} = \frac{a'_1}{T_1}. \quad (4-17)$$

როდესაც  $T_1 = T_2 = T$ , ე. ი. საფეხური არ არის ( $a'_1 = 0$ ), (4—14) და (4—16) ფორმულები შესაბამისად მარტივდება.

წა და  $\zeta_{\text{კ}}$ , კოეფიციენტების რამდენადმე უფრო ზუსტი ქნიშვნელობანი მოცემულია სათანადო ლიტერატურაში<sup>1</sup>.

2) ჰორიზონტალური ელემენტებია. როდესაც ორ  $s_1$  და  $s_2$  ნარანდებს შორის მანძილია  $l$ , წყალსაკავის სიღრმე  $T$  და ამასთან  $l \geq 0,5(s_1 + s_2)$ , მაშინ შესაბამისი ჰორიზონტალური ელემენტის წინაღობის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$\zeta_{\text{კ}} = \frac{l - 0,5(s_1 + s_2)}{T}. \quad (4-18)$$

იშვიათ შემთხვევაში, როდესაც  $l \leq 0,5(s_1 + s_2)$ ,  $\zeta_{\text{კ}} = 0$ .

3) შესავალი (ან გამოსავალი) ელემენტი. განსახილველ შემთხვევაში 3—ა—4 უბნის ანალოგიურ 1—ა—2 უბნისათვის (ნახ. 4-11) წინაღობის კოეფიციენტის განსაზღვრავად საჭიროა  $\zeta_{\text{კ}}$  და  $\zeta_{\text{სკ}}$  ზემოთ მოყვანილ მნიშვნელობებს დამატოს წინაღობის კოეფიციენტის  $\zeta^0 = 0,44$  მნიშვნელობა შესავალ (ან გამოსავალ) უბანზე, სადაც ფილტრაციული დენები ილუნება ფაქერის ზედაპირიდან მიწისქვეშა კონტურის დასაწყისის (1-ლი წერტილი) ვერტიკალამდე, ე. ი. გვექნება

$$\zeta_{\text{კკ}} = \zeta_{\text{კ}} + \zeta_{\text{სკ}} + 0,44. \quad (4-19)$$

<sup>1</sup> И. Н. Павловский. Собрание сочинений, т. II. Движение грунтовых вод. Изд. АН СССР, М.—Л., 1956.

თუ  $s=0$  და რჩება მხოლოდ  $a$  საფეხური, მაშინ

$$\xi_{\text{შ}} = \xi_{\text{ა}} \quad \xi_{\text{ფ}} = 0,44.$$

(4-20)

კერძო შემთხვევაში, როდესაც  $s=0$  და  $a=0$ , კონტურის შესავალი ან გამოსავალი ელემენტი გადაიქცევა (1,2) წერტილად, რომლის წინალობის კოეფიციენტი  $\xi_{\text{შ}} = \xi_{\text{ა}} = 0,44$ .

დაწერილებითი ცნობები ისეთი მიწისქვეშა კონტურებისათვის, რომელთაც აქვთ დამატებითი ელემენტები (დრენაჟები და სხვა). მოცემულია სათანადო ლიტერატურაში.

მიწისქვეშა კონტურის პორიზონტალურ ელემენტებზე მოქმედი ფილტრაციული უქუწნევის ანგარიში წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით: უპირველეს ყოვლიანა. სხვადასხვაგვარი „დეტალების“ უქუფდებით მოცემულ მიწისქვეშა კონტურს რამდენადმე ეპარტივებთ. შემდეგ ვადგენთ საანგარიშო სიდიდეებს, როგორცაა: პორიზონტალური უბნების  $l_1$  და  $l_2$  სიგრძეები. მიწისქვეშა კონტურის პორიზონტალური პროექციის  $l_0$  საერთო სიგრძე. საფეხურებს  $a$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , სიმაღლები. ნაჩანდების  $s$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  სიგრძეები და მიწისქვეშა კონტურის ევრტიკალური პროექციის  $s_0$  საერთო სიგრძე, აგრეთვე  $T$ ,  $T_1$  და  $T_2$  სიღრმეები წყალსაკავამდე. ამის შემდეგ კი ზემოთ მოყვანილი ფორმულების საშუალებით განვსაზღვრავთ  $\xi_{\text{შ}}$ ,  $\xi_{\text{ა}}$ ,  $\xi_{\text{ფ}}$ ,  $\xi_{\text{ფ}}$ ,  $\xi_{\text{ფ}}$ ,  $\xi_{\text{ფ}}$  წინალობის კოეფიციენტებს. მათს

შეჯამს და მოცემულ // დაწნევის საშუალებით  $\frac{H}{\Sigma \xi}$  სიდიდეს. დაბოლოს,

(4-12) ფორმულით ვანგარიშობთ  $h_1, h_{II}, \dots$  წნევის დანაკარგებს კონტურის უბნებზე და ნათი საშუალებით ვავებთ წნევის დანაკარგების ტეხილ ნახს ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 4-11 ნახაზზე. ამასთან ერთად შეიძლება განისაზღვროს  $l_a$  საშუალო პილარულიკტივირადიენტებიც პორიზონტალურ უბნებზე.

სხვა მიხედვებითი მეთოდებისაგან განსხვავებით, წინალობის კოეფიციენტთა მეთოდი საშუალებას იძლევა გადავწყვიტოთ სხვადასხვა ფილტრაციული ამოცანები. რომლებიც დაკავშირებულია მიწისქვეშა კონტურების გეგმარებასთან წყალსაკავის ნებისმიერი მდებარეობის დროს ( $0 < T < \infty$ ).  $T$ -ს დიდ მნიშვნელობათა პირობებში წამოჭრილ სიმწელეთა დასაძლევად რ. ჩუგაევის მიერ შემოღებულ იქნა ფილტრაციის აქტიური ზონის ცნება, რაც საშუალებას იძლევა, ყოველ კონკრეტულ პირობებში, წინასწარ იქნეს განსაზღვრული წყალსაკავის ე. წ. საანგარიშო სიღრმე ( $T_{\text{სანგ}}$ ). ამის საფუძველზე განსაზღვრული ფილტრაციული უქუწნევის ეპიურის ფართობი პრაქტიკულად ტოლია იმ ეპიურის ფართობისა. რომელიც მიიღება წყალსაკავის უსასრულოდ დიდი სიღრმის დროს.

წყალსაკავის საანგარიშო სიღრმე ( $T_{\text{სანგ}}$ ) დამოკიდებულია  $l_0/s_0$  ფარდობაზე (ნახ. 4-11) და იგი აღებული უნდა იქნეს შემდეგნაირად:

$$\frac{l_0}{s_0} \begin{cases} \leq 5 & \left| \begin{array}{c} 5-3,4 \\ 3,4-1 \end{array} \right| & \left| \begin{array}{c} 1-0 \\ s_0+0,3l_0 \end{array} \right| \\ 0,5 & \left| \begin{array}{c} 2,5s_0 \\ 0,8s_0+0,5l_0 \end{array} \right| & \left| \begin{array}{c} s_0+0,3l_0 \\ s_0+0,3l_0 \end{array} \right| \end{cases}$$

უნდა გვახსოვდეს, რომ ფილტრაციული წნევის გაანგარიშების დროს ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც  $T$  ფაქტიური სიღრმე მეტია  $T_{\text{სანგ}}$ -ზე, საჭიროა

განგაობდება ჩატარდეს  $T_{ს.ს.ს}$  სავსეზე  $\lambda$ . ხოლო. თუ  $T < T_{ს.ს.ს}$ , მ.შინ ფაქტობრივის მიაღწევით.

### 3. წრფივი კონტურული ფილტრაციის მეთოდი

წრფივი კონტურული ფილტრაციის მეთოდი მარტივი და მიახლოებითაა, ამასთან, გამოყენებისათვის მეტად მოხერხებული. ამ გარემოებამ ხელი შეუწყო მის ფართო გავრცელებას პრაქტიკაში. ამ მეთოდში დაშვებულია, რომ დაწნევის ვარდნა ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურის (4-1 ნახაზზე 1—2—3—4—5. 6—7—8—9 ხაზის) გასწვრივ წარმოებს განვლილი გზის პირდაპირპროპორციულად (სწორი ხაზის კანონით). თუ კონტურის გაშლილი სიგრძეა  $L$ , მაშინ  $h$  დაწნევა მის ნებისმიერ წერტილში, რომელიც  $x$  მანძილზეა დაშორებული კონტურის ბოლოდან,

$$h = \frac{x}{L} H. \quad (4-21)$$

ეს ფორმულა იძლევა დამაკმაყოფილებელ სიზუსტეს გეგმაში „გალასტული“ ფლუტბეტებისათვის, რომელთაც არა აქვთ ნარანდები და ამასთან წყალსაკავი მცირე სიღრმეზეა მოთავსებული, ე. ი. როდესაც ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობა წარმოებს დაახლოებით „მილში“ მოძრაობის პირობებში.

მიწისქვეშა კონტურის გალასტული სქემების უფრო ზუსტი გაანგარიშებისათვის, როდესაც  $\frac{S}{\gamma_1} \leq 0,4$ ,  $\frac{I_n}{S_0} > 5$  და ნარანდების საშუალო სიღრმე  $0,5(S_1 + S_2)$  ძალიან მცირეა მათ შორის  $l$  მანძილთან შედარებით, შეიძლება ეისარგებლოთ იგივე (4-21) ფორმულით, მხოლოდ საჭიროა, რ. ჩუგაევის წინადადების თანახმად, სათანადოდ შესწორდეს გაშლილი კონტურის  $L$  სიგრძე. შედეგად ეღებულობთ ფორმულას

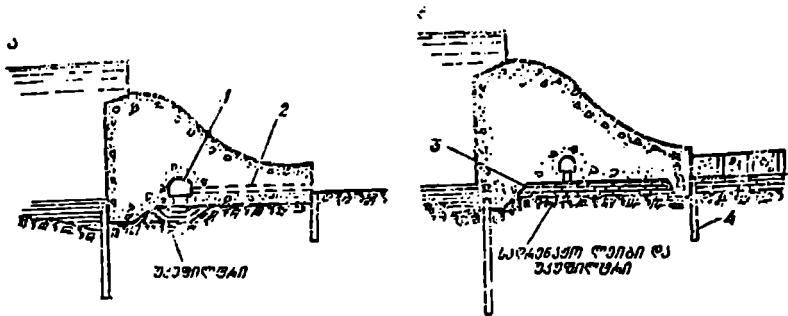
$$h = \frac{x}{L + 0,88 T_{ს.ს.ს}} H, \quad (4-22)$$

სადაც  $T_{ს.ს.ს}$  — არის წყალსაკავის საშუალო სიღრმე მოცემულ კონტურისათვის.

აღნიშნული შესწორება ითვალისწინებს დაწნევის ინტენსიურ ვარდნას ფილტრაციულ კონტურში შესვლისა და მისგან გამოსვლის დროს.

### 4. ფილტრაციული წნევის განსაზღვრა დრენაჟის შემთხვევაში

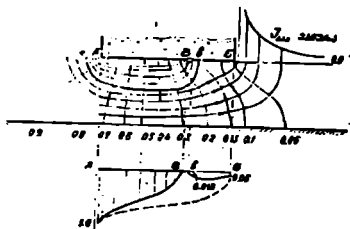
დრენაჟის მოწყობის შემთხვევაში ძირითადი ფილტრაციული ნაკადი იკრებიება მასში და სათანადო ვალერეიების ან წყალგამტარი ფენის საშუალებით გაიყვანება ქვედა ბიეფში. ცხადია, დრენაჟის შემთხვევაში ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური (ფილტრაციული კონტური) მთავრდება დრენაჟის დასაწყისში: გამონაკლის შეადგენს მხოლოდ მცირე ზომის დრენაჟები, რომლებიც მთლიანად ვერ აკრებენ ფილტრაციულ ნაკადს. მაგალითისათვის 4-12 ნახაზზე ნაჩვენებია არაკლდოვანი ფუძეების პირობებისათვის დრენაჟის მოწყობის ორი სქემა: ა) სადრენაჟო ვალერეა ნაგებობის საძირკველში (ან



ნახ. 4—12. კაშხალის დრენაჲის მოწყობის სქემები.

ტრანშეა გრუნტში საძირკველის ქვეშ); ბ) ბრტყელი ჰორიზონტალური დრენაჲი („სადრენაჲო ლიბი“), რომელიც წარმოადგენს ქვიშისა და ხრეშის ფენებზე მოთავსებულ ღორღის ან წვრილი ქვის ფენას, რომლითაც ფილტრაციული ნაკადი გაღის ქვედა ბიეფში; დრენაჲში ფენები განლაგებულია „უკუფილტრის“ წესით, ე. ი. ფილტრაციული ნაკადის მიმართულებით მარცვლების სიმსხოთა თანდათანობითი ზრდის რიგით. კლდოვანი და ანიზოტროპიული ქანების შემთხვევაში გაცილებით უფრო მიზანშეწონილია სადრენაჲო ქვების მოწყობა.

დრენაჲის მოწყობის შემთხვევაში ფილტრაციული ნაკადი თითქმის მთლიანად შთაინთქმება მასში. 4-13 ნახაზზე ნაჩვენებია ფილტრაციული ბადე და ფილტრაციული წნევის ეპიურა კაშხალისათვის, რომელსაც ქვედა წახნაგიდან სიგანის  $\frac{1}{3}$  მანძილზე დაშორებით საძირკველში მოწყობილი აქვს. სადრენაჲო ვალერეა ეპიურა შედგება ორი ტოტისაგან, მასზე პუნქტირით დატანილია წნევის ეპიურა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ნაგებობას არა აქვს დრენაჲი. როგორც აღნიშნული ნახაზიდან ჩანს, დრენაჲის გამოყენების დროს ჯამური ფილტრაციული წნევა შემცირდა დაახლოებით 1,5-ჯერ, ხოლო ფლუტბეტის ქვედა BC ნაწილში — 4-ჯერ. იმავე 4-13 ნახაზზე ნაჩვენებ ფილტრაციულ ბადეზე დატანილია სქელი ab ხაზი, რომელიც შემოსაზღვრავს დრენაჲში მიმავალი ხარჯის არეს, დანარჩენი არის ხარჯი მიღის ქვედა ბიეფში.



ნახ. 4—13. ფილტრაციული ბადე და ფილტრაციული წნევის ეპიურა ფუძის დრენაჲის დროს.

დრენაჲიანი ნაგებობის ფილტრაციული ანგარიშები სხვადასხვა პრაქტიკული შემთხვევისათვის (უნარანდო და ერთნარანდიანი კონტურებისათვის) ჩატარებული აქვთ ნ. მეღეშჩენკოს, ნ. ვერიგინს, ს. ნუმეროვს, ა. რომანოვს და სხვ. უფრო რთული მიწისქვეშა კონტურებისათვის ფილტრაციული ანგარიშები შეიძლება ჩატარდეს მიახლოებით, ეძღა-ს ან გრაფიკული მეთოდის გამოყენებით, ფილტრაციული ბადის აგების საფუძველზე.

ფილტრაციული ხარჯების სიდიდე სადაწნეო ჰიდრონაგეობათა ქვეშ და-  
მოკიდებულია ფუძეების გრუნტების ფილტრაციულ თვისებებზე, გეოლოგიურ  
პირლში მათი განლაგების ხასიათსა და ნაგებობის მიერ შექმნილ დაწნევაზე.  
მაგალითად, ქვიშოვან და თიხოვან გრუნტებში წყლის დანაკარგები ფილტრა-  
ციოზე მცირეა და მათ არა აქვთ პრაქტიკული მნიშვნელობა, მაგრამ მდინა-  
რეულ ხრეშოვან და კაჭაროვან გრუნტებში აღნიშნული დანაკარგები შეიძლე-  
ბა მნიშვნელოვანი იყოს.

ფილტრაციული ხარჯების განსაზღვრისათვის საჭიროა ნაგებობის გასწორ-  
ში მდინარის კალაპოტი დაიყოს უბნებად. მათ  $l_1, l_2, \dots, l_n$  სიგრძეთა დად-  
გენა უნდა მოხდეს ისეთნაირად, რომ თითოეული უბანი ხასიათდებოდეს ერთ-  
ნაირი გეოლოგიური პირობებით, კერძოდ, ერთნაირი ან უმნიშვნელოდ ცვა-  
ლებადი სისქის წყალშელწევადი ფენით. უბნების ხვედრითი ფილტრაციული  
ხარჯების განსაზღვრის შემდეგ გამოითვლება სრული ფილტრაციული ხარჯი  
როგორც ჯამი

$$Q = q_1 l_1 + q_2 l_2 + \dots + q_n l_n = \sum_{i=1}^{i=n} q_i l_i \quad (4-23)$$

ხვედრითი ხარჯების განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს  
ზუსტი და მიახლოებითი მეთოდები, კერძოდ, ის მეთოდები, რომლებიც გამო-  
იყენებიან ფილტრაციული წნეეების განსაზღვრისათვის (იხ. § 4-1 და 4-2).  
მათგან ყველაზე უფრო სრულყოფილია ჰიდროდინამიკური მეთოდი, რომელიც  
ეყრდნობა ფილტრაციული ბადის გამოყენებას, თუმცა რთული კონტურების  
შემთხვევაში იგი აწყდება გარკვეულ სიძნელეებს.

პრაქტიკულად ფრიალ მოხერხებულია და ამასთან საკმარისად ზუსტიც  
წინაღობის კოეფიციენტთა მეთოდი, რომლის მიხედვით ხვედრითი ფილტრა-  
ციული ხარჯი შეიძლება განისაზღვროს (4—11) ფორმულით

$$q = \frac{kH}{\Sigma \zeta} \quad (4-24)$$

სადაც  $\Sigma \zeta$  ჯამში შემავალი წინაღობის კოეფიციენტები განისაზღვრება  
წყალსაკავის არა საანგარიშო, არამედ ნამდვილი სიღრმის მიხედვით.

დარენაჟის შემთხვევაში ფილტრაციული ხარჯი შეიძლება განისაზღვროს  
ანალიზური გზით იმ ამონახსნების საფუძველზე, რომელთა შესახებ ზემოთ  
იყო ნათქვამი (იხ. § 4-2), აგრეთვე გრაფიკული ან ექსპერიმენტული მეთო-  
დით ჰიდროდინამიკური ბადის აგების საფუძველზე.

§ 4-4. ფილტრაციული დეფორმაციები ნაგეობათა ფუძეებში

ფილტრაციის შედეგად ნაგებობათა ფუძეებში შეიძლება განვითარდეს  
სხვადასხვა მოვლენები, კერძოდ, შეუკავშირებელ გრუნტების შემთხვევაში  
ფილტრაციის გარკვეული სიჩქარის დროს ფუძის რომელიმე ზონაში შეიძლება  
დაიწყოს გრუნტის წვრილი და უწვრილესი ნაწილაკების მოძრაობა უფრო  
მსჭვილ ნაწილაკებს შორის არსებულ ფორებში და მათი გატანა ქვედა ბიფე-



ში. ასევე, კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში ფილტრაციულმა წყალმა შეიძლება იმოქმედოს ქანებზე ქიმიურად, ე. ი. მოახდინოს მათში შემავალი მარილების გახსნა და გატანა ქვედა ბიეფში. ყველა ეს პროცესი იწვევს ფუძეების დასუსტებას, რასაც თან სდევს მათი და ნაგებობების დაჭლომა. ამ მოვლენებს გრუნტების ს უ ფ ო ზ ი ა ს უწოდებენ.

ნაგებობის ფუძეში შეიძლება განვითარდეს სხვა მოვლენებიც, კერძოდ, წარმოქმნილი ფილტრაციული წნევის შედეგად შეიძლება დაირღვეს გრუნტის მთელი მასის წონასწორობა და მოხდეს მისი გადაადგილება. ამ მხრივ ყველაზე საშიშია ის ზონა, სადაც ფილტრაციული ნაკადი გამოდის ქვედა ბიეფში, რადგან ფილტრაციული წნევა მიმართულია ქვემოდან ზემოთ და მას შეუძლია გ რ უ ნ ტ ი ს ფ ი ლ ტ რ ა ც ი უ ლ ი ა მ ო ბ უ რ ც ვ ა გამოიწვიოს. ამის გარდა, ფილტრაციის დროს მოსალოდნელია აგრეთვე გრუნტის კ ო ნ ტ ა ქ ტ უ რ ი გ ა რ ე ც ბ ვ ა და კ ო ნ ტ ა ქ ტ უ რ ი ა მ ო ბ უ რ ც ვ ა — წვრილმარცვლოვანი გრუნტების დაშლის მოვლენები უფრო მსხვილმარცვლოვან გრუნტებთან კონტაქტის ადგილებში, შესაბამისად, კონტაქტის გასწვრივ და მის მართობულად.

### 1. გრუნტის სუფოზია

ერთმანეთისაგან განარჩევენ სუფოზიის ორ სახეობას: ქიმიურსა და მექანიკურს.

ქიმიური სუფოზიის მოვლენებს ვხვდებით უმთავრესად კლდოვან დანალექ ქანებში, ამასთან ეს პროცესი განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს ისეთ ქანებში, რომლებიც შეიცავენ თაბაშირს, ქვამარილს და სხვა ადვილად ხსნად ნივთიერებებს, რომელთა გამოტუტვა იწვევს კ ა რ ს ტ ე ბ ი ს გაჩენას. არაკლდოვან გრუნტებში ქიმიური სუფოზიის მოვლენებს შედარებით იშვიათად ვხვდებით.

მექანიკური სუფოზია დამახასიათებელია არაკლდოვანი გრუნტებისათვის, გამონაკლისს შეადგენს თიხოვანი გრუნტები, რომელთაც გააჩნიათ საგრძნობი შექიდილობა. გრუნტის სტრუქტურაზე და შემადგენლობაზე დამოკიდებულებით წვრილი ნაწილაკების გამორეცხვამ შეიძლება წარმოშვას კავერნები ან სიციარიელები, დასუსტებული ზონები და წყაროები; მათ შედეგად კი ნაგებობამ შეიძლება განიცადოს არათანაბარი დაჭლომა. უფრო მეტიც, მექანიკური სუფოზიის პროცესის შემდგომი განვითარების შედეგად მოსალოდნელია ავარია და ნაგებობის დანგრევა. წვრილი ნაწილაკების გამოტანა მაშინ არ გამოიწვევს ნაგებობის დაჭლომას, თუ ეს ნაწილაკები ავსებენ მზიდი გრუნტის ჩონჩხის ფორებს, მაგრამ ამ შემთხვევაში იზრდება ფილტრაციული ხარჯი. მასასადამე, ნაგებობის დაჭლომა მოსალოდნელია მხოლოდ მაშინ, თუ დაიწყება მზიდი გრუნტის ჩონჩხის ნაწილაკების გამოტანა.

რომელიმე მიმართულებით დაწყებული სუფოზია შეიძლება თავისთავად შეწყდეს ნაწილაკების სავალის თვითდახშვის შედეგად. წარმოშობილ „საცობში“ ნაწილაკები აღმოჩნდება დალაგებული დინების მიმართულებით სიმსხოთა თანდათანობითი ზრდის რიგით. ნაწილაკების განლაგების ასეთნაირ ფორმას უ კ უ ფ ი ლ ტ რ ი, ანუ ამ შემთხვევაში ბუნებრივი ფილტრი ეწოდება.

სუფოზიის ანგარიშის დროს მთავარი მნიშვნელობა ენიჭება იმ სიჩქარის ან გრადიენტის დადგენას, რომლის დროსაც იწყება აღნიშნული მოვლენა.

ამისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს რიგი მიახლოებითი ხერხებისა, მაგალითად, ტიმის ხერხი, სტოქსის, ჯასტინის, ზინარტის ფორმულები და სხვ. მაგრამ ისინი იძლევიან გამრეცხი ფილტრაციული სიჩქარეების გადიდებულ მნიშვნელობებს. უფრო მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ ექსპერიმენტული მონაცემებით, კერძოდ, ვ. ისტომინას საკმარისად დაწვრილებითი გამოკვლევებით<sup>1</sup>, რომლებითაც დადგენილია, რომ შეუქავშირებელ გრუნტებში სუფოზია დამოკიდებულია მათ არაერთგვაროვნებაზე. ამ მაჩვენებლის შეფასება

წარმოებს  $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  არაერთგვაროვნების კოეფიციენტის მიხედვით, სადაც  $d_{60}$

და  $d_{10}$  არის გრუნტის გრანულომეტრული მრუდიდან აღებული დიამეტრები იმ მარცვლებისა, რომლებიც უფრო მცირე დიამეტრის მარცვლებთან ერთად შეადგენენ მისი წონის 60 და 10%.

ზემოთ მიმართული ფილტრაციის დროს სუფოზია მოსალოდნელია ისეთ შეუქავშირებელ გრუნტებში, რომელთა არაერთგვაროვნების კოეფიციენტი  $\eta > 10 \div 20$  დაამასთან წვრილი ნაწილაკების გასატანად არსებობს ფილტრაციის განსაზღვრული  $v$  სიჩქარე ან  $l = \frac{v}{k}$  გრადიენტი, რომელიც განისაზღვრება ექსპერიმენტულად. ვ. ისტომინას მიერ ჩატარებული ცდების მონაცემების მიხედვით შეიძლება მიახლოებით მივიღოთ, რომ შეუქავშირებელ გრუნტებში სუფოზია არ წარმოიქმნება თუ დატულია შემდეგი პირობები:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \left| \begin{array}{l} < 5 \div 10 & 10 \div 20 & > 20 \\ I = \frac{v}{k} & < 0,4 & < 0,25 \div 0,30 & < 0,15 \div 0,20 \end{array} \right|$$

სუფოზიას განსაკუთრებით განიცდის ქვიშა-ხრეშოვანი გრუნტები, რომლებისთვისაც  $\eta$  ჩვეულებრივ მერტია 10—20. იმავე ცდების მონაცემებით მიახლოებით დადგენილია, რომ სუფოზია მოსალოდნელია განვითარდეს ისეთ გრუნტებში, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტი  $k > 0,02 \div 0,25$  სმ/წმ.

განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო ნაგებობათა გეგმარების დროს სუფოზიის მოვლენის შესასწავლად და, მაშასადამე, გამრეცხი გრადიენტების დასაზუსტებლად რეკომენდებულია ჩატარდეს სპეციალური ცდები.

## 2. გრუნტის ფილტრაციული ამობურცვა

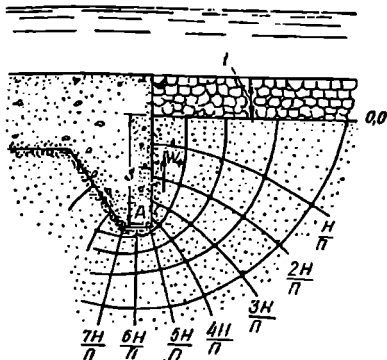
გრუნტების მექანიკიდან ცნობილია, რომ გრუნტში მყონავი წყალი მასზე ახდენს ჰიდროდინამიკურ წნევას, რომელიც გრუნტის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია დენის წირის მხებად ამ წერტილში. გრუნტის ერთეულ მოცულობაზე მოქმედი ჰიდროდინამიკური (ფილტრაციული) წნევა გამოისახება სიდიდით

$$W_{\Phi} = \gamma I \text{ ტ/მ}^2, \quad (4-25)$$

სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა, ტ/მ<sup>3</sup>;

$I$  — ფილტრაციული გრადიენტი გრუნტის აღებული მოცულობის ფარგლებში.

<sup>1</sup> В. С. Истоминна. Фильтрационная устойчивость грунтов, Госстройиздат, М., 1957.



ნახ. 4-14. ფუძის გრუნტის ფილტრაციული ამობურცის საანგარიშო სქემა.

ზედა ბიეფის ზონაში აღნიშნული წნევა მიმართულია ზემოდან ქვემოთ, ე. ი. ფუძის გრუნტი დებულობს დამატებით დატვირთვას, რაც ხელს უწყობს მის გამკვრივებას. ქვედა ბიეფის ზონაში დენის წირები და, მაშასადამე, პილროდინამიკური წნევის ძალები უპირატესად მიმართულია ზემოთ (ნახ. 4-14) და ცდილობენ ასწიონ გრუნტი. ამას კი ეწინააღმდეგება იმავე მოცულობის გრუნტის წონა.

თუ უკანა კბილის ზონაში განვიხილავთ გრუნტის ერთეულ მოცულობას, მაშინ, ზემოაღნიშნულის თანახმად, მასზე მოქმედ  $W_{\text{გ}}$  პილროდინამიკურ წნევის წინააღმდეგობას გაუწევს ამ მოცულობის წონა  $\gamma_{\text{ზგ}} = \gamma_1 - \gamma(1-n)$ , სადაც  $\gamma_1$  გრუნტის მოცულობითი წონაა ჰაერში;  $n$  — გრუნტის ფარდობითი ფორიანობა. ჩვეულებრივ, მდგრადობის მხარაგის მიზნით, გრუნტის აღებულ მოცულობასა და დანარჩენ მასას შორის, აგრეთვე ფლუტბეტის (კბილის) ზედაპირს შორის ზახუნის ძალები, ხოლო თიხოვანი გრუნტების შემთხვევაში — აგრეთვე შექიდელების ძალები მხედველობაში არ მიიღება. მაშინ გრუნტის გამოყოფილი ერთეული მოცულობის წონასწორობის პირობა ასე ჩაიწერება:

$$\gamma I = \gamma_{\text{ზგ}} = \gamma_1 - \gamma(1-n),$$

საიდანაც

$$I_{\text{კ}} = \frac{\gamma_{\text{ზგ}}}{\gamma} = \frac{\gamma_1}{\gamma} - (1-n). \quad (4-26)$$

თუ ფილტრაციული გრადიენტი აღმატება მიღებული კრიტიკული გრადიენტის მნიშვნელობას, მაშინ გრუნტის მასა ზემოთ იწევს და წარმოებს ეგრეთ წოდებული გრუნტის ფილტრაციული ამობურცვა, რასაც თან ახლავს კატასტროფული შედეგები ნაგებობისათვის. მდინარეული ქვიშოვანი და თიხოვანი გრუნტებისათვის კრიტიკული გრადიენტი იცვლება  $I_{\text{კ}} = 0,9-1,5$  შუალედში, ხოლო ზოგჯერ იგი აღწევს უფრო მეტ სიდიდეს. ვ. ისტომინანს მიერ ჩატარებული გამრკველებების თანახმად, კრიტიკული გრადიენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია გრუნტის გრანულომეტრულ შემადგენლობაზე.

ამობურცვის მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა, რომ  $I < I_{კა}$  ანდა თუ გავითვალისწინებთ მარაგის  $m$  კოეფიციენტს ( $m = 1,5 \div 2,5$ ), მაშინ

$$mI = I_{კა}, \quad (4-27)$$

სადაც  $I$  არის ფილტრაციული ნაკადის გრადიენტი ქვედა ბიეფში ან დრენაჟში გამოსვლის ადგილში.

თუ ფლუტბეტი არ არის ჩაღრმავებული გრუნტში და ამასთანავე არ გააჩნია საფეხური, მაშინ გამოსასვლელში უდიდეს გრადიენტს ადგილი ექნება უშუალოდ ფლუტბეტის უკან. ფლუტბეტიდან დაშორების კვალობაზე იგი სწრაფად ეცემა (ნახ. 4-13).

როდესაც ფლუტბეტი ბოლოვდება  $s$  სიმაღლის კბილით ან ნარანდით და ამასთანავე ფილტრაციული წყლების გამოსვლის უბანი ქვედა ბიეფში დაფარულია  $t$  სისქის მიტვირთვის ფენით (უქუფილტრით, წყალსაცემი ფილით და სხვ.), მაშინ საჭიროა შემოწმდეს გრუნტისა და მიტვირთვის მთელი  $s+t$  სიმაღლის სვეტის წონასწორობა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე წონასწორობის პირობას ექნება სახე

$$\gamma_{ჩხ} \leq \gamma_{აგ} s + \gamma_{აგ} t + c, \quad (4-28)$$

სადაც  $\gamma_{ჩხ}$  არის ფილტრაციული წნევა ნარანდის (კბილის) ბოლოში (A წერტილში);

$\gamma_{აგ}$  — მიტვირთვის მოცულობითი წონა წყალში;

$c$  — ქერის წინაღობა გრუნტისა გრუნტზე (შეჭიდულობა);

თუ მარაგის მიზნით ჩათვლით, რომ  $c=0$  (შეუკავშირებელი გრუნტებისათვის ეს ასეც არის), მაშინ კბილის ზონაში საშუალო გრადიენტისათვის (4-28) გამოსახულებიდან ვღებულობთ მნიშვნელობას

$$I_{აგ} = \frac{\gamma_{ჩხ}}{s} \leq \frac{\gamma_{აგ}}{\gamma} + \frac{\gamma_{აგ}}{\gamma} \cdot \frac{t}{s}$$

ანდა

$$I_{აგ} \leq I_{კა} + \frac{\gamma_{აგ}}{\gamma} \cdot \frac{t}{s}. \quad (4-29)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც მიტვირთვის ფენა არ არის ( $t=0$ ), მაშინ ვღებულობთ  $I_{აგ} \leq I_{კა}$ . ანგარიშის დროს მარაგისათვის  $I_{აგ}$  მნიშვნელობას ამრავლებენ  $m$  კოეფიციენტზე.

### მ. გრუნტის კონტაქტური ამობურცვა

კონტაქტური ამობურცვის მოვლენა უმთავრესად მოსალოდნელია განვითარდეს ქვიშა-ხრეშოვან გრუნტებში, საერთოდ კი წვრილ და მსხვილმარცვლოვან გრუნტებში. კონტაქტის ადგილებში, კერძოდ: ქვედა ბიეფში ფილტრაციული ნაკადის გამოსვლის ადგილებში რისბერმის ქვეშ ან დრენაჟში, კაშხალის ტანის ან წყალსაცემის ქვეშ, მსხვილმარცვლოვან შუაშრეში, აგრეთვე უქუფილტრებში. ქვიშებში ეს მოვლენა შემდეგნაირად მიმდინარეობს: აღმაველი ფილტრაციული ნაკადის ზემოქმედებით ჯერ წარმოებს ქვიშის გატანა ხრეშის (ან საერთოდ მსხვილმარცვლოვანი გრუნტის) ფენაში და მათ შორის კონტაქტის გამრუდება, ხოლო შემდეგ ფილტრაციული გრადიენტის გაზრდის შედეგად მისი დაშლა, ე. ი. მსხვილმარცვლოვანი ფენის დაჭლომა ქვიშაში და მათი

არევა. ამობურცვის მოვლენის ხასიათი დამოკიდებულია მეზობელი ფენების ნაწილაკების დიამეტრების ფარდობაზე, ფილტრაციული გრადიენტების სიდიდესა და ზოგიერთ სხვა ფაქტორზე.

კონტაქტური ამობურცვა შეიძლება განვითარდეს თიხოვან გრუნტებშიც, მაგრამ იგი თიხებში წარმოებს სხვადასხვანაირად, ვიდრე ქვიშებში. იმისათვის, რათა თავიდან ავიცილოთ ეს მოვლენა და, მასასადავე, არ მოხდეს მიტვირთვის ფენის ჩაჯდომა თიხოვან ფენაში, საჭიროა სათანადოდ შეირჩეს მიტვირთვის პირველი ფენის მარცვლების სიმსხო ლაბორატორიული გამოკვლევების საფუძველზე. შეიძლება აგრეთვე ვისარგებლოთ ვ. ისტომინას ზემოხსენებულ გამოკვლევებითაც.

#### 4. კონტაქტური გარეცხვა

ორი სხვადასხვა სიმსხოს შეუკავშირებელი გრუნტის (მაგალითად, ქვიშისა და ხრეშის) კონტაქტის გასწვრივ მიმართული ფილტრაციული ნაკადის ზემოქმედებით შეიძლება მოხდეს ამ კონტაქტის დაშლა. ასეთივე კონტაქტური გარეცხვა მოსალოდნელია უკუფილტრებში, აგრეთვე ნაგებობათა ბუნებრივი ფუძეების მსხვილმარცვლოვან შუაწრებში.

ბუნებრივ შეუკავშირებელ გრუნტებში კონტაქტურ გარეცხვებზე ჩატარებულ გამოკვლევების საფუძველზე მიღებულია დამოკიდებულება (გრაფიკი) „დამშლელ გრადიენტსა“ და ფენათა ეფექტური დიამეტრების ფარდობას შორის უფრო წვრილმარცვლოვანი გრუნტის ხახუნის  $\xi_{ფ}$  კოეფიციენტის გათვალისწინებით. აღნიშნული გრაფიკის თანახმად, როდესაც ფარღ  $\frac{D_{10}}{d_{10} \xi_{ფ}} \leq 10$ , კონტაქტის გასწვრივ დასაშვებია  $I_{აა} > 1,3$  გრადიენტები, ხოლო, როდესაც  $\frac{D_{10}}{d_{10} \xi_{ფ}} > 10$ , მაშინ  $I_{აა}$  სიდიდეები მცირდება 0,1—0,02-მდე. გრაფიკით სარგებლობისას საჭიროა გავითვალისწინოთ 1,5 მარაგის კოეფიციენტი<sup>1</sup>.

შეკავშირებული (თიხოვანი) გრუნტების კონტაქტური გარეცხვა ჯერჯერობით ხაკლებადაა შენწავილილი. წინასწარი მონაცემებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ისეთ შეკავშირებულ გრუნტებში, რომელთა ტენიანობის კოეფიციენტი  $G \geq 0,95$  და მეზობელი ხრეშოვანი გრუნტის მინიმალური დიამეტრი  $D_{ფ} = 3$  მმ, დამშლელი გრადიენტი

$$I_{აა} \leq 0,6 \div 0,8.$$

#### 5. გრუნტის დეფორმაციები ნაგებობისა და მისი ფუძის კონტაქტში

პილრონაგებობის ძირისა და ფუძის გრუნტის კონტაქტში შეიძლება წარმოიქმნას წყლის გაძლიერებული ფილტრაცია, რასაც თან ახლავს გრუნტის ნაწილაკების გამოტანა და ნაგებობის ავარია. ეს მოხდება მაშინ, როდესაც არ არსებობს მჭიდრო კონტაქტი ნაგებობასა და მის ფუძეს შორის (მიწისქვეშა კონტურის ელემენტებისათვის საკრები ბლოკების ან ხის ფენილელების გამოყენების შემთხვევაში), აგრეთვე, როდესაც მჭიდრო კონტაქტი ირღვევა ხისტი ნაგებობის არათანაბარი დაჯდომის გამო, რაც ფუძის არაერთგვაროვნებით

<sup>1</sup> ეს საკითხები უფრო ერცლად გაშუქებულია ე. ისტომინას ზემოხსენებულ წიგნში.

შიძლება იყოს გამოწვეული. თუკი ნაგებობის დაბეტონება წარმოებს უშუალოდ მოპზადებულ ფუძეზე, მაშინ წყლის ფილტრაცია კონტაქტის გასწვრივ არაფრით არ განსხვავდება იმ ფილტრაციისაგან, რომელიც წარმოებს გრუნტის შიგნით, ასეთ შემთხვევებში ნაგებობის ძირისა და მისი ფუძის კონტაქტში გრუნტის დეფორმაცია მოსალოდნელი არ არის.

ფუძის გრუნტის ფილტრაციული დაშლის ზემოხსენებული სახეობა ნაკლებადაა შესწავლილი ნატურაში, რადგან იგი შიძლება გამოვლინდეს მხოლოდ ნაგებობის ავარიის შედეგად, ხოლო ავარიის შემდეგ კი შეუძლებელია აღვადგინოთ გრუნტის ის მდგომარეობა, რომელიც წინ უძლოდა მის დაშლას. ფილტრაციული დაშლის ეს პროცესი რამდენადმე უფრო გულდასმით გამოკვლეულია ლაბორატორიულ პირობებში. ამ გამოკვლევებით დადასტურებულია, რომ ეს პროცესი შიძლება სწრაფად აღიკვეთოს ან საერთოდ არ წარმოიქმნას მაშინ, როდესაც ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური ბოლოვდება ნარანდით ან კბილით (ნახ. 4-11 და 4-14).

არაკლოვან ფუძეებზე აგებულ ჰიდრონაგებობათა ექსპლუატაციის პრაქტიკაში დაგროვდა მონაცემები დანგრეულ და ღრმად უავარიოდ მოქმედ ნაგებობებისა და მათი ფუძეების შესახებ. ამ მონაცემების საფუძველზე მრავალი მკვლევარი შეეცადა დაედგინა ფილტრაციის ზღვრული გრადიენტები მიწისქვეშა კონტურისა და ფუძის კონტაქტში. მაგალითად, ვ. ბლაის წინადადებით ფუძის სხვადასხვაგვარი გრუნტებისათვის, დაწყებული ლამიდან და უწყრილესი ქვიშიდან ხრეშამდე, ზღვრული საშუალო გრადიენტებისათვის, რომლებიც განისაზღვრებიან  $H$  დაწინების გაყოფით მიწისქვეშა კონტურის  $L$  გაშლილ სიგრძეზე  $(I_{\text{შ. ს.}} = \frac{H}{L})$ , რეკომენდებულია, შესაბამისად, მნიშვნელობანი  $0,055 \div 0,2$ . მხედველობაში მიიღო რა კონტურის ვერტიკალური გზების დიდი ეფექტურობა დაწინების შთანქმეში, ე. ლენის წინადადებით კონტაქტში ზღვრული საშუალო გრადიენტები განისაზღვრება როგორც ნაგებობის  $H$  დაწინების შეფარდება ვერტიკალურ გზებზე დაყვანილ მიწისქვეშა კონტურის  $L_0$  საერთო სიგრძესთან  $(I_{\text{შ. ს.}} = \frac{H}{L_0})$ , სადაც  $L_0$  დაყვანილ სიგრძეში ვერტიკალური გზები შედის უცვლელი ზომით, ხოლო ჰორიზონტალური — სამჯერ შემცირებული სიგრძით) და მათი მნიშვნელობანი გრუნტებისათვის, დაწყებული ლამიდან და ძალიან წვრილი ქვიშიდან ხრეშამდე, აღებული უნდა იქნეს  $0,12$ -დან  $0,67$ -მდე შუალედში.

რ. ჩუგაევის წინადადებით, როდესაც  $l \geq s$ , ფილტრაციის ზღვრული (მაკონტროლებელი) გრადიენტები მიწისქვეშა კონტურისა და ფუძის გრუნტის კონტაქტში შიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$I_{\text{შ. ს.}} = \frac{H}{T_{\text{ს. ა. ნ.}} \Sigma \zeta} \quad (4-30)$$

სადაც მიღებულია იგივე აღნიშვნები, რაც (4-11) ფორმულაში და 4-11 ნახაზზე.

თუკი  $l \geq (5 \div 10) s$ , მაშინ შიძლება მივიღოთ  $I_{\text{შ. ს.}} = I_{\text{ა. ნ. ა.}}$ , სადაც  $I_{\text{ა. ნ. ა.}}$  არის გრადიენტები კონტურის ჰორიზონტალურ უბნებზე. მაკონტროლებელი

გრადიენტების დასაშვები მნიშვნელობა ცვალებადობს 0,12—0,16-დან 0,5—0,65-მდე და აიღება ფუძის გრუნტისა და ნაგებობის კაპიტალობის კლასის მიხედვით სათანადო ცხრილიდან.

### 6. მიწისქვეშა კონტურის სიგრძის წინასწარი განსაზღვრა

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ზემოთ მიღებული ზღვრული საშუალო გრადიენტების საფუძველზე შეიძლება წინასწარ იქნეს განსაზღვრული მიწისქვეშა კონტურის მინიმალური საერთო სიგრძე, რომელიც უზრუნველყოფს ფუძის გრუნტის ფილტრაციულ სიმტკიცეს (ე. ი. სიმტკიცეს სუფოზიასა და ამობურცვაზე). მაგალითად, ვ. ბლაის მიხედვით

$$L \geq CH, \quad (4-31)$$

სადაც  $C$  კოეფიციენტი (ზღვრული ფილტრაციული გრადიენტის შებრუნებული სიდიდე), რომლის მნიშვნელობა აიღება გრუნტის ზასიათის მიხედვით ვ. ბლაის მიერ შედგენილი ცხრილიდან.

ე. ლენის მიხედვით დაყვანილი სიგრძე

$$L_0 = L_a + \frac{1}{3} L_b \geq C_0 H, \quad (4-32)$$

სადაც  $C_0$  ანალოგიური კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა აიღება ე. ლენის მიერ შედგენილი ცხრილიდან;

$L_a$  — კონტურის ვერტიკალური უბნების ჯამური სიგრძე;

$L_b$  — კონტურის პორიზონტალური უბნების ჯამური სიგრძე.

როგორც თანამედროვე გამოკვლევებმა გვიჩვენა, ვ. ბლაისა და ე. ლენის მეთოდები იძლევა კონტურის მნიშვნელოვნად გაზრდილ ზომებს, განსაკუთრებით ეს ითქმის ვ. ბლაის მეთოდზე. ამიტომ მათი გამოყენება დასაშვებია მხოლოდ წინასწარ სავარაუდო ანგარიშების დროს.

ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურის ზომების წინასწარ დასადგენად უფრო მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ იმ მითითებებით, რომლებიც მოცემულია ვოდეგო-ს გამოკვლევებში<sup>1</sup>, ანდა რ. ჩუვაევის ზემოხსენებული უახლესი გამოკვლევებით, რომლებიც რეკომენდებულია ამჟამად მოქმედი ტექნიკური პირობებითა და ნორმებით.

რ. ჩუვაევის მიხედვით ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური უნდა დაგეგმარდეს ისეთნაირად, რომ დატულ იქნეს პირობა

$$I_{0,2} \leq (I_{0,2})_{\text{დას}}, \quad (4-33)$$

სადაც  $I_{0,2}$  არის კონტურის მოცემული ზომების მიხედვით გამოთვლილი „მოქმედი“ მაკონტროლებელი გრადიენტი (4—30);

$(I_{0,2})_{\text{დას}}$  — დასაშვები მაკონტროლებელი გრადიენტი, რომლის მნიშვნელობა აიღება ზემოხსენებული ცხრილიდან გრუნტის ზასიათისა და ნაგებობის კაპიტალობის კლასის შესაბამისად.

მიწისქვეშა კონტურის ძლიერ ვალასტული სქემის შემთხვევაში მისი მინი-

<sup>1</sup> Указания по проектированию подземного контура водоподпорных сооружений на песчаных основаниях, Госстройиздат, М., 1960.

მალური სიგრძე წინასწარ შეიძლება განისაზღვროს ჰორიზონტალური უბნების მაკონტროლებელი გრადიენტის შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$I_{\text{საგ}} = \frac{H}{L + 0,88 T_{\text{საგ}}}, \quad (4-34)$$

საიდანაც საძიებელი მინიმალური სიგრძე

$$L_{\text{მინ}} = \frac{H}{(I_{\text{საგ}})_{\text{მინ}}} - 0,88 T_{\text{საგ}}. \quad (4-35)$$

აქ  $H$  არის ნაგებობაზე მოქმედი საანგარიშო დაწნევა;

$T_{\text{საგ}}$  — საანგარიშო წყალსაქავეის საშუალო ჩაღრმავება;

$(I_{\text{საგ}})_{\text{მინ}}$  — მაკონტროლებელი გრადიენტის ზემოზსენებული დასაშვები მნიშვნელობა.

მიღებული (4—35) ფორმულის გამოყენების დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ წყალსაქავეის საანგარიშო ზედაპირი ყოველთვის დაემთხვევა წყალსაქავეის ნამდვილ ზედაპირს, თუ ეს უქანასქნელი არ არის ღრმად მოთავსებული, ე. ი. როდესაც

$$T_{\text{საგ}} \leq 0,5 l_0, \quad (4-36)$$

სადაც  $l_0$  არის მიწისქვეშა კონტურის ჰორიზონტალური პროექციის სიგრძე;

$T_{\text{საგ}}$  — ნამდვილი წყალსაქავეის ჩაღრმავება მიწისქვეშა კონტურის ყველაზე მაღლა მდებარე წერტილიდან.

შედარებით ღრმად განლაგებული წყალსაქავეის შემთხვევაში, რომლის დროს (4—36) პირობა არ არის დაცული,  $L_{\text{მინ}}$  განსაზღვრისათვის (4—35) ფორმულის ნაცვლად უფრო მოხერხებულია ვისარგებლოთ შემდეგი საანგარიშო დამოკიდებულებით:

$$L_2 + 1,5 L_1 = \frac{H}{(I_{\text{საგ}})_{\text{მინ}}}, \quad (4-37)$$

სადაც

$$L_2 + L_1 = L_{\text{მინ}}. \quad (4-38)$$

ამასთან აქ  $L_2$  და  $L_1$ , შესაბამისად, წარმოადგენენ მიწისქვეშა კონტურის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური უბნების ჯამურ სიგრძეებს.

ცხადია,  $L_{\text{მინ}}$  განსაზღვრისას ზოგჯერ საჭირო ხდება (4—35) და (4—37) ფორმულები ამოიხსნას შერჩევით, რადგან ანგარიშის დასაწყისში ცნობილი არ არის მონაცემები  $l_0$  შესახებ, რომელიც განსაზღვრავს საანგარიშო წყალსაქავეის.

#### § 4-6. ფილტრაციის კლდოვან ფუძეებზე აგებულ ნაგებობათა ძეგლები

##### 1. ფილტრაციული წნევების განსაზღვრა

კლდოვან ფუძეში ფილტრაცია ძირითადად წარმოებს ბზარების საშუალებით; იგი არ ემორჩილება დარსის კანონს და თეორიულად სუსტადაა შესწავლილი. ბზარების წარმოშობა შეიძლება დაკავშირებული იყოს სხვადასხვა მოვლენებთან, როგორცაა: ტექტონიკური პროცესები და დისლოკაციები (ნახსენებები, ძვრები, ფენათა გადაღუნვები), გამოფიტვა, ქანების გახსნა აფეთქებით



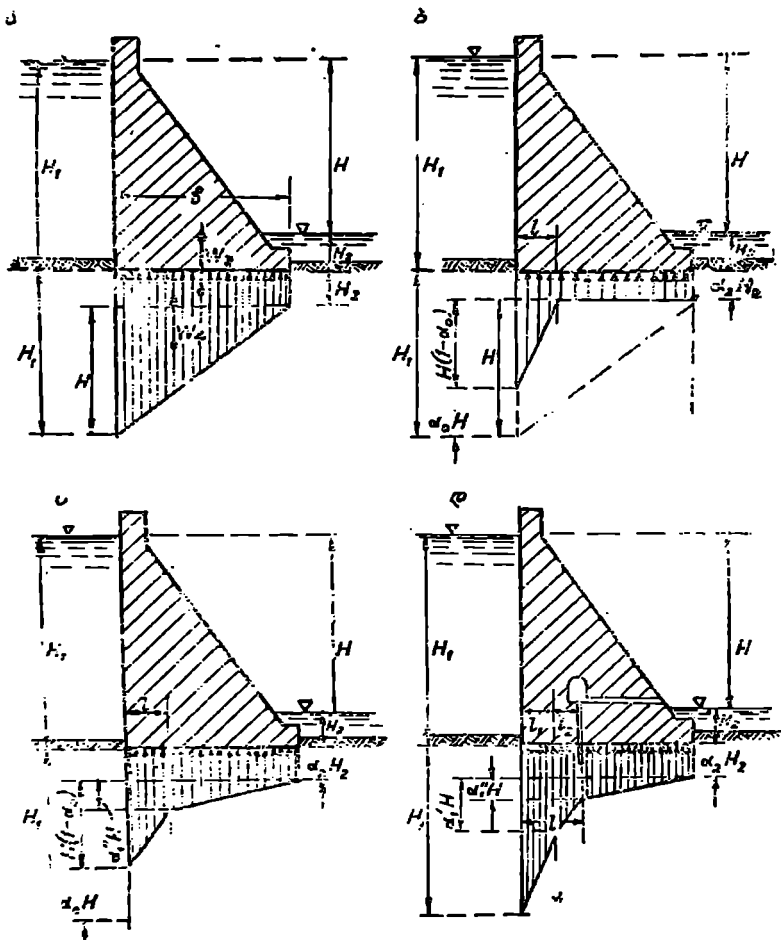
და საერთოდ ხელოვნური ზემოქმედებით. ბზარები ვერცელდება სხვადასხვა სიღრმეზე, რაც დამოკიდებულია მათ წარმოშობაზე. ყველაზე ღრმად ვერცელდება ტექტონიკური ბზარები, ხოლო უფრო ნაკლებ სიღრმეზე (10—20 მ) — გამოფიტვის ბზარები. რაც შეეხება კლდოვანი ქანების ფორებს, მათი ზომები იმდენად მცირეა, რომ ფილტრაციის კოეფიციენტი იშვიათადაა მეტი თიხის ფილტრაციის კოეფიციენტზე, ამიტომ კლდოვანი ქანების ფორებში წარმოებულ ფილტრაცია ფრად უმნიშვნელოა და იგი მხედველობაში არ მიიღება.

კლდოვან ფუძეებში ფილტრაციული წნევის ვარდნის კანონი უცნობია; ცნობილია მხოლოდ, რომ ქვედა ბიეფისაკენ წნევა თანდათან ეცემა და დადის ნულამდე. ზოგადად, კლდოვან ფუძეებზე მოთავსებულ ნაგებობათა ქვეშე ფილტრაციული წნევების განაწილების სურათი შეიძლება დახასიათებულ იქნეს 4-15 ნახაზზე ნაჩვენები ეპიურებით. აქ დაშვებულია, რომ კაშხალის ბრტყელი ძირის შემთხვევაში, როდესაც ამასთანავე ფუძე წარმოდგენილია აბსოლუტურად შეღწეადი გამოფიტული და დაშლილი კლდოვანი ქანებით და ფილტრაციული წნევის შესამცირებლად რაიმე ღონისძიება არ არის ჩატარებული, წნევის ვარდნა წარმოებს სწორი ხაზის კანონით და, მამასადამე, ჯამური უკუწნევის ეპიურა ლებულობს ტრაპეციის სახეს (ნახ. 4-15 ა). მისი ორდინატა სადაცნეო წახნაგთან ტოლია  $\gamma H_1$ , ხოლო ქვედა წახნაგთან  $\gamma H_2$ , სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა. თუ ფუძის კლდოვანი ქანები არ არის მთლიანად დაშლილი, მაშინ ფილტრაციული წნევის გადაცემა ნაგებობის ძირზე იწარმოებს ბზარების საშუალებით, ე. ი. წნევა გადაეცემა ძირის არა მთელ ფართობს, არამედ მის ნაწილს, რომელიც ტოლია ბზარებისა და კონტაქტის დაუკავშირებელი ნაწილების ფართობისა. ნაგებობის 1 გრძ. მ-ზე ეს ფართობი ტოლი იქნება  $a_2 b$  სიდიდის, სადაც  $a_2$  არის წნევის გადაცემის ფართობის კოეფიციენტი, ხოლო  $b$  — ნაგებობის ძირის სიგანე.  $a_2$  კოეფიციენტის მნიშვნელობანი არ შეიძლება ზუსტად იქნეს განსაზღვრული; ზოგიერთ მოსაზრებათა შესაბამისად მას შეიძლება ჰქონდეს მნიშვნელობანი 0,70—0,95 საზღვრებში, ხოლო, თუ დავეყრდნობით უქანასქნელი დროის ექსპერიმენტულ მონაცემებს<sup>1</sup>, მნიშვნელოვანი მკვლევარი ძაბვების დროს იგი შეიძლება შემცირდეს 0,4-მდეც. ცხადია,  $a_2$  მით უფრო მეტი მნიშვნელობით აიღება, რაც უფრო ბზარებიანია კლდე და არასაიმედოა მისი კონტაქტი ბეტონის ნაგებობასთან.

ამგვარად, ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც ფუძის კლდოვანი ქანები არ არის მთლიანად დაშლილი, შემატრეტივებელი უკუწნევა ქვედა ბიეფიდან ტოლი იქნება  $a_2 \gamma H_2 b$  (ნახ. 4-15 ბ, გ, დ). ზედა ბიეფის მხრიდან ფილტრაციული წნევის შესამცირებლად აწყობენ ცემენტაციურ ფარდებს და ფუძის ღრენაეს. მოქმედი ნორმებისა და ტექნიკური პირობების თანახმად<sup>2</sup>, ანგარიშების დროს ცემენტაციური ფარდისა და ღრენაეს გავლენის გათვალისწინება წარმოებს კაშხალის სიმაღლეზე დამოკიდებულებით. აღნიშნულ მოწყობილობათა გავლენას უფრო მეტად ითვალისწინებენ კაშხალებისათვის 25 მ-მდე დაწნევიით (ნახ. 4-15). ნახაზზე ნაჩვენებ ეპიურებზე  $a_0 < 1$  კოეფიციენტით (რომელიც ცდებით განისაზღვრება) გაითვალისწინება დაწნევის ვარდნა ცემენტა-

<sup>1</sup> М. Б. Глизбург, К. А. Мальцов, И. Б. Соколов, Определение величины противодавления в бетонной кладке гидротехнических сооружений, ВНИИГ имени Б. Е. Веллеева, Госнедргиздат, М. - К., 1959.

<sup>2</sup> Нормы и техн. условия на проектирование бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях (СН 123—60), Госнедргиздат, М., 1961.



ნახ. 4—15. უკუწნევის ეპიურები კლდოვან ფუძეებზე მოთავსებულ კაშხალების ქვეშ:  
 ა—მ. მახვილი, როდესაც კაშხალი მოთავსებულია დაშლილ კლდეზე და არა აქვს ფილტრაციის  
 საწინააღმდეგო მოწყობილობა; ბ—ფილტრაციული უკუწნევის საანგარიშო ეპიურა, როდესაც  
 კაშხალზე მოქმედი დაწნევა  $H < 25$ ; გ—იგივე, კაშხალებისათვის, როდესაც  $25 < H < 75$ ;  
 დ—იგივე, კაშხალებისათვის, როდესაც  $H > 75$  მ.

სურ ფარჯაძე, რაც წარმოებს, მაგალითად, ძირულის მოწყობით, კლდეში  
 კაშხლის ჩადრწვევებით, წყალსაცავში ნატანის დაღეჭვით და ა. შ.; მაღალ-  
 უწყნევიან კაშხალებში ღებულობენ, რომ  $\alpha_0 = 0$ .

ანგარიშ, მოქმედი ტექნიკური პირობებისა და ნორმების თანახმად, სრულ  
 ფილტრაციული უკუწნევა დრენაჟიანი კაშხალის ძირზე განისაზღვრება  
 შემდეგი ფორმულებით:

როდესაც კაშხალზე მოქმედი დაწნევა  $H < 25$  მ (ნახ. 4-15 ბ):

$$W_{\text{ფ}} = 0,5 \gamma H (1 - \alpha_0) |\alpha_2 + \alpha_2 \gamma H_2 b|, \quad (4-39)$$

სადაც  $l$  არის მანძილი სადაწნეო წახნაგიდან ფუძის ღრენაჟის ღერძამდე.

როდესაც დაწნევა  $25 < H < 75$  მ (ნახ. 4-14, გ),

$$W_{\text{ფ}} = 0,5 \gamma H [l (1 - \alpha_0) + b \alpha_1''] \alpha_2 + \alpha_2 \gamma H_2 b; \quad (4-40)$$

როდესაც დაწნევა  $H > 75$  მ (ნახ. 4-15, დ),

$$W_{\text{ფ}} = 0,5 \gamma H [l_1 (1 + \alpha_1' - \alpha_1'') + l_2 \alpha_1' + b \alpha_1''] \alpha_2 + \alpha_2 \gamma H_2 b, \quad (4-41)$$

სადაც  $l_1$  და  $l_2$  მანძილები გვიჩვენებს ფარდისა და ღრენაჟის ღერძების მდებარეობას;

$\alpha_1'$  და  $\alpha_1''$  წნევის კოეფიციენტებია, შესაბამისად, ფარდისა და ღრენაჟის ღერძების გასწვრივ.

საანგარიშო ფორმულებში შემავალი კოეფიციენტებისათვის რეკომენდებულია შემდეგი მნიშვნელობანი:  $\alpha_1' = 0,4$ ;  $\alpha_1'' = 0,2$ ;  $\alpha_2 = 1$ .

როდესაც ფარდა არ არის გათვალისწინებული, მაგრამ სადაწნეო წახნაგიდან  $l$  მანძილზე დამორებით მოწყობილია ღრენაჟი, სრული ფილტრაციული ეკუწნევა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$W_{\text{ფ}} = 0,5 \gamma H (l + b \alpha_1'') + \alpha_2 \gamma H_2 b, \quad (4-42)$$

სადაც, ამ შემთხვევაში, მიიღება  $\alpha_1'' = 0,5$ .

აქ მოცემული ფორმულები გამოყენებულია ჩვენი და განსაკუთრებით საზღვარგარეთის კაშხალთმშენებლობის ფართო გამოცდილების შესწავლის საფუძველზე, კერძოდ, ექსპლუატაციაში არსებულ კაშხალებზე პიეზომეტრულ დაკვირვებათა შედეგების დაქუშავების საფუძველზე.

## 2. ფილტრაციული ზარკების განსაზღვრა

კლდოვან ქანებში ფილტრაციული ზარკების ზუსტი განსაზღვრა თითქმის შეუძლებელია მათი ბზაროვნობის არაერთგვაროვნების გამო. უხეში მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დაწნევითი ფილტრაციის უმარტივესი ფორმულები, მაგალითად, შემდეგი ფორმულა:

$$q = k \frac{H}{L} T, \quad (4-43)$$

სადაც  $k$  არის კლდის პირობითი ფილტრაციის კოეფიციენტი:

$H$  — დაწნევა;

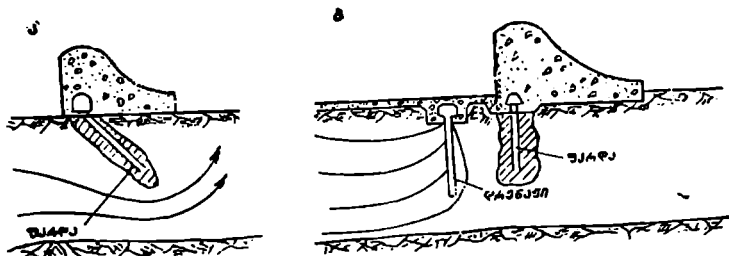
$L$  — ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურის სიგრძე;

$T$  — კლდოვანი ფუძის ბზაროვანი ზონის სისქე.

ძლიერბზაროვანი კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში, როდესაც ამასთანავე დაწნევაც მნიშვნელოვანია, ფილტრაცია ინტენსიურია. კაშხალთმშენებლობის პრაქტიკაში ცნობილია შემთხვევები, როდესაც ასეთ ქანებში ფილტრაციულმა ზარკებმა გადააჭარბა 10—11 მ<sup>3</sup>/წმ. ცხადია, მსგავს შემთხვევებში საჭიროა ჩატარდეს სათანადო ღონისძიებანი, რათა პრაქტიკულ მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი ფილტრაციული ზარკები.

## 8. ფილტრაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი

ფილტრაციული ნაკადის ზემოქმედებით კლდოვან ქანებში შეიძლება განვითარდეს ქიმიური სუფოზია, რომელიც შედარდება იმ შემთხვევებში, როდესაც ქანები შეიცავს ადვილად გამორტუტვად ნივთიერებებს: თაბაშირს, ანჰიდრიდს, ქვამარილს. სუფოზიის მიზეზით დაინგრა შრავალი კაშხალი, ანტიომ ასეთ ქანებზე კაშხალების მშენებლობისათვის საჭიროა განხორციელდეს სპეციალური ღონისძიებანი: ღრმა ცემენტაციური ფარდები უხსნად ქანებამდე; დახრილი „კიდული“ ფარდები, რომლებიც ვერტიკალურ ფარდებთან შედარებით უკეთესად იცავენ ქანებს უშუალოდ კაშხალის ქვეშ, რადგან მიიღება უფრო მკირე ფილტრაციული სიჩქარე (ნახ. 4-16 ა); ძირულები, რომლებიც აგრძელებენ ფილტრაციის გზას იმდენად, რომ კაშხალის ქვეშ მიღწეულ ფილტრაციულ წყალს თითქმის აღარ გააჩნია გამხსნელობითი უნარი მასში გახსნილ ნივთიერებებით გაჯერების გამო; დრენაჟი ძირულის ბოლოში, რომელიც კრებს ფილტრაციულ წყალს და მისი მოქმედებისაგან ათავისუფლებს კაშხალის ფუძეს (ნახ. 4-16 ბ).



ნახ. 4 — 16. ქიმიური სუფოზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებათა სქემები:  
 ა — დახრილი ფარდები; ბ — ძირული და დრენაჟი ნაგებობების წინ.

ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდები წარმოიქმნება ბზარებში შემავსებელი ხსნარების შეწნევით. შემავსებლად გამოიყენება ცემენტის ხსნარი (ცემენტაცია), ბიტუმი (ბიტუმიზაცია), თიხის ხსნარი (თიხიზაცია) ანდა მათი კომბინაცია. ხსნარის შეწნევისათვის წინასწარ იბურდება კები კაშხალის ზედა კბილის ან კაშხალის წინ მოწყობილ ბეტონის ბალიშის ქვეშ. ჰაბურლილებს, რომელთა დიამეტრი მერყეობს 50—150 მმ, ანლაგებენ შახმატურად ორ-სამ გრძივ რიგად, რიგებს შორის მანძილი აიღება 1—2 მ, ხოლო კებს შორის მანძილი რიგში 3—5 მ. კების სიღრმე დამოკიდებულია ბზარების გავრცელების სიღრმეზე და იგი განისაზღვრება სინჯვით — კებში წყლის ან ჰაერის შეწნევის საშუალებით: პრაქტიკულად იგი იცვლება 10—50 მ-მდე.

ცემენტაციური ფარდის შესაქმნელად გამოიყენება ხსნარი (ცემენტი: წყალი) 1:1-დან 1:8—1:10-მდე კონსისტენციით, რაც უფრო წრვილბზაროვანია ქანები, მით უფრო თხელი აიღება ხსნარი; საშუალო და დიდი ზომის ბზარების შემთხვევაში ხსნარს ზოგჯერ უმატებენ ქვიშას. ხსნარის შეწნევა ჰაბურლილებში წარმოებს წნევის საშუალებით, რომელიც დასაწყისში აიღება შედარებით მკირე — რამდენიმე ატმოსფერო, შემდეგ კი მას ზრდიან 10 ატმ-მდე და უფრო მეტად ბზარების ზომებისა და ჰაბურლილების სიღრმის შესაბამისად.

ცემენტაცია ყველაზე უფრო ეფექტური საშუალებაა, მაგრამ იგი არასაიმედო ხდება მაშინ, როდესაც ფუძეში გვაქვს აგრესიული წყლები ანდა დიდია ფილტრაციული სიჩქარე ცემენტაციის წარმოების დროს. ასეთ შემთხვევებში უმჯობესია მიეპართოთ ბიტუმიზაციას, ხოლო მცირე სიჩქარის დროს — თიხიზაციას. უკანასკნელი განსაკუთრებით მიზანშეწონილია ძლიერ-ბზაროვან კირქვებში და ქვიშაქვებში.

#### § 4-8. ფილტრაცია ჰიდრონაგებობათა შემოვლით

ფილტრაციას ჰიდრონაგებობათა შემოვლით ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც ბეტონის ნაგებობანი ეხება შეღწევადი გრუნტებისაგან შემდგარ ნაპირებს, ან წყალშელწევად ნაგებობებს (მაგალითად, მიწის კაშხალებს). ფილტრაციული ნაკადები ნაგებობათა შემოვლით და ნაგებობათა ქვეშე ქმნის ერთ სივრცულ ნაკადს, მაგრამ ამოცანის გამარტივების მიზნით ეს ნაკადები, ჩვეულებრივ, განიხილება ცალ-ცალკე.

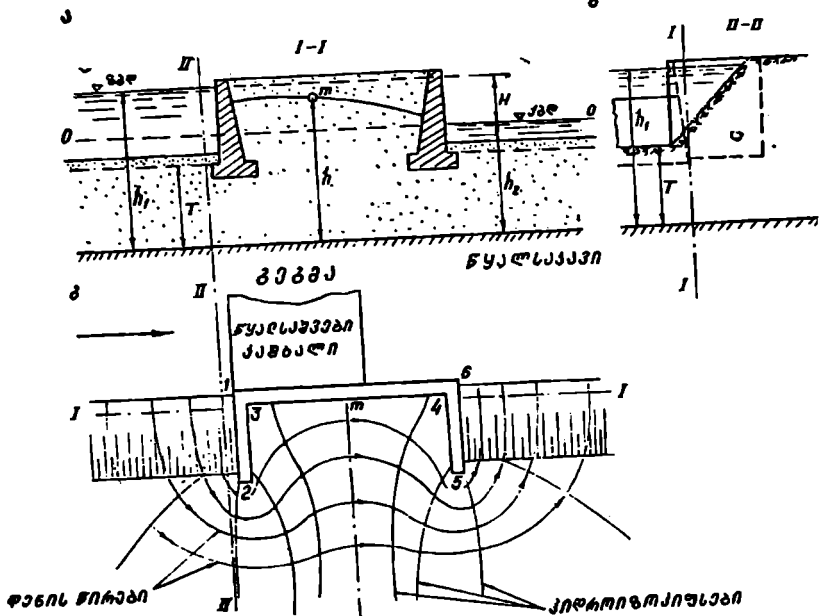
ფილტრაცია ნაგებობათა შემოვლით, რომელიც ხშირად უდაწნეოა, მიეკუთვნება ეგრეთ წოდებულ გეგმურ ფილტრაციას. მისი ანგარიშის შედეგად მიღებული უნდა იქნეს ჰიდროიზოპიფსების რუკა. ჰიდროიზოპიფსები წარმოადგენს ტოლ დაწნევათა ხაზებს და გვიჩვენებს შემოვლითი ფილტრაციული ნაკადის სიღრმეებს ნაპირის გრუნტის ზედაპირის ქვეშე. გარდა ამისა, უნდა განისაზღვროს ფილტრაციული წნევა სანაპირო ბურჯზე, ფილტრაციის გრადიენტები და ხარჯები.

განასხვავებენ შემოვლითი ფილტრაციის ორ სახეობას: ფილტრაციას სანაპირო ბურჯების ან ყრუ კაშხალის სანაპირო მიერთების შემოვლით და ფილტრაციას ბეტონისა და მიწის კაშხალის მიერთების შემოვლით.

იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალსაკვი პორიზონტალურია და ამასთან არ არსებობს გარედან გრუნტის წყლების შენაკადი, შემოვლითი (უდაწნეო) ფილტრაციის ამოცანის ამოხსნა დაიყვანება ნაგებობის ქვეშე დაწნევითი ფილტრაციის ამოცანის ამოხსნაზე. ამისათვის, ცხადია, განხილული უნდა იქნეს ფილტრაცია უსასრულო სისქის ( $T = \infty$ ) შეღწევად ფუძეზე მოთავსებულ წარმოსახვით (ფექტიურ) ფლუტბეტის ქვეშ, რომლის მიწისქვეშა კონტურს აქვს ისეთივე მოხაზულობა და ზომები, როგორც სანაპირო ბურჯს გეგმაში. ამგვარად, შემოვლითი ფილტრაციის ამოცანის გადაწყვეტა დაიყვანება ლაპლასის ( $4-3$ ) განტოლების ამოხსნაზე, რომელშიც დაწნევის ფუნქცია  $h = \varphi(x, y)$  იცვლება  $h^2 = \psi(x, y)$  ფუნქციით.

ფილტრაციული ანგარიში სანაპირო ბურჯების შემოვლით წარმოებს შემდეგნაირად: პირველყოვლისა გეგმაში გამოსახვენ სანაპირო ბურჯისა (ან ყრუ კაშხალის) და მომიჯნავე ნაპირის მიერთებას (ნახ. 4-17, გ), აგრეთვე ძირეული ნაპირის წყალშეღწევი კონტურების საზღვარს (ნახ. 4-17 კ, ბ). ბურჯის შიგა 1—2—3—4—5—6 კონტური განიხილება როგორც ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური, ხოლო წყლის კიდის ხაზები ზედა და ქვედა ბიეფებში — როგორც ზედა და ქვედა ბიეფების ფსკერის ხაზები ფლუტბეტთან. ამას გარდა, სანაპირო ფერდობი და ბურჯის კედლები პირობით მიიღება როგორც ვერტიკალური.

გამოყენებული იქნება რა ფილტრაციული არის მიღებული სქემისათვის დაწნევითი ფილტრაციის შესაბამისი ამონახსნი, ადვილად შეიძლება განისა-



ნახ. 4—17. ფილტრაცია სანაპირო ბურჯის შემოღობი.

ზღვროს ფილტრაციული ნაკადის პიდროლინამიკური ელემენტები. თუ გავითვალისწინებთ, რომ დაწნევა დაწნევითი ფილტრაციის ამონახსნში შეესაბამება უდაწნეო ფილტრაციის სიღრმეთა კვადრატებს, მაშინ, ფ. ფორხჰეიმერის მეთოდის თანახმად<sup>1</sup>,  $h$  სიღრმე ბურჯს შემოვლებული დეპრესიის მრუდის რომელიმე  $m$  წერტილში (ნახ. 4-17 და 4-18) შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი განტოლებით, რომელიც მიიღო ვ. არაენმა<sup>2</sup>.

$$h^2 = (h_1^2 - h_2^2)h_r + h_2^2, \quad (4-44)$$

სადაც  $h_1$  არის წყლის სიღრმე ზედა ბიეფში წყალსაქავის ზევით;

$h_2$  — წყლის სიღრმე ქვედა ბიეფში წყალსაქავის ზევით;

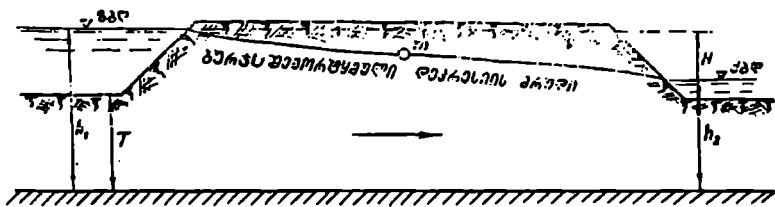
$h_r$  — დაყვანილი დაწნევა წარმოსახვით (ფიქტიურ) ფლუტბეტის შესაბამის  $m$  წერტილში, როდესაც წყალსაქავის ჩაღრმავება  $T = \infty$  და  $OO$  საფარდი სიბრტყე გადის ქვედა ბიეფის წყლის დონის ნიშნულზე.

მიღებული საფარდი სიბრტყის მიმართ დაწნევითი ფილტრაციის შესაბამისი  $h_r$  სიდიდე  $m$  წერტილში ტოლია

$$h_r = \frac{h_1}{H}, \quad (4-45)$$

<sup>1</sup> Ф. Форхгеймер, Гидравлика, ОНТИ, гл. ред. энергетич. лит., 1935.

<sup>2</sup> В. И. Аравин, С. Н. Нумеров, Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, Госстройиздат, М., 1955.



წყალსაკაპი

ნახ. 4-18. სანაპირო ბურჯის გამოსული კონტური 1-2-3-4-5-6 ხანზე.

სადაც  $H$  არის დაწნევა წარმოსახვით ფლუტბეტზე ანუ. რაც იგივეა, ბურჯზე, რომელიც ტოლია ზედა და ქვედა ბიეფის ღონეთა სხვაობის:

$h$  — დაწნევა წარმოსახვითი ფლუტბეტის  $m$  წერტილში.

(4-45) ფარდობის (4-44) განტოლებაში ჩასმით ეღებულობთ

$$h^2 = (h_1 - h_2)(h_1 + h_2) \frac{h_f}{H} + h_2^2. \quad (4-46)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $h_1 - h_2 = H$ , მაშინ საბოლოოდ გვექნება

$$h = \sqrt{(h_1 + h_2)h_f + h_2^2}. \quad (4-47)$$

შედარებით რთული კონტურის მქონე სანაპირო ბურჯის ნებისმიერ  $m$  წერტილში  $h$  დაწნევა შეიძლება განისაზღვროს ემბა-ს ან წინაღობის კოეფიციენტთა მეთოდის გამოყენებით, ხოლო ბურჯის მარტივი სქემის შემთხვევაში შეიძლება ვისარგებლოთ ზუსტი ჰიდრომექანიკური ამონახსნებითაც. გვეცოდინება რა  $h$  სიღრმე ბურჯის კონტურის სხვადასხვა წერტილისათვის, შეიძლება იმავე წერტილებში (4-47) ფორმულით განისაზღვროს  $h$  სიღრმეები და მათი საშუალებით აიგოს ბურჯის შემოვლებული დეპრესიის მრუდი.

გვექნება რა ასეთი დეპრესიის მრუდი, შეიძლება ადვილად განისაზღვროს ბურჯზე მოქმედი ჰიდროდინამიკური წნევა და მის საფუძველზე ჩაატაროთ ბურჯის კედლების სტატიკური ანგარიში. ასევე შესაძლებელი ხდება ჩატარდეს ბურჯის უბის შემავსებელი გრუნტის ფილტრაციული სიმტკიცის ანგარიში მაკონტროლებელი გრადიენტის მიხედვით.

ფილტრაციის ზედრითი ხარჯი სანაპირო ბურჯის შემოვლით განისაზღვრება ფორმულით

$$q = 0,5 k (h_1^2 - h_2^2) q_r. \quad (4-48)$$

სადაც  $q_r$  არის დაწნევითი ფილტრაციის დაყვანილი ხარჯი (როდესაც  $k = 1$ ,  $H = 1$ ) ფიქტიური ფლუტბეტისათვის. რომლის მიწისქვეშა კონტური შეესაბამება სანაპირო ბურჯის კონტურს გვეგმაში.

კონსტრუქციულად სანაპირო ბურჯებს, რომლებითაც წყალსაშვები კაშხალები უკავშირდება ნაპირებს, აქვთ ერთი ან ორი უკუყვედელი (ნახ. 4-17): შეიძლება აგრეთვე განაპირა უკუყვედლებს შორის მას ჰქონდეს შუალედური უკუყვედელიც. დაწნევითი ფილტრაციის ანალოგიურად შემოვლითი ფილტრაციის დროს დაწნევის შთანთქმაში მთავარ როლს ასრულებს ზედა უკუყვედელი (დაწნევითი ფილტრაციის დროს — ზედა ნარანდი), რომელიც სასურველია ქვედა უკუყვედელზე უფრო ღრმად იყოს შესული ნაპირის გრუნტში.

დადგენილია, რომ ქვედა უკუკედელი ქმნის შემოვლითი ფილტრაციული ნაკადის შეტბორვას, რაც იწვევს ჰიდროდინამიკური წნევის გაზარდას გრძივ კედელზე: მორე მხრივ, იგი სასარგებლოა იმით, რომ ამცირებს ქვედა ბიეფში გამოსავალ გრადიენტებს. ქვედა უკუკედლის უკან არსებულ ფილტრაციული წყლის დეპრესიის ზედაპირის დასაწევად მიზანშეწონილია მოეწყოს ღრენაჟი, რომელიც გაიყვანს ფილტრაციულ წყალს ქვედა ბიეფში. ფილტრაციული თვალსაზრისით გრძივი კედლის სიგრძე მნიშვნელოვან როლს არ ასრულებს და იგი შეიძლება დადგენილ იქნეს მხოლოდ მომიჯნავე წყალსაშვები ხერტის ჰიდრავლიკური მუშაობის პირობების მიხედვით.

ყრუ კაშხალის შენთხვევაში ნაპირთან შეუღლებას ახდენენ თვით კაშხალის კედლის ან მასზე პიერთებული დიაფრაგმის, ან დეზის შექრით, ამასთან დეზი შეიძლება დახრილიც იყოს კაშხალის ღერძის მიმართ. ამ შემთხვევაშიც შემოვლითი ფილტრაციის ანგარიში წარმოებს დაწნევითი ფილტრაციის შესაბამისი სქემების მიხედვით. კლდოვანი ქანების შემთხვევაში შემაუღლებელი დიაფრაგმები იცვლება ცემენტაციური ფარდებით.

ზოგჯერ მიწისაღის ხეობის ჰიდროგეოლოგიური პირობების გამო მის ნაპირებში გრუნტის წყლები მოძრაობს, რაც ართულებს შემოვლითი ფილტრაციის ამოცანის გამოკვლევას, რადგან გრუნტის წყლები ერთვის ძირითად ფილტრაციულ ნაკადს. თითოეული მათგანის გავლენის შეფასება წარმოებს ნაკადის დგომის სიღრმეების მიხედვით, რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია შემაუღლებელ მოწყობილობათა ზომებსა და ფორმაზე. მსგავსი ამოცანები გადაწყვეტილი აქვთ ვ. ნედრიგას, ვ. არაენს და სხვ.

ფილტრაცია ბეტონისა და მიწის კაშხალების შემაუღლებელი ბურჯის შემოვლით შეიძლება გამოკვლეულ იქნეს ვ. ნედრიგას ამონახსნების გამოყენებით, რომლებიც მიღებულია ბურჯის სხვადასხვანაირი სქემებისათვის ფრაგმენტების მეთოდის გამოყენებით.



## ბეტონისა და რკინაბეტონის კაშხალები

თ ა ვ ი V

### ბრავიტაციული კაშხალების თეორია

#### § 4-1. ზოგადი სწოვაები ბრავიტაციული კაშხალების შესახებ

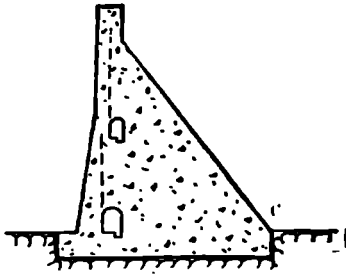
გრავიტაციული კაშხალები წარმოადგენს მასიურ წყალშემტბორავ ნაგებობებს, რომლებიც წინალობას უწევენ ჰორიზონტალურ მძვრელ ძალებს ძირითადად საკუთარი წონის მოქმედებით ფუძეში წარმოშობილი ხაზუნისა. ხოლო კლდოვანი ფუძეების შექმნევაში აგრეთვე შექიღულეების ძალებით.

ამჟამად გრავიტაციულ კაშხალებს ძირითადად აშენებენ ბეტონის, ქვებეტონისა და არკობეტონისაგან, ხოლო უფრო იშვიათად — ფლეთილი ქვის წყობით. ბეტონის კაშხალები პრაქტიკაში შეპოვიდა მიმდინარე საუკუნის დასაწყისში და ფართოდ გავრცელდა მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. მათი დიდი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ბეტონის მოშადებია და წყობის პროცესები სრულდება თანაჲდროვე ფართო შექანიზაციის გამოყენებით, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის მშენებლობის ტემპს. მათი ძირითადი ნაკლია დიდი მოთხოვნილება შედარებით დეფიციტურ მასალაზე — ცემენტზე.

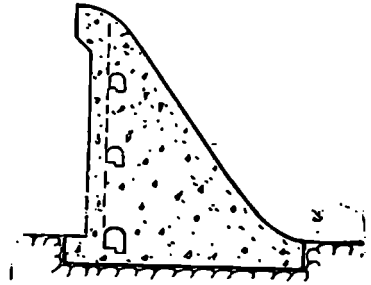
გრავიტაციული კაშხალებიდან მათფლიოში ყველაზე მაღალია გრანდ დიქსანის კაშხალი შვეიცარიაში (284 მ), რომლის მშენებლობა დამთავრდა 1961 წელს. მნიშვნელოვანი სიმაღლისა და დიდი მოცულობისაა ბოულდერის (222 მ), გრენდ-კულის (170 მ) და შასტას (180 მ) კაშხალები აშშ-ებში, რომლებიც აშენდა 1935-44 წლებში. საბჭოთა კავშირში ცნობილი კაშხალები — ეოლზოვის, ქეემოსვირის, დნეპრის, ეოლგის, უსტ-კამენოგორსკის, ბუტარმის, ბრატსკის, კრასნოიარსკისა და სხვ. წარმოადგენენ გრავიტაციულს. მათგან ყველაზე მაღალია ბრატსკის ჰესის ბეტონის გრავიტაციული კაშხალი (126 მ).

პროფილები ქვის გრავიტაციული კაშხალებისა, რომელთაც აგებდნენ ას წელზე მეტი ხნის წინათ, იყო ძალიან მძიმე, თითქმის სწორკუთხოვანი ფორმისა. შემდგომში სტატიკური ანგარიშის თეორიის დამუშაების საფუძველზე წარმოიშვა უფრო ეკონომიური პროფილები, რომელთაც მრუდწირული ან პოლიგონალური მოხაზულობა ჰქონდათ. თანამედროვე სრულყოფილმა ანგარიშებმა აჩვენა, რომ ზოგად შემთხვევაში გრავიტაციული კაშხალის თეორიულ პროფილს წარმოადგენს დახრილკვერდებიანი, ხოლო კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში სწორკუთხოვანი საქუთხედები.

გრავიტაციულ კაშხალებს აშენებენ როგორც ყრუს, ასევე წყალსაშვებსაც. ყრუ გრავიტაციული კაშხალის განივევითი მოგვაგონებს სამკუთხედს (ნახ. 5-1), ხოლო წყალსაშვები კაშხალისა — ტრაპეციას, რომლის ქვედა წახნაგს აქვს თავისუფლად გადადინებული ქავლის მოხაზულობა (ნახ. 5-2).



ნახ. 5—1. მაღალი ყრუ გრავიტაციული კაშხალის პროფილი კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში.



ნახ. 5—2. მაღალი წყალსაშვები გრავიტაციული კაშხალის პროფილი კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში.

წყობის დიდი მოცულობის გამო გრავიტაციული კაშხალების ღირებულება საკმაოდ დიდია, ამიტომ გრძელი სადაწნეო ფრონტის შემთხვევაში მიზანშეწონილია ბეტონის გრავიტაციული კაშხალი გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ როგორც წყალსაშვები ნაგებობა.

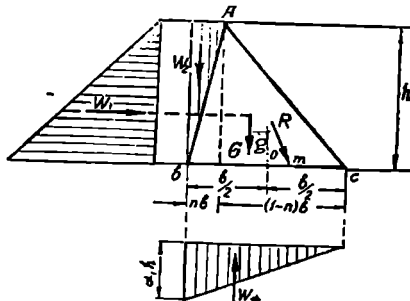
ჩვეულებრივ, გრავიტაციულ კაშხალებს გეგმაში აქვთ სწორხაზოვანი ფორმა, ხოლო შედარებით იშვიათად — მრუდწირული. პირველ შემთხვევაში კაშხალის ასაგებად საჭიროა უფრო ნაკლები რაოდენობის მასალა და ამიტომ ასეთი ფორმა მიზანშეწონილიცაა და გავრცელებულიც, ხოლო კაშხალის მრუდწირული ფორმა გამართლებულია მაშინ, როდესაც მდინარის კალაპოტი არასაკმარისი სიგანისაა და იგი ვერ უზრუნველყოფს წყალსაგდები ფრონტის აპრობაციას. ცალკეულ შემთხვევებში ასეთი მოხაზულობა შეიძლება გაპირობებული იყოს ფუძის ქანების განლაგების პირობებით ანდა განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო კაშხალებისათვის მდგრადობის მნიშვნელოვანი მარაგის შექმნის მიზნით (ბოულდერის, მაღალი კაშხალი აშშ-ებში). ჩვენში გეგმაში მრუდწირული ფორმის გრავიტაციული კაშხალის მაგალითს წარმოადგენს ე. ი. ლენინის სახელობის დნეპრჰესის კაშხალი, რომელიც მოხაზულია წრის რკალზე 600 მ-ის ტოლი რადიუსით. მისი ასეთი მოხაზულობა ნაკარნახები იყო კალაპოტის კვეთში ქანების განლაგების თავისებური პირობებით.

გრავიტაციული კაშხალები შეიძლება ვაშენოთ როგორც კლდოვან, ისე ხახვრად კლდოვან და არაკლდოვან ფუძეებზე. მათ ფუძეებად სასურველია მტკიცე, ნონალითური, სუსტად დაბზარული, წყალმედვეი და ყინვამედვეი კლდოვანი ქანები, რომლებიც ამასთანავე ხელსაყრელად იქნებიან განლაგებული მძვრელი ძალების წინააღმდეგ. მაგრამ ასეთი კარგი ღირსების მქონე კლდოვანი ქანები ძალიან იშვიათად გვხვდება; ჩვეულებრივ, კლდოვანი ქანები ბზარებიანია ანა თუ იმ ზომით, ამიტომ მათი განმტკიცებისათვის საჭიროა ცემენტაციურ სამუშაოთა ჩატარება. ჰიდრომშენებლობის გამოცდილების საფუძველზე დადგენილია, რომ ნახევრად კლდოვან ფუძეებზე შეიძლება ვაშენოთ მხოლოდ 25—30 მ-მდე სიმაღლის გრავიტაციული კაშხალები.

1. სივანის გაანგარიშება სიმტკიცის პირობის მიხედვით

სათანადო გამოკვლევებით დადგენილია, რომ ზოგად შემთხვევაში გრავიტაციული კაშხლის თეორიულ პროფილს წარმოადგენს საკუთხედი ზედა და ქვედა დახრილი წახნაგებით. განვიხილოთ ასეთი პროფილის მქონე კაშხლის ერთეული სიგრძის (1 მ) უბანი და განვსაზღვროთ მისი ფუძის  $b$  სივანე იმ პირობით, რომ პროფილის სადაწნეო წახნაგზე არ წარმოიქმნას გამჭიმავი ძაბვები. ეს პირობა ნაკარნახებია იმით, რომ ბეტონი ნაკლებ წინააღმდეგობას უწევს გაჭიმვას, რის გამოც მასში შეიძლება წარმოიქმნას ბზარები და განვითარდეს ფილტრაცია, რომელიც საზიანოა კაშხლის მასალის სიმტკიცისა და ხანგამძლეობისათვის<sup>1</sup>.

კაშხალზე მოქმედებს შემდეგი ძირითადი დატვირთვები: საკუთარი  $G$  წონა. მაქსიმალური პიდროსტატიკური წნევა ზედა ბიეფიდან  $W_1$  პორიზონტალური და  $W_2$  ვერტიკალური მდგენელებით, ფილტრაციული  $W_3$  წნევა, რომელიც  $\alpha_1 h$  სიმაღლის სამკუთხოვანი ეპიურით გამოისახება. სადაც  $h$



ნახ. 5-3. კაშხლის საკუთხოვანი პროფილის საანგარიშო სქემა.

წყლის სიღრმეა ზედა ბიეფში (ივლისსაშუალო, რომ წყალსაცავი ავსებულია კაშხლის ქიშამდე, და ამასთან ქვედა ბიეფში წყალი არ არის), ხოლო  $\alpha_1$  — ფილტრაციული წნევის შემამკირებელი კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე კაშხლის ძირის მოცემული სივანის დროს დამოკიდებულია ცემენტაციური ფარდის სიღრმეზე და დაახლოებით იცვლება 0,2—0,6 ფარგლებში.

ზოგადობისათვის კაშხლის ზედა წახნაგის ქვედებულის სივანე, რომლითაც ხასიათდება მისი დახრილობა, აღვნიშნოთ  $nh$ -თი, სადაც  $n < 1$  (ნახ. 5-3). მაშინ ზემოთ აღნიშნულ ძალთა მნიშვნელობანი შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma h^2; \quad W_2 = \frac{1}{2} \gamma_1 n h b; \quad W_3 = \frac{1}{2} \alpha_1 \gamma b h; \quad G = \frac{1}{2} \gamma_1 b h, \quad (5-1)$$

სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითაა წონაა, ხოლო  $\gamma_1$  — კაშხლის მასალის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>-ში.

პირობა, რომელიც სადაწნეო წახნაგზე კრძალავს გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობას, ნიშნავს, რომ საესე წყალსაცავის შემთხვევაში მინიმალური კუჭმავი ძაბვა იმავე წახნაგზე შეიძლება იყოს ნულის ტოლი, ე. ი. ნორმალური მკუჭმავ ძაბვათა ეპიურა კაშხლის ქვეშ იქნება სასკუთხოვანი. ან შეათავსებში

<sup>1</sup> თანამედროვე მოსაზრებებით ცალკეულ შემთხვევაში (ძალთა არახელსაყრელი შეხამებისას) გრავიტაციული კაშხლის ზედა წახნაგზე დასაშვებია მცირე სიდიდის გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობა.

საქიროა კაშხალზე მოქმედი ყველა აქტიური ძალის  $R$  ტოლქმედი გადიოდეს ფუძის კვეთის შუა შესაყდის საზღვარზე ( $m$  წერტილში).

აღნიშნული  $m$  წერტილის მიმართ (ნახ. 5-3) ტოლქმედის შემადგენელ ძალთა მომენტების ჯამი ნულის ტოლი იქნება; მაშასადამე, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$W_1 \cdot \frac{h}{3} + W_n \cdot \frac{b}{3} - W_2 \frac{b(2-n)}{3} - G_1 \cdot \frac{1}{3}(1-n)b = 0$$

ანუ თუ ჩავსვავთ ძალთა მნიშვნელობებს (5-1) ფორმულებიდან, გვექნება:

$$\frac{\gamma h^2}{2} \cdot \frac{h}{3} + \alpha_1 \gamma \frac{bh}{2} \cdot \frac{b}{3} - \gamma \frac{bh}{2} \cdot \frac{b(2-n)}{3} - \gamma_1 \frac{bh}{2} \cdot \frac{1}{3}(1-n)b = 0, \quad (5.2)$$

საიდანაც ადვილად ვღებულობთ საძიებელ სიგანეს

$$b = \frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma}(1-n) + n(2-n) - \alpha_1}}. \quad (5-3)$$

კაშხალის მინიმალური (ეკონომიური) სიგანე მიიღება მაშინ, როდესაც (5-3) ფორმულის რადიკალქვეშა გამოსახულება აღწევს მაქსიმუმს. რომ განვსაზღვროთ, თუ  $n$ -ის რა მნიშვნელობის დროს მიადწევს აღნიშნული გამოსახულება მაქსიმუმს, მის პირველ წარმოებულს ვუტოლებთ ნულს:

$$\frac{\partial}{\partial n} \left[ \frac{\gamma_1}{\gamma} (1-n) + n(2-n) - \alpha_1 \right] = -\frac{\gamma_1}{\gamma} + 2 - 2n = 0,$$

საიდანაც

$$n = \frac{2 - \frac{\gamma_1}{\gamma}}{2}. \quad (5-4)$$

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ  $n$ -ის ამ მნიშვნელობის დროს ფუნქცია აღწევს მაქსიმუმს. მართლაც, ბეტონისა და ქვაყორის წყობისათვის საშუალოდ  $\frac{\gamma_1}{\gamma} \approx 2,4$ ; მაშასადამე,  $n = -0,20$ . ეს ნიშნავს, რომ კაშხალის სადაწნო წახანაჯს უნდა ჰქონდეს შებრუნებული ქანობი, ე. ი. იყოს ჩაკიდებული, მაგრამ ასეთი პროფილის კაშხალი სამშენებლო საშუალოთა წარმოების თვალაზრისით მიუღებელია, ამიტომ აიღება  $n$ -ის უახლოესი მნიშვნელობა —  $n=0$ . ამგვარად, პირველი პირობიდან გამოვდინარე, რომელიც კრძალავს გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობას სადაწნო წახანაჯზე, გრავიტაციული კაშხალის ეკონომიურ პროფილს წარმოადგენს სწორკუთხოვანი სამკუთხედი ვერტიკალური სადაწნო წახანაჯით.

კაშხალის პროფილის ეკონომიური სიგანე შესაბამისად იქნება:

$$b = \frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma} - \alpha_1}}; \quad (5-5)$$

ჩვეულებრივ, როცა  $\gamma_1 = 2,4 \text{ ტ/მ}^3$  და  $\alpha_1 \approx 0,5$ , მაშინ

$$b = \frac{h}{1,9} \approx 0,73 h.$$

როდესაც ფუძეში მოხსნილია ფილტრაციული წნევა დრენაჟისა და სხვა ღონისძიების საშუალებით, მაშინ  $\alpha_1 = 0$ , და (5—3) და (5—5) ფორმულები მარტივდება. ამ შემთხვევაში (5—5) ფორმულიდან ვღებულობთ

$$b = \frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma}}}, \quad (5-6)$$

მაშასადამე, როდესაც  $\alpha_1 = 2,4 \text{ ტ/მ}^3$  და  $\alpha_1 = 0$ , კაშხალის სიგანე

$$b = \frac{h}{\sqrt{2,4}} = 0,65 h.$$

## 2. სიგანის გაანგარიშება ძვრაზე მდგრადობის პირობის მიხედვით

კაშხალის ძვრას ფუძის სიბრტყეში წინაღობას უწევს ხახუნისა და შეკიდულობის ძალები. თუ მდგრადობის მალული მარაგის გარანტიისათვის მხედველობაში არ მივიღებთ კაშხალსა და ფუძის გრუნტს შორის შეკიდულობას, კაშხალი მდგრადობა ძვრაზე შეიძლება შემოწმდეს ფორმულით

$$K_{\text{ავრ}} = \frac{f \cdot V}{W_1}, \quad (5-7)$$

სადაც  $K_{\text{ავრ}}$  არის კაშხალის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი ძვრაზე:

$f$  — კაშხალსა და ფუძეს შორის ხახუნის კოეფიციენტი;

$V$  — კაშხალზე მოქმედი ვერტიკალური ძალების ჯამი.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ

$$V = G + W_2 - W_3 = \frac{bh}{2} (\gamma_1 + \gamma_{II} - \alpha_1 \gamma). \quad (5-8)$$

მაშინ (5—7) ფორმულაში სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმით გვექნება:

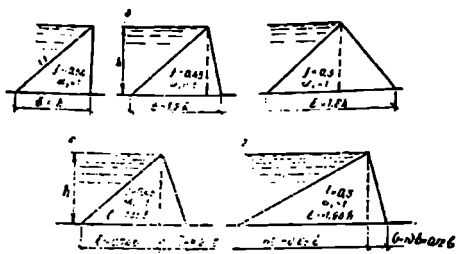
$$K_{\text{ავრ}} = \frac{f \cdot \frac{bh}{2} (\gamma_1 + \gamma_{II} - \alpha_1 \gamma)}{\frac{\gamma h^2}{2}} = f \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} + n - \alpha_1 \right) \frac{b}{h}. \quad (5-9)$$

საიდანაც საბოლოოდ მივიღებთ საძიებელ სიგანეს

$$b = K_{\text{ავრ}} \frac{h}{f \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} + n - \alpha_1 \right)}. \quad (5-10)$$

კლდეანი ფუძეებისათვის, როდესაც  $f = 0,7$ ;  $n = 0$ ;  $\gamma_1 = 2,4 \text{ ტ/მ}^3$ ;  $\alpha_1 = 0,5$  და  $K_{\text{ავრ}} = 1$ , (5—10) ფორმულიდან  $b \approx 0,75 h$ , ხოლო როდესაც ფილტრაციული უკუწნევა არ მოქმედებს ( $\alpha_1 = 0$ ),  $b = 0,6h$ , ე. ი. ახლოსაა  $b = 0,65h$ -თან, რომელიც ადრე იყო მიღებული სიმპტიკის პირობიდან (5—6) ფორმულით.

არაკლდეანი ფუძეების შემთხვევაში, როდესაც ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ქვიშისათვის  $0,40—0,50$ -მდე, ხოლო თიხისათვის  $0,2—0,3$ -მდე



ნახ. 5—4. კაშხლის სამკუთხოვანი პროფილის სქემები არაჰლოვან ფუძეებზე.

1.  $K_{აზ} = 1,3$  და ხახუნის კოეფიციენტი დღებულობს 0,54-ზე ნაკლებ მნიშვნელობებს. (5-10) ფორმულით მივიღებთ გეგმაში გალასტულ პროფილებს. მაგალითად,  $f = 0,45$  დროს  $b = 1,2h$  (ნახ. 5—4 ბ),  $f = 0,3$  დროს კი  $b = 1,8h$  (ნახ. 5—4 გ).

აღვიღად შეიძლება დაერწმუნდეთ, რომ აღნიშნული პროფილები (ნახ. 5-4 ა, ბ, გ), როგორც ძვრის პირობიდან არიან მიღებული, არ აკმაყოფილებს სიბტყილის პირობას. რადგან მოქმედ ძალთა ტოლქმედები გამოდის ფუძის კვეთების შუა წესამედების საზღვრებიდან, რომლის შედეგად სადაწნეო წახანაკებზე წარმოიქმნება გაქვიჩავი ძაბვები. იმისათვის, რომ დაკმაყოფილდეს ორივე პირობა და ამასთანავე პროფილი იყოს ეკონომიური, საჭიროა (5—3) და (5—10) ფორმულებით მიღებული  $b$  გაზოსახულებები ერთმანეთს გვეჯტოლოთ. თუ მათში  $\alpha_1 = 1$ ,  $K_{აზ} = 1,3$  და  $\gamma_1 = 2,4$  ტ/კმ, მაშინ მათი ერთობლივი ამოხსნით მიიღება, რომ  $n = 0,74$  და  $b = 1,35h$  იმ შემთხვევისათვის, როდესაც  $f = 0,45$ , ხოლო  $n = 0,88$  და  $b = 1,94h$  — როდესაც  $f = 0,3$  (ნახ. 5-4 დ, ე).

დასაბრუნა, საჭიროა ყურადღება მივაქციოთ ერთ მნიშვნელოვან გარემოებასაც. საქმე ის არის, რომ სავე წყალსაცავის დროს კაშხლის ფუძეში (ნახ. 5-4 დ, ე) მკუმშავი ძაბვები არახელსაყრელად ნაწილდება ქვედა წახანაკზე მათი კონცენტრაციის გამო, რაც არასასურველია განსაკუთრებით ქვიშოვანი და თიხოვანი ფუძეებისათვის. იმისათვის, რომ მივიღწვიოთ ფუძეში მკუმშავი ძაბვების თანაბარ ან საერთოდ მისაღებ განაწილებას, საჭიროა არათანაბარი კეშქვის ფორმების გამოყენებით ზოგადი სახით დაიწეროს  $\sigma'_x$  და  $\sigma'_y$  მკუმშავ ძაბვათა მნიშვნელობანი, შესაბამისად, ზედა და ქვედა წახანაკებისათვის, ამასთან მათში  $b$ -ს მნიშვნელობა შეტანილ იქნეს (5—10) ძვრის პირობის ნახედვით. ამის შექმნევი იწერება  $m\sigma'_x$ ,  $\sigma'_y$  განტოლება ( $m$  პროპორციულობის კოეფიციენტი). როგორც სასურველია აღებულ იქნეს  $m = 1-3$  ფარგლებში, საიდანაც განისაზღვრება საძიებელი კოეფიციენტი. ცხადია, ასეთნაირად დადგენილი კაშხლის პროფილი უზრუნველყოფს არა მარტო მკუმშავ ძაბვებს, არამედ მათ სელსაყრელ განაწილებასაც ფუძეში.

**8. კაშხლის თეორიული პროფილის კორექტირება**

კაშხალზე ძირითად დატვირთვებთან ერთად შეიძლება მოქმედებდეს სხვა დატვირთვებიც, მაგალითად, ყინულისა და ნატანის წნევები ზედა ბიფურდან, სავალი ნაწილის (ზედნაშენის) წონა და სხვ.; აღნიშნული ძალების გათვალის-

წინება მოითხოვს თეორიული პროფილის კორექტირებას (ფედის სიგანის გაზრდა და წახანაგების დახრილობის შეცვლა და ა. შ.). წყალსამები კაშხალის შემთხვევაში საჭიროა, რომ მის თხემსა და ქვედა წახანაგს მიეცეს მდოვრე მოხაზულობა. კლდოვან ფუძეებზე შენებად კაშხალებში მიზანშეწონილია მოეწყოს გაფართოებული ვერტიკალური ნაკერები, რომლებიც კარგად წრტუბენ ფუძეს და პვეთრად ამცირებენ ფილტრაციულ უქუწწევას, ხოლო ამის შედეგად — ბეტონის მოცულობას ნაკებობებში; გარდა ამისა, აუქრობესებენ წყობის გაციების პირობებს კაშხალის ბეტონირების დროს. ძალიან ხშირად სხვადასხვა ბიზნისაუვის კაშხალის ტანში აწყობენ გალერებს, ხოლო ზოგჯერ დიდი ზომის სიღრუეება, რომლებიც აუქრობესებენ ფუძეში დაბეთათა განაწილებას და ამცირებენ ფილტრაციულ უქუწწევას. ანალოგიური ცვლილებები შეაქეთ არაკლდოვან ფუძეებზე შენებად კაშხალების სამკუთხოვან პროფილებში. ასეთი კაშხალებსათვის კი დამახასიათებელია ფედის მნიშვნელოვანი ზრდა ძვრახე მდგრალობის უზრუნველსაყოფად.

გრაეიტაციული კაშხალის რეალური პროფილის ძირითადი ზომების დადგენა წარმოებს თეორიული სამკუთხოვანი პროფილის საფუძველზე.

#### § 4-3. ჰრავიტაციული კაშხალის ნოზიანიუა განგარიშება ელეანტარული მათოდით

გრაეიტაციული კაშხალის განგარიშება სიპტიცეზე შეიძლება ჩატარდეს მასალათა გამძლეობის მიახლოებითი მეთოდებით. კლდოვან ფუძეებზე მოთაესებული კაშხალების განგარიშებას დროს განიხილება კაშხალის 1 გ. მ. ხოლო არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში — ერთი სექცია, ე. ი. კაშხალის უბანი, რომელიც მოთაესებულია მეზობელ დეფორმაციულ ნაკერებს შორის.

განგარიშება წარმოებს შემდეგი სამი ძირითადი შემთხვევისათვის:

1) საპწენებლო, როდესაც კაშხალი ამენებელია, მაგრამ დაწწევას ჭერ კიდევ არ განიცდის და არც ფილტრაციული უქუწწევა მოქმედებს მის ფუძეში; მასხალადამე, კაშხალი გაიანგარიშება დატვირთვების იმ შესამებაზე, რომელსაც ქმნის კაშხალისა და მასზე მოთაესებული მოწყობილობების საკუთარი წონა, სეისმური ძალები, ქარი და ტემპერატურული ზემოქმედება:

2) ნორმალური საექსპლუატაციო (დატვირთვების ძირითადი შესამების დროს), რომელნიც განიხილება რამდენიმე საანგარიშო შემთხვევა: ა) მაქსიმალური დაწწევის, როდესაც ზედა ბიეფში დონე მაქსიმალურია, ხოლო ქვედაში — მინიმალური (ძირითადი შემთხვევა); ბ) წყალდიდობის, როდესაც ზედა და ქვედა ბიეფებში დონეები მაქსიმალურია (მაქსიმალური შემატრევებელი ძალის შემთხვევა, რომელიც, მიუხედავად მცირე დაწწევისა, შეიძლება უფრო სახიფათო აღმოჩნდეს კაშხალის მდგრალობისათვის); გ) ყინულის სტრუქტური წწევის შემთხვევა ყინულის ფენის რაც შეიძლება მაღალი დონის დროს, როდესაც ქვედა ბიეფში დონე შესაბამისად მინიმალურია:

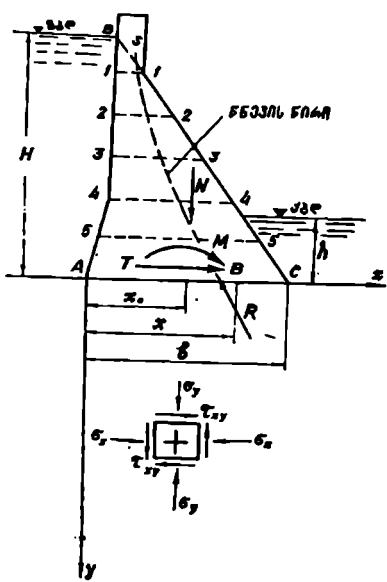
3) საგანგებო საექსპლუატაციო დატვირთვების განსაკუთრებულ შესამებათა დროს, რომელთაც ადგილი აქეთ მიწისძვრის, წყლის, ყინულის, ქარის კატასტროფული ზემოქმედების დროს და სხვ.

1 გაფართოებულგანიუაკერებიანი კაშხალების შემთხვევაში მიზანშეწონილია განგარიშებას მთელი სექცია.

ვერტიკალური ნორმალური ძაბვების განსაზღვრა. სიმტკიცეზე განგარიშებისათვის კაშხალის პროფილს ყოფენ იარუსებად 1—1, 2—2 და ა. შ. ჰორიზონტალური კვეთებით (ნაკერებით). თითოეული კვეთისათვის (ნახ. 5-5 და 5-6) განსაზღვრავენ კაშხალზე ამ კვეთის (ნაკერის) ზემოთ მოქმედ ძალებს. კვეთები მიზანშეწონილია გატარდეს პროფილის გარდატეხის, სივანის ცვლილებისა და ძალთა მოდების ადგილებში.

ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები კაშხალის წახნაგებზე განისაზღვრება არათანაბარი კუმშვის ფორმულის გამოყენებით

$$\frac{N}{F} \pm \frac{Mx_0}{I} = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}, \quad (5-11)$$



სადაც  $N$  არის განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ძალების პროექციების ჯამი კვეთის ნორმალზე (ვერტიკალური ძალების ჯამი);

$M$  — განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ;

$x_0$  — მანძილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან მის განაპირა (წახნაგის) წერტილამდე;

$F$  — კვეთის ფართობი;

$I$  — კვეთის ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ;

$W$  — კვეთის წინაღობის მომენტი (კაშხალის 1 გრძ. მ. განხილვის დროს

5-5. ურე გრატიკული კაშხალის სიმტკიცეზე განგარიშების სქემა.

$$W = \frac{1 \cdot b^2}{6}, \text{ სადა } b \text{ კვეთის სიგანეა.}$$

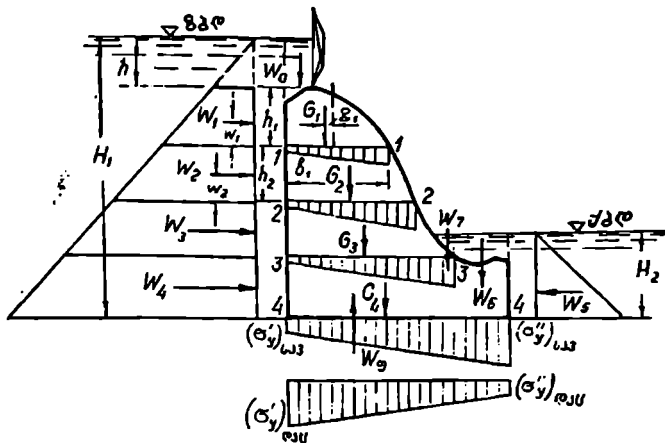
ნაკერის სწორკუთხოვანი კვეთის შემთხვევაში იგივე ნორმალური ძაბვებისათვის (5—11) ფორმულა შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი სახით:

$$\frac{N}{b} \left( 1 \pm \frac{6e}{b} \right), \quad (5-12)$$

სადაც  $b$  განსახილველი კვეთის სიგანეა;

$e$  — განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ყველა ძალის ტოლქმედის ვერტიკალური მდგენლის ექსცენტრისიტეტი კვეთის ცენტრის მიმართ.





ნახ. 5-6. წყალსაშენი გრაფიკული კაშხლის სიმტკიცეზე განგარიშების სქემა.

ტოლქმედის სიდიდე და მდებარეობა შეიცვლება განისაზღვროს როგორც ანალიზურად, ისე გრაფიკულად თოკის მრავალგვერდისა და ძალთა მრავალკუთხედის დახმარებით. კაშხალში ჩახაზული თოკის მრავალგვერდა ქმნის წნევის წიგნს. რომელიც წარმოადგენს ტოლქმედების გავლის წერტილების გეომეტრიულ ადგილს; მან უნდა გაიაროს პორიზონტალური კვეთების შუა მესამედების ფარგლებში. რათა უზრუნველყოფილ იქნეს მკუშში ძაბვები აღნიშნულ კვეთებში (ნახ. 5-5).

ანალიზურად განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ძალების ტოლქმედის გავლის წერტილის მდებარეობა ( $N$  მდგენელის ექსცენტრისიტეტი) კვეთის ცენტრის მიმართ განისაზღვრება  $e = \frac{M}{N}$  ფარდობით.

საესე წყალსაშენის შემთხვევაში ძაბვები სადაწნეო წახნაგზე არ უნდა გამოვიდეს გამკვირვებ, ე. ი. დატული უნდა იქნეს პირობა

$$\sigma'_{xx} = \left( \frac{N}{b} \left( 1 - \frac{6e}{b} \right) \right) \leq 0. \quad (5-13)$$

ინავე შემთხვევაში ქვედა წახნაგზე მკუშში ძაბვებმა არ უნდა გადააქარბოს კაშხალის მასალაზე დასაშვებ ძაბვას, ხოლო ფუძის კვეთში — ფუძის გრუნტზე დასაშვებ ძაბვას; მაშასადამე, დატული უნდა იქნეს პირობა

$$\frac{N}{b} \left( 1 + \frac{6e}{b} \right) \leq [\sigma], \quad (5-14)$$

სადაც  $[\sigma]$  კაშხალის მასალაზე ან ფუძის გრუნტზე დასაშვები ძაბვაა.

სამშენებლო მდგომარეობაში (დატოლილი წყალსაშენის შემთხვევა) მოსალოდნელია გამკვირვებ ძაბვების წარმოშობა ქვედა წახნაგზე. ამ ძაბვებმა, მოქმედი ნორძების თანხმად, არ უნდა გადააქარბოს 2 კგ/სმ<sup>2</sup>-ს.

განსაზღვრული იქნება რა (5—11) ან (5—12) ფორმულის გამოყენებით  $\sigma'_x$  და  $\sigma'_y$  ნორმალურ ძაბვათა მნიშვნელობანი, შესაბამისად, ზედა და ქვედა წახნაგებზე. ადვილად შეიძლება გავიანგარიშოთ ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები თვით კაშხალის ტანში

$$\frac{x}{b} \sigma''_y + \left(1 - \frac{x}{b}\right) \sigma''_x, \quad (5-15)$$

სადაც  $x$  არის მანძილი სადაწნეო წახნაგიდან პორიზონტალური კვეთის იმ წერტილამდე, რომელშიც განისაზღვრება ნორმალური ძაბვა (ნახ 5-5).

**ბ** — განსახილველი პორიზონტალური კვეთის სიგანე.

პორიზონტალური ნორმალური და ამხლეჩი ძაბვების განსაზღვრა კაშხალის წახნაგებზე მოქმედ  $\sigma'_x$ ,  $\sigma'_y$  პორიზონტალურ, ნორმალურ და  $\tau$ ,  $\tau'$  ამხლეჩი ძაბვათა განსაზღვრისათვის განვიხილოთ წახნაგებთან გამოყოფილი სამკუთხოვანი პრიზმების წონასწორობა (ნახ. 5-7). ვივლინსაშობთ, რომ  $\sigma''_x$  და  $\sigma''_y$  ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები უკვე განსაზღვრულია (5—11) ან (5—12) ფორმულით.

თუ დავაგვიკვილებთ სადაწნეო წახნაგთან გამოყოფილ ელემენტარულ სამკუთხედზე მოქმედ ძალებს სათანადოდ  $x$  და  $y$  ღერძებზე, მივიღებთ წონასწორობის ორ განტოლებას:

$$\gamma y \frac{dx}{\sin \alpha} \cos \alpha - \tau' dx - \sigma'_x dx \operatorname{ctg} \alpha = 0; \quad (5-16)$$

$$\gamma y \frac{dy}{\cos \alpha} \sin \alpha - \sigma''_y dy \operatorname{tg} \alpha - \tau dy = 0, \quad (5-17)$$

საიდანაც საძიებელი ძაბვები ზედა წახნაგზე იქნება:

$$\sigma'_x = \gamma y - (\gamma y - \sigma''_x) m_1, \quad (5-18)$$

$$\tau' = (\gamma y - \sigma''_x) m_1, \quad (5-19)$$

ხოლო ქვედა წახნაგისათვის ანალოგიურად ვღებულობთ

$$\sigma''_x = \sigma''_y m_2, \quad (5-20)$$

$$\tau'' = -\sigma''_y m_2. \quad (5-21)$$

მიღებულ ფორმულებში  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა ( $\gamma = 1$  ტ/მ<sup>3</sup>). ხოლო  $y$  — წყლის სვეტის სიმაღლე განსახილველი კვეთის ზემოთ: გარდა ამისა,

$$m_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 \text{ და } m_2 = \operatorname{tg} \alpha_2.$$

როდესაც კონტურზე (წახნაგებზე) მოქმედი ძაბვები ცნობილია, მაშინ სწორხაზოვანი (ან ტეხილი) წახნაგების შემთხვევაში  $\sigma_x$  და  $\tau$  ძაბვები კაშხალის ტანში განისაზღვრება შექმდევი ფორმულებით<sup>1</sup>:

$$\sigma_x = \frac{x}{b} \sigma''_x + \left(1 - \frac{x}{b}\right) \sigma''_y + \left(\frac{x}{b}\right)^2 \left(1 - \frac{x}{b}\right) \Phi''(y) - \frac{x}{b} \left(1 - \frac{x}{b}\right)^2 \Phi'(y);$$

(5-22).

<sup>1</sup> НИТУ на проектирование бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях /СН 123.60/. Госэнергоиздат, М., 1961.

$$\tau = \frac{x}{b} \tau'' \left(1 - \frac{x}{b}\right) \tau' + 6 \frac{x}{b} \left(1 - \frac{x}{b}\right) \left(\frac{T}{b} - \frac{\tau'' + \tau'}{2}\right). \quad (5-23)$$

სადაც  $T$  არის ჰიდროსტატიკური წნევის ძვრის ძალა კვეთში

$$T = \frac{\gamma (H^2 - h^2)}{2}, \quad (5-24)$$

ხოლო  $\Phi'(y)$  და  $\Phi''(y)$  აღნიშვნები:

$$\begin{aligned} \Phi'(y) = & -b(\gamma_1 - \gamma) m_1 - 4 \left( (\tau'' - \tau' - 3 \frac{T}{b}) m_1 + \right. \\ & \left. + (\sigma''_H + \sigma'_H - 2\gamma H) m_1^2 + \sigma''_x + \sigma'_x - 2\gamma H; \right. \end{aligned} \quad (5-25)$$

$$\begin{aligned} \Phi''(y) = & -b(\gamma_1 - \gamma) m_2 - 4 \left( \tau'' + \tau' - 3 \frac{T}{b} \right) m_2 - \\ & - (\sigma''_H + \sigma'_H - 2\gamma h) m_2^2 - \sigma''_x - \sigma'_x + 2\gamma h. \end{aligned} \quad (5-26)$$

აქ  $\gamma_1$  არის კაშხალის წყობის (ბეტონის) მოცულობითი წონა.

ჩვეულებრივ,  $\sigma_x$  ეპიურის მობაზულობა მცირედ განსხვავდება სწორხაზოვანიდან, ამიტომ მცირე და საშუალო სიმაღლის კაშხალებისათვის შეიძლება მივიღოთ  $\Phi'(y) = \Phi''(y)$  და  $\sigma_x$  განესაზღვროთ ფორმულით

$$\sigma_x = \frac{x}{b} \sigma''_x + \left(1 - \frac{x}{b}\right) \sigma'_x. \quad (5-27)$$

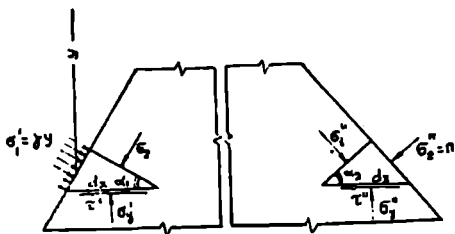
მთავარი ძაბვების განსაზღვრა. ადვილად შეიძლება დაერწმუნდეთ, რომ მთავარი ნორმალური ძაბვების მოქმედების სიბრტყეებიდან ერთ-ერთი წარმოადგენს წახნაგის სიბრტყეს, ხოლო მეორე მისი მართობია. ეს ცხადია იქიდან, რომ კაშხალის წახნაგების სიბრტყეებში მხები (ამხლები) ძაბვები ნულის ტოლია.

კაშხალის წახნაგებზე მოქმედ მთავარ ძაბვათა განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ისეთი ელემენტარული სწორკუთხოვანი სამკუთხედების წონასწორობა, რომელთა კათეტები წარმოადგენს მთავარ ნორმალურ ძაბვათა მოქმედების ფართობებს (ნახ. 5-8).

სადაწნეო წახნაგთან გამოყოფილ ელემენტარულ სწორკუთხიან სამკუთხედზე მოქმედი ძალების  $y$  ღერძზე დაგეგმილებით ვლებულობთ წონასწორობის განტოლებას

$$\sigma'_1 dx \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 + \sigma'_2 dx \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - \sigma'_y dx = 0.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მთავარი ნორმალური ძაბვა სადაწნეო წახნაგზე ჰიდროსტატიკური წნევის ტოლია, ე. ი.



ნახ. 5-8. კაშხალში და მის წახნაგებზე მოქმედ  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  მთავარ ძაბვათა განსაზღვრის სქემა.

$$\sigma'_1 = \gamma y, \quad (5-28)$$

მაშინ მეორე მთავარი ნორმალური ძაბვისათვის წონასწორობის განტოლებიდან მივიღებთ

$$\sigma'_z = \frac{\sigma'_y}{\cos^2 \alpha_1} - \gamma y \lg^2 \alpha_1 = \sigma'_y(1 + m_1^2) - \gamma y m_1^2, \quad (5-29)$$

ანალოგიურად, ქვედა წახნაგზე

$$\sigma''_1 dx \cos \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 - \sigma''_y dx = 0,$$

საიდანაც

$$\sigma''_1 = \frac{\sigma''_y}{\cos^2 \alpha_2} = \sigma''_y(1 + m_2^2) \quad (5-30)$$

და

$$\sigma_2'' = 0. \quad (5-31)$$

ამგვარად, სადაწნეო წახნაგზე ერთ-ერთი მთავარი ნორმალური ძაბვა უოველთვის ჰიდროსტატიკური წნევის ტოლია, ხოლო მეორე —  $\sigma'_y(1 + m_1^2) - \gamma y m_1^2$  გამოსახვლებისა. მათგან რომელია უდიდესი ( $\sigma_1$ ) და რომელი უმცირესი ( $\sigma_2$ ), გამოირკვევა გაანგარიშების შედეგად მიღებულ სიდიდეთა მიხედვით.

დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში ზემოთ მიღებულ ფორმულებში საჭიროა ჩავსვათ  $\gamma y = 0$ . გარდა ამისა,  $\sigma_y$  ვერტიკალურ ნორმალურ ძაბვათა მნიშვნელობანიც აღებული უნდა იქნეს დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევისათვის.

კაშხალის გაანგარიშების დროს საჭიროა შესრულდეს სიმტკიცის შემდეგ პირობები:

1) სავესე წყალსაცავის შემთხვევაში სადაწნეო წახნაგზე

$$\sigma'_z = \sigma'_y(1 + m_1^2) - \gamma y m_1^2 \geq 0, \quad (5-32)$$

ე. ი. თავიდან აცილებული უნდა იქნეს გაპქიმავეი ძაბვების წარმოშობა, რაც მოსალოდნელია მაშინ, როდესაც

$$\sigma'_y < \gamma y \sin^2 \alpha_1, \quad (5-33)$$

პასახადამე, უნდა მივიწრაფვოდეთ  $\alpha_1$  კუთხის შემცირებისაკენ, ანუ, ზედა წახნაგის ვერტიკალურობისაკენ;

2) ქვედა წახნაგზე

$$\sigma''_1 = \sigma''_y(1 + m_2^2) \leq [\sigma], \quad (5-34)$$

სადაც  $[\sigma]$  კაშხალის მასალაზე ან ფუძის გრუნტზე დასაშვები მკუმშავი ძაბვაა;

3) დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში ზედა წახნაგზე

$$\sigma'_z = \sigma'_y(1 + m_1^2) \leq [\sigma]; \quad (5-35)$$

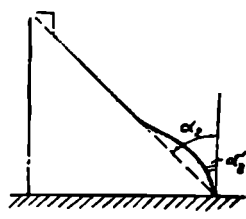
4) ქვედა წახნაგზე

$$\sigma''_1 = \sigma''_y(1 + m_2^2) \geq 0 \quad (5-36)$$

(გაპქიმავეი ძაბვების თავიდან აცილების პირობა), რომელიც თავისთავად ემყოფილდება მაშინ, როდესაც  $\sigma''_y \geq 0$ .

<sup>1</sup> დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში ქვედა წახნაგზე დასაშვებია 2 კვ/სმ<sup>2</sup>-მდე ვაპქიმავეი ძაბვები.

სიმტკიცის (5-34) პირობიდან გამომდინარეობს. რომ უდიდესი და განმსაზღვრელია  $\sigma_1$  მაქსიმალური მთავარი ნორმალური ძაბვა ქვედა წახნაგზე. ყველა ქვედა კვეთში. რომელმაც კაშხალის ნოცემული სიმაღლის დროს შეიძლება გადააქარბოს დასაშვებ სიდიდეს. ამის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა ფუძესთან კაშხალის გასქელებით შემცირდეს ვერტიკალთან ქვედა წახნაგის დახრილობის კუთხე ( $\alpha_2$  შე-  
მცირდეს  $\alpha'_2$ -მდე) ისე. როგორც ეს ნაჩვენებია 5-9 ნახაზზე.



ნ.ხ. 5-9. კაშხალის ქვედა წახნაგზე მთავარ ნორმალურ ძაბვათა შემცირების ხერხი.

მთავარი მხები ძაბვები გაიანგარიშება ფორმულით

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \tag{5-37}$$

ქვედა წახნაგის წერტილებისათვის იგი გვაძლევს სიდიდეს

$$\tau'_{\max} = \frac{\sigma'_1}{2} \tag{5-38}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ თანავედროვე გრავიტაციულ კაშხალებში დასაშვებია 40—45 კმ/სმ<sup>2</sup> და უფრო მეტი სიდიდის მთავარი მკუმშავი ძაბვები. მაშინ მთავარი ახლური ძაბვები მიიღება 20—22 კმ/სმ<sup>2</sup> და უფრო მეტი სიდიდის, რაც ბევრად აღემატება ბეტონზე ჩვეულებრივ დასაშვებ ძაბვებს. დიდი ამხლური ძაბვების დაშვება გამართლებულია იმით, რომ მუშაობის პირობების მიხედვით გრავიტაციულ კაშხალებში ბეტონი ყოველთვის შეკუმშულია, რაც ზრდის მის ასლერეჯზე წინაღობას, ამასთანავე, მთავარ მკუმშავ ძაბვათა გაღრმობასთან ერთად იზრდება მასალის ასლერეჯზე წინაღობაც.

მთავარი ნორმალური და მთავარი მხები ძაბვები კაშხალის ტანში განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის ცნობილი ფორმულების გამოყენებით:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}; \tag{5-39}$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}. \tag{5-40}$$

რადიკალის წინ პლუს ნიშანი აიღება  $\sigma_1$  მაქსიმალური მთავარი ნორმალური ძაბვისათვის, ხოლო მინუს ნიშანი —  $\sigma_2$  მინიმალური მთავარი ნორმალური ძაბვისათვის.

ცხადია, იმავე (5—39) და (5—40) ფორმულებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს მთავარ ძაბვათა მნიშვნელობანი კაშხალის წახნაგებზე, რომელთა ფორმულები ზემოთ სხვა გზით იყო მიღებული.

განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო კაშხალების გეგმარების დროს მიზანშეწონილია ძაბვითი მდგომარეობის ანალიზი ჩატარდეს დრეკადობის თეორიის უფრო სრულყოფილი მეთოდებით.

ფილტრაცია ბეტონის კაშხალის ტანში და მისი როლი. ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების გეგმარების დროს საჭიროა

მადელობაში იქნეს მიღებული, რომ როგორი საუკეთესო შემაჯგენლობითაც არ უნდა დამზადდეს ბეტონი. იგი ხასიათდება გარკვეული ფორიანობით და წყალშეღწევალობით. რაც იწვევს მასში ფილტვრას ზედა ბიეფიდან ქვედაში. ბეტონის ნაწილაკები, რომლებიც იმყოფებიან მფილტრაგი წყლით გაჭერებულ ზონაში. განიკლიან შემატივტივებულ და ფილტრაციულ წნევას, რომელიც მოქმედებს ფილტრაციული დინების მიმართულეებებით. კაშხალების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ფილტრაციული წნევა პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს კაშხალის მასალის ძაბვითს მდგომარეობაზე. მაგრამ თუკი კაშხალში გაჩნდა პორიზონტალური ან დაახლოებით პორიზონტალური ბზარი (მაგალითად, მუშა ნაყერზე), მაშინ ზედა ბიეფიდან წყალი შევა ბზარში და კაშხალია ზედა ნაწილზე მოახდენს ადგილობრივ ჰიდროსტატიკურ წნევას ქვეშოდან. ახალი გარე ძალის გაჩენის გამო ნაყერში არსებული ძაბვის განაწილება შეიკლება და მასთან მით უფრო მეტად, რაც უფრო ღრმად ვავრცელდება ბზარი კაშხალის ტანში. შეიძლება აღნიშნულმა ცვლილებამ გამოიწვიოს ვაქუიანი ძაბვების წარმოშობა ნაყერში.

დრეკადობის თეორიის კნობილი სპეციალისტის შორის ლევის აზრით, გრავიტაციული კაშხალი უნდა გავანიერდეს იმდენად, რომ სადაწნეო წახნაგის ნებისმიერ წერტილში  $\sigma_2'$  მთავარი ნორმალური მკუმშავი ძაბვა აღემატებოდეს

$$\text{ჰიდროსტატიკურ წნევას, ე. ი. } \sigma_2' > \gamma y \text{ ანუ ფარდობა } \psi = \frac{\sigma_2'}{\sigma_1'} > 1. \text{ მას მიაჩნდა,}$$

რომ. თუ დაცული იქნება ეს წესი, რომელსაც შემდგომში „მ. ლევის წესი“ ეწოდა. წყალი არ შევა ნაყერში ან ბზარში. ამჟამად შეიძლება დადგენილად ჩაითვალოს, რომ ეს მოსაზრება არ არის სწორი. საქმე ის არის, რომ წყალი ბეტონში იკონება პრაქტიკულად ნებისმიერი ძაბვითი მდგომარეობის დროს, მიუხედავად იმისა არსებობს თუ არა მასში ნაყერი ან ბზარი.

საკითხი იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა იქნეს გათვალისწინებული ფილტრაციული წნევა ბეტონის კაშხალის ნაყერებში, ჯერ კიდევ არ არის გარკვევით გადაწყვეტილი; სპეციალისტები გამოთქვამენ სხვადასხვა მოსაზრებებს. ერთნი ფიქრობენ, რომ წყლის წნევა ნაყერებში მთლიანად განსაზღვრული უნდა იქნეს როგორც  $h$  სიმაღლის სამკუთხოვანი ეპიურით განაწილებული გარე ძალა, სადაც  $h$  განსახილველი კვეთის ჩაძირვის სიღრმეა ზედა ბიეფის დონის ქვეშ. მეორენი უშეებენ, რომ კვეთში მოქმედი შემაწონასწორებელი წნევა გადაეცემა მხოლოდ ნაყერის ფართობის ნაწილს, რომელიც დამოკიდებულია ბეტონის სიბრტყითს ფორიანობაზე ანუ სიმკვრივეზე<sup>1</sup>. ეს შეხედულება ამჟამად ფართოდ არის გავრცელებული: მას ხელი შეუწყო ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა, რომელთა მონაცემების თანახმად,  $\alpha_2$  კოეფიციენტის მნიშვნელობანი მერყეობს 0.43—0.91 შუალედში. უკანასკნელი გამოკვლევები ადასტურებს, რომ  $\alpha_2$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია ძაბვაზე ბეტონში, კერძოდ, იზრდება კუმშვის შემცირებით და ვაკუუმის გაზრდით ისე, რომ ზღვარში შეიძლება გახდეს თითქმის 1-ის ტოლი. მაშასადამე, ამ მონაცემების მიხედვით მ. ლევის წესი შეიძლება დაკმაყოფილდეს ნაწილობრივ, მეტწილად სანახევროდ, ე. ი.  $\sigma_2' > 0,5\gamma h$  ( $\psi > 0,5$ ).

<sup>1</sup> М. Б. Гинзбург, К. А. Мальцов, И. Б. Соколов, Определение величины проницаемости в бетонной кладке гидротехнических сооружений, ВНИИГ имени Б. Е. Власовца, Госэнергиздат. М. Л., 1959.

მესამე მოსაზრების თანახმად, ფილტრაციული წნევა კაშხალის ტანში წარმოადგენს შიგა ძალას, რომელიც იწვევს ბეტონის ნაწილაკების მხოლოდ ყოველმხრივ კუმშვას, მაგრამ ეს არ გამოირიცხავს წყლის შემატრეტივებელი წნევის გათვალისწინებას.

ასეა თუ ისე, საჭიროა მიღებულ იქნეს ზომები, რათა თავიდან ავიცილოთ ბეტონის კაშხალის ტანის წყლით გაჭერება. მოქმედი ტექნიკური პირობებითა და ნორმებით რეკომენდებულია კაშხალის სადაწნეო წახნაგთან გამოყენებულ იქნეს განსაკუთრებით მკვრივი ბეტონი ან დაიფაროს იგი ტორკრეტით, ბიტუმი და ა. შ. და მოეწყოს კაშხალის ტანის ღრენაჟი. ამ შემთხვევაში ფილტრაციული წნევა კაშხალის ტანში შეიძლება მხედველობაში არ იქნეს მიღებული.

#### § 5-4. ბრავნიტაციული კაშხალაჟის სიმბაჟიძეჟა ზაანგარიჟება ღრეკადობის თეორიის მეთოდით

როგორც აღენიშნეთ, განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო გრავიტაციული კაშხალების სიმბაჟიძეჟა ზაანგარიჟება უნდა ჩატარდეს არა მარტო ელემენტარული<sup>1</sup>, არამედ აგრეთვე ღრეკადობის თეორიის მეთოდითაც, რომელიც იძლევა ძაბვათა ყველა კომპონენტის მნიშვნელობებს პროფილის ნებისმიერ წერტილში. ეს მეთოდი ხასიათდება სხვა უპირატესობებითაც; რომლებზედაც ჩვენ ქვემოთ გვექნება საუბარი.

ღრეკადობის თეორიის მეთოდი განიხილავს უსასრულო სიმაღლის კაშხალიდან ვერტიკალური სიმბაჟეებით ამოკრილი ერთეული სიგრძისა (1 გრძ. მ) და  $h$  სიმაღლის უბანს (პროფილს) და შეისწავლის მის ძაბვის მდგომარეობას ბრტყელი ამოცანის პირობებში.

ამ მეთოდით გრავიტაციული კაშხალების ძაბვითი მდგომარეობის გამოკვლევები ჩატარებული აქვს მრავალ უცხოელ და საბჭოთა მკვლევარს. იმ საბჭოთა მეცნიერთაგან, რომელთაც მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს ღრეკადობის თეორიის აპარატით გრავიტაციული კაშხალების ზაანგარიჟების მეთოდების დამუშავებაში, აღსანიშნავია: ვ. სკრილნიკოვი, ბ. გალიორკინი, ს. გუტმანი, გ. მასლოვი და სხვ. ვ. სკრილნიკოვმა მოგვცა სამკუთხოვანი პროფილის გრავიტაციული კაშხალის ღრმა ანალიზი, ხოლო ბ. გალიორკინმა გადაწყვიტა ტრაპეციული და უფრო რთული პროფილების ზაანგარიჟების ამოცანები.

#### 1. ჰიდროსტატიკური წნევისა და საკუთარი წონის მოქმედებით გამოწვეულ ძაბვათა ზაანგარიჟება კაშხალის სამკუთხოვან პროფილში

გამოვეთ კაშხალის პროფილის რომელიმე  $P(x, y)$  წერტილში ელემენტარული პრიზმა, რომლის წახნაგების ზომებია  $dx$  და  $dy$ , და განვიხილოთ მისი წონასწორობა იმ აღნიშვნებისა და ლერძთა მიმართულებების გათვალისწინებით, რომლებიც ნაჩვენებია 5-10 და 5-11 ნახაზებზე. წონასწორობის განტოლებათა მისაღებად საჭიროა წახნაგებზე მოქმედი ძალები და მოცულობითი

<sup>1</sup> მასალათა გამძლეობის ელემენტარული მეთოდი კაშხალის პროფილის შიგა წერტილებისათვის იძლევა  $\sigma_x$  ძაბვათა მიახლოებით მნიშვნელობებს; მასალათაჟე. მთავე წერტილებსათვის მთავარი ძაბვებიჟე მიიღება მიახლოებითი მნიშვნელობით.

ძალები დაგეგმილდეს საკოორდინატო ღერძებზე.  $x$  ღერძზე დაგეგმილება გვაძლევს:

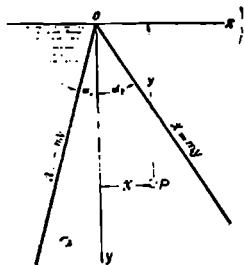
$$\Sigma X = \sigma_x dy - \left( \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \right) dy + \tau dx - \left( \tau + \frac{\partial \tau}{\partial y} dy \right) dx + F_x dx dy = 0,$$

საიდანაც ადვილად ვღებულობთ

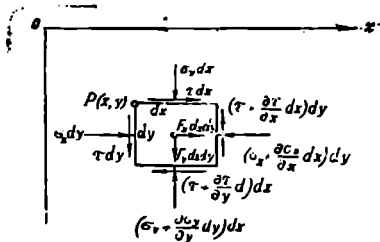
$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} - F_x = 0. \quad (5-41)$$

ანალოგიურად,  $y$  ღერძზე დაგეგმილება გვაძლევს

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} - F_y = 0. \quad (5-42)$$



ნახ. 5-10. დრეკადობის თეორიის მეთოდით გრავიტაციული კაშხალის გახვარ იშვების სქემა.



ნახ. 5-11. პროფილის წერტილში გამოყოფილ ელემენტარულ პრიზმაზე მოქმედი ძალები.

მიღებულ განტოლებებში  $F_x$  და  $F_y$  მოცულობითი ძალების ტოლქმედის კომპონენტებია კოორდინატთა ღერძებზე. განსახილველ შემთხვევაში გვაქვს მხოლოდ ერთი მოცულობითი ძალა, სახელდობრ, წონის ძალა, რომლის კომპონენტი  $x$  ღერძზე ნულის ტოლია, ხოლო  $y$  ღერძზე — კაშხალის მასალის ერთეული მოცულობის წონისა.

ამგვარად, თუ (5-41) და (5-42) ფორმულებში ჩავსვამთ, სათანადოდ,  $F_x=0$  და  $F_y=\gamma_1$ , გვაქნება:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0; \quad (5-43)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = \gamma_1. \quad (5-44)$$

მივიღეთ ორი განტოლება  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau$  სამი უცნობით. მესამე განტოლებად გამოიყენება განუწყვეტელობის პირობა, რომელიც მორის ლევის შემდეგ განტოლებით გამოისახება:

$$\frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_y)}{\partial y^2} = 0. \quad (5-45)$$



ადვილად შეიძლება დაერწმუნდეთ, რომ (5-43), (5-44) და (5-45) კერძო-წარმოებულებიან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ამონახსნი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი წრფივი ფუნქციების სახით:

$$\begin{cases} \sigma_x = a_1x + b_1y, \\ \sigma_y = a_2x + b_2y, \\ \tau = a_3x + b_3y. \end{cases} \quad (5-46)$$

იმისათვის, რომ განისაზღვროს  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  და  $\tau$  ძაბვები კაშხალის პროფილის ნებისმიერ წერტილში, საჭიროა ვიცოდეთ (5-46) გამოსახულებებში შემავალ  $a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3$  მუდმივ კოეფიციენტთა მნიშვნელობანი. ეს კოეფიციენტები განისაზღვრება კაშხალის წახნაგებზე სასაზღვრო პირობების გამოყენებით და აქვთ შემდეგი მნიშვნელობები:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} m_1 m_2 (m_2 - m_1) + \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^3} m_1 m_2 (m_1 m_2 - m_2^2 - 2); \\ b_1 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} 2m_1 m_2^2 - \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^3} m_2^2 (2m_1^2 m_2 - 3m_1 - m_2); \\ a_2 &= -\frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} (m_2 - m_1) - \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^3} (m_1^2 + 3m_1 m_2 - 2); \\ b_2 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} (m_1^2 + m_2^2) - \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^3} (m_2 - m_1 - 2m_2^2 m_1); \\ a_3 &= \gamma_1 - b_2; \\ b_3 &= -a_1. \end{aligned} \right\} \quad (5-47)$$

სადაც  $\gamma$  და  $\gamma_1$ , შესაბამისად, წყლისა და კაშხალის მასალის მოცულობითი წონებია.

თუ კაშხალი არ განიცდის პიდროსტატიკურ წნევას, როგორც აქვს ადგილი აქვს კაშმუნებლო ან დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევაში, მაშინ ძაბვები განისაზღვრება იმავე განტოლებებით, მხოლოდ მათში ჩასმული უნდა იქნეს  $\gamma = 0$ , რის შედეგადაც (5-47) გამოსახულებებში მეორე წევრები ამოვარდება.

მთავარი ძაბვები წერტილებში, რომლებისთვისაც ( $\sigma_x, \sigma_y$  და  $\tau$ ) ნორმალური და მხები ძაბვები ცნობილია, განისაზღვრება წინა პარაგრაფში მოყვანილი (5-39) და (5-40) ფორმულებით, ხოლო  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  მთავარ ნორმალურ ძაბვათა მიმართულება და მათი მოქმედების ფართობების დახრილობა განისაზღვრება  $\alpha$  ღერძთან შედგენილი  $\theta$  კუთხით:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{-(\sigma_x - \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}}{2\tau} \quad (5-48)$$

ანდა

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2\tau}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (5-49)$$

(5-48) ფორმულაში პლუს და მინუს ნიშნები რადიკალის წინ შეესაბამება სათანადოდ  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  ძაბვებს.

რაც შეეხება მთავარ მხებ ძაბვებს, ისინი მიმართული არიან მთავარ ნორმალურ ძაბვათა შორის კუთხის ბისექტრისით, ე. ი.  $\sigma_1$  მიმართულებასთან  $45^\circ$  კუთხით.

ძაბვები კაშხალის წახნაგებზე. ზემოთ მოყვანილი (5—46) და (5—47) ფორმულების გამოყენებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს აგრეთვე ძაბვები წახნაგებზე, რომლებიც წინა პარაგრაფში ელემენტარული მეთოდით იყო მიღებული. ამისათვის საჭიროა აღნიშნულ განტოლებებში ჩასვალ იქნეს  $x = -m_1y$  და  $x = m_2y$  მნიშვნელობანი, შესაბამისად, ზედა და ქვედა წახნაგისათვის. ამის შედეგად ვღებულობთ

1. ზედა წახნაგისათვის:

$$\begin{aligned} \sigma'_x &= a_1x + b_1y = (-a_1m_1 + b_1)y = \left\{ \frac{\gamma_1 m_1^2 m_2}{m_1 + m_2} + \gamma \left[ 1 - \frac{m_1^2(1 + m_2^2)}{m_1^2 + m_2} \right] \right\} y = \\ &= \gamma y - (\gamma y - \sigma'_y) m_1^2; \end{aligned} \quad (5-50)$$

$$\sigma'_y = a_2x + b_2y = (-a_2m_1 + b_2)y = \left\{ \frac{\gamma_1 m_2}{m_1 + m_2} + \gamma \left[ 1 - \frac{1 + m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} \right] \right\} y; \quad (5-51)$$

$$\begin{aligned} \tau' &= a_3x + b_3y = (-a_3m_1 + b_3)y = - \left[ \frac{\gamma_1 m_2}{m_1 + m_2} - \frac{\gamma(1 + m_2^2)}{(m_1 + m_2)^2} \right] y m_1 = \\ &= (\gamma y - \sigma'_y) m_1. \end{aligned} \quad (5-52)$$

თუ ჩავსვამთ  $\sigma'_x$ ,  $\sigma'_y$  და  $\tau'$  მიღებულ მნიშვნელობებს (5—39) ფორმულაში და ჩავატარებთ შესაბამის ალგებრულ მოქმედებებს, მივიღებთ მთავარ ნორმალურ ძაბვათა საძიებელ მნიშვნელობებს:

$$\sigma'_1 = \gamma y; \quad (5-53)$$

$$\sigma'_2 = \sigma'_y(1 + m_1^2) - \gamma y m_1^2. \quad (5-54)$$

2. ქვედა წახნაგისათვის:

$$\sigma_x'' = a_1x + b_1y = (a_1m_2 + b_1)y = \left[ \frac{\gamma_1 m_1 m_2^2}{m_1 + m_2} + \frac{\gamma m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} (1 - m_1 m_2) \right] y = \sigma_y'' m_2^2 \quad (5-55)$$

$$\sigma_y'' = a_2x + b_2y = (a_2m_2 + b_2)y = \left[ \frac{\gamma_1 m_1}{m_1 + m_2} + \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^2} (1 - m_1 m_2) \right] y; \quad (5-56)$$

$$\tau'' = a_3x + b_3y = (a_3m_2 + b_3)y = \left[ \frac{\gamma_1 m_1 m_2}{m_1 + m_2} + \frac{\gamma m_2}{(m_1 + m_2)^2} (1 - m_1 m_2) \right] y = \sigma_y'' m_2. \quad (5-57)$$

ანალოგიურად, თუ ჩავსვამთ (5—55) და (5—57) გამოსახულებებს (5—39) ფორმულაში და რადიკალის წინ ავიღებთ პლუს ნიშანს, მივიღებთ მთავარ ნორმალურ ძაბვათა საძიებელ მნიშვნელობებს:

$$\sigma''_1 = \sigma_y''(1 + m_2^2); \quad (5-58)$$

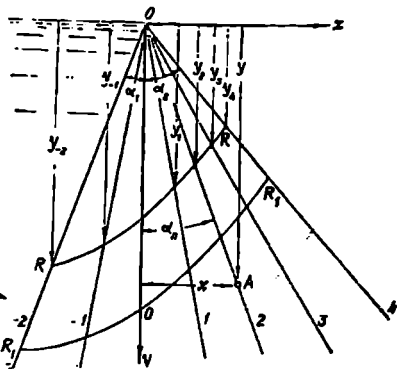
$$\sigma''_2 = 0. \quad (5-59)$$

როგორც ვხედავთ, კაშხალის პროფილის წახნაგებისათვის დრეკადობის თეორიის მეთოდით განსაზღვრული ძაბვათა მნიშვნელობანი საცესებით ემთხვევა ელემენტარული მეთოდით მიღებულ ძაბვებს.

## 2. ძაბვათა განაწილება კაშხალის ტანში

კაშხალის ძაბვითი მდგომარეობის დასახასიათებლად საჭიროა ვიცოდეთ ძაბვთა განაწილების სურათი მის პროფილში, რათა მშენებლობის დროს მასში რაციონალურად იქნეს ჩაწყობილი სხვადასხვა სიმტკიცის (მარკის) ბეტონი,

ხელსაყრელად დაიყოს სამშენებლო ნაქერებით ბეტონირების ბლოკებად, სწორად დაინიშნოს გალერების კვეთის ფორმა კაშხალის ტანში და ა. შ. ძაბვათა განაწილების სურათი შეიძლება თვალნათლივ იქნეს წარმოდგენილი მრუდების ორი ოჯახით: ტოლ ძაბვათა მრუდებით, ანუ იზოსტატებით, და ტრაექტორიებით, რომლებიც გვიჩვენებენ ძაბვათა მიმართულებებს.



მხ. 5-12. იზოსტატების აგების სქემა.

ძაბვათა იზოსტატები. იზოსტატები შეიძლება აგებულ იქნეს ნებისმიერი ძაბვისათვის, მაგრამ საპროექტო პრაქტიკაში მიღებულია, რომ იზოსტატები და ტრაექტორიები აიგოს მხოლოდ მთავარი ძაბვებისათვის.

მთავარ ძაბვათა იზოსტატების მაგალითზე გავეცნოთ ძაბვათა იზოსტატების აგების ზოგად ხერხს, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: კაშხალის პროფილის წვეროდან ავლებენ რამდენიმე სხივს, ამასთან,  $y$  ღერძს მიიჩნევენ ნულოვან სხივად. ამ ღერძიდან მარჯვნივ ( $x$  ღერძის მიმართულებით) სხივების ნუმერაცია წარმოებს პლუს ნიშნით, ხოლო მის მარცხნივ — მინუს ნიშნით (ნახ. 5-12).

აგების გამარტივების მიზნით (5-46) განტოლებანი წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= a_1 x + b_1 y = \left( a_1 \frac{x}{y} + b_1 \right) y = \sigma_x y; \\ \sigma_y &= a_2 x + b_2 y = \left( a_2 \frac{x}{y} + b_2 \right) y = \sigma_y y; \\ \tau &= a_3 x + b_3 y = \left( a_3 \frac{x}{y} + b_3 \right) y = \tau y. \end{aligned} \right\} \quad (5-60)$$

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ ამ ფორმულებში  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  და  $\tau$  სიდიდეები უცვლელია ყოველი სხივისათვის, რადგან მათ გამოსახულებებში მოცემული სხივის ნებისმიერი წერტილისათვის  $P_i = \frac{x}{y}$  კოორდინატთა ფარდობა მუდმივია და წარმოადგენს სხივის მიერ  $y$  ღერძთან შედგენილ კუთხის ტანგენსს.

თუ შევიტანთ (5-60) მნიშვნელობებს (5-39) და (5-40) ფორმულებში, მივიღებთ მთავარ ძაბვათა გამოსახულებებს შემდეგი სახით:

$$\sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_x^0 + \sigma_y^0) \pm \sqrt{(\sigma_x^0 - \sigma_y^0)^2 + 4\tau^2}}{2} y = \sigma_{1,2}^0 y, \quad (5-61)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sqrt{(\sigma_x^0 - \sigma_y^0)^2 + 4\tau^2}}{2} y = \frac{\sigma_1^0 - \sigma_2^0}{2} y = \tau_{\max}^0 y. \quad (5-62)$$

განესაზღვრავთ რა თითოეული სხივისათვის  $P_n = \text{tg } \alpha_n = \frac{x_n}{y_n}$ ,  $\sigma_x^0, \sigma_y^0, \tau^0$ ,  $\sigma_1^0, \sigma_2^0, \tau_{\max}^0$  მნიშვნელობებს, მთავარ დაბევათა ნებისმიერ იზოსტატს ავაგებთ (5-61) და (5-62) განტოლებათა გამოყენებით.

ვთქვათ, მაგალითად, საჭიროა აიგოს  $\sigma_1$  მთავარი ნორმალური დაბევის იზოსტატი რომელიმე  $\sigma_1 = R$  კგ/სმ<sup>2</sup> რიცხვითი მნიშვნელობისათვის, მაშინ, (5-61) განტოლების თანახმად,

$$\sigma_1 = \sigma_1^0 y = R,$$

საიდანაც

$$y = \frac{R}{\sigma_1^0}. \quad (5-63)$$

თუ ამ ფარდობის მნიშვნელში მიმდევრობით შევიტანთ თითოეული სხივის შესაბამის  $\sigma_1^0$  მნიშვნელობას, ადვილად განესაზღვრავთ საძიებელი იზოსტატის იმ წერტილების ორდინატებს, რომლებიც მოთავსებულია აღნიშნულ სხივებზე. ამ წერტილების შეერთებით კი მივიღებთ მოკეცმული  $\sigma_1 = R$  კგ/სმ<sup>2</sup> მთავარი დაბევის იზოსტატს (ნახ. 5-12).

მივიცემთ რა  $\sigma_1$ -ს სხვა, მაგალითად  $R_1$  კგ/სმ<sup>2</sup>, მნიშვნელობას, ანალოგიური წესით ავაგებთ  $\sigma_1 = R_1$  მთავარი ნორმალური დაბევის იზოსტატს. ჩვეულებრივ, მთავარ დაბევათა იზოსტატებს აგებენ 5, 10, 15, 20, 25 კგ/სმ<sup>2</sup> და ა. შ. მნიშვნელობებისათვის.

დაბევათა იზოსტატების წერტილთა ორდინატების გამოთვლა უმჯობესია ჩატარდეს 5-1 ცხრილის დახმარებით, რისთვისაც  $P_n = \frac{x_n}{y_n}$  პარამეტრს ეძღვა სხივების შესაბამისი მნიშვნელობანი ( $-m_1$ )-დან ( $+m_2$ )-მდე.

ცხრილი 5-1

$P = \frac{x_n}{y_n}$	$\sigma_x^0$	$\sigma_y^0$	$\tau^0$	$\sigma_1^0 = \frac{\sigma_x^0 + \sigma_y^0}{2} + \frac{(\sigma_x^0 - \sigma_y^0) + 4\tau^0}{2}$	$y_i = \frac{R}{\sigma_1^0}$
1	2	3	4	5	6
-0,30					
-0,15					
0,00					
0,10					
0,20					
...					

უნდა შევნიშნოთ, რომ მას შემდეგ, როდესაც აგებული გვექნება იზოსტატი მთავარი დაბევის რომელიმე  $R$  მნიშვნელობისათვის, ძალიან ადვილად შეიძლება ავაგოთ ამ მრუდების ნებისმიერი რაოდენობა  $R_i$  სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. მართლაც, (5-63) განტოლებიდან ჩანს, რომ  $y$  და  $R$  სიდიდეთა შორის არსებობს პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება, რადგან კანზალის მოკეცმული პროფილისათვის მარჯვენა ნაწილის მნიშვნელი მუდმივია. ეს იმას ნიშნავს, რომ, თუ რომელიმე  $OP$  სხივზე ავიღებთ ორ წერტილს, რომლებიც მიეკუთვნებიან  $R$  და  $R_1$  დაბევის იზოსტატებს, მაშინ მათ ორდინატებს შორის იარსებებს დამოკიდებულება

$$\frac{y}{y_1} = \frac{R}{R_1},$$

$$y_1 = y \frac{R_1}{R} \quad (5-64)$$

მაშასადამე, საკმარისია მხოლოდ ერთი რომელიმე  $R$  აბების იზოსტატის წერტილების ორდინატების გამოთვლა; ყველა დანარჩენი  $R$  მნიშვნელობისათვის ორდინატები შეიძლება მიღებულ იქნეს პირველი იზოსტატის ორდინატების  $\frac{R_i}{R}$  ფარდობაზე გამრავლებით.

საილუსტრაციოდ 5-13 ა, ბ, გ, ნახაზებზე ნაჩვენებია  $\sigma_1, \sigma_2$  მთავარი ნორმალური და  $\tau_{max}$  მთავარი მხები ძაბვების იზოსტატების საერთო სახე სავე წყალსაცავის შემთხვევისათვის, ხოლო 5-13 დ ნახაზზე —  $\sigma_1$  მთავარი ძაბვის იზოსტატები დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევისათვის<sup>1</sup>.

ძაბვათა ტრაექტორიები. მთავარ ძაბვათა მიმართულებანი განისაზღვრება  $x$  ღერძთან მათი მოქმედების ფართობების დახრილობის კუთხეებით, რომელთა განსაზღვრა წარმოებს (5-48) ან (5-49) განტოლებით. ამ მიზნით ერთ-ერთ განტოლებაში, მაგალითად, (5-48)-ში, წინასწარ შეიტანენ  $\sigma_x, \sigma_y$  და  $\tau$  ძაბვათა მნიშვნელობებს (5-60)-დან, რის შემდეგ მიიღება ფორმულა

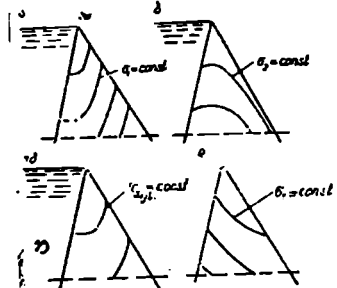
$$\text{tg} \theta = \frac{-(\sigma_x - \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}}{2\tau} \quad (5-65)$$

ცხადია,  $\text{tg} \theta$ -ს მნიშვნელობანი გამოთვლილი უნდა იქნეს ყველა სხივისათვის; ამასთან,  $\sigma_1$  მთავარი ნორმალური ძაბვის ტრაექტორიის აგების დროს (5-65) ფორმულაში რადიკალის წინ აღებული უნდა იქნეს პლუს ნიშანი, ხოლო  $\sigma_2$  ძაბვის ტრაექტორიის აგების დროს — მინუს ნიშანი. მთავარ ძაბვათა მოქმედების ფართობების მიმართულებანი დაიტანება გრაფიკულად შესაბამის სხივებზე.

პრაქტიკულად ტრაექტორიების აგება შემდეგი მიმდევრობით წარმოებს: პროფილის წვეროდან ავლებენ  $O_1, O_2, \dots, O_n$  სხივებს, ხოლო შემდეგ — მათ შორის კუთხეების ბისექტრისებს. გვერდით ავებენ მოცემული (მაგალითად,  $\sigma_1$ ) მთავარი ძაბვის ტრაექტორიის მხების  $p_1, p_2, \dots, p_6$  მიმართულებებს. გამოთვლილ  $\text{tg} \theta_i$  სიდიდეთა მიხედვით (ნახ. 5-14). ეს სიდიდენი განისაზღვრება

ფარდობებით:  $\frac{p'_1}{pp'} = \text{tg} \theta_1, \frac{p'_2}{pp'} = \text{tg} \theta_2, \dots, \frac{p'_6}{pp'} = \text{tg} \theta_6$ ; ამასთან სასურველია, რომ

$pp'$  მონაკვეთი აღებულ იქნეს ერთეულის ტოლი, მაშინ  $p'_1 = \text{tg} \theta_1, p'_2 = \text{tg} \theta_2, \dots, p'_6 = \text{tg} \theta_6$ . ამის შემდეგ პროფილზე პირველი სხივის ნებისმიერ 1-ლი წერტი-

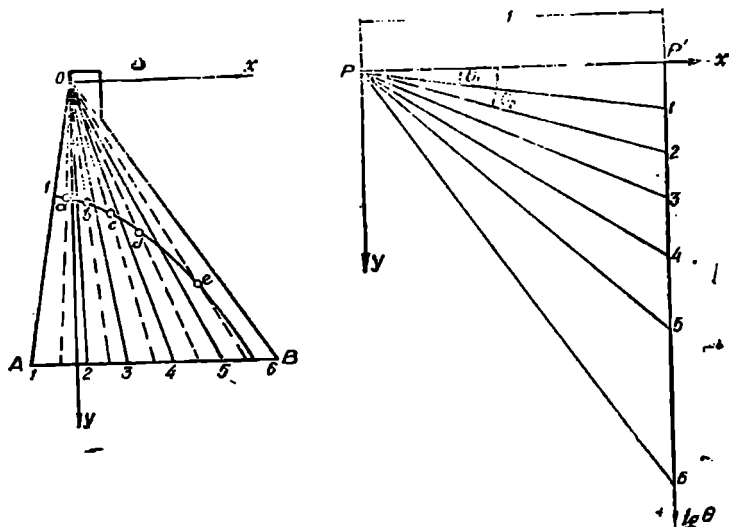


ნახ. 5-13. მთავარი ნორმალური და მთავარი მხები ძაბვების იზოსტატების ზოგადი სახე:

ა-ბ-სავე წყალსაცავის შემთხვევა  
 დ-დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევა.

<sup>1</sup> დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევისათვის  $\sigma_2$  და  $\tau_{max}$  ძაბვათა იზოსტატები პრაქტიკულად ნაკლებად საინტერესოა, ამიტომ მათ იშვიათად ავებენ.

ლიდან ავლებენ  $\overline{p1}$  პარალელურ და ზედა წახნაგის ნორმალურ  $\overline{1a}$  ხაზს პირველი ბიექტრისის გადაკვეთამდე, შემდეგ  $\overline{p2}$  პარალელურ  $\overline{ab}$  ხაზს მეორე ბიექტრისამდე და ა. შ. ბოლო ხაზს ატარებენ უკანასკნელ ბიექტრისაზე მოთავსებულ  $e$  წერტილიდან  $pn$  სხივის (ქვედა წახნაგის) პარალელურად. მიღებული  $1abcde$  მრავალკუთხედი („თოკის მრავალკვევრი“) წარმოადგენს  $\sigma_1$  მთავარი ხორმალური ძაბვების ტრაექტორიას ზოგიერთი ცდომილებით. ფაქტობრივად ეს მრუდი ასიმპტოტურად უნდა უახლოვდებოდეს ქვედა წახნაგს.



ნახ. 5—14.  $\sigma_1$  მთავარი ნორმალური ძაბვის ტრაექტორიის აგება.

ანალოგიურად აგებენ  $\sigma_2$  მთავარი ნორმალური ძაბვის ტრაექტორიას, რისთვისაც —  $1\theta\theta_1$ , —  $1'\theta_2$ , ...,  $1\theta P_n$  სიდიდეებს გადაზომავენ  $p$  ლერძის ზემოთ  $1\theta$  ლერძის უარყოფით მიმართულებაზე (ნახ. 5-14 ბ; აგება ნაჩვენები არ არის). გაატარებენ რა  $p$  პოლუსიდან  $\sigma_2$  ძაბვის ვექტორთა მიმართულებებს, თოკის მრავალკვევრის (ტრაექტორიის) აგებას იწყებენ ქვედა წახნაგის რომელიმე წერტილიდან და აგრძელებენ ჩვეულებრივი წესით.

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ სხვადასხვა საწყისი წერტილიდან აგებული ერთი სახეობის ტრაექტორიები მსგავსია. თუ ვისარგებლებთ ამ შესავსებით, ერთი ნიშნის მიხედვით შეიძლება აგებულ იქნეს მრუდთა (ტრაექტორიათა) ოჯახი.

სავსე წყალსაცავის დროს, როდესაც უკუწნევა უგულვებელყოფილია,  $\sigma_{1,2}$  და  $\tau_{1,2}$  ძაბვათა ტრაექტორიების საერთო სახე დამოკიდებულია კაშხლის ფუძის სიგანეზე. უფრო ვიწრო პროფილი, რომელშიც  $\sigma_2$  მინიმალური მთავარი ნორმალური ძაბვები ზედა წახნაგთან ამ წახნაგის პარალელურია, ხასიათდება პირველი ტიპის ტრაექტორიებით (ნახ. 5-15 ა). ასეთ პროფილში  $\sigma'_y$  ძაბ-

ვები ზედა წახნაგზე მოქმედ  $\sigma_1'$  დაწნევაზე უფრო ნაკლებია. პირველი ტიპის  $\sigma_{1,2}$  ტრაექტორიები ასიმპტოტურად უახლოვდება პროფილის ამათუ იმ წახნაგს, ხოლო პირველი ტიპის  $\tau_{1,2}$  ტრაექტორიების ერთ-ერთი ოჯახი — შუალედურ სხივს.

უფრო განიერ პროფილს, რომლის ზედა წახნაგთან  $\sigma_1$  მაქსიმალური მთავარი ნორმალური ძაბვები წახნაგის პარალელურია, შეესაბამება  $\sigma_{1,2}$  ტრაექტორიების მეორე და, ჩვეულებრივ,  $\tau_{1,2}$  ტრაექტორიების მესამე ტიპი (ნახ. 5-15 გ). ასეთ პროფილში  $\sigma_1$  ძაბვები წახნაგზე მოქმედ  $\sigma_2'$  დაწნევაზე უფრო მეტია. მეორე ტიპის  $\sigma_{1,2}$  ტრაექტორიების ერთი ოჯახი ეხება ერთ-ერთ წახნაგს პროფილის წვეროში. მესამე ტიპის  $\tau_{1,2}$  ტრაექტორიებს არ გააჩნიათ ასიმპტოტები და არ გადაან პროფილის წვეროში.

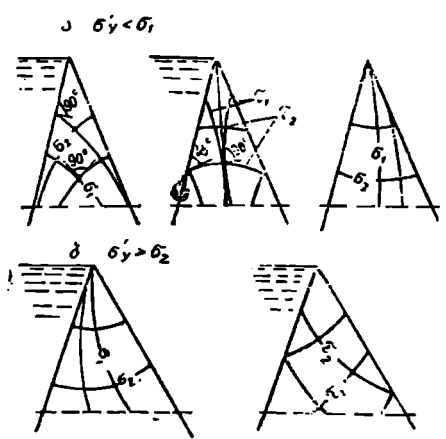
დაცლილი წყალსაცავის დროს კაშხალების ჩვეულებრივი პროფილი ხასათდება  $\sigma_{1,2}$  ტრაექტორიების მეორე ტიპით (ნახ. 5-15 ბ).

სავსე წყალსაცავის დროს მეტად მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ  $\tau_1$  მთავარი მხები ძაბვების ტრაექტორიები მათ მაქსიმალურ სიდიდეთა არეში (პროფილის ქვედა სოლში), რადგან აქ მათი მიმართულება უახლოვდება ბეტონირების ბლოკებს შორის არსებულ ვერტიკალურ სამშენებლო ნაეკრების მიმართულებას. ეს იმას ნიშნავს, რომ ნაეკრების სიმტკიცეზე შემოწმება უნდა მოხდეს აღნიშნულ მაქსიმალურ  $\tau_1$  მხები (აშლელი) ძაბვების მიხედვით.

უნდა შეგნიშნოთ, რომ აღწერილი მრუდების გარდა აგებენ წყობის სიმტკიცის მრუდებს (პროფ. ვ. სკრილნიკოვის წინადადების შესაბამისად). ასეთი აგება ემყარება დებულებას იმის შესახებ, რომ კაშხალში, რომელსაც არ გააჩნია ნაეკრები, მასალის სიმტკიცე დამოკიდებულია აღებულ

წერტილში მთავარ მკუმშავ ძაბვათა  $\sigma_1$  თარღობაზე. მაღალ, საპასუხისმგებლო კაშხალების პროფილებში აგებენ აგრეთვე წყობის შესაძლო რღვევის ხაზებს, რაც საჭიროა იმისათვის, რომ სწორად განეღავთ ბეტონირების ბლოკების ნაეკრები. ეს ხაზები შეიძლება დაახლოებით დახასიათებულ იქნეს მთავარ აშლელ (მხებ) ძაბვათა ტრაექტორიებით.

ამ საკითხების დამუშავების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ პრაქტიკის მონაცემები იმის შესახებ, რომ, ჩვეულებრივ, ავარიების დროს ბეტონის წყობის რღვევა წარმოებს სამშენებლო ნაეკრებით; ამასთან კაშხალის ყველაზე სუსტ ადვილს წარმოადგენს ჰორიზონტალური ნაეკრები, რომელთა სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს სათანადო ღონისძიებანი.

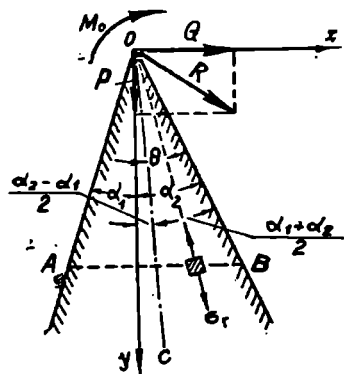


ნახ. 5-15. სხვადასხვა ტიპის მთავარი ნორმალური და მთავარი მხები ძაბვის ტრაექტორიები.

**8. კაშხალის ქიშხე მოქმედი შეყურსული ძალითა და მომენტით გამოწვეულ ძაბვათა განაგარიშება**

მიზოსელის უზრუნველსაყოფად კაშხალის ქიშხე ეწყობა სავალი ნაწილი, რომელიც კაშხალს გადასცემს დამატებით დატვირთვებს (მუდმივსა და დროებითს) შეყურსული ძალისა და მომენტის სახით. ამავე სახის დატვირთვებზე დაიყვანება აგრეთვე ყინულისა და ქარის წნევები და ზოგიერთი სხვა დატვირთვა.

სამკუთხედის წვეროში მოდებული ნებისმიერად მიმართული  $R$  შეყურსული ძალისაგან გამოწვეული ძაბვები განისაზღვრება მისი  $Q$  კორიზონტალური და  $P$  ვერტიკალური მდგენელების მიხედვით ცალ-ცალკე (ნახ. 5-16).



ნახ. 5-16. შეყურსული ძალისა და მომენტის მოქმედებით გამოწვეულ ძაბვათა განაგარიშების სქემა.

ძაბვათა განსაზღვრა  $AB$  კორიზონტალური კვეთის ნებისმიერ წერტილში უფრო მოხერხებულია ჩატარდეს პოლარკოორდინატთა სისტემაში განსაზღვრულ  $\sigma_r$  ძაბვათა მიხედვით; ამ სისტემის ღერძია  $OC$ , რომელიც სამკუთხოვანი პროფილის წვეროსთან მდებარე  $(\alpha_1 + \alpha_2)$  კუთხეს შუაზე ყოფს.

აღნიშნულ ძაბვებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\sigma_y = \frac{\sigma_r}{1+z^2}; \quad \sigma_x = \frac{z^2 \sigma_r}{1+z^2}; \quad \tau = \frac{z \sigma_r}{1+z^2}; \quad (5-66)$$

სადაც  $z = tg \theta$  (ნახ. 5-16).

$R$  შეყურსული ძალის  $Q$  კორიზონტალური მდგენელისაგან  $\sigma_r$  ძაბვის სიდიდე ტოლია:

$$\sigma_{r,q} = -\frac{2Q}{y(1+z^2)} \times \frac{m_2^2 - m_1^2 - z'(\alpha_1 + \alpha_2)(m_2^2 + 1)(m_1^2 + 1) + (1 + m_1 m_2)(m_1 + m_2)}{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 (m_2^2 + 1)(m_1^2 + 1) - (m_1 + m_2)^2}, \quad (5-67)$$

ზოლო  $P$  ვერტიკალური მდგენელის

$$\sigma_{r,p} = -\frac{2P}{y(1+z^2)} \times \frac{z(m_2^2 - m_1^2) - (\alpha_1 + \alpha_2)(m_2^2 + 1)(m_1^2 + 1) + (1 + m_1 m_2)(m_1 + m_2)}{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 (m_2^2 + 1)(m_1^2 + 1) - (m_1 + m_2)^2}. \quad (5-68)$$



სამკუთხოვანი პროფილის წვეროში მოდებული და საათის ისრით მიმართული ძალთა  $M$  მომენტისაგან გამომწვეული ძაბვები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{y,M} &= -\frac{2M}{y^2(1+z^2)^2} \cdot \frac{2z^3 + (1-3z^2)(m_2 - m_1) - 2z(1+2m_1m_2)}{m_1 + m_2 - (\alpha_1 + \alpha_2)(1 - m_1m_2)}; \\ \sigma_{z,M} &= -\frac{2M}{y^2(1+z^2)^2} \cdot \frac{z^2(3-z^2)(m_2 - m_1) - 2z^2(2+m_1m_2) + 2zm_1m_2}{m_1 + m_2 - (\alpha_1 + \alpha_2)(1 - m_1m_2)}; \\ \tau_{x,M} &= -\frac{2M}{y^2(1+z^2)^2} \cdot \frac{z^4 + 2z(1-z^2)(m_2 - m_1) - 3z^2(1+m_1m_2) + m_1m_2}{m_1 + m_2 - (\alpha_1 + \alpha_2)(1 - m_1m_2)}. \end{aligned} \right\} (5-6')$$

#### 4. ტრაპეციოდალური და მრუდწირული პროფილების გაანგარიშება

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ საანგარიშო თვალსაზრისით ყველაზე უფრო მარტივია სამკუთხოვანი პროფილი, რომელიც საფუძვლად ედება ყრუ გრავიტაციული ან ისეთი წყალსაშვები კაშხალის განივ კვეთს, რომელზედაც გადადინდება მის სიძალესთან შედარებით მნიშვნელოვნად მცირე სისქის წყლის ფენა. დაბალდაწნევიან მაპიურ წყალსაშვებ კაშხალებში მნიშვნელოვანი სისქის წყლის გადადინების ფენის დროს საჭიროა განივ კვეთებს საფუძვლად დაედოს ტრაპეციოდალური პროფილი, რომელიც უპირატესად განპირობებულია ჰიდრავლიკური მოსაზრებებით.

პრაქტიკისათვის სავსებით მისაღები სიზუსტით ასეთი პროფილების გაანგარიშება შეიძლება მასალათა გამძლეობის მეთოდით, რომელიც ზემოთ იყო აღწერილი (§ 5-3). დრეკადობის თეორიის საფუძველზე ტრაპეციოდალური პროფილების გაანგარიშების მეთოდი დააშუშავა აკად. ბ. გალიორკინმა. მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ტრაპეციოდალური პროფილი იცვლება მისი მომცველი სამკუთხოვანი პროფილით, რომელზედაც მოიდება დატვირთვები ისეთნაირად, რომ დაკმაყოფილდეს ტრაპეციოდალური პროფილის სასაზღვრო პირობები. დეტალურად ეს მეთოდი გაშუქებულია ხსენებული ავტორის მონოგრაფიაში<sup>1</sup>.

ტრაპეციოდალური პროფილის ანალოგიურად შეიძლება გაანგარიშდეს წყალსაშვები კაშხალის მრუდწირული პროფილიც, რომელიც იცვლება მისი მომცველი სამკუთხოვანი პროფილით, ისე, რომ დაცულ იქნეს მრუდწირული პროფილის სასაზღვრო პირობები.

#### § 5-6. ზრავიტაციული კაშხალის სხვადასხვა მეთოდით გაანგარიშების უდრეგობის უზრუნველყოფის მეთოდიანი დასაზღვრა ძაბვათა უზრუნველყოფა

გრავიტაციული კაშხალების გამოკვლევებისა და გეგმარების პრაქტიკის მონაცემების საფუძველზე შეიძლება გაცეთდეს მნიშვნელოვანი პრაქტიკული დასკვნები: მათ შორის საყურადღებოა, რომ მასალათა გამძლეობისა და დრეკადობის თეორიის მეთოდებით განსაზღვრულ ძაბვათა სიდიდენი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან არაუქვერეს 5—10%-ისა, მაგრამ დაბალ და საშუალო სი-

1. Б. Г. Галеркин, К исследованию напряжений в плотинах и подпорных стенах трапецидального профиля. Стройиздат. М., 1933.

მადლის კაშხალებში ზოგჯერ სასარგებლოა დრეკადობის თეორიის მეთოდის გამოყენება ზედა წახნაგზე (ჩვეულებრივ, ფრიად უმნიშვნელო) მინიმალური მკუშმავი ან გამკმინავი გარდამავალი ძაბვების განსასაზღვრავად და აგრეთვე კვლევებში მსები ძაბვების სიდიდისა და განაწილების დასაზუსტებლად.

ბეტონის მაღალი კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშება დრეკადობის თეორიის მეთოდით გაპართლებულია ფუძეზე მოსული დატვირთვების დაზუსტების აუცილებლობით და მასალების ეკონომიის მიზნით, რაც შეიძლება მიღწეულ იქნეს პროფილის სხვადასხვა ზონაში შესაბამისი მარკის ბეტონის გამოყენებით და ბლოკებად დასაბუთებული დაყოფით.

დრეკადობის თეორიის მეთოდით განისაზღვრება აგრეთვე კაშხალის ძაბვითი მდგომარეობა საკუთარი წონისა და წყლის წნევის მოქმედების ქვეშ. დამატებითი ძაბვები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ყინულის წნევით, სეისმური ძალებით, თხვის ზედნაშენით, წყლის წნევით ქვედა ბიეფიდან და ნატანის წნევით, ჩვეულებრივ, განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის მეთოდებით, ხოლო საძიებელი (რეზულტატური) ძაბვების დადგენა წარმოებს ძაბვითა ყველა სიღრმის სათანადო შეჯამებით.

დრეკადობის თეორიისა და ელემენტარული მეთოდების გამოყენებით კაშხალის ტანის სიმტკიცეზე გაანგარიშების რეზულტატების შედარება გვიჩვენებს, რომ ბრტყელი ამოცანის პირობებში წახნაგებზე მოქმედი ნორმალური ძაბვებისათვის ორივე მეთოდით მიიღება ერთმანეთთან მიახლოებული მნიშვნელობა, მაგრამ აღნიშნული ორივე მეთოდი ერთნაირად ვერ ითვალისწინებს ბეტონის კაშხალების მუშაობის სპეციფიკურ პირობებს (კერძოდ, ფუძის დეფორმაციებს, ბეტონის სხვადასხვა დრეკად მახასიათებლებს, ნაპირების გავლენას და სხვ.).

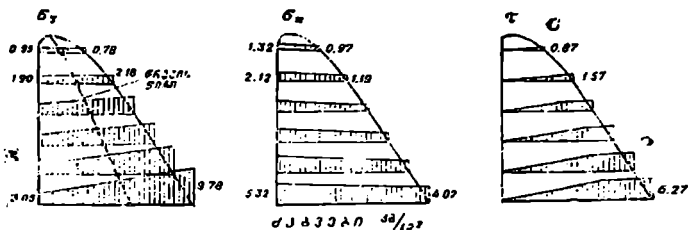
საყურადღებოა აღინიშნოს, რომ დნეპრპკის ბეტონის გრავიტაციული კაშხალის პროექტში შემოწმებულ იქნა ნორმალურ ძაბვითა წრფივი კანონით განაწილების ჰიპოთეზის სისწორე, როგორც სიმტკიცის გაანგარიშებათა საფუძველი.

გამოყენებული იყო შემდეგი მეთოდები:

- ა) სტატიკური მოქმედების (მასალათა გამძლეობისა);
- ბ) დრეკადობის თეორიის სამკუთხოვანი პროფილისათვის — შემასწორებელი ძაბვების გათვალისწინებით, რომელთა გამოთვლა მიახლოებითი ხერხებით იქნა ჩატარებული;
- გ) დრეკადობის თეორიის, რომელშიც ყველა დატვირთვისაგან წარმოშობილი ძაბვები განსაზღვრულ იქნა აკადემიკოს ბ. ვალიორკინის ხერხით, ე. ი. პირობითი სამკუთხოვანი პროფილისათვის, რომელიც დატვირთული იყო ეკვივალენტური ფიქტიური დატვირთვებით.

მიღებული ძაბვების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ყველა ხერხი იძლევა ცოტად თუ ბევრად ავივურ რეზულტატებს. მათ შორის უმნიშვნელო განსხვავება, ცხადია, ადასტურებს მ. მ. ნორმალური ძაბვების წრფივი კანონით განაწილების, ხოლო რ ახსნეა ძაბვების ეპიურების ოდნავ პარაბოლური მოხაზულობის სისწორეს<sup>1</sup> (ნახ. 5-17).

<sup>1</sup> პრაქტიკული თვალსაზრისით რ ძაბვების ასეთი განაწილება შეიძლება მიჩნეულ იქნეს როგორც სამკუთხოვანი კანონით განაწილება.



ნახ. 5—17. ძაბვათა ეპიურები დნეპრის კაშხალის ტანში (საკუთარი წონისა და წყლის წნევისაგან).

მიზანშეწონილია აღინიშნოს, რომ მცირე და საშუალო სიმაღლის ბეტონის გრავიტაციულ კაშხალებში დასაშვები ძაბვები კუმშვაზე არ არის მთლიანად გამოყენებული და რომ დატვირთვები კლდოვან და ნახევრად კლდოვან ფუძეებზე ვერ აღწევს დასაშვებ სიდიდეებს, მაშინ როდესაც მაღალი კაშხალების ბეტონში და კლდოვან ფუძეებში დასაშვებ ძაბვათა სიდიდეებმა შეიძლება განაპირობოს პროფილის ფორმა.

თანამედროვე ტექნოლოგიის საფუძველზე მაღალი მარკის ბეტონების მიღების შესაძლებლობამ შექმნა პირობები იმისა, რომ ბეტონის გრავიტაციულ კაშხალებში დასაშვებ მთავარ მკუმშავ ძაბვათა სიდიდენი აღებულ იქნეს 50—60 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე, ნაცვლად 20—25 კგ/სმ<sup>2</sup>, რომელთაც ადრე ღებულობდნენ.

ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშების ერთერთი ძირითადი მოთხოვნილებაა, რომ არ დაუშვათ გამჭიმავი ძაბვები სადაწნეო წახნაგსა და ფუძეში. დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევაში კი შეიძლება დაშვებულ იქნეს ეს ძაბვები ფუძეში ჰვედა წახნაგთან და ისიც არაუმეტეს 1—2 კგ/სმ<sup>2</sup>-ისა.

დასმულ საკითხთან დაკავშირებით საჭიროა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთ თანამედროვე განხორციელებულ მასიურ კაშხალებში სადაწნეო წახნაგზე დაშვებულია გარკვეული სიდიდის გამჭიმავი ძაბვები<sup>1</sup>.

ჩატარებული ცდების თანახმად, მიუხედავად იმისა, რომ დაწნევათი ფილტრაციის ქვეშ ბეტონის ვაკუიმული ზონები მუშაობს არახელსაყრელ პირობებში, მაინც მას შეუძლია აიტანოს ვაკუივა 3—7 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე.

თუ გავითვალისწინებთ კაშხალის არახელსაყრელი მუშაობის პირობებს სადაწნეო წახნაგთან და ყველა იმ ფაქტორის ერთობლიობას, რომელიც ხელს უწყობს ანგარიშებში ძნელად ვასათვალისწინებელი დეფორმაციებისა და ბზარების წარმოქმნას, მაშინ ძირითად საანგარიშო შემთხვევაში არ უნდა დაუშვათ გამჭიმავი ძაბვები კაშხალის ფუძეში სავსე წყალსაცავის დროს; ნაგებობის საგანგებო პირობებში მუშაობის გათვალისწინების დროს ანდა იმ ანგარიშების ჩატარებისას, რომლებიც ითვალისწინებენ ფუძის დეფორმაციების გავლენას და ტემპერატურულ-შეკლებით ძაბვებს, ზედა წახნაგთან ფუძეში სავსე წყალსაცავის დროს შეიძლება დაშვებულ იქნეს მცირე სიდიდის გამჭიმავი ძაბვები (2—4 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე).

1. В. М. Липкинд. Бетонные плотины гидроэлектростанций, Госэнергоиздат, М.—Л., 1956.

კაშხალის სადაწნეო წახნაგზე (ფუძის ზემოთ) გაკეცილია დაბეჭედი შეიძლება დაშვებულ იქნეს ძირითად საანგარიშო შემთხვევაშიც, მაგრამ ეს გათვალისწინებული უნდა იქნეს კონსტრუქციულ ღონისძიებებში.

დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში კაშხალის ქვედა წახნაგზე შეიძლება დაშვებულ იქნეს გაკეცილი დაბეჭედი 3—4 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე, თუ ამასთანავე გაითვალისწინება ტემპერატურულ-შეკლებითი მოვლენები.

დასასრულ უნდა შევნიშნოთ, რომ ნახევრად კლდოვან ან არაკლდოვან ფუძეებზე გრავიტაციული კაშხალების გვეგპარების დროს, ითვალისწინებენ რა ქანების გეოლოგიური თვისებების არაერთგვაროვნებას, აკმაყოფილებენ მოთხოვნილებას ფუძეზე დაბეჭდის თანაბრად განაწილების შესახებ. ჩვეულებრივ, თანაბრიან ან ქვიშა-თიხოვან გრუნტებზე დაბეჭდა ზღვრული უთანაბრობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს 15—2,5. კაშხალის კატასტროფიულ დატვირთვებზე შემოწმების დროს კი დაბეჭდა უთანაბრობის კოეფიციენტი არაერთი შეიზღუდავი პირობები არ წაეყენება.

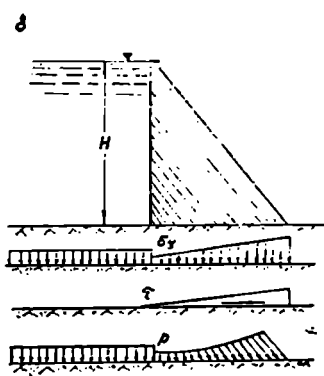
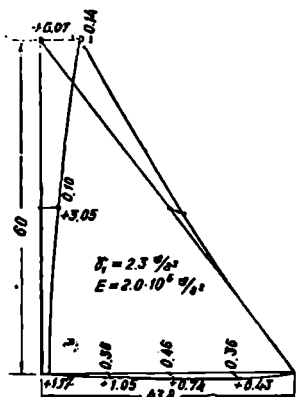
**§ 5-8. კაშხალის ფუძის დეფორმაციების, კროშილის გარდაბნობისა და ტანში მოწყობილი ხრახმების გავლენა ქანების სიღრმეზე და ზანაწილებაზე**

გრავიტაციულ კაშხალზე მოქმედი დატვირთვების შედეგად მისი ტანი და ფუძე განიცდის დეფორმაციებს როგორც ჰორიზონტალური, ისე ვერტიკალური მიმართულებით. ეს დეფორმაციები საერთოდ უმნიშვნელოა, მაგრამ ცალკეულ შემთხვევაში შეიძლება რამდენიმე საგრძნობი გახდეს. დეფორმაციების ხასიათი ძირითადი დატვირთვების მოქმედებისას კარგად ჩანს ქვემოთ მოყვანილ 5-18 ნახაზზე, სადაც გადაადგილებანი მოცემულია მილიმეტრებში, ხოლო კაშხალის ზომები — მეტრებში<sup>1</sup>. დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში ადგილი აქვს შებრუნებულ სურათს, ე. ი. კაშხალის სადაწნეო წახნაგი გადაადგილდება ზედა ბიეფისაკენ ისე, რომ მისი ქივი ღებულობს ორივე სახის დეფორმაციას, მათგან ვერტიკალურს უფრო მეტს, ვიდრე სავსე წყალსაცავის შემთხვევაში.

ფუძის დეფორმაცია წარმოებს კაშხალით გადაცემული დატვირთვისა და ზედა ბიეფის შემავსებელი წყლის წონისაგან (ნახ. 5-18 ბ). ეს დატვირთვა, რომელიც ნახაზზე *რ* დაბეჭდა ეპიურით არის წარმოდგენილი, ტოლია კაშხალის ძირის კვეთში *მ<sub>ვ</sub>* ვერტიკალურ ნორმალურ და *ტ* ამხლენ დაბეჭდა გეომეტრიული *ჩ* ამისა, ხოლო ზედა ბიეფში — თანაბრად განაწილებული წყლის წნევისა. ერთგვაროვანი ფუძის შემთხვევაში მისი დაბეჭდითი მდგომარეობა შეიძლება განგარიშდეს დრეკადობის თეორიის მეთოდით, როგორც დრეკადი უსასრულო ნახევარსიბრტყის ამოცანა.

ხატარბეული თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ კაშხალით გადაცემული დატვირთვისა და ზედა ბიეფის შემავსებელი წყლის წონისაგან ფუძე განიცდის უფრო მეტ დეფორმაციას, ვიდრე კაშხალის ძირის კვეთი, მიუხედავად იმისა, რომ წყლის წონის მოქმედებით ფუძე ღებულობს შებრუნებულ დეფორმაციას (ამოიბურცება). ეს სურათი ძალაში რჩება კაშხალისა და ფუძის გრუნტის დრეკადობის მოდულების  $\frac{F_d}{F_{\sigma}}$  ფარდობის

<sup>1</sup> Tölke F. Talsperren, Staudämme und Staumauern, Handbibliothek für Bauingeniere, Berlin, 1936.



ნახ. 5—18. 60 მ სიმაღლის კაშხალისა და მისი ფუძის დეფორმაციები საესე წყალსაცავის შემთხვევაში:

ა—კაშხალის დეფორმაციები; ბ—კაშხალის ფუძეზე მოსული დატვირთების ეპიურები.

ყველა პრაქტიკულად შესაძლო მნიშვნელობისათვის. სურათი ნაწილობრივ იცვლება ძალიან მტკიცე ფუძეების შემთხვევაში, როდესაც თეორიულად  $\frac{F_3}{E_3} = 0$  ( $E_3 = \infty$ ). თავისთავად ცხადია, რომ  $\frac{F_3}{E_3}$  ფარდობის ნებისმიერი მნიშვნელობის დროს უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს კაშხალსა და ფუძეს შორის მტკიცე კონტაქტი, რომლის დროს შეუძლებელი იქნება საკონტაქტო წერტილები სხვადასხვა გადაადგილება. აღნიშნულ გადაადგილებათა გასათანასწორებლად საჭიროა დამატებითი შინაგანი ძალები, რომლებიც გამოიწვევენ ძაბვათა ცვლილებას კაშხალის ფუძესთან ახლო ზონაში, რაც, ცხადია, გამოიწვევს ძაბვათა წრფივი განაწილების კანონის დარღვევას.

პროფ. ფ. ტოლკეს ზემოხსენებულ ნაშრომში გამოკვლეულია აგრეთვე ძაბვების განაწილების სურათი კაშხალის ფუძის კვეთში კაშხალის მასალისა და ფუძის დრეკადობის მოდულების ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის დაცლილ და საესე წყალსაცავის შემთხვევებში<sup>1</sup>. მაგალითის სახით განხილუ-

ლია 5-18 ნახაზზე ნაჩვენები კაშხალი, რომლის სიმაღლე  $h = 60$  მ,  $\frac{b}{h} = 0,73$

და  $\gamma_1 = 2,3 \text{ ტ/მ}^3$ . გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ძირის კვეთში ძაბვათა ჩვეულებრივი ტრაპეციოდალური ეპიურა ძლიერ მახინჯდება. დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში წარმოებს  $\sigma_y$  ვერტიკალური ნორმალური ძაბვების თავმოყრა სა-

დაწნეო წახნაგთან და ამასთან მით უფრო მეტად, რაც უფრო მეტია  $\frac{F_3}{E_3}$  ფარდობა;  $\epsilon$  ამხლეჩი ძაბვები მიმართულია ძირის კვეთის შუისაკენ და წარმოქმნის

<sup>1</sup> ფ. ტოლკეს მიერ განხილულ ამოცანას შემდგომში შეეხებენ სხვა მკვლევარებიც. მაგალითად: I. Глаголев Н. И., Упругие напряжения вдоль основания плотин. Доклады АН СССР, т. XXXIV, № 7, 1942, 2. Гудушаური И. И., Балочный метод расчета гравитационных плотин треугольного сечения, Известия ТНЦСГЭИ имени А. В. Вунтера, т. 10 (44), Госнедрониздат, 1958.

$\sigma_x$  პორიზონტალურ მკუმშავ ძაბვებს, რომლებიც საერთოდ ხელსაყრელია კაშხალისათვის, რადგან კუმშვის შედეგად იხურება ბეტონში წარმოქმნილი შეკლებითი ბზარები.

სავე წყალსაცავის შემთხვევისათვის (ნახ. 5-19) დამახასიათებელია  $\sigma_y$  ძაბვების შემცირება (ხოლო ზოგჯერ გამჭიმავში გადასვლა) კვეთის კიდეებში

და ძაბვათა კონცენტრაცია შუა ნაწილში  $\frac{E_1}{E_2}$  ფარდობის მცირე მნიშვნელობათა დროს. ამასთანავე, აღსანიშნავია  $\sigma_y$  ძაბვათა მნიშვნელოვანი კონცენტრაცია ქვედა წახნაგთან, რომელიც მატულობს  $\frac{E_1}{E_2}$  ფარდობის ზრდასთან

ერთად, ხოლო ფარდობის დიდი მნიშვნელობის დროს იზრდება ამ ძაბვათა კონცენტრაცია სადაწნეო წახნაგთანაც.  $\tau$  ამხლეჩი ძაბვები, რომლებიც მიმართულია ქვედა ბიეფიდან ზედასაკენ, ნაწილდება დაახლოებით ვერტიკალური მკუმშავი ძაბვების ანალოგიურად: ეს ძაბვები ხელს უწყობს გრძივი ბზარების წარმოშობას.

რაც შეეხება  $\sigma_x$  პორიზონტალურ მკუმშავ ძაბვებს, ისინი ძლიერ იზრდებიან, ჩვეულებრივ, წრფივი კანონით განაწილების თეორიით განსაზღვრულ ძაბვებთან შედარებით.

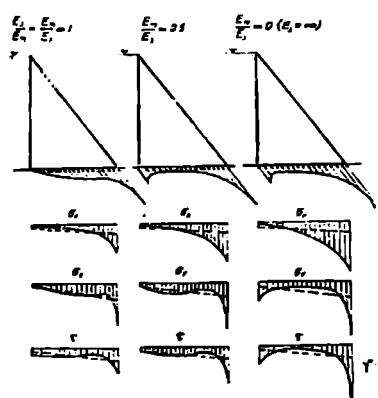
ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ სავე წყალსაცავისა და მტკიცე კლდოვანი საფუძვლის შემთხვევაში სადაწნეო წახნაგის არეში მკუმშავი ძაბვები მცირდება, რაც ქმნის გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობის საშიშროებას, რომელთა სიდიდე მით მეტია, რაც უფრო მტკიცეა კაშხალის ფუძე.

მოდელური გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ ფუძის გავლენა კაშხალის ძაბვითს მდგომარეობაზე (ძაბვების სიდიდესა და განაწილებაზე) ერთგვარად ძირის კვეთიდან კაშხალის სიმაღლის  $\frac{1}{4} - \frac{1}{3}$  ნაწილზე, ეს გავლენა

აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული მაღალი კაშხალების გვეგმარების დროს, რადგან მათ ფუძეებს გადაეცემა მნიშვნელოვანი დატვირთვები. ამასთანავე, ამ შემთხვევებში უნდა მივმართოთ არა მარტო თეორიულ ანგარიშებს, არამედ ლაბორატორიულ გამოკვლევებსაც.

იმისათვის, რათა შემცირებულ იქნეს ფუძის აღმგზნები გავლენა და ძაბვათა განაწილება დაუახლოვდეს წრფივი კანონით განაწილებას, საჭიროა ჩატარდეს სათანადო საინჟინრო ღონისძიებანი, კერძოდ: ფუძისა და კაშხალის ერთგვაროვნების უზრუნველყოფა: ფუძეში უფრო მტკიცე ბეტონის ჩაწყობა; მახვილ (წაწვეტებულ) კუთხეებით შეუღლებაზე უარის თქმა.

რადგან ისინი იწვევენ ძაბვათა კონცენტრაციას: ცალკეულ შემთხვევებში



ნახ. 5 — 19. ძაბვები კაშხალის ფუძეში ფუძის გრუნტისა და კაშხალის მასალის დრეკადობის მოდულების  $\frac{E_1}{E_2}$  ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს სავე წყალსაცავის შემთხვევაში.

( როდესაც  $\frac{E_1}{E_2}$  ფარდობა მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთისაგან ) ფუძეში

მცირე რაოდენობის არმატურის ჩაწყობა; ბეტონის ხელსაყრელი ტემპერატურული რეჟიმის შექმნა და ფუძესთან ბეტონირების ბლოკების სიმაღლის შემცირება; დაბოლოს, ფუძის შესაბამისი მომზადება.

როგორც ცნობილია, გრავიტაციული კაშხალების რეალური პროფილები: რამდენადმე განსხვავდება თეორიულისაგან. ეს განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ხშირად რეალური პროფილების კონტურის ხაზები გადატყდება, რითაც ირღვევა ხაზების გეომეტრიული უწყვეტობა; ამას გარდა, კაშხალის ტახში აწყობენ სათვალეირებელ (საკონტროლო) გალერეებს. ხოლო ზოგჯერ დიდი ზომის სიციარიელებს (სიღრუეებს) ჰესის ჰიდროაგრეგატების მოსათავსებლად, კბილებს და სხვ. ყველა ზემოაღნიშნულ კონსტრუქციულ ღონისძიებას კაშხალის ტანის ძაბვითს მდგომარეობაში შეაქვს ადგილობრივი ხასიათის ცვლილებები. თეორიული და ლაბორატორიული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ კაშხალის წახნაგების გარდატეხისა და საერთოდ მახვილი კუთხეების ადგილებში წარმოებს ძაბვათა კონცენტრაცია, რომელთა მოქმედების შესაძლებლად საჭიროა ასეთი ადგილები მოგლუვდეს. ასევე, კაშხალისა და ფუძის შეუღლების ადგილებში კბილის მოწყობით მკვეთრად იზრდება ამაღლები ძაბვები კბილის ზონაში. მაგამ გამოკვლევების თანახმად, ეს იწვევს მკუმშავი ძაბვების გაზრდას სადაწნო წახნაგზე. რაც სასარგებლოა მოსალოდნელი გაქვიმავი ძაბვების კომპენსაციისათვის. კბილის მოწყობით მთავარი მხები ძაბვები ღებულობს ისეთ მიმართულებას (მიემართება ფუძის სიღრმეში), რომელიც აუმჯობესებს კონტაქტის მუშაობას განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ფუძე უფრო ნაკლები სიმკაცრისაა, ეიდრე კაშხალი. გარდა ამისა, კბილის მოწყობა სასარგებლოა იმ თვალსაზრისითაც, რომ იგი ზრდის კაშხალის მდგრადობას ძვრაზე.

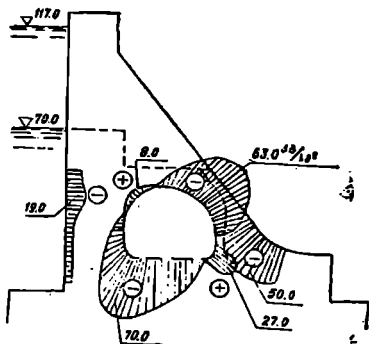
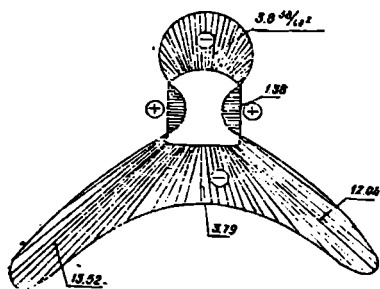
\* სათვალეირებელი გალერეის ან სხვა დანიშნულების ხერხის მოწყობის შემთხვევაში წარმოებს ძაბვათა გადაწელება. საშიშია გაქვიმავი ძაბვები, რომლებიც ტემპერატურულ და შეკლებით დეფორმაციებთან შეხამებით შეიძლება გახდეს ბზარების გაჩენის მიზეზი. 5-20 ა ნახაზე ნაჩვენებია დ. ვაინბერგის მიახლოებითი მეთოდით გაანგარიშებული ადგილობრივი ძაბვების ეპიურები ჩვეულებრივი კვეთის სათვალეირებელი გალერეის ირგვლივ<sup>1</sup>.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გვაქვს დიდი ზომის სიღრუე და არ არის დაცული იმის პირობა, რომ მანძილები ხერხის კიდებიდან კაშხალის წახნაგებამდე ტოლი იყოს არანაკლებ ხერხის სიგანისა, აგრეთვე რთული ფორმის ხერხების შემთხვევაში (ნახ. 5-20 ბ). ადგილობრივი ძაბვები უნდა განისაზღვროს ექსპერიმენტულად ოპტიური<sup>2</sup> ან ტენზომეტრიების მეთოდით, რომელიც 3600-ში დამუშავდა.

ძაბვათა კონცენტრაციის შეფასების დროს მიზანშეწონილია მხედველობაში იქნეს მიღებული იმ გამოკვლევათა შედეგები, რომლებიც არსებულ კაშ-

<sup>1</sup> Д. В. Вайнберг. Концентрация напряжений в теле плотныи около галерей. Журн. «Гидротехническое строительство» № 9, 1953.

Ф. Ф. Губин, Н. И. Пригоровский, Г. Л. Хещи. Исследование напряженного состояния тела плотныи Братской ГЭС со встроеным машинным залом, «Гидротехническое строительство», № 1, 1958, გვ. 29.



ნახ. 5—20. ნორმალურ დაბნათა კონცენტრაციის ეპიურები სიღრუბთან:  
 —სათვალერებელი ვალერება; ბ—სიღრუე ჰესის სამანქანო დარბაზისათვის (ქაზ-ური  
 ძაბუები კვ/სმ<sup>2</sup>-ში; + ნიშანი — გავიშვა, —ნიშანი — კუმშვა).

ხალეებზე ჩაატარა ამშ-ების მელიორაციის ბიუროს საკონსტრუქტორო-საგა-  
 ძოკვლევო განყოფილებამ. ამ გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ბეტონის კლას-  
 ტიკურობა და სხვა თვისებები ამცირებს დაბნათა კონცენტრაციას ხერცების  
 ორგვლე. ე. ი. რეალურად დაბნებები მიიღება უფრო ნაკლები სიღრმის. ეიღრე  
 დრეკადობის თეორიის მეთოდებით.

საყურადღებოა მითითება იმის შესახებ, რომ. თუ მთავარი დაბნა ბეტონში  
 მის ყველაზე შემცილებულ კვეთში არ აღემატება ერთი წლის ასაკში ბეტონის  
 დროებითი წინაღობის  $\frac{1}{3}$ , მაშინ ვალერეის ორგვლეე მკუმშავი დაბნების ინტენ-  
 სიურობის შესამცილებლად აუცილებელი არ არის შეკუმშული ზონის ღაარმი-  
 რება.

აღნიშნულ გამოკვლევათა შედეგების საფუძველზე რეკომენდებულია გა-  
 ლერეები დაარმირდეს მხოლოდ კონსტრუქციული უწყვეტობის მკვეთრი ცვა-  
 ლებადობის შეკახეეებში, აგრეთვე განიერი ხერცების გავიშულ ზონებში,  
 რათა შეზღუდულ იქნეს ბზარების ზომები.

არმატურა თითქმის ყოველთვის გამოიყენება იმ ხერცებში. რომლებიც  
 განიცდიან წყლის შინაგან წნევას (სიღრმით წყალგამშვებ ხერცებში), გარდა  
 იმ შემთხეეებისა, როდესაც მკუმშავი დაბნები ტოლია ან აღემატება წყლის  
 შინაგანი წნევის შედეგად წარმოშობილ გამკიშავ დაბნებს.

ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (36008-ში)  
 50-იან წლებში ჩატარებული თეორიული და ლაბორატორიული გამოკვლევე-  
 ბით დადგენილია, რომ სათვალერებელი და სადრენაჟო ხერცებით დასუს-  
 ტებული ბეტონის მასივებში შესაძლებელია დაბნათა იმდენად მნიშვნელოვანი  
 ადგილობრივი გადანაწილება, რომ იგი შეიძლება გახდეს გრძივი ბზარების  
 წარმოშობის მიზეზი. დადგენილია აგრეთვე, რომ ადგილობრივი დაბნები  
 მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია ხერცების ფორმასა და ნაგებობის  
 წახანაგების მიმართ მათ მოთახეებზე.

სტატიკური და საანგარიშო თვალსაზრისით ყველაზე ხელსაყრელია წრი-  
 ული ან მასთან მიახლოებული ფორმის ხერცები. სწორკუთხოვანი ფორმის



ხერტები კი ხასიათდება კუთხეებში მნიშვნელოვანი ადგილობრივი გადა-  
ძაბვით. რომელთა განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტულ  
გზით.

სათვლიერებელი გაღვრებისათვის ყველაზე გავრცელებულია სწორკუ-  
თხოვანი ფორმის კვეთები ზედა ნახევარწრიული თალით (ნახ. 5-20 ა). პირ-  
ზონტალური დატვირთვის დროს ასეთ ხერტებში ადგილობრივი მკუმშავი  
ძაბვების კონცენტრაცია აღწევს 2.7-ჯერ, ხოლო გამჭიმავისა 1.7—1.2-ჯერ  
უფრო მეტს. კიდრე თეორიულად განსაზღვრული ძაბვათა სიდიდეებია.

ს. ტიმოშენკოს მონაცემების მიხედვით წრიული ხერტების შემთხვევაში  
ძაბვათა კონცენტრაციის კოეფიციენტი 2-მდე აღწევს. მაგრამ უნდა გავითვა-  
ლისწინოთ ზემოთ აღნიშნული მითითება იმის შესახებ, რომ პლასტიკური დე-  
ფორმაციების გამო ძაბვათა ყველაზე დიდი კონცენტრაციის ადგილებში მოქ-  
მედი ნაპღელი ძაბვები მნიშვნელოვნად უფრო ნაკლები სიდიდის იქნება.  
ვიდრე თეორიულად განსაზღვრული ძაბვები.

ექსპერიმენტული გზით დადგინლია აგრეთვე, რომ გაღვრის ირგვლივ.  
ძისგან შედარებით მოკლე მანძილზე (დამოკიდებულია ხერტის სიღრმეზე).  
ბეტონში წარმოქმნილი გამჭიმავი ძაბვები გადადის მკუმშავში და ამიტომ იგა-  
საძისში არ არის მთლიანად ნაგებობის სიმტკიცისათვის.

#### § 5-7. ბრავიტაციული კაშხალაჲის მდგარაღოზა

გარდა სიმტკიცისა, კაშხალი უნდა აკმაყოფილებდეს მდგარდობის პირო-  
ბებსაც. ე. ი. უნდა იყოს წონასწორობაში მისი მუშაობის ყოველნაირ პირო-  
ბებში. უფრო მეტიც, მას უნდა გააჩნდეს მდგარდობის გარკვეული მარაგი  
გარე ძალთა არახელსაყრელი მოქმედების შემთხვევებშიც.

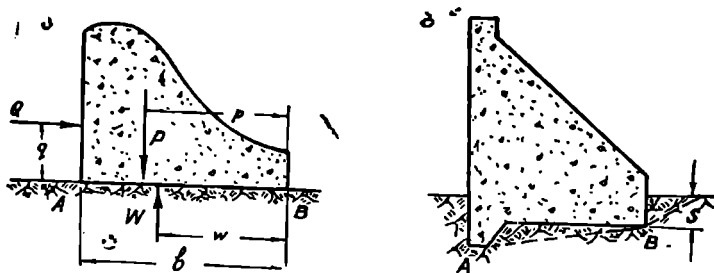
ზოგად შემთხვევაში კაშხალზე შეიძლება მოქმედებდეს პორიზონტალური  
და აგრეთვე ვერტიკალური ზემოდან ქვემოთ და ქვემოდან ზემოთ მიმართული  
ძალები (ნახ. 3-1; 5-22).

ზემოთ ჩამოთვლილ ძალთა ჯგუფის მოქმედებით კაშხალმა შეიძლება გა-  
ნიცადოს წონასწორობის დარღვევის სამი შემთხვევა: 1) ძერა ფუძის კონტაქ-  
ტის (ან მასთან ახლო) სიბრტყეში; 2) ატივტივება და 3) გადაყირავება ქვედა  
წიბოს მიმართ. წონასწორობის შესაძლო დარღვევის სახეობათა შესაბამისად  
წარმოებს კაშხალის მდგარდობის შემოწმება ძერაზე, ატივტივებასა და გადა-  
ყირავებაზე.

#### 1. კაშხალის შემოწმება ძერაზე კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში

თახამედროვე სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად ნაგებო-  
ბათა მუშაობას აღიზიტირებს სამი ზღვრული მდგომარეობა: 1) ზიდვის უნა-  
რის დაკარგვა; 2) გადაჭარბებული დეფორმაციების წარმოქმნა და 3) ადგი-  
ლობრივ დაზიანებათა წარმოშობა.

ფუძის სიბრტყით კაშხალებს მოსალოდნელი ძერის საწინააღმდეგო გაან-  
გარიშებანი შეესაბამებთან პირველი ზღვრული მდგომარეობის გათვალისწი-  
ნებას. ფუძის გადაჭარბებული დეფორმაციები (მეორე ზღვრული მდგომარეო-  
ბა) გარკვეულ როლს ასრულებს მხოლოდ არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვე-  
ვაში.



ნახ. 5-21. კაშხალების ძერაზე მდგრადობის საანგარიშო სქემები:

ა—ფუძეში ჩაუმაგრებელი კაშხალი პორიზონტალური ძირით; ბ—ფუძეში ჩამაგრებული კაშხალი კბილით.

ანგარიშის დროს განიხილება კაშხალის 1 მ სიგრძის მონაკვეთი, რომელზედაც მოქმედებს  $Q$  პორიზონტალურ,  $P$  ვერტიკალურ ზემოდან ქვემოთ მიმართულ და  $W$  ვერტიკალურ ქვემოთ ზემოთ მიმართულ ძალთა ტოლქმედები (ნახ. 5-21). კაშხალის ძერას წინაღობას გაუწევს ხახუნის ძალა კაშხალსა და ფუძეს შორის და აგრეთვე შეჭიდულებისა და გამოდების (კლოვანი ფუძის უსწორმასწორობის გამო) ძალები.

თანახმად მოქმედი საშენებლო ნორმებისა, განსახილველ შემთხვევაში კაშხალის ძერაზე მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$K_{ა} = \frac{f(P-W) + cF}{Q}, \quad (5-70)$$

სადაც  $f$  არის პროპორციულობის კოეფიციენტი, ანუ ძერის პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია ფუძის გრუნტის თვისებებსა და მდგრადობაზე (ცხრ. 5-1);

$c$  — ხვედრითი შეჭიდულება, ტ/მ<sup>2</sup>;

$F$  — კაშხალის ძირის ფართობი, მ<sup>2</sup>.

ცხრილი 5-1

$f$  და  $c$  საანგარიშო მნიშვნელობანი CH 128 — 00 მიხედვით

ფუძის ქანების დახასიათება	$f$	$c$ ტ/მ <sup>2</sup>
კლოვანი ქანები (გრანიტები, სიენიტები, ქვიშაქვები და სხვ.), პრაქტიკულად გამოუფიტავი, ძლიერ სუსტი ბზაროვნობით, 400 კგ/სმ <sup>2</sup> მეტ დროებითი წინაღობით	0,75	40
კლოვანი ქანები, პრაქტიკულად გამოუფიტავი, სუსტი ბზაროვნობით, 400 კგ/სმ <sup>2</sup> მეტი დროებითი წინაღობით	0,7	30
კლოვანი ქანები საშუალო ბზაროვნობით, სუსტად გამოუფიტული, დროებითი წინაღობა უმუშაზე < 400 კგ/სმ <sup>2</sup>	0,65	20

რთული გეოლოგიური პირობების შემთხვევაში მაღალი კაშხალებისათვის რეკომენდებულია  $f$  და  $c$  სიდიდენი განისაზღვროს ცდებით უშუალოდ მშე-

ნებლობის ადგილზე. სუსტი კლდოვანი ქანებისათვის (მერგელები, თიხოვანი ფიქლები, თოკები და სხვ.) / სიდიდე თავსდება 0,3—0,5 ზღვრებში.

$K_{\Sigma}$  სიდიდე აღებული უნდა იქნეს ნაგებობის კლასზე და ძალოვან ზემოქმედებაზე დაშოკიდებულებით; ძალთა ძირითადი შეხამების შემთხვევაში I, II და III კლასის ნაგებობებისათვის რეკომენდებულია  $K_{\Sigma}$  აღებულ იქნეს შესაბამისად 1,3; 1,2 და 1,15; საგანგებო შეხამების შემთხვევაში — 1,1 I და II კლასებისათვის და 1,05 — III კლასისათვის.

ძვრაზე კაშხალის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტის დასადგენად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე ჰრაზე ნაყერის ხვედრითი წინალობის ფორმულა, რომელიც მრავალი ჰველევრის მიერ ჩატარებული ცდების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შეიმუშავა ვ. შჩელკანოვმა. იგი ერთნაირად გამოსადგეა როგორც ბეტონისა და კლდის კონტაქტის, ისე ძველი და ახალი ბეტონის ნაყერებისათვის. აღნიშნულ ფორმულას აქვს სახე:

$$\tau = c + 2\sigma \frac{3}{4} \quad (5-71)$$

სადაც  $\tau$  არის ნაყერის ხვედრითი წინალობა ჰრაზე;  
 $c$  — ბეტონის ხვედრითი შეკიდულობა ფუძესთან;  
 $\sigma$  — ნორმალური ძაბვა ნაყერში.

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ, თუ  $\sigma$  ცვალებადობს შედარებით მცირე ფარგლებში. მაშინ ამ ფორმულით აგებული  $\tau$  მრუდი ძალიან ახლოს იქნება სწორ ხაზთან.

ამგვარად, კაშხალის ძირის ნაყერის სიმტკიცის პირობის მიხედვით ძვრაზე მდგრადობა შეიძლება შემოწმდეს ფორმულით

$$[\tau] = \frac{c}{k_1} + \frac{2\sigma^2/k_2}{k_2} \quad (5-72)$$

აქ  $[\tau]$  არის ზღვრული დასაშვები ჰრის ძაბვა;  
 $k_1$  და  $k_2$  — მარაგის კოეფიციენტები:  $k_1 = 3-4$  (მარაგი შეკიდულების შეფასებაში);  $k_2 = 1,3$  (მარაგი  $\sigma$  სიდიდის შეფასებაში).

კაშხალის ძვრაზე მდგრადობა უზრუნველყოფილი იქნება თუ ანგარიშით განსაზღვრული საშუალო ამხლეჩი ძაბვის სიდიდე ნაყერის სიბრტყეში

$$\tau \leq [\tau] \quad (5-73)$$

როდესაც კაშხალს გააჩნია კბილი ან იგი ჩამაგრებულია ფუძეში  $S$  სიღრმით (ნახ. 5-21 ბ), მაშინ ძვრისადმი წინალობა კიდევ უფრო იზრდება. ჩვენ სიან-ხუნის მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფუძეში ჩამაგრებული კაშხალის ძვრაზე წინალობა იზრდება ჰრაზე კბილის წინალობის  $C_{\Sigma}$  სიდიდით. ამ შემთხვევაში (5-70) ფორმულა დაიწერება შემდეგი სახით:

$$K_{\Sigma} = \frac{f(P-W) + cF + C_{\Sigma}}{Q} \quad (5-74)$$

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ, თუ კაშხალს გააჩნია კბილი, მაშინ მისი პროფილი შეიძლება დაგეგმარდეს უფრო ეკონომიურად. ვიდრე

იმ შემთხვევაში, როდესაც კბილი არ გაითვალისწინება. ასევე, თუ ქანის წინა-ლობა  $AB$  ხაზის გასწვრივ ახლუჩაზე და  $B$  წახნაგთან მისი პრიზმის ამოგლე-ჩაზე ნაკლებია  $C$ , ა წინალობაზე, მაშინ ძვრა მოხდება დაახლოებით  $ABC$  ხა-ზის გასწვრივ (ნახ. 5-21 ბ).

### კაშხალის შემოწმება ძვრაზე არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში

გეგმარების მოქმედი ნორმების შესაბამისად არაკლდოვანი ფუძეების გაანგარიშებას აწარმოებენ ორი ზღერული მდგომარეობის მიხედვით: 1) საანგარიშო დატვირთვების (რათა უზრუნველყოფილ იქნეს ფუძის ზიდვის უნაოიანობა) და ნორმალური დატვირთვების (რათა შეიზღუდოს ფუძის დეფორმაციები) მიხედვით<sup>1</sup>. ვინაიდან ჭერ კიდევ არ არის განსაზღვრული გადატვირთვის. ერთგვაროვნებისა და მუშაობის პირობების კოეფიციენტთა მნიშვნელობა. ამიტომაც ნებადართულია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძეების ზღერული მდგომარეობების ანგარიშის დროს გამოყენებულ იქნეს საერთო მდგრადობის კოეფიციენტი და აღებულ იქნეს ნორმატიულის ტოლი საანგარიშო დატვირთვები.

ერთგვაროვანი ფუძეების ზიდვის უნარიანობისა და მათზე ასაგებ ხისტ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მდგრადობის გამოკვლევების დროს განსხვავებენ ფუძის დეფორმაციის სამ სახეობას და მათ შესაბამისად ნაგებობის ძვრის სამ საანგარიშო შემთხვევას:

1) ბრტყელი ძვრა, რომელიც წარმოებს უშუალოდ ნაგებობის დაყრდნობის ზედაპირის გასწვრივ;

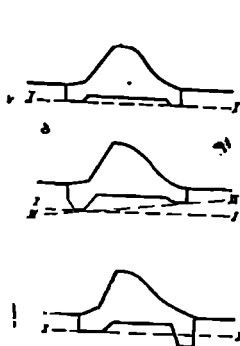
2) შერეული ძვრა, რომლის დროს საძირკვლის ძირის ნაწილზე ძვრა წარმოებს უშუალოდ ძირის ზედაპირის გასწვრივ, ხოლო დანარჩენ ნაწილზე — ფუძის გრუნტის ამობურცვით;

3) სიღრმული ძვრა, რომლის დროს წარმოებს ფუძის გრუნტის ამობურცვა საძირკვლის მთელი ძირის ქვეშ.

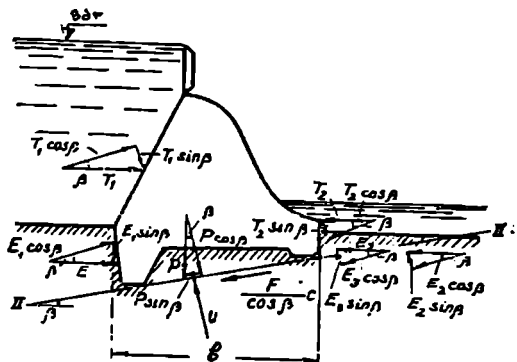
განგარიშება ბრტყელი ძვრის სქემით. როდესაც კაშხალი ჩალრმაეებულა ფუძეში და ამასთანავე მას გააჩნია კბილები. მაშინ ძვრის საანგარიშო სიბრტყე გაივლის ფუძის გარკვეულ სიღრმეზე ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 5-22 ნახაზზე (I—I და II—II სიბრტყეები). მარაგის კოეფიციენტის გაანგარიშების დროს ყველა ძალას, გარდა გრუნტის  $E$ , პასიური წნევისა, უფარდებენ შესაბამის სიბრტყეს, ხოლო პასიურ წნევას ქვედა ბიეფიდან განსაზღვრვენ ქვედა კბილის მოთავსების სიღრმეზე. თუ ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურში არის მოქნილი ნარანდული კედლები, მაშინ მათი წინალობა ძვრისადმი მხედველობაში არ მიიღება.

ძვრაზე კაშხალის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი განისაზღვრება იმავე (5—70) ტიპის ფორმულით, რომელიც ზემოთ კლდოვანი ფუძეებისათვის იყო დაწერილი. იმ განსხვავებით, რომ მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული დამატებითი ძალები (გრუნტის აქტიური და პასიური წნევები ფუძეში) და

<sup>1</sup> СНи П. II—Б. 3—62. Основания гидротехнических сооружений, нормы проектирования, Госстройиздат. 1962.



ნახ. 5—22. კაშხლის ძერის საანგარიშო სიბრტეები.



ნახ. 5-23. საანგარიშო დახრილ ძერის სიბრტეში მოქმედ ძაღა სქემა.

ამასთანავე მდგრადობაზე შემოწმდეს მთელი სექცია (კაშხლის უბანი დეფორმაციულ ნაკერებს შორის). მარაგის კოეფიციენტს ექნება შემდეგი მნიშვნელობანი:

1) როდესაც ძერის სიბრტეე პორიზონტალურია

$$K_{\phi} = \frac{(P-W) \lg \varphi + E_1 + cF}{(T_1 + L_1) - (T_2 + E_2)} \quad (5-75)$$

2) როდესაც ძერის სიბრტეე დახრილია ზედა ბიეფისაკენ (ნახ. 5-23)

$$K_{\phi} = \frac{[P \cos \beta + (T_1 + E_1 - T_2 - F_3) \sin \beta - W] \lg \varphi + E_1 \cos \beta + \frac{cF}{\cos \beta}}{\cos \beta [(T_1 + E_1) - (T_2 + E_2 + P \lg \beta)]} \quad (5-76)$$

ამ ფორმულებში  $P$  არის ვერტიკალური ძაღების ჯამი საანგარიშო სიბრტეეში:

$W$  — წყლის ჯამური უკუწნევა საანგარიშო სიბრტეეში. რომელიც მიმართულია ზემოთ ამ სიბრტეის ნორმალურად;

$F$  — ნაგებობის ძირის პორიზონტალური პროექციის ფართობი;

$c$  — ხედრითი შეკიდუღობა ნაგებობასა და ფუძეს შორის;

$E_1$  — გრუნტის პასიური უკუწნევა ქვედა ბიეფიდან;

$T_1, T_2$  — პორიზონტალური წნეეები ზედა და ქვედა ბიეფებიდან გრუნტის წნეეის გამოკღებით;

$E_1, E_2$  — გრუნტის აქტიური წნეეა. შესაბამისად, ზედა და ქვედა ბიეფებიდან;

$\beta$  — ძერის სიბრტეის დახრიღობის კუთხე პორიზონტან;

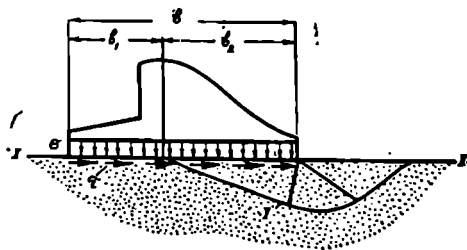
$\varphi$  — გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხე;

ფორმულებში შემავალი  $f = \lg \varphi$  სიღიდე არაკღდოვანი ფუძეებისათვისაც განისაზღვრება ლაბორატორიული გამოკღეეების საშუაღებით, ე. ი. ნაგებობის ფუძის გრუნტის ნიმუშების გამოკღით. წინასწარი განგარიშებების დროს იგი შეიკღება აღებულ იქნეს შემდეგ ფარგლებში: კენწნარ-ხრეშოვანი გრუნტებისათვის 0,5—0,6; ქვიშოვანი გრუნტებისათვის 0,4—0,5; ქვიშნარებისათ-

ვის, 0,35—0,40; თიხნარებისათვის 0,25—0,35; თიხებისათვის 0,2—0,3; სუსტი კლდოვანი ქანებისათვის (მერგელები, თიხოვანი ფიქლები, ოპოკები და სხვ.) 0,3 — 0,5.

*K* კ მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აიღება იმ მოსასრებათა შესაბამისად, რომელიც პირველ პუნქტში იყო აღნიშნული.

**გაანგარიშება შერეული ძვრის სქემის მიხედვით.** კაშხალის მიერ გადაცემულ ძალთა მოქმედების შედეგად არაკლდოვან ფუძეში შეიძლება წარმოიქმნას პლასტიკური დეფორმაციები — თავდაპირველად საძირკვლის ვანაპირა ზონებში. ხოლო შემდეგ დატვირთვის გაზრდის შესაბამისად უფრო ფართო და ღრმა არეებში. ნაგებობის ძირის ფართობის ერთეულზე მოსული  $\sigma$  კერტიკალური და  $\tau$  მძვრელი დატვირთვების რაღაც მნიშვნელობათა დროს არაკლდოვანი ფუძის ნაწილაკები გადაადგილდება პორიზონტალური ან დახრილი მიმართულებით და, მამასადამე, ძვრა მოხდება შესაბამისი საანგარიშო სიბრტყის გასწვრივ. ამ შემთხვევაში საქმე გვექნება ბრტყელ ძვრასთან. რომელიც ზემოთ იყო განხილული.  $\sigma$ -ს სათანადო ვადიდებით წარმოიშობა პლასტიკური დეფორმაციები საძირკვლის კიდეებთან, ამასთან უფრო დიდი დეფორმაციები — ქვედა კიდესთან: ამ შემთხვევაში ნაგებობის ძვრას თან სდევს დაცოცების რაღაც მრუდით შემოსაზღვრული ფუძის გრუნტის ნაწილის გადაადგილება და გრუნტის ამობურცვა საძირკვლის უკან ქვედა ბიფში; ცხადია, ეს განსახილველი შერეული ძვრის შემთხვევაა (ნახ. 5-24). პლასტიკურ დეფორმაციათა არეების მნიშვნელოვანი გაფართოების შემთხვევაში ისინი მოიცავენ ფუძის გრუნტის მთელ ზონას და ნაგებობის ძვრა წარმოებს მასთან ერთად რაღაც მრუდზე, რომელიც ვადის საძირკვლის ზედა წიბოზე (ღრმა ძვრა, რომელიც განხილული იქნება შემდეგ პუნქტში). ცხადია, ორივე უკანასკნელ შემთხვევაში წარმოებს ფუძის ზიდვის უნარის დაკარგვა.



ნახ. 5—24. შერეული ძვრის ერთ-ერთი საანგარიშო სქემა:  
1—ამობურცვის ზონა; 2—საძირკვლის ძირის საანგარიშო სიბრტყე.

შერეული ძვრის სქემით მდგრადობაზე გაანგარიშებას აწარმოებენ მაშინ, როდესაც არ კმაყოფილდება ბრტყელი ძვრის პირობები (მათ შესახებ განმარტება პარაგრაფის ბოლოშია მოცემული). განსახილველ შემთხვევაში (ნახ. 5-24) ძვრისადმი ფუძის წინალობა ტოლია ბრტყელი ძვრის  $b_1$  და ამობურცვის  $b_2$  უბნების წინალობათა ჯამისა. შერეული ძვრის სქემით ნაგებობის მდგრადობის გაანგარიშების დროს ითვალისწინებენ დატვირთვის მოდების ექსცენტრისიტეტის გავლენას.

როდესაც ვერტიკალური დატვირთვის ტოლქმედს ექსცენტრისიტეტი არა აქვს ანდა ექსცენტრისიტეტი ზედა ბიეფისაყენა გადახრილი, მაშინ მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტს განსაზღვრავენ ფორმულით

$$K_4 = \frac{(\sigma \lg \varphi + c) b_1 + \tau_{ad} \cdot b_2}{(T_1 + E_1) - (T_2 + F_2)} \quad (5-77)$$

სადაც  $\sigma$  არის საშუალო ნორმალური ძაბვა კაშხალის ძირის სიბრტყეში;

$\varphi$  — ფუძის გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხე;

$\tau_{ad}$  — ზღვრული მხები ძაბვა იმ უბანზე, სადაც ძვრა წარმოებს ფუძის გრუნტის ამობურცეით; იგი განისაზღვრება СНиП II-A. 10—62 მითითებათა შესაბამისად.

**სიღრმულ ძვრაზე გაანგარიშება წრიული ზედაპირების მეთოდით.** სიღრმული ძვრის მოვლენის ზუსტი თეორიული გამოკვლევა და ან საფუძველზე კაშხალის მდგრადობის ზოგადი ამოცანის გადაწყვეტა დაკავშირებულია მნიშვნელოვან სიძნელეებთან. ამ საკითხს და საერთოდ არაკლდოვან ფუძეებზე მოთაქებული კაშხალების მდგრადობის ამოცანებს მიეძღვნა მრავალი თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა<sup>1</sup>. რომელთა საფუძველზე დადგენილია მდგრადობის დაკარგვის ზოგადი კრიტერიუმები. საპროექტო პრაქტიკაში სიღრმულ ძვრაზე ნაგებობათა მდგრადობის გაანგარიშებისათვის ფართოდ გამოიყენება მიახლოებითი მეთოდები, რომლებშიც ფუძის გრუნტის დაცოცების მრუდის ფორმა შეძლებისდაგვარად ახლოსაა თეორიული მრუდის ფორმასთან. მათგან ყველაზე უფრო მარტივია და მოხერხებული წრიული ზედაპირების მეთოდი, რომელიც დამუშავა პროფ. მ. გრიშინმა.

ამ მეთოდით ანგარიშის დროს კაშხალის 1 მ სიგრძის უბანზე მოქმედი ძალები დაიყვანება ორ ძალაზე —  $Q$  ჰორიზონტალურ (რომელიც ფუძის სიბრტყეშია გადატანილი) და  $P$  ვერტიკალურ ძალთა ტოლქმედებზე. დაშვებულია, რომ ზღვრულ მდგომარეობაში კაშხალი ფუძის გრუნტთან ერთად შეიძლება დაცოცდეს წრიულ მრუდზე. რომელიც მოხაზულია ბრუნვის რომელიც  $O$  წერტილიდან  $OA = OB = R$  რადიუსით და გადის სადაწნეო წახნაგის (ან კბილის)  $A$  წიბოზე (ნახ. 5-25).

კაშხალსა და ფუძის გრუნტის გამოყოფილ სეგმენტზე მოქმედებს შემდეგი ძალები:

1) ვერტიკალურ ძალთა  $P$  ტოლქმედი, რომელიც გადაიტანება მისი მოქმედების ხაზის გასწვრივ სეგმენტის რკალის გადაკვეთამდე და იშლება  $N_1 = P \cos \beta$  და  $T_1 = P \sin \beta$  მდგენელებად;

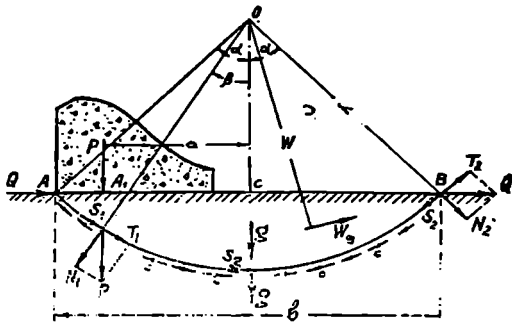
2) ჰორიზონტალურ ძალთა  $Q$  ტოლქმედი, რომელიც გადაიტანება კაშხალის ძირის სიბრტყის გასწვრივ  $B$  წერტილში და იშლება  $N_2 = Q \sin \alpha$  და  $T_2 = Q \cos \alpha$  მდგენელებად;

3) გრუნტის სეგმენტის წონა

$$G = \gamma_1 \left( \frac{\alpha \cdot \pi}{180} - \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right) R^2, \quad (5-78)$$

1. П. Д. Евдокимов, Прочность оснований и устойчивость гидротехнических сооружений на мягких грунтах, Госстройиздат, М.—Л., 1956.

А. Ничипорович, Н. Я. Хрусталиев, Устойчивость бетонных водоподпорных сооружений на песчаных грунтах, Госстройиздат, М., 1957.



ნახ. 5—25. წრული ზედაპირების მეთოდით კაშხალის მდგრადობის საანგარიშო სქემა (სიღრმული ძერა).

სადაც  $\gamma_1$  ფუძის გრუნტის მოცულობითი წონაა შეტივტივებულ მდგომარეობაში;

4) გრუნტის გამოყოფილ სეგმენტზე მოქმედი ფილტრაციული წნევა, რომელიც წარმოადგენს ფილტრაციული ბადის ცალკეულ უჯრედში მოქმედ ფილტრაციულ წნევათა გეომეტრიულ ჯამს (ნახ. 5-26), ე. ა.

$$W_{ფ} = \Sigma \gamma I_{(ფ. abcd)};$$

5) ხახუნის ძალები, რომლებიც მიმართულია  $N_1$ ,  $N_2$  და  $C$  ძალების მართობულად და სათანადოდ ეტოლებიან:  $S_1 = P \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi$ ;  $S_2 = Q \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi$  და  $S_x = G \operatorname{tg} \varphi$ . სადაც  $\varphi$  გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხეა;

6) გრუნტის ნაწილაკებს შორის შეკიდულების ძალა  $C = 2\alpha R c$ , სადაც  $2\alpha R$  არის  $AB$  რკალის სიგრძე, ხოლო  $c$  — ხვედრითი შეკიდულობა.

მთელი სისტემის ძერაზე მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფარდობით:

$$K_{ფ} = \frac{M_{წინაღ}}{M_{გაბრ}};$$

ანუ გაშლილი სახით

$$K_{ფ} = \frac{S_1 R + S_2 R + S_x R + 2\alpha R c R}{T_1 R + T_2 R + W_{ფ} \cdot w} = \frac{(P \cos \beta + Q \sin \alpha + G) \operatorname{tg} \varphi + 2\alpha R c}{Q \cos \alpha + P \sin \beta + W_{ფ} \frac{w}{R}} \quad (5-79)$$

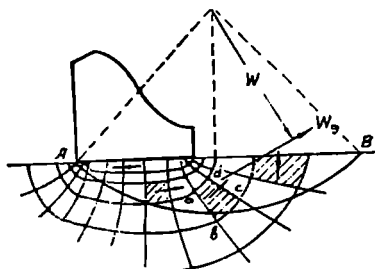
აღწერილი მეთოდის ანალოგიური მეთოდი, მაგრამ რამდენადმე უფრო გამარტივებული სახით ( $P$ ,  $Q$ ,  $C$  და  $W_{ფ}$  ძალები დაიყვანება ერთ ტოლქმედზე), დამუშავებული აქვს ინჟ. უ. ტერ-არაქელაიანს<sup>1</sup>. იგი იძლევა პროფ. მ. გრიშინის მეთოდთან მიახლოებულ რეზულტატებს, რაც უდავოდ საყურადღებოა.

<sup>1</sup> У. А. Тер-Аракелян. Устойчивость бетонной плотины на нескальном основании, «Гидротехническое строительство» №12, 1939.



ბუნებრივია, რომ  $A$  წიბოს გავლით შეიძლება გატარდეს  $AB$  დაცოცების წრიული ზედაპირის მსგავსი ზედაპირების ურთივე რაოდენობა, და ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში კაშხალის მდგრადობის კოეფიციენტს ექნება განსხვავებული მნიშვნელობა. მაგრამ, ცხადია, მოიძებნება დაცოცების ისეთი წრიული ზედაპირი, რომლის შესაბამისი მდგრადობის კოეფიციენტი იქნება უმცირესი— $K_{ა,აი}$ ; სწორედ ეს ზედაპირი იქნება ყველაზე საშიში. იმისათვის, რომ ვიპოვოთ  $K_{ა,აი}$   $OC$  ვერტიკალზე (ნახ. 5-25) იღებენ რამდენიმე ცენტრს (ჩვეულებრივ, სამ-ოთხს), რომლებიდანაც მოხაზავენ რკალებს იმავე  $A$  და  $B$  წერტილების გავლით და (5-79) ფორმულით განსაზღვრავენ შესაბამისად  $K'_{ა,აი}$ ,  $K''_{ა,აი}$ ... შედარების ან გრაფიკის აგების გზით კი პოულობენ  $K_{ა,აი}$ . შემდეგ  $OC$  ვერტიკალიდან რაღაც მანძილებზე კიდევ იღებენ რამდენიმე ვერტიკალს  $O_1—C_1$ ,  $O_2—C_2$ ... და თითოეული მათგანისათვის განსაზღვრავენ  $K_{ა,აი}$  ზემოთ აღწერილი წესით.  $K_{ა,აი}$  იოგი მნიშვნელობებიდან. ცხადია, აირჩევა მათ შორის ყველაზე უმცირესი— $K_{ა,აი}$ , რომელიც იქნება ნაგებობის მდგრადობის საზომი.

პროფ. მ. გრიშინის მიერ კაშხალების მოდელებზე ჩატარებულმა ცდებმა გვიჩვენა, რომ თუ ვერტიკალური ძალების  $P$  ტოლქმედი ვადის კაშხალის ფუძის შუაზე ან მის ქვედა ნახევარში, მაშინ დაცოცების ნეკაპირები იწყება არა  $A$  წიბოდან (ნახ. 5-25), არამედ  $A_1$  წერტილიდან. რომელიც მოთავსებულა კაშხალის ძირის წიგნით. ეს საანვარძო შემთხვევა შეიძლება უფრო საშიში აღმოჩნდეს, ვიდრე წინა. ასეთი ძვრის დროს (5-79) ფორმულაში  $P$ -ს ნაცვლად შეტანილი უნდა იქნეს  $P_1$  ძალა, რომელიც გადაეცემა ფუძეს დაცოცების მრუდის ფარგლებში. ეს ძალა განისაზღვრება ფუძის კვეთში მოქმედ ძაბვათა ეპიურიდან და ტოლი იქნება რაღაც  $P_1 < P$  სიდიდისა. ამასთან დაკავშირებით შემცირდება აგრეთვე  $Q$  პორიზონტალური ძალა ( $P—P_1$ ) ჭეფ სიდიდით და ანგარიშში შეიტანება  $Q_1$  ძალა. რომელიც განისაზღვრება ტოლობიდან



ნახ. 5-26. ფილტრაციული ძალის საანგარიშო სქემა კაშხალის სიღრმელ ძვრაზე გაანგარიშების დროს.

$$K_{ა}Q_1 = K_{ა}Q - (P - P_1) \lg \varphi,$$

საიდანაც

$$Q_1 = Q - \frac{\lg \varphi}{K_{ა}} (P - P_1).$$

აქ დარის გრუნტის ხახუნის კუთხე;

$K_{ა}$  — მდგრადობის კოეფიციენტი ძვრაზე. რომელიც დასაწყისში უცნობია და პირობით აიღება დაახლოებით 1.3-ის ტოლი; მის მნიშვნელობას აზუსტებენ შემდგომი ანგარიშებით.

განხილული მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე არაერთგვაროვანი ფუძეების შემთხვევაში. რომელთა ფენებს გააჩნია სხვადასხვა მახასია-

თებლები ( $\gamma, \varphi, c$ ). კაშხალის მდგრადობაზე განგარიშება ჩატარდება ანალოგიური თანამიმდევრობით, მხოლოდ დიფერენცირებულად უნდა იქნეს შეფასებული ფუძის გრუნტების მახასიათებლები.

ბ რ ტ ყ ე ლ ი ძ ვ რ ი ს კ რ ი ტ ე რ ი უ შ ი. ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ სანამ ნაგებობის ფუძეში მოქმედი მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვა ნაკლებია კრიტიკულზე ( $\sigma_{\text{კ.კ.}} < \sigma_{\text{კ}}$ ), იგი შეიძლება შემოწმდეს მხოლოდ ბრტყელ ძვრაზე. გრუნტის ზედაპირზე მოთავსებული ნაგებობისათვის კრიტიკული ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{\text{კ}} = \gamma_1 b \operatorname{tg} \varphi + 2c(1 + \operatorname{tg} \varphi), \quad (5-80)$$

სადაც  $A$  არის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 3—4 ფარგლებში;

$\gamma_1$  — გრუნტის მოცულობითი წონა;

$b$  — ნაგებობის ძირის სიგანე;

$\varphi$  — გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხე;

$c$  — გრუნტის ხვედრითი შეჭიდულობა.

ნაგებობისათვის, რომელიც ფუძეში  $S$  სიდიდითაა ჩაღრმავებული, შეიძლება ვისარგებლოთ ნ. გოლოვანოვის ფორმულით<sup>1</sup>

$$\sigma_{\text{კ}} = (\gamma_1 S + p_0 + c \operatorname{tg} \varphi)(1 + \sin \varphi) e^{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \operatorname{tg} \varphi} - c \operatorname{tg} \varphi, \quad (5-81)$$

სადაც  $p_0$  არის ხვედრითი მიტვირთვა ქვედა ბიეფის მხრიდან.

ამასთანავე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ხვედრითი ჰორიზონტალური დატვირთვა შემდეგი ფორმულით:

$$\tau_{\text{კ}} = \sigma_{\text{კ}} \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (5-82)$$

ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაგებობის ფუძეში მოქმედი მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვა (ხვედრითი ვერტიკალური დატვირთვის სიდიდე) აღემატება (5-80) ან (5-81) ფორმულით გამოთვლილ მნიშვნელობას ( $\sigma_{\text{კ.კ.}} > \sigma_{\text{კ}}$ ) საჭიროა მისი მდგრადობა შემოწმდეს როგორც შერეული, ისე სიღრმული ძვრის სქემებით.

## თ ა ვ ი

### ბრავიტაციული კაშხალები კლდოვან ფუძეებზე

#### § 6-1. ბრავიტაციული კაშხალების კლდოვანი ფუძეებისა და მახალაგის მოკლე მახასიათება

##### 1. კლდოვანი ფუძეების სახეობანი და მათდამი მოთხოვნილებანი

გრაეიტაციულ კაშხალებს აშენებენ როგორც კლდოვან, ისე არაკლდოვან ფუძეებზე. მაგრამ მაღალი კაშხალების მშენებლობისათვის გამოსადეგია მხოლოდ კლდოვანი ფუძეები, რადგან მათ ახასიათებთ დიდი ხვედრითი დატვირთვების მიღების უნარი.

1 Н. И. Голованов, Устойчивость оснований подпорных сооружений по теории предельного равновесия. Труды Гидропроекта, вып. 2, Изд. Гидропроекта, 1969.

კლდოვან ქანებს, რომლებზედაც გათვალისწინებულია აიგოს გრაეიტაციული კაშხალი ან სხვა შემტბორაეი ნაგებობა, უნდა ჰქონდეს საკმარისი სიმტკიცე. ამასთანავე, სასურველია, ნაგებობის ფუძის მთელ ფართობზე ისინი ხასიათდებოდნენ დეფორმადობისა და ფილტრაციული სიმტკიცის ერთგვაროვნობით, აგრეთვე მონოლითური აგებულებით. მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ ამ პირობებს იშვიათად აკმაყოფილებს მთის ქანები. ხშირ შემთხვევაში მათ შეიძლება ჰქონდეთ ამა თუ იმ სახის დეფექტი, რომლის სალიკვიდაციოდ საჭიროა ჩატარდეს სპეციალური სამუშაოები. თუ რა სახის უნდა იყოს ეს სამუშაოები, ამისათვის წინასწარ აწარმოებენ საინჟინრო-გეოლოგიურ გამოკვლევებს.

კლდოვან ქანებს მიეკუთვნება ამოფრქვეული, მეტამორფული და დანალექი ქანები, რომლებსაც წყლით გაჭერებულ მდგომარეობაში აქვთ არანაკლებ 50 კგ/სმ<sup>2</sup> სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე. ყველა ამ ქანის მოკლე დახასიათება მოცემულია სახელმძღვანელოს მეორე თავში (§ 2-9). იქვე მოცემულია მდინარეთა ხეობების გასწორების (კვეთების) გეოლოგიური აგებულების ძირითადი სქემები (2-1 ცხრილი) და გაშუქებულია კაშხალების ფუძეებზე მათი გამოყენების საკითხები. მითითებულია კლდოვანი ქანების ფენათა ხელსაყრელ და არახელსაყრელ განლაგებათა შესახებ.

გრაეიტაციული კაშხალები შეიძლება ვაშენოთ აგრეთვე სუსტ კლდოვან ქანებზეც (მათ ზოგჯერ ნახევრად კლდოვან ქანებსაც უწოდებენ). მაგრამ უნდა გვახსოვდეს, რომ ეს ქანები გამოირჩევა მნიშვნელოვანი დამყოლობით. ძვრავზე დაქვეითებული წინალობით. წყლისაგან დარბილების უნარით და სხვ. მათ მიეკუთვნებიან სხვადასხვა თიხოვანი დანალექები ძლიერ გამკვრივებული თიხებიდან (არგილიტებიდან), თიხნარებიდან (ალუერიტებიდან) და აკოვანი თიხებიდან დაწყებული ოპოკებამდე და მერგელებამდე ჩათვლით (იხ. II თავი, § 2-9).

კაშხალის მშენებლობის დაწყების წინ საჭიროა მომზადდეს მისი ფუძე. ამისათვის აუცილებელია მოცილებულ იქნეს ზედა ფენები — მეოთხეული დანალექები ან საერთოდ ფენები, რომლებმაც გამოფიტვის შედეგად განიცადეს დაშლა. ამ სამუშაოთა ჩასატარებლად შეიძლება საჭირო გახდეს დიდ სიღრმეზე ჩასვლა, რომელიც ზოგჯერ ათეული მეტრებით ითვლება. მაგალითად, შვეიცარიაში, შრეს კაშხალის ძირი მოთავსებულია მდინარის კალაპოტის ფსკერიდან 44,5 მ სიღრმეზე, ხოლო აშშ-ებში პარკერის კაშხალის ძირი — დაახლოებით 70 მ სიღრმეზე.

როდესაც კლდოვან ფუძეში გამოვლინებულია დასუსტებული ქანების სიღრუეები და ბუდეები, განიერი ბზარები და ნაპრალები, მაშინ აუცილებელია წყლის ჰავლით, შეკუმშული ჰაერით ანდა სხვა საშუალებებით მოცილებულ იქნეს მათი შემავსებელი რბილი მასალა, ხოლო შემდეგ გაწმენდილი სიციარიელები დაბეტონდეს.

თანამედროვე სამშენებლო ტექნიკის პირობებში, არც თუ ისე იშვიათად, წარმოებს ნაგებობათა ფუძეების ზელოვნური განმტკიცება სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით. ძლიერ დაბზარული და დასუსტებული კლდოვანი ფუძეების განმტკიცებისათვის ფრიალ ეფექტური საშუალებაა მთლიანი, ანუ ფართობი ცემენტაცია. იგი წარმოებს ჰაბურლილების ქსელის საშუალებით, რომლითაც თანაბრად იფარება კლდის მთელი ფართობი კაშხა-

ლის საძირკვლის ქვეშ. ცემენტის ხსნარის კირხვნა წარმოებს კაშხალის საძირკვლის ნაწილის ბეტონის ფენიდან, რომელიც წინასწარ იწყობა ფუძეზე. კაბურღილების სიღრმე დამოკიდებულია ბზაროვნობის გავრცელების სიღრმეზე, რომელიც. ჩვეულებრივ ცვალებადობს 5 — 15 მ-ის ფარგლებში. ფართობრივი ცემენტაცია მაშინ არის მიზანშეწონილი, თუ იგი უფრო იაფი ჯდება, ვიდრე დასუსტებული კლდის მოცილება.

კაშხალისა და კლდოვანი ფუძის საიმედო დაკავშირების უზრუნველსაყოფად საჭიროა ბეტონბრუნების წინ ფუძე გაიწმინდოს წყლის ან ქვიშანარევი წყლის კავლისა (ზოგჯერ შეკუმშული ჰაერის) და ლითონის ჯაგრისების დახმარებით. ბუნებრივია, რომ კლდოვანი ფუძის ზედაპირი უნდა იყოს ჭანსალი, არ გააჩნდეს ბზარები და მახვილი შვერილები. ამ მიზნით კლდის თხრილის უკანასკნელი 0,6—0,8 მ სისქის ფენა პოკილებული უნდა იქნეს არა აფეთქებით, არამედ ხელის იარაღების გამოყენებით.

როდესაც ნაგებობათა ფუძეები წარმოდგენილია ფიქლებით, ოპოკებით, არგილიტებით ან სხვა ანალოგიური ქანებით, მაშინ მათი დამუშავება უნდა მოვახდინოთ გარკვეული წესის დაცვით. საქმე ის არის, რომ გახსნის შემდეგ ეს ქანები სწრაფად იშლება ჰაერზე, მაშასადამე, მათი გახსნა უნდა მოხდეს უშუალოდ კაშხალის დაბეტონების წინ. ასევე უნდა მოვიქცეთ მაშინაც, როდესაც აღნიშნული ქანები გადახლართულია კირქვებთან და ქვიშაქვებთან. დაბეტონების დაყოვნების შემთხვევაში. ცხადია, გაშიშვლებული ქანები დროებით უნდა დაეიცვათ რაიმე საშუალებით, მაგალითად, ასფალტის ფენის დაწყობით.

## 2. გრავიტაციული კაშხალების მახალგები

ჭიდრომშენებლობაში ბეტონის გამოყენებამდე (მე-20 ს. დასაწყისამდე) გრავიტაციული კაშხალების მშენებლობას აწარმოებდნენ ქვის ყორული წყობით ცემენტის ხსნარზე. თანამედროვე გრავიტაციული კაშხალების ძირითად მასალას წარმოადგენს ბეტონი, რომელიც ზოგჯერ ნაწილობრივ არმირდება. ბეტონს მრავალი უპირატესობა გააჩნია: იგი საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს სამუშაოთა ფართო მექანიზაცია და მის საფუძველზე განხორციელდეს მშენებლობის მაღალი ტემპი, შესრულდეს სხვადასხვაგვარი ფორმის ნაგებობანი და სხვ.

კაშხალთმშენებლობაში გამოყენებული ბეტონის უარყოფით მხარეებად უნდა ჩაითვალოს ცემენტის შედარებით დიდი ხარჯი და ფილტრაციული წყლის გავლენით დეზინტეგრაციის (დაშლის) შესაძლებლობა. რომელიც განსაკუთრებით ძლიერდება შეკლებისა და ტემპერატურული ბზარების გაჩენის შემთხვევაში.

გრავიტაციულ კაშხალებში ბეტონი უნდა იყოს: ა) საკმარისი სიმტკიცის, ბ) პრაქტიკულად შესაძლო წყალშეუღწევი. გ) მონოლითური და დ) ხანგამძლე, ე. ი. მრღვევი (დამშლელი) ფაქტორებისადმი — ყინვის, წყლის ქიმიური მოქმედების, გამოფიტვისა და გაცეოთისადმი მედეგი. ამ მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილება შეიძლება მიღწეულ იქნეს ბეტონის შედგენილობის სათანადო შერჩევით და მისი დამზადებისა და წყობის წესების დაცვით.

ბეტონის წყალშეუღწეობას და ყინვაბედგობას აღწევენ მკერვი ბეტონის დამზადებით, რომლის მისაღებად იყენებენ საკმარისი რაოდენობის შესაბამისი მარკის ცემენტებს წყალცემენტის ფარდობის (წ/ც) მცირე მნიშვნელობის დროს. სასურველია, რომ კაშხალის წყალქვეშა ნაწილებისათვის წ/ც სიღრმის მნიშვნელობა არ აღემატებოდეს 0.55 - -0.60, ხოლო მისი გარე ნაწილებისათვის 0.50—0.55.

მოთხოვნილება ქონოლითურობის, ე. ი. ბეტონში ბზარების არარსებობის შესახებ ყველაზე უკეთ კმაყოფილება მასში შესაძლო მცირე რაოდენობის ცემენტის გამოყენებით. მისი დაბალი და საშუალო აქტიურობით, აგრეთვე მცირე ეგზოთერმულობით, როდესაც ამასთანავე დაცულია ბეტონის წყობის სპეციალური ტექნოლოგია, რომლის შესახებ ქვემოთ გვექნება საუბარი.

ჰიდროტექნიკური ბეტონების სახეობანი. მოქმედი ხორშებითა და ტექნიკური პირობებით ბეტონისათვის დადგენილია შემდეგი მარკები:

1. კუმშვაზე ნიშნულის სიმტკიცის ზღვრის მიხედვით (კგ/სმ<sup>2</sup>) — რვა მარკა: 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400 და 500; დაბალი მარკის ბეტონები გამოიყენება ნაკლებსაპასუხისმგებლო ნაგებობებში და კონსტრუქციებში, მაგალითად, 75 მარკა დასაშვებია საგებებისათვის, ჩამაგრებებისათვის, უბეების ამოსავსებად და სხვ.; 400 და 500 მარკის ბეტონებს იყენებენ განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო შემთხვევებში; როგორც წესი, სიმტკიცის მიხედვით მარკას ადგენენ ბეტონის 180 დღის ხნოვანებიდან გამომდინარე.

2. წყალშეუღწეობის მიხედვით — ხუთი მარკა: B-2, B-4, B-6, B-8 და B-12. რომლებიც დადგენილია 180 დღის ხნოვანების ბეტონის ნიშნულებისათვის (ციფრები გვიჩვენებენ წყლის მაქსიმალურ წნევას კგ/სმ<sup>2</sup>-ში, რომლის დროს ჯერ კიდევ არ შეიძენება გაჟონვა ბეტონის ნიშნუში).

3. ყინვაბედგობის მიხედვით — ხუთი მარკა: Мрз 50, Мрз 100, Мрз 150, Мрз 200, Мрз 300 (აქ ციფრებით ხასიათდება 28 დღის ხნოვანების ბეტონის ნიშნუების გაყინვისა და გაღობის ციკლების დაყოვნების რაოდენობა, რომელთა განმავლობაში მათი სიმტკიცე მცირდება არაუმეტეს 25%-ისა).

ბეტონების შედგენილობა. ჰიდროტექნიკური ბეტონის დასამზადებლად გამოიყენება სხვადასხვა სახეობის ცემენტი. კაშხალის იმ ნაწილებისათვის, რომლებიც მუდმივად იმყოფებიან წყალქვეშ ან წყლით გაჭერებულ მდგომარეობაში, საჭიროა პირველ რიგში გამოყენებულ იქნეს პულანისანი პორტლანდცემენტი ან წილა-პორტლანდცემენტი; ბეტონისათვის, რომელიც იმყოფება ცვალებადი დატენიანების ზონაში — სულფატმედეგი ან პლასტიფიცირებული, ანდა ჰიდროფობური პორტლანდცემენტი; ბეტონისათვის, რომელიც მუდმივად იმყოფება წყლის ზემოთ — პლასტიფიცირებული და ჰიდროფობური პორტლანდცემენტი.

პლასტიფიცირებული ცემენტების დამზადება წარმოებს პორტლანდცემენტის კლინკერის, თაბაშირის და მაპლასტიფიცირებელი დანამატის. — სულფიტ-სპირტის თხლეს კონცენტრატის ერთობლივი წმინდა დანამცეებით.

გრაუიტაციულ კაშხალებში, რომელთა კონსტრუქციების სისქე. ჩვეულებრივ. დიდა (2.5 მ-ზე მეტი), ცემენტს წაყენება სითბოს მცირე რაოდენობით გაყოფის მოთხოვნილება, სახელდობრ — არაუმეტესი 50 კალ/გ აღუღაპე-ბიდან 3 დღის და 60 კალ/გ-7 დღის განმავლობაში.

ბეტონის ნარევის ადვილჩაწყობადობის (პლასტიკურობის) გასაუმჯობესებლად. წყალცემენტის ფარდობის შესამცირებლად და სხვა ღირსებათა (წყალშეუღწეობის, ყინვამდებობის) ასამაღლებლად, საჭიროა მასში შეეიტანოთ მაპიდროფილირებელი (სულფიტ-სპირტის თხლე და მისი წარმოებულე-ბი) ან მაპიდროფობირებელი, პაერშემტაცი (საპონნაფთენი, ვინსოლის საპონი და სხვ.) ზედაპირულ-აქტიური დანამატები.

ბეტონის გათფებისა და აგრეთვე გამაგრების დროს სითბოს გამოყოფის (ეგზოთერმიის) შემცირების მიზნით, საჭიროა მისი ნარევების დაპროექტებისა და შედგენის დროს მივალწით ცემენტის მინიმალურ ხარჯს. ამჟამად ბეტონის კაშხალებისათვის დადგენილია ცემენტის ხარჯვის შემდეგი ზღერები: შიგა ზონებისათვის — 160 კვ/მ<sup>3</sup>, საძირკვლის ნაწილებისათვის 230 კვ/მ<sup>3</sup>, ყრუ კაშხალების გარე ნაწილებისათვის — 240 კვ/მ<sup>3</sup>, წყალსაგდები კაშხალების გარე ზონებისათვის და თხემისათვის — 260 კვ/მ<sup>3</sup> და წყლის დონის ცვალებადობის ზონებისათვის — 275 კვ/მ<sup>3</sup>. ცხადია, ყოველმხრივ უნდა ვეცადოთ. რათა ცემენტის ხარჯი იყოს რაც შეიძლება უფრო ნაკლები (ე. ი. აღნიშნულ ციფრებზე ნაკლები). ამის რეალურ შესაძლებლობას გვიჩვენებს შეეიცარიში აგებული 284 მ სიმაღლის გრანდ დიქსანსის გრაუიტაციული კაშხალის მაგალითი, რომლის შიგა ზონების ბეტონის ყოველ 1 მ<sup>3</sup>-ზე დაიხარჯა მხოლოდ 140 კვ ცემენტი.

ბეტონის ხარისხის გაუმჯობესებისა და ამასთანავე ბეტონის ნაგებობათა გათფების მიზნით კრემენჩუგის პიდროელექტროსადგურის მშენებლობაზე გამოყენებულ იქნა ციკლოპური ბეტონი, რომლის წყობაში შეტანილ იქნა დიდი ზომის ქვები („ციკლოპები“ 2—4 მ<sup>3</sup>-მდე მოცულობისა) წყობის მთელი მოცულობის 60—70%-ის რაოდენობით. ასეთი წყობა მნიშვნელოვნად ამცირებს როგორც ცემენტისა (100 კვ/მ<sup>3</sup>-მდე) და ღორღის ხარჯს, ასევე ეგზოთერმულ მოვლენებსაც.

კაშხალის პროფილის ცალკეულ ნაწილებში ბეტონი განიცდის სხვადასხვა ფიზიკურ-შექანიურ ზემოქმედებას და იყოფება სხვადასხვა ძაბვითს მდგომარეობაში, ამიტომ ცემენტის ეკონომიისათვის საჭიროა მასში გავითვალისწინოთ სხვადასხვა მარკის ბეტონის ზონალური განლაგება. სადაწნო წახნაგის მხარეზე და ძირთან უნდა ჩაიწყოს წყალშეუღწევი ბეტონი, ქვედა წახნაგზე და თხემზე — ყინვამდები, წყლის დონის ცვალებადობის ზონაში — წყალშეუღწევი-ყინვამდები და წყალსაშეებ ზედაპირზე — ცვეთაზე მედები ბეტონი. სიმტკიცის მიხედვით კაშხალის პროფილის ზედა ზონებში უნდა ჩაიწყოს უფრო დაბალი მარკის ბეტონები, ხოლო ქვედა ზონებში — უფრო მაღალი მარკისა — ძაბვითი მდგომარეობის შესაბამისად.

ტემპერატურულ-შეკლებითი მოვლენები და ბზარების წარმოქმნა ბეტონში. ბეტონის წყობის (შეკიდვის) დროს მასში ვითარდება ეგზოთერმული მოვლენები, რომელთა შედეგად დაწყობილი ბეტონის ტემპერატურა იზრდება

15 — 25°C-მდე, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში 36°C-მდე და უფრო მეტად ბეტონის აღუღებების ტემპერატურასთან შედარებით. ეს მოვლენები ძირითადად დამოკიდებულია ცემენტის სახეობასა და მის რაოდენობაზე. ტემპერატურის აწევის შედეგად ბეტონში წარმოებს მისი მოცულობის გაფართოების დეფორმაციები, ხოლო მაქსიმალური ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ იწყება მისი დაცემა გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურამდე და ბეტონის მოცულობის შემცირების დეფორმაციები, რომლებიც გამოწვეულია როგორც ტემპერატურის დაწვეთი, ისე ბეტონის შეკუმშვით.

ეგზოთერმიის (სითბოს გამოყოფის) პროცესი შედარებით ხანმოკლეა — გრძელდება რამდენიმე დღეს, ხოლო ტემპერატურის კლებისა — მიმდინარეობს ძალიან ხანგრძლივად, ჩვეულებრივ, რამდენიმე წელს, რის შემდეგ კაშხალის ტანის შიგა ნაწილი ღებულობს ადგილმდებარეობის საშუალო წლიურ ტემპერატურას, ხოლო გარე წახნაგებთან ახლომდებარე ზონები (ზედაპირიდან 5-6 მ სიღრმემდე) განიცდის სეზონურ ტემპერატურულ რყევებს კაშხალის გარემომცველი ჰაერისა და წყლის ტემპერატურის რყევის შესაბამისად. კაშხალის შიგა და გარე ნაწილებს შორის ტემპერატურული სხვაობის (გარდნის) არსებობის გამო ვითარდება საშიში დეფორმაციები, რომელთა შედეგად წარმოქმნილმა გაჭიმავმა ძაბვებმა შეიძლება გადააჭარბოს ბეტონის დროებით წინაღობას გაჭიმვაზე და წახნაგებზე გაჩნდეს კაშხალის შიგნით შემღწევი ბზარები.

ბეტონის ბლოკში ტემპერატურის არათანაბარ განაწილებას, რომელსაც თან სდევს ძაბვებისა და დეფორმაციების ასეთივე არათანაბარი განაწილება, ზელს უწყობს ბლოკის ფუძის (კლდის ან ადრე დაწყობილი ბეტონის), მეზობელი ბლოკებისა და შემდეგი (მოცემულის ზემოდან დაწყობილი) ბლოკის განსხვავებული ტემპერატურული რეჟიმები.

კაშხალთშენებლობის პრაქტიკა ადასტურებს, რომ ბეტონის საკმარისად დიდი ზომის ბლოკში ტემპერატურის უთანაბრობამ ანუ ტემპერატურის სხვაობამ შეიძლება მიაღწიოს 17 — 20°C-მდე მასში ბზარების გაუჩენლად. ტემპერატურათა უფრო დიდი სხვაობის დროს კი უკვე ვითარდება ბზარები; საერთოდ, აღნიშნული პროცესი ემორჩილება ანგარიშს და შეიძლება მისი სათანადო რეგულირება. ანალოგიურად წარმოებს ბეტონში შეკუმშვისა და გაჭირვების დეფორმაციები მასში ტენიანობის არათანაბარი განაწილების დროს.

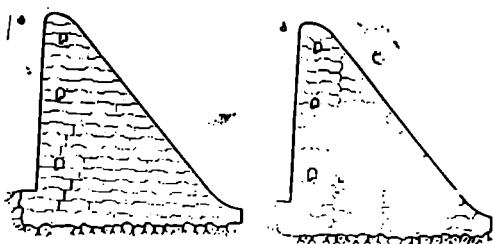
ახალგაზრდა ბეტონის ტემპერატურულ-შეკუმშვითი დეფორმაციები მით უფრო დიდია, რაც უფრო მეტია მის შემადგენლობაში ცემენტი და რაც უფრო ეგზოთერმულია იგი. სწორედ აღნიშნული გარემოების გამო ნაჭიროა, რომ ბეტონის შემადგენლობაში შეტანილ იქნეს დაბალთერმული ცემენტი შესაძლო მცირე რაოდენობით. საშიში დეფორმაციები მცირდება (პირველ ორ წელიწადში) ბეტონის ცოცვალობის და ყალიბების მაიზოლირებული გავლენის გამო, აგრეთვე ტენიანობის რეგულირების დროს, რასაც აწარმოებენ გამრობისაგან ბეტონის დაცვის მიზნით.

ბზარების წარმოქმნის საწინააღმდეგო ღონისძიებები. გარდა ზემოთ აღნიშნული ღონისძიებისა, რომელიც მოითხოვს ბეტონის ნარევიში ცემენტის მცირე რაოდენობით გამოყენებას და მის დაბალ თერმულობას, ბეტონში ბზარების წარმოქმნის თავიდან აცილების მიზნით ღებულობენ სხვა ღონისძიებებსაც; მათ შორის: 1) ბეტონის შემავსებლებისა და

მისი ამადუღაბეგელი წყლის გაცივება (წყლის ნაწილის ყინულით შეცვლით) იმდენად, რომ ნარევი მიიღოს დაბალი ტემპერატურა, რათა შემცირდეს ბეტონის გახურებისა და ჰაერის ტემპერატურათა სხვაობა და მის შედეგად — ტემპერატურული ძაბვები ბეტონში; 2) ბეტონის გაცივება უშუალოდ კაშხალის ტანში მაკივარ-დანადგარიდან მიწოდებული გამაცივებელი წყლის ცირკულირებით, რაც კაშხალის ტანში ჩალაგებული მილების სისტემით წარმოებს; 3) ბეტონის დაწყობა კაშხალის ტანში შეზღუდული ზომების მქონე ცალკეულ ბლოკებად ისეთი რიგით, რომ რაც შეიძლება სწრაფად გაიფანტოს ეგზოთერმიის სითბო, რათა ახალი ბლოკების დაწყობა მოხდეს ადრე დაწყობილი ბლოკების ტემპერატურის დაწვევის შემდეგ.

კაშხალის დაყოფა ბეტონირების ბლოკებად უფრო მოსახერხებელი და ეკონომიურად ხელსაყრელი მეთოდია, ვიდრე ზემოთ აღწერილი სხვა ღონისძიებები, ამიტომ მისი გამოყენება მასიურ პილრონაგებობათა მშენებლობისათვის აუცილებელია.

შემუშავებულია და პრაქტიკაში დანერგილი ბლოკებად დაყოფის სამი ხერხი: ა) ვერტიკალური გრძივი ნაკერების გადაბმით (ნახ. 6—1 ა); ბ) სვეტოვანი (ნახ. 6—1 ბ); გ) სექციური (გრძელ ბლოკებად), რომლის დროსაც ბლოკებს გეგმაში გააჩნია იგივე ზომები, რაც სექციას ტემპერატურულ ნაკერებს შორის. პრაქტიკაში ზოგჯერ გამოიყენება დახრილ ნაკერებად დაყოფა, რომელთაც დაახლოებით მთავარ ძაბვათა მიმართულება აქვთ.



ნახ. 6—1. კაშხალის ბეტონირების ბლოკებად დაყოფის

ნაკერები:  
 ა—ნაკერების გადაბმით; ბ—სვეტოვანი.

ბლოკებად დაყოფის პირველი ხერხი ჩვენში გამოყენებულ იქნა მრავალი კაშხალის მშენებლობის დროს: დნეპრის, უსტ-კამენოგორსკის, გუმათჰენის და სხვ.; მეორე ხერხი პირველად გამოყენებულ იქნა ბრატსკის, ზოლო მესამე — ბუხტარმის კაშხალზე.

ვერტიკალური გრძივი ნაკერების გადაბმის ხერხის გამოყენების შემთხვევაში სასურველია ბლოკების სიმაღლე არ აღემატებოდეს 3—4 მ-ს, ხოლო ფუძესთან — 1,5-2 მ-ს; მათი ზომები გეგმაში ინიშნება არა უმეტეს 12-15 მ-ისა ეგზოთერმიის სითბოს უსწრაფესად გაფანტვისა და საწარმოო პირობების გათვალისწინებით.

სვეტოვანი ბლოკები გაცალკეებულია მთლიანი გრძივი ვერტიკალური ნაკერებით, რომელთა შორის მანძილი 12-20 მ-ია, კაშხალის ფრონტის



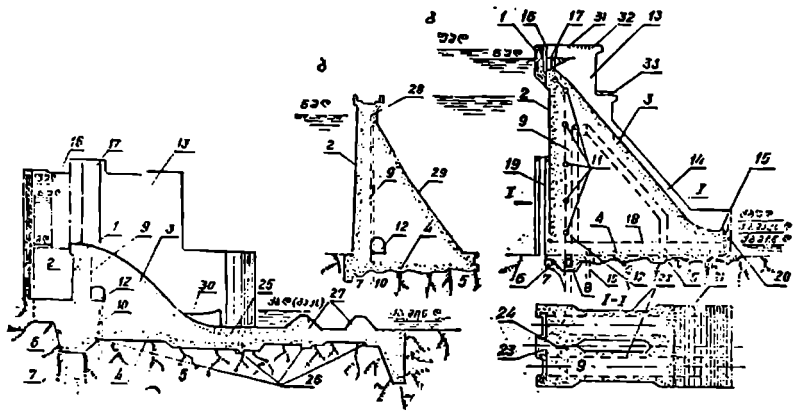
გასწვრივ კი ისინი შემოსაზღვრულია კაშხალის განივი ნაქერებით (15-20 მ). ვერტიკალური ნაქერების ჩამაგრებას (გამონოლითებას) აწარმოებენ ბლოკების გაცივების შემდეგ; საიშედო დაკავშირების უზრუნველსაყოფად (რასაც ცემენტაციით აღწევენ) ბლოკების კედლებს აქვთ შვერილები (შტრაბები). ზოგჯერ გრძივ ნაქერებს აკეთებენ განიერს (2-3 მ), შემდგომში კი მათ ავსებენ ბეტონით. სვეტოვანი დაყოფის დროს ბლოკების დაბეტონება წარმოებს ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მნიშვნელოვან სიმაღლეზე, მათი გაცივება უფრო სრულყოფილია და ბზარების წარმოშობის საშიშროებაც უფრო ნაკლებია, ვიდრე პირველი მეთოდის შემთხვევაში, რომლის დროს დაყოფა წარმოებს ვერტიკალური ნაქერების გადაბმით. მაგრამ ბლოკებად დაყოფის ეს სახეობა საჭიროებს ყალიბების მეტ რაოდენობას და ნაქერების სპეციალურ ცემენტაციას; იგი მიზანშეწონილია მაღალი კაშხალების მშენებლობისათვის.

გრძელი ჰორიზონტალური ბლოკების წესით მშენებლობის დროს ბლოკებს გეგმაში აკეთებენ კაშხალის მთელ სიგანეზე, მაგრამ მათი სიმაღლე არ უნდა აღემატებოდეს 1,2-1,5 მ-ს; წყობისათვის გამოყენებული უნდა იქნეს ხისტი ბეტონი. კაშხალის მშენებლობის ამ წესის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ იგი მოითხოვს ყალიბების მინიმალურ რაოდენობას და იძლევა უფრო მაღალი ტემპით ბეტონირების საშუალებას. მაგრამ ხისტი ბეტონის დამზადება დაკავშირებულია გაძლიერებულ საკვლევაძიებო სამუშაოების ჩატარებასთან; მოითხოვს ტემპერატურული რეჟიმის მკაცრ რეგულირებას.

ბეტონირების ბლოკებს შორის ნაქერები, ანუ სამშენებლო ნაქერები წარმოადგენენ კაშხალის დასუსტებულ ადგილებს როგორც სიმტკიცის, ისე წყალშეუღწეობის მხრივ. ნაქერების ხარისხის ასამაღლებლად საჭიროა შემდეგი ბლოკის დაწყობის წინ გაიწმინდოს ადრე დაწყობილი ბლოკის ზედაპირი ტალახისაგან (ქუჭუქისაგან), ხსნარის ზედა თხელი აფსკისაგან და დეფექტური ბეტონის ნარჩენებისაგან (3-4 ატმ) წნევის ქვეშ გამოდინებულ წყლის ჰაერის მეშვეობით. ნაქერის გასუფთავებული ზედაპირი საჭიროა დაიფაროს 1-2 სმ სისქის ცემენტის ხსნარის ფენით, რის შემდეგ დაუყოვნებლივ უნდა დაიწყოს შემდეგი ბლოკის დაბეტონება.

#### § 6-2. ბეტონის პრაპიტაბიული კაშხალების კონსტრუირება კლდოვან ფუძეებზე

კლდოვან ფუძეებზე აგებენ როგორც წყალსაშვებ, ისე ყრუ გრავიტაციულ კაშხალებს, რომელთა კონსტრუქციებს განსაზღვრავენ კლდოვანი ქანების თვისებებთან. ასეთ ფუძეებზე შენებადი გრავიტაციული კაშხალების რეალურ პროფილებს საფუძვლად უდევს სწორკუთხოვანი სამკუთხედი, რომლის ერთი კათეტი ვერტიკალურია, ხოლო მეორე — ჰორიზონტალური. მიმოსვლისათვის ყრუ კაშხალის თხემზე აკეთებენ სავალ ნაწილს (ზედნაშენს), წყალსაშვები კაშხალის თხემი და ქვედა წახნაგი კი ხშირ შემთხვევაში მოიხაზება კრივროფიციეროვის მრუდით (უვაკუუმო პროფილი). ასეთი პროფილის მქონე წყალსაშვები კაშხალის ქვედა წახნაგი ბოლოვდება საფეხურით, რომელიც წყალსაგდები ტრამპლინის როლს ასრულებს. ბეტონის გრავიტაციული კაშხალის ცალკეული ნაწილები და ელემენტები ნაჩვენებია 6-2 ნახაზზე.



ნახ. 6-2. ბეტონის გრავიტაციული კაშხლის ცალკეული ნაწილები და ელემენტები:  
 ა-სამშალო სიმაღლის წყალსაშვები კაშხალი სუბტ კლოფან ფუძეზე; ბ-სამშალო

სიმაღლის ყრუ კაშხალი მტკიცე კლოფან ფუძეზე; გ-გაფართოებულნაქრებიანი მაღალი კაშხალი მტკიცე კლოფან ფუძეზე; 1-წყალსაშვები სათაისი; 2-კაშხალის ზედა (სადაწნეო) წახნაგი; 3-წყალსაშვები კაშხალის ქვედა წახნაგი (წყალსაშვები წახნაგი); 4-კაშხალის ძირი; 5-კაშხალის ფუძე; 6-ზედა კბილი; 7-ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა; 8-საკეპენტაციო გალერეა; 9-კაშხალის ტანის დრენები (მგრეტავი მილები); 10-კაშხალის ფუძის სადრენაჟო კიბი; 11-სათვლიერებელი გალერეები; 12-სადრენაჟი გალერეა; 13-წყალსაშვები კაშხალის შუალედური ბურჯი; 14-სახაპირო ბურჯი; 15-ტრამპლინის წყალსაშვები ცხვირი (ტუჩი); 16-საშანდორე კილოები; 17-მუშა საკეტის კილო; 18-დროებითი წყალგამშვები ხვრეტი (სამშენებლო წყალსაგდები); 19-სამშენებლო წყალსაგდების ზედა საკეტის კილო; 20-სამშენებლო წყალსაგდების ქვედა გადართობის კილოები; 21-ტემპერატურული ნაქრები; 22-გაფართოებული ტემპერატურული ნაქრები; 23-სათვლიერებელი ჰა; 24-ფილტრაციის საწინააღმდეგო სოფანები; 25-წყალსაცემი; 26-ფუძის ფართობრივი დრენაჟი; 27-ენერჯის შთანქმელები; 28-ყრუ კაშხალის კიბი; 29-ყრუ კაშხალის ქვედა წახნაგი; 30-ქვედა წყალსაშვები ცხვირი გამფანტეული; 31-სასამაშაო ხიდი; 33-საავტომობილო ხიდი.

გრავიტაციული კაშხალების გამოყენება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია წყალსაგდებ ნაგებობებზე; ყრუ გრავიტაციული კაშხალის გეგმარების დროს, ცხადია, განხილული უნდა იქნეს სხვა ტიპის კაშხალების (რკინაბეტონის, მიწის, ქვანაგის, ქვა-მიწის და სხვ.) ვარიანტებიც, რათა ტექნიკურ-ეკონომიური შედარებების საფუძველზე მათგან არჩეულ იქნეს ყველაზე უფრო ხელსაყრელი ვარიანტი.

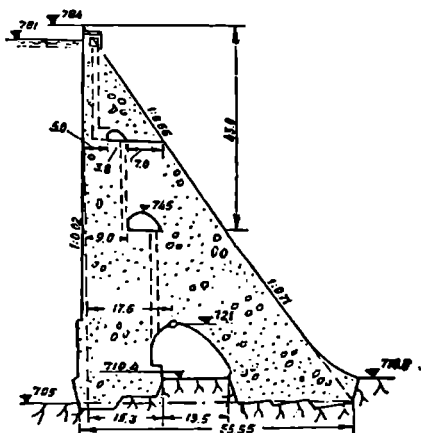
მასიური ტიპის გრავიტაციულ კაშხალებში ბეტონის სიმტკიცე არასრულად არის გამოყენებული. ამიტომ მიზანშეწონილია ვაშენოთ გრავიტაციული კაშხალების შემსუბუქებული ტიპები ანდა ისეთი გრავიტაციული კაშხალები, რომელთა შიგა ზონებში ბეტონი შეცვლილია ადგილობრივი მასალებით, რათა კაშხალებს შეუნარჩუნონ მდგრადობისათვის საჭირო წონა. ამ მხრივ საყურადღებოა ზოგიერთი განხორციელებული კაშხალის მაგალითი, მათ შორის ცერბინოს კაშხალისა იტალიაში, რომელსაც გააჩნია ქვით აგებული სამი დიდი ზომის გრძივი სიღრმე. საყურადღებოა აგრეთვე კაშხალები გაფართოებული ვერტიკალური ნაქრებით (ნახ. 6-2 გ), რომლებიც მნიშვნელოვნად ამცირებენ ფილტრაციულ უქუნწევას, აუმჯობესებენ ბეტონის გაციების პირობებს სამუშაოთა წარმოების დროს და უზრუნველყოფენ ბეტონის წყობის ეკონომიას.

ამ ტიპის ნაგებობას წარმოადგენს ბრატსკის პესის კაშხალი, რომლის სექციათა სიგანე შეადგენს 22 მ-ს, ხოლო ნაქერების სიგანე 7 მ-ს, ე. ი. სექციის სიგანის 0,32. ამ შემთხვევაში ფილტრაციული წნევა ფუძეში მცირდება 0,5  $\gamma H$  სიღრმეზე, სადაც  $l$  არის მანძილი სადაწნეო წახნაგიდან ნაქერის სიღრუის დასაწყისამდე. ჩვეულებრივ მასიურ კაშხალთან შედარებით გაფართოებულ ნაქერებთან კაშხალში მცირდება შემათავისობელი წნევაც.

კაშხალის შემსუბუქების, აგრეთვე ეგზოთერმიისა და შეკლების შედეგად შიგა ბზარების წარმოშობის თავიდან აცილების მიზნით პროფილის ქვედა ნაწილში (უშუალოდ ფუძესთან) შესაძლებელია მოწყოს ელიფსური ფორმის დიდი ზომის გრძივი სიღრუე (ნახ. 6-3). რომელიც საშუალებას იძლევა მიღწეულ იქნეს ფილტრაციული წნევის მკვეთრი შემცირება, ბეტონის წყობის გარკვეული ეკონომია და ფუძესთან ძაბვების გადანაწილება.

უკანასკნელ ხანებში პრაქტიკაში თანდათან ინერგება ფუძეში ჩაანკერებული კაშხალები, რომლებიც მშენებლობის ღირებულების ეკონომიას იძლევიან და ამასთანავე ხასიათდებიან ხელსაყრელი ძაბვითი მდგომარეობით, კერძოდ, მათში თავიდან აცილებულია გამჭიმავი ძაბვები. ჩაანკერების მეთოდი ემყარება იმ მოსაზრებას, რომ კაშხალის პროფილის სიგანის შემცირების შედეგად ზედა წახნაგზე წარმოშობილი გამჭიმავი ძაბვები შეიძლება კომპენსირებულ იქნეს კაშხალის წინასწარი შეკუმშვით. უკანასკნელს აღწევენ კლდოვან ფუძეში ჩამაგრებულ ანკერების (მჭიმების) წინასწარი მოჭიმვით დომკრატებით ან სხვა საშუალებით. დომკრატებს ათავსებენ კაშხალის ზედა ნაწილში, ხოლო ანკერები გადაან კაშხალის ტანში. და ფუძეში მოწყობილ შახტებში, რომელთა ცემენტაციას ახდენენ ანკერების (ტროსების ან ფოლადის ღეროების) საანგარიშო დაჭიმვის შემდეგ.

6-4 ნახაზზე ნაჩვენებია ოლთნა-ლერიჩის (შოტლანდია) ჩაანკერებული კაშხალი, რომლის სიმაღლე ცენტრალურ ნაწილში შეადგენს 22,2 მ-ს, ხოლო სიგრძე იმავე ნაწილში 295 მ-ს. კაშხალის სექციების სიგანეა 12,8 მ, თითოეულ სექციაში გადის ორ-ორი ანკერი ერთმანეთისაგან 6,4 მ-ის დაშორებით. ანკერის პაკეტი შედგება 28 ღეროსაგან, რომელთა დიამეტრი 28,6 მმ-ის ტოლია. თითოეული ანკერი გადასცემს 1177 ტ სიღრმის ძალვას, მაშასადამე, ერთ ღეროზე მოდის დაახლოებით 42 ტ, რაც იწვევს მის ღრეკად დაგრძელებას



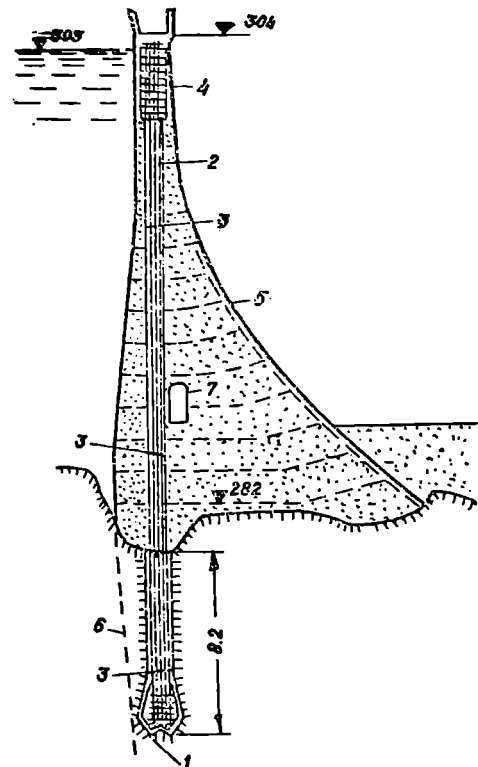
ნახ. 6-3. გროსერ-მიულდორფერზე კაშხალის გრძივი სიღრუით.

<sup>1</sup> М. А. Минхельдей, облегченная напряженно армированная плотина в Шотландии, Журн. «Гидротехническое строительство» № 5, 1957.

127 მმ-დე. ფუძეში ანკერები ჩამაგრებულია 1,2 მ დიამეტრის მქონე ტუბში, რომლებიც ბოლოში რამდენადმე გაგანიერებულია. კაშხალის მშენებლობის დამთავრებისა და ანკერების დაჭიმვის შემდეგ ისინი ჩააბეტონეს  $0,7 \times 1,22$  ზომის შახტებში.

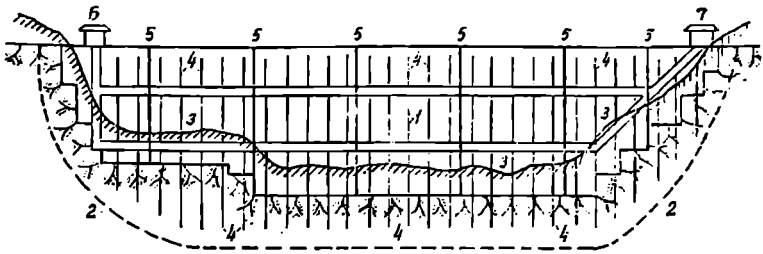
საბჭოთა კავშირში ბეტონის კაშხალების ჩაანკერებისა და მოკუმშვის საკითხები დღეისათვის ყველაზე სრულად დამუშავებული აქვს პროფ. ა. ბასევიჩს, რომელმაც დომკრატების გამოყენების ნაცვლად შეიმუშავა მოკუმშვის უდომკრატო მეთოდები—ჰიდრაულიკური, გრავიტაციული (კაშხალის სიმაღლის ზედა  $\approx \frac{1}{4}$  ნაწილის საკუთარი წონის მეშვეობით) და სხვ. ეს მეთოდები გამოყენებულია საყრდენი კედლების, ბურჯებისა და სანაოსნო რაბების მშენებლობის დროს.

კ ა შ ხ ა ლ ი ს ფ ო რ მ ა გ ე გ მ ა შ ი. ჩვეულებრივ გრავიტაციულ კაშხალს



ნახ. 6—4. ფუძეში ჩაანკერებული კაშხალი (შოტლანდია):  
 1—ქის გაფართოებული ნაწილი; 2—ანკერი (ღეროების პაკეტი); 3—ღეროების პირაპირი; 4—კაშხალის სათაისი; 5—ზედაპირული დაარმოება მსუბუქი ბალით; 6—ცემენტაციური ფარდა; 7—სათვალაურობელი გაღერვა.

ხალს გეგმაში აქვს სწორხაზოვანი ფორმა, ხოლო უფრო იშვიათად — მრუდწირული. სწორხაზოვანი კაშხალი მოითხოვს მასალის მინიმალურ რაოდენობას და ამიტომ ის უფრო გავრცელებულია. რაც შეეხება მრუდწირულ ფორმას, მას მიმართავენ შედარებით უფრო იშვიათად, ვერძოდ მაშინ, როდესაც ფუძე ხასიათდება არაერთგვაროვანი გეოლოგიური პირობებით და კაშხალის ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა იგი მოთავსდეს უფრო საიმედო ქანების დასტების გამოსაყვამზე. ცალკეულ შემთხვევებში ასეთი ფორმა შეიძლება ნაკარნახები იყოს მდინარის ხეობის ტოპოგრაფიული პირობებითაც (გამრუდება გეგმაში სიმაღლის სხვადასხვა უბნებზე). მრუდწირული ფორმა შეიძლება მიზანშეწონილი აღმოჩნდეს იმ შემთხვევაშიც, როდესაც მდინარის ხეობა არასაკმარისი სიგანისაა და ვერ უზრუნველყოფს წყალსაგდები ფრონ-



ნახ. 6—5. ყრუ გრავიტაციული კაშხალის გრძივი ჭრილი:

1. გრძივი სათვალავი გვერდები; 2—ცემენტაციური ფარდა; 3—ფუძის ზედაპირი;
- 4—სადრენაჟო ქაბურღილები; 5—კონსტრუქციული ნაქერები; 6—საძრომი; 7—სათვალავი-რეზელ გულერეაში ჩასაშვები.

ტის საჭირო სიგრძეს. სსრ კავშირში ამის მაგალითს წარმოადგენს დნებრკისის გრავიტაციული კაშხალი.

ტემპერატურული ნაქერები და მათი გამკვრივება ტემპერატურული და შეკლების დეფორმაციების, აგრეთვე დაჭრომის შედეგად მოსალოდნელი ბზარების წარმოშობის თავიდან აცილების მიზნით კაშხალს ანაწევრებენ ცალკეულ სექციებად მუდმივი ვერტიკალური კონსტრუქციული ნაქერებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სექციების თავისუფალ გადაადგილებას ვერტიკალურ და ჰორიზონტალური მიმართულებით ფუძის დეფორმაციის შესაბამისად. ცხადია, კონსტრუქციული ნაქერები ამავე დროს წარმოადგენს ტემპერატურულ ნაქერებს (ნახ. 6-5). ცალკეულ შემთხვევაში (მკაცრ კლიმატურ პირობებში) კაშხალში შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს დამატებითი ტემპერატურული ნაქერები ძირითად ტემპერატურულ ნაქერებს შორის. ამ ნაქერებით კაშხალი იჭრება არა მთელ სიმაღლეზე, არამედ თხემიდან მხოლოდ 20—30 მ-ის სიმაღლეზე.

კონსტრუქციულ-ტემპერატურულ ნაქერებს შორის მანძილი დამოკიდებულია კაშხალის სიმაღლეზე, კალაპოტის განივკვეთის, ფუძის ქანებისა და კაშხალის მასალის ხასიათზე, აგრეთვე ბეტონირების ბლოკების ზომებსა და ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობაზე. მიზანშეწონილია ნაქერებს შორის მანძილი აღებულ იქნეს 9—20 მ, ხოლო ნაქერის სიგანე—1—4 მმ-მდე; საერთოდ ნაქერების სიგანე შეიძლება გადიდდეს 10 მმ-მდე და უფრო მეტადაც.

ფორმის მიხედვით ნაქერები შეიძლება იყოს ბრტყელი (ნახ. 6-6) და ფეხურებიანი. პირველი უფრო მარტივია შესასრულებლად და ამიტომ უპირატესობაც აქვს. მეორე სახის ნაქერების გამოყენებას მიმართავენ ცალკეულ შემთხვევაში კაშხალის სივრცული მუშაობის წარმოსაქმნელად. წყლის გაყონვის საწინააღმდეგოდ ნაქერებში ეწყობა სხვადასხვა ფორმის წყალშეუღწევი შუადები. მათ აკეთებენ 2—3 მ სისქის სპილენძის ან უქანგავი ფოლადის ფირფიტებისაგან, ხოლო ზოგჯერ სპეციალური რეზინისაგან, რომელიც უზრუნველყოფს მათ ხანგამძლეობას.

გამამკვრივებელს აწყობენ სადრენაჟო წახნაგიდან 0,5—2 მ დაშორებით; მისი უფრო ღრმად მოთავსება მიზანშეწონილია იმ თვალსაზრისით, რომ შუადის ჩამაგრებაზე ნაქლებ გველენას მოახდენს ტემპერატურული ცვალებადო-



ბეტონის კაშხალების წყალსაშვები ზედაპირები შეიძლება დატოვებულ იქნეს მოპირკეთების გარეშე, თუ გადაღინებული ნაკადი არ შეიცავს მსხვილ ქვიშოვან ან ხრეშოვან ნატანს და ამასთანავე არ წარმოებს ყინულის გადაგდება ამ ზედაპირებით, მაგრამ ამ შემთხვევაში წყალსაშვები ზედაპირის ზონის გასწვრივ საჭიროა დაიწყოს ყინვაშედეგი ბეტონი. თუ ნაკადი შეიცავს ნატანს ან წარმოებს ყინულის გადაგდება, მაშინ კაშხალის წყალსაშვები ზედაპირის ცვეთის თავიდან აცილების მიზნით იგი უნდა დაიფაროს განსაკუთრებით მკვრივი ბეტონით, რომელიც მიიღება ვაკუუმირების გამოყენებით.

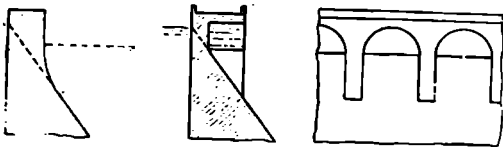
განსაკუთრებით მძიმე კლიმატურ პირობებში, აგრეთვე როდესაც ნაკადი დიდი რაოდენობით შეიცავს მყარ ნატანს, საჭიროა წყალსაშვები ზედაპირი მოპირკეთდეს არმირებული ტოტრკრეტის ფენით ან მაგარი ჭიშის თლილი ქვით, როგორც ეს ზაპესისა და ვოლხოვკის კაშხალებზეა გაკეთებული.

ფილტრაციის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა კაშხალის საძირკველიც მოეწყოს მკვრივი წყალშეუღწევი ბეტონისაგან.

სასამსახურო გავლის ან ტრანსპორტის მიმოსვლის უზრუნველსაყოფად ყრუ კაშხალის თხემზე უნდა მოეწყოს საჭირო სიგანის საგზაო ფენილი და ერთი ან ორი ტროტუარი. თხემის მინიმალური სიგანე აიღება 3,5-4 მ-მდე; საგზაო ფენილი, ჩვეულებრივ, სრულდება ასფალტით, ატმოსფერული ნალექები გაიყვანება კიუვეტებით და წყალსატარი მიღებით ზედა ბიეფში ან შიგა სადრენაჟო ქსელში. თხემის ზედნაშენის შემსუბუქების მიზნით ეწყობა ბეტონის ან რკინაბეტონის კონსოლურ-თაღოვანი კონსტრუქციის საგზაო ფენილი (ნახ. 6-7).

ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა და დრენაჟი გრავიტაციული კაშხალის მდგრადობისა და ეკონომიურობისათვის საჭიროა ფილტრაციული უქუწნევის მკვეთრი შემცირება ან სრული მოხსნა, რაც შეიძლება მიღწეულ იქნეს კაშხალის ზედა კბილის ქვეშ ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდის შექმნის და მის უკან ფუძის სადრენაჟო კუბის მოწყობით. ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდებს ქმნიან ფუძის კლდოვანი ქანების ბზარებში შემავსებლების დაჭირხნით. შემავსებლებად გამოიყენება ცემენტის ხსნარი (ცემენტაცია), ბიტუმი (ბიტუმიზაცია), თიხის ხსნარი (თიხიზაცია) ან მათი კომბინაცია.

შემავსებლების დაჭირხნისათვის კაშხალის ზედა კბილიდან ან 4—8 მ სისქის ბეტონის განსაკუთრებული ბალიშიდან, რომელიც ეწყობა კაშხალის წინ და დაკავშირებულია მის ტანთან, ბურღავენ კაბურღილებს, რომელთა დიამეტრი აიღება 50—100 მმ-მდე, ხოლო უფრო იშვიათად — 150 მმ-მდე. კაბურღილები ეწყობა შახმატურად ორ ან სამ გრძივ რიგად; რიგებს შორის მანძილი 1—2 მ-ია, ხოლო კაბურღილებს შორის მანძილი რიგში — 2,5—4 მ-მდე. კაშხალთან ფარდის შეუღლების ადგილში ფარდის სისქეს ზრდიან დამატებითი არაღრმა კაბურღილებით. კაბურღილების სიღრმე დამოკიდებულია ფუძის იმ ზონის სიღრმეზე, რომელიც ხასიათდება დასაშვები წყალშთანთქმელობით. ამ უკანასკნელის მნიშვნელობა კაბურღილის 1 მ სიგრძეზე, როდესაც დაჭირხნის დაწნევაა 1 მ, რეკომენდებულია მიღებულ იქნეს 0,01—0,05 ლ/წმ, რაც შეესაბამება ფილტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობას 0,0001—0,0002 სმ/წმ. ფარდის სიღრმეს ადგენენ კაბურღილებში წყლის ან ჰაერის საცდელი დაჭირხნის გზით; პრაქტიკულად იგი იცელება 0,4-დან 0,6 H-მდე,



ნახ. 6—7. ყრუ გრავიტაციული კაშხალის თხემის ფორმები.

სადაც  $H$  კაშხალზე მოქმედი დაწნევაა, მაგრამ ცალკეულ შემთხვევაში იგი აიღება გაცილებით უფრო მეტი, რამდენიმე ასეული მეტრის ტოლი (მაგალითად. კარსტების რაიონებში).

კაბურღილების ცემენტაცია წარმოებს ცემენტის ხსნარით, რომლის კონსისტენცია (ცემენტი: წყალი) აიღება 1:1-დან 1:8—1:10-მდე; ამასთან ცემენტის მარკა არ უნდა იყოს 300-ზე ნაკლები. უკანასკნელ ხანებში ცემენტის ხსნარში ურევენ თიხას და პლასტიფიცირებულ დანამატებს; საშუალო და ღიდი ზომის ბზარებისათვის მას უმატებენ ქვიშას. ხსნარის კირხნას იწყებენ დაბალი წნევით — რამდენიმე ატმოსფეროთი, ხოლო შემდეგ მას ზრდიან 10 ატმ-მდე და უფრო მეტადაც ბზარების ზომების შესაბამისად (იყო შემთხვევები, როდესაც დაკირხნის წნევამ მიაღწია 100 ატმ-მდე).

კაშხალში აწყობენ სპეციალურ გალერეას, საიდანაც ექსპლუატაციის პერიოდში შეიძლება ჩატარდეს განმეორებითი ცემენტაცია აგრესიული წყლების მოქმედებით ცემენტის დაშლის შემთხვევაში (ნახ. 6-2 გ).

ფარდის კაბურღილების ბიტუმისაცია წარმოებს ცემენტაციის ანალოგიურად, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ხსნარად გამოიყენება ან ელექტრული დენით გამდნარი ასფალტი, ანდა ბიტუმის ემულსია, რომელიც შედგება წყალში შეტივტივებული ასფალტის, ემულგატორისა და სტაბილიზატორის უწყრილესი ნაწილაკებისაგან.

იმ შემთხვევაში, როდესაც კაშხალის ფუძეში აგრესიული წყლებია და ამასთანავე ქანებს გააჩნია ღიდი ზომის ბზარები და კავერნები, მიზანშეწონილია გამოიყენებულ იქნეს თიხისაცია. ამ შემთხვევაში შემავსებელი ხსნარი წარმოადგენს წყლისა და ქვიშის შენაზავს თიხასთან. თიხისაციას მიმართავენ აგრეთვე დროებითი ფარდების შესაქმნელად.

ფილტრაციული წყლების შესაკრებად და ქვედა ბიეფში გასაყვანად აწყობენ კაშხალის ფუძისა და ტანის ღრენაებს. ფუძის ღრენაეი იქმნება კაბურღილების საშუალებით, რომლებიც განლაგებულია ერთ (ზოგჯერ ორ) გრძივ რიგად. კაბურღილების დიამეტრი აიღება არანაკლები 25 სმ-ისა, მათ შორის მანძილი რიგში 2—5 მ-მდე, ხოლო სიღრმე ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდის სიღრმის 0,5—0,75. ღრენაეის ღერძს ათავსებენ ფარდიდან არანაკლებ 4 მ მანძილზე, ე. ი. ფუძის დაუცემენტებელ ზონაში (ნახ. 6-2).

კაშხალის ტანის ღრენაეის აწყობენ იმისათვის, რათა კაშხალის ბეტონი დაიცვან ფილტრაციული წყლის მევენ ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური ზემოქმედებისაგან. იგი წარმოადგენს 15—30 სმ-ის ტოლი დიამეტრის მქონე წრიული ვერტიკალური საწრეტი მილების სისტემას, რომელიც განლაგებულია უშუალოდ სადაწნეო წახნაგის წყალშეუღწევი ბეტონის ფენის უკან (ნახ. 6-2) წახნაგიდან კაშხალის ზემომდებარე ნაწილის სიმაღლის  $\frac{1}{10} - \frac{1}{12}$



მანძილზე (მინიმალური დაშორება — 2 მ). საწრეტებში მფილტრავი წყალი ჩაედინება გრძივ გალერეებში, რომელთაც გააჩნიათ შემკრები კიუვეტები: კიუვეტებიდან წყალი მიემართება განივ გალერეებში ანუ შტოლნებში, ხოლო იქიდან ქვედა ბიეფში. საწრეტების ღერძებს შორის მანძილები აიღება 2—3 მ-მდე.

სათვალისწინებელი და დასაკვირი მოწყობილობა — ბეტონის წყობის დასათვალისწინებლად და ბზარების ცემენტაციისათვის, საწრეტი მილების საკონტროლოდ და გასაწმენდად, კაშხალის შიგნით მიმოსვლისათვის და საკონტროლო-გამზომ მოწყობილობათა (პიეზომეტრების, ჰერმეტიკების, ტენზომეტრების, თერმომეტრების, ვიბროგრაფებისა და სხვ.) მოსათავსებლად აწყობენ სპეციალურ სათვალისწინებელ გალერეებს — პოტრენებს (ნახ. 6-2 და 6-5). აღნიშნული გალერეების მინიმალური შიგა ზომა აიღება 1,25-2 მ-მდე, ხოლო თუ გალერეაში გათვალისწინებულია გავლა სატრანსპორტო საშუალებით, მაშინ მის სიგანეს ზრდიან 2,5 — 3 მ-მდე და კიდევ უფრო მეტად, ხოლო სიმაღლეს — 3 მ-მდე და მეტად. გალერეებს ანლაგებენ კაშხალის სიმაღლეზე ერთმანეთისაგან 20 — 30 მ-ის დაშორებით; რამდენიმე გალერეის შემთხვევაში ქვედა, ფუძესთან ახლომდებარე. გალერეა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდის დამატებითი ცემენტაციისათვის ექსპლუატაციის პერიოდში; ამ მიზნისათვის მას ზოგჯერ იყენებენ კაშხალის მშენებლობის პროცესშიც; მისი ზომები უნდა იყოს არანაკლები 2,5 მ-ისა სიგანე, ხოლო 3,5 — 4 მ-მდე — სიმაღლე. სათვალისწინებელი გრძივი გალერეების გამოსასვლელი ეწყობა ან უშუალოდ ნაპირების ფერდობებზე, ანდა კაშხალის თხემზე დახრილი ან ვერტიკალური შახტების საშუალებით (ნახ. 6-5).

გალერეების ირგვლივ ძაბვათა კონცენტრაციის გამო ხშირად საჭირო ხდება მათი კონტურების გასწვრივ ჩალაგდეს არმატურა, განსაკუთრებით კონტურის კუთხეებში. ადგილობრივ ძაბვათა შესამცირებლად მიზანშეწონილია აღნიშნული კუთხეების ჩამოქნა ან დამრგვალება. ამ თვალსაზრისით უმჯობესია გალერეა გაეკეთდეს არა სწორკუთხოვანი, არამედ ელიფსურთან მიახლოებული თაღოვანი განივკვეთისა.

გრავიტაციული კაშხალების გათვლების გზები. გრავიტაციული კაშხალები ხასიათდება მრავალი ღირსებით, რამაც განაპირობა მათი ფართო გამოყენება მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანაში. ეს ღირსებანი ძირითადად შემდეგია: კონსტრუქციის სიმარტივე და აგებისა და ექსპლუატაციის ფრიად მოხერხებულობა; საიმედოება პრაქტიკულად ნებისმიერი სიმაღლისა და ნებისმიერი კლიმატური პირობების დროს; როგორც ყრუ, ისე წყალსაშვებიანის განხორციელების შესაძლებლობა და სხვ.

როგორც აღენიშნეთ, ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების ძირითადი უარყოფითი მხარეებია: დიდი რაოდენობით მოთხოვნილება ცემენტზე, ქვასა და ქვიშაზე, ბეტონის სიმტკიცის არასრულად გამოყენება დაახლოებით 100 მ-მდე სიმაღლის კაშხალებში; არასაკმარისი მონოლითურობა ბეტონის დენიტეგრაციისა და წყობის პროცესში მნიშვნელოვანი ტემპერატურულ-შეკლებითი დეფორმაციების შემთხვევაში.

თუ მხედველობაში მივიღებთ ზემოაღნიშნულ უარყოფით მხარეებს, მაშინ შეიძლება მიუუთითოთ გრავიტაციული კაშხალების შესაძლო გამოყენების შემთხვევებზე და მათი გათვლების გზებზე. უდავოა, რომ ამ ტიპის კაშხა-

ლების გამოყენება შეიძლება იქ, სადაც შეუძლებელია მათი შეცვლა უფრო ეკონომიური კონსტრუქციებით. გრავიტაციული კაშხალების გაუმჯობესების, შემსუბუქებისა და გაიაფების გზებია: ბეტონის შემადგენლობაში ცემენტის შემცველობის ყოველმხრივი შემცირება; კაშხალში გაფართოებული დეფორმაციული ნაკერების ან სიღრუეების მოწყობა; კაშხალის ჩაანკერება ფუძეში; მის ტანში ჰიდროელექტროსადგურის სანაქანო დარბაზის მოთავსება და სხვა ღონისძიებანი.

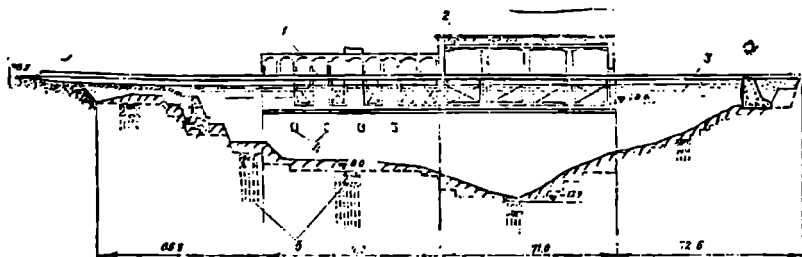
**§ 6-8. გუმათის გრავიტაციული კაშხალი და ჰიდროკანონის სსპ ნაგებობანი**

საქართველოს მდინარეები ხასიათდება დიდი რაოდენობის მყარი ნატონის ჩადინებით, ამიტომ მათზე აგებული სეზონური ჰიდროსადგურებისა და სარწყავი სისტემების ჰიდროკვანძებში გათვალისწინებულია ბეტონის დაბალზღურბლიანი კაშხალები, რომლებიც იძლევიან ნატანისაგან ზედა ბიეფის პერიოდული გარეცხვის შესაძლებლობას. ზოგიერთ ჰიდროკვანძებში დასაშლელ („ფარებიან“) ნაწილთან ერთად გათვალისწინებულია უსაკეტებო ან საკეტებიანი პრაქტიკული პროფილის მქონე წყალსაშვები გრავიტაციული კაშხალები.

ყველაზე უფრო სრულყოფილად ბეტონის გრავიტაციული კაშხალი წარმოდგენილია გუმათის ჰიდროელექტროსადგურის პირველი საფეხურის საშუალოდაწნვიან ენერგეტიკულ ჰიდროკვანძში, რომელიც საინტერესოა იმით, რომ მისი ყველა ძირითადი ნაგებობა (კაშხალი და ჰიდროელექტროსადგურის შენობა) განლაგებულია ერთ ხაზზე და ქმნის 30 მ სიმაღლის შეტბორვას (ნახ. 6-8). შექმნილი დღელამური რეგულირების წყალსაცავის სრული მოცულობა შეადგენს 39, ხოლო სასარგებლო — 13,5 მილ. მ<sup>3</sup>.

ჰიდროკვანძის რაიონში განლაგებულია თიხოვანი ფიქლები, რომლებიც გაკრილია დიაბაზების ძარღვებით. სწორედ ერთ-ერთ ასეთ ძარღვზე, რომელიც წარმოადგენს 100 მ სისქის ფენებიან ინტრუზიას, მოთავსებულია ჰიდროელექტროსადგურის ნაგებობანი. კაშხალის გასწორში დიაბაზები დაფარულია 16 მ სისქის კენჭნარი ალუვიონით.

ჰიდროკვანძში ბეტონის გრავიტაციული კაშხალი წარმოდგენილია შუა წყალსაშვები და ორი სანაპირო ყრუ ნაწილით. კაშხალის წყალსაშვებ და მარცხენა სანაპირო ნაწილებს შორის მოთავსებულია ჰესის შენობა. კაშხა-



ნა. 6 — 8. გუმათის ჰიდროტექნიკური კვანძის ნაგებობათა ზედი ზედა ბიეფიდან:

- 1—ჰესის შენობა; 2—წყალსაშვები კაშხალი; 3—ყრუ კაშხალი; 4—გამრეცხი გაღვრებები; 5—ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარა.

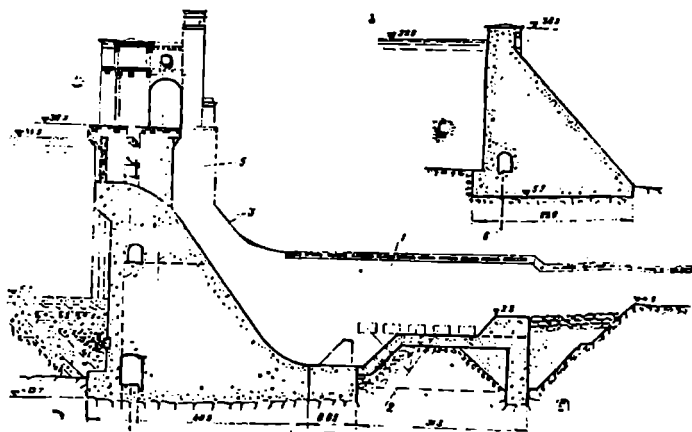
ლისა და ჰესის შენობის საძირკვლის ნაწილები ჩალრმავებულია საღ კლდეში. შემტბორავე ნაგებობათა საერთო სიგრძე 280,5 მ-ია.

საღაწნეო მტრიდან ნაგებობათა ფუძის მთელი ფრონტის გასწვრივე მოწყობილია 10 — 25 მ სიღრმის ერთიოვა ცემენტაციური ფარდა, რომლის კაბურღილები განლაგებულია ერთმანეთისაგან 1,5 მ-ის დაშორებით. კაშხალის წყალსაშვები ნაწილისა და ჰესის შენობის ქვეშ ცემენტაციური ფარდა გაძლიერებულია 5 მ სიღრმის კაბურღილების ორი დამატებითი რიგით, რომლებიც განლაგებულია ძირითადი ფარდის ორივე მხარეს მისგან 1,25 მ-ის დაშორებით.

კაშხალის წყალსაშვები ნაწილის ზედა წახნაგი ვერტიკალურია, ხოლო ქვედა წახნაგს აქვს დახრა 1:0,8 და მოხაზულია უეკუუმო პროფილით. წყალსაშვების ქიშზე განლაგებულია 3 მ სისქის ბურჯები, რომლებიც ქმნიან 14—14 მ სივანის ოთხ წყალსაშვებ ხერეტს. ხერეტები გადახურულია შეწყვილებული ბრტყელი საკეტებით; წყლის დაწნევა ზღურბლზე შეადგენს 8 მ-ს. ბურჯებზე აღმართულია 11 მ სიმაღლის რკინაბეტონის ესტაკადა, რომელზედაც განლაგებულია საკეტების ამწე მექანიზმების სათავსები. სარემონტო ფარებს ემსახურება 100 ტ ტვირთამწეობის ჯოჯინა ამწე, რომლის გადაადგილება წარმოებს ბურჯებს შორის წინა ნაწილში მოწყობილი კოჭების გასწვრივე (ნახ. 6-9 ა).

საღაწნეო მტრიდან კაშხალის წყალსაშვები და ყრუ ნაწილების ტანი იწრიტება 15 სმ დიამეტრის მქონე ბეტონის ფოროვანი მილებით, რომლებიც განლაგებულია ერთმანეთისაგან 1,5 მ-ის დაშორებით. საწრეტებიდან წყალი ჩაედინება ზედა და ქვედა სათვალეირებელ გაღერებებში. ზედა გაღერეიდან წყალი ვარდება ქვედაში, საიდანაც იგი გადაიტუმბება ქვედა ბიფფში. ცემენტაციური ფარდის სამუშაოების ჩატარების მიზნით ქვედა გაღერეის ზომები რამდენადმე უფრო გადიდებულია.

ქვედა გაღერეა გადის წყალსაშვები კაშხალისა და ჰესის შენობის საძირკვლის ნაწილის მთელ სიგრძეზე. მას აქვს ზედა გაღერეაში და სამონტაჟო



ნახ. 6-9. გუმათის გრავიტაციული კაშხალის განივი კრილები:

- ა-პრილი წყალსაშვებ ნაწილზე; ბ-პრილი ყრუ ნაწილზე; 1-წყალსაშვები კა;
- 2-გამრეცხი გაღერებები; 3-სადრენაჟო კაბურღილები; 4-სარემონტო საკეტები;
- 5-ძირითადი საკეტი; 6-ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა.

მოედანზე ამოსასვლელი შახტები შესაბამისად წყალსაშვები კაშხალის დასაწყისში და ჰესის შენობის ბოლოში.

ზედა გალერეა გადის კაშხალის მარჯვენა სანაპირო ყრუ ნაწილიდან წყალსაშვებ ნაწილში და გამოდის ჰესის შენობაში სამანქანო დარბაზის იატაკის ნიშნულზე, ხოლო კაშხალის მარცხენა სანაპირო ყრუ ნაწილიდან ჰესის სამონტაჟო მოედანზე.

წყალსაშვები კაშხალი გაკრილია ტემპერატურულ-შეკლებითი ნაკერებით სამ სექციად. რომელთაც ქვედა მხრიდან შუა ნაწილში გააჩნიათ 1,5 მ სიღრმის ჩანაკერი.

შემტბორავ ნაგებობათა საერთო გამტარუნარიანობა ნ შ დ დროს აღემატება 3000 მ<sup>3</sup>/წმ. კაშხალის წყალსაშვები წახნაგი გაკეთებულია გრანიტის ღორღით დამზადებული ბეტონისაგან.

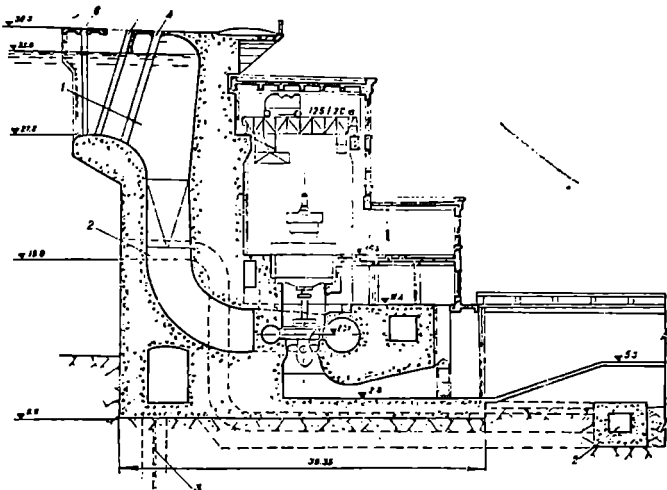
რადგან ქვაბულის გათხრის დროს ქვედა ბიეფში აღმოჩნდა ბზარებიანი კლდე ბლოკური განაწევრებით, ამიტომ სამი წყალსაშვები ხერეტის ქვედა ბიეფში მოეწყო ორიგინალური კონსტრუქციის წყალსაცემი ჰა — ჩამქრობი (ნახ. 6-9 ა). კაშხალის წყალსაშვები ზედაპირის ფუძესთან დაყენებულია რკინაბეტონის 5 მ სიმაღლისა და 2,5 მ სისქის წყალსაცემი პირსები, რომელთა შორის მანძილი 2,0 მ-ია. ჰესის საფეხურიანი ფსკერი მოპირკეთებულია რკინაბეტონის ფილით, რომელიც ხისტად უკავშირდება ჰესის ბოლოში მოწყობილ ბეტონის კბილს. ჰესის გაბარიტები და ფორმა დადგენილ იქნა თბილისის ნაგებობათა და ჰიდროენერგეტიკის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის<sup>1</sup> (ტნის-ბმ) ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში ჩატარებული ცდების საფუძველზე.

ქვაბულის სამუშაოთა ჩატარების დროს დადგინდა აგრეთვე. რომ მეოთხე წყალსაგდები ხერეტისა და მთელი მარჯვენა ყრუ ნაწილის ფუძეში განლაგებულია სალი კლდოვანი ქანები, ამასთან უფრო მაღალ ნიშნულზე, ვიდრე კაშხალის დანარჩენი ნაწილის ქვეშ. ამიტომ კაშხალის მარჯვენა ბლოკის ფუძე მოთავსდა უფრო მაღლა, მეოთხე წყალსაგდები ხერეტის ქვედა ბიეფში ჩამქრობი ჰესის გარეშე, რამაც გამოიწვია ქვედა ბიეფში ბეტონის გამყოფი კედლის მოწყობის აუცილებლობა (ნახ. 6-8). იმის გამო, რომ მეოთხე წყალსაშვები ხერეტი მუშაობს იშვიათად (მხოლოდ მაქსიმალური საანგარიშო ხარჯების გატარების დროს), მის ქვედა ბიეფში კლდე დატოვებულ იქნა მოპირკეთების გარეშე.

წყალსაშვები ნაწილის შესაბამისად, კაშხალის ყრუ ნაწილების სადაწნეო წახნაგები ვერტიკალურია, ხოლო ქვედა—დახრილი 1:0,8 ქანობით (ნახ. 6-9 ბ).

ჰესის შენობა, რომელიც სადაწნეო ფრონტშია მოთავსებული, იმავე დროს ასრულებს კაშხალის მოვალეობას, ე. ი. იგი ლებულობს წყლის საერთო დაწნევას წინა გასქელებული კედლის საშუალებით (ნახ. 6-10). შენობის სიგრძე 71,0 მ-ია, ჰესის წინა კედელში კაშხალის წყალსაშვები ზღურბლის ნიშნულზე მოწყობილია ოთხი წყალმიღები, რომელთაგან სადაწნეო წყალსატარების საშუალებით წყალი მიიყვანება ტურბინებამდე. ჰესის მარჯვენა, წყალსაშვები კაშხალის შემხებ ბლოკში გათვალისწინებულია გადასაშვები გალერეა, რომელიც აგრეგატების შემოვლით 105 მ<sup>3</sup>/წმ რაოდენობის წყალს აწვდის ქვედა

<sup>1</sup> აქამდე საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი (ბრუნინიშხ).



ნახ. 6 — 10. გუმათის ჰესის შენობის განივი კრილი:

1 — წყალშიღები; 2 — გამრეცი გალერეები; 3 — ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა; 4 — ძირითადი საკეტის კილო; 5 — გისოსის კილო; 6 — სარემონტო საკეტის კილო (35,8—წმღ).

ჰესი-II დერივაციულ არხს იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰესი-I აგრეგატები გამორთულია.

ჰესის წინა კედელში არის აგრეთვე მაგარი ქვით მოპირკეთებული ოთხი გამრეცი გალერეა, რომლებიც გადიან ჰესის შენობის საძირკვლის ნაწილში და გამოდიან კაშხალის წყალსაცემ ჰაში (ნახ. 6-8 და 6-9).

პილოტაჟის მშენებლობა მიმდინარეობდა ორი რიგით. პირველ რიგში შენდებოდა კაშხალის მარჯვენა სანაპირო ყრუ და წყალსამეხები ნაწილები და ჰესის შენობის ერთი ბლოკი; ამ პერიოდში მდინარის ხარჯების გატარება წარმოებდა კალაპორტის მარცხენა შევიწროებული ნაწილით. მეორე რიგში კი ჰესის შენობის ძირითადი ნაწილი და კაშხალის მარცხენა სანაპირო ყრუ ნაწილი. წყლის სამშენებლო ხარჯები ტარდებოდა კაშხალის წყალსამეხები ნაწილის საძირკველში მოწყობილი ოთხი ფსკერული ხვრეტის საშუალებით, რომლებიც შემდგომში შევსებულ იქნა ბეტონით.

ნაგებობათა მშენებლობა წარმოებდა 3 მ მიმდინარის სამშენებლო ბლოკებით ხის ყალიბებში. ბლოკებს აყოვნებდნენ 5 დღე-ღამის განმავლობაში და შემდეგ იწყებდნენ ახალი ბლოკების დაბეტონებას. ყველა შემტობორავი ნაგებობის სადაწნეო წახნაგი, აგრეთვე ქვედა ბიეფში არსებული კედლების წახნაგები შესრულებულ იქნა ფილა-გარსებში. ასაწყობ რკინაბეტონით მოეწყობა კაშხალის ამწე მექანიზმების სათავსები, ჰესის შენობისა და დახურულ განმანაწილებელ მოწყობილობათა სათავსების სართულშუა გადახურვები და ტიხრები. ჰესის შენობის ზოგიერთ კონსტრუქციაში (ქვედა ნაწილი, ტორსული კედლები და სხვ.) გამოყენებულ იქნა არმოჩნხები და არმოზადეები.

ბეტონის წყობის ტემპერატურის გასაზომად კაშხალში ჩადებულია თერმომეტრები. ქვედა სათვალეირებელი გალერეიდან წყალსამეხები კაშხალისა და

ჰესის შენობის ფუძეში ჩაბურღილია კაბურღილები, რომელთა თავზე დადგმულია მანომეტრები ნაგებობათა ძირზე ფილტრაციული უკუწნევის გასაზომად. ნაგებობათა დაჯდომასა და გადაადგილებებზე დაკვირვებისათვის მათზე, აგრეთვე ნაპირებზე მოთავსებულია გეოდეზიური რეპერები და მარკები. ჩვეულებრივ, ნაგებობათა გადაადგილებანი და დაჯდომა გამოისახება უმნიშვნელო სიდიდეებით.

## თ ა ვ ი VII

### გრაჰიტაციული კაშხალეზი არაკლდოვან ფუძეებზე

#### § 7-1. კაშხალის კონსტრუქციის არაკლდოვან ფუძეებზე

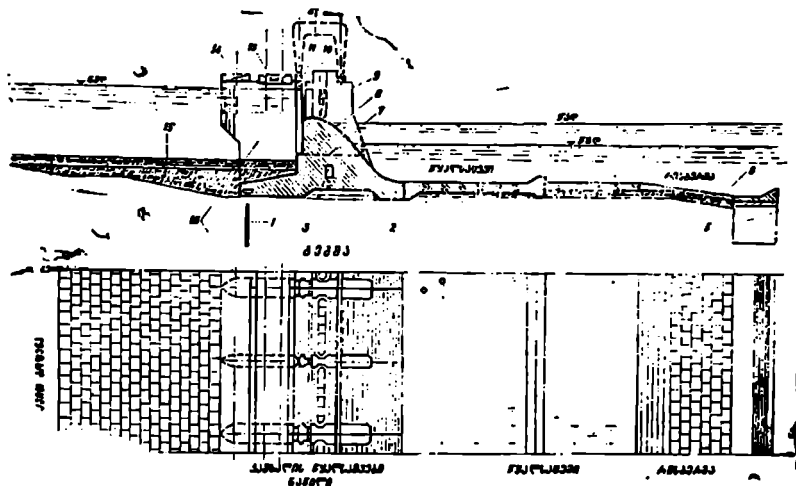
არაკლდოვანი ფუძეები და მათი მომზადება. კაშხალის არაკლდოვანი ფუძე შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შეუქვრელი და შექვრული გრუნტებისაგან. უკანასკნელ შემთხვევაში გრუნტები ხასიათდება ნაწილაკებს შორის შეჭიდულებით.

შეუქვრელ (ენჭნარ, ხრეშიან, ქვიშიან და მათ ნარეგ) გრუნტებს აქვს ისეთი ზიდვის უნარიანობა, რომელიც საკმარისია მათზე 20 — 40 მ-მდე დაწნევის ბეტონისა და რკინაბეტონის კაშხალების ასაგებად.

შექვრულ გრუნტებს მიეკუთვნება სხვადასხვა სიმკვრივის თიხები, თიხნარები, ლესები და ლამები. ვინაიდან თიხოვან გრუნტებს ახასიათებს დაბალი ხახუნის კოეფიციენტები (0,35-დან 0,1-მდე და უფრო მცირე), ამიტომ საჭიროა დავამძიმოთ ნაგებობები და ჩავატაროთ სხვადასხვა ღონისძიებები ძვრაზე მათი მდგრადობის გასაზრდელად. თიხოვან გრუნტებს აქვს მნიშვნელოვანი კუმშვადობა, რაც ქმნის ნაგებობაში დაჯდომის ნაკერების მოწყობის აუცილებლობას. დასველების დროს ლოსოვანი გრუნტები ხასიათდება სიმტკიცის დაკარგვით და დატვირთვის ქვეშ მნიშვნელოვანი დაჯდომით. ამ მოვლენამ შეიძლება გამოიწვიოს ნაგებობის ავარია, რომლის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა წინასწარ დასველდეს იგი, მოეწყოს კონსტრუქციული ნაკერები და ა. შ. ლამოვანი გრუნტები და ტორფები ხასიათდება განსაკუთრებული კუმშვადობით (20 — 30 სმ/მ) და, მაშასადამე, მცირე ზიდვის უნარიანობით. მათი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ მიწის კაშხალების ფუძეებზე. განსაზღვრული სისქის გამკვრივებულ ლამებზე შეიძლება აშენდეს დაბალდაწნევიანი ბეტონის კაშხალები (ყანოვის ჰესის კაშხალი).

ფუძის გრუნტსა და ნაგებობის ბეტონს შორის არ დაიშვება ფილტრაციის შემსუბუქებული გზები, ამიტომ ნაგებობის ქვეშ არ უნდა გაკეთდეს ღორღის ან ხრეშის საგები. ამავე თვალსაზრისით საჭიროა მუდმივი გამჭოლი დეფორმაციული ნაკერების ისეთნაირი დაკონსტრუქციება, რომ მეზობელი სექციების არაერთნაირი დაჯდომის დროს არ წარმოიშვას კონტაქტური ფილტრაცია.

პილონაგებობის ფუძის მომზადების ხასიათის არჩევა წარმოებს გრუნტების გვარობის, გრუნტის წყლების არსებობის და საშუალოთა წარმოების პირობების შესაბამისად. თუ გრუნტის წყლების დონე ქვაბულის ფსკერზე დაბლაა, ბეტონს აწყობენ უშუალოდ ფუძეზე, ხოლო როდესაც აღნიშნული დონე ფსკერზე მაღლაა, მაშინ ქვაბულიდან წყალაქცევის შემდეგ ანალოგიუ-



ნახ. 7 — 1. ბეტონის წყალსაშვები კამხალი ქვიშოვან ფუძეზე:

- 1—ლითონის ნარანდი; 2—უკუფილტრი; 3—სადრენაო გალერეა; 4—სადრენაო ხერტები; 5—უჭრელოვანი კედელი (ლითონის ნარანდი); 6—ფილები; 7—წყალსაშვების ტანის ნაწილი, რომელიც იგება „სავარცხლის“ წესით; 8—წყალსაშვები; 9—მუშა საკეტი (ფარი); 10—საუქსაღებელი მანძილის კილი; 11—მანძილის კილი შვენივლობის პერიოდისათვის; 12—პორტლანდი აშენი; 13—ორლიანდავიანი რკინიგზის ხიდი; 14—გზატყეპლის ხიდი; 15—ძირულის ფილები; 16—კამხალის ბურჯი.

რად იქცევიან მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ფუძის გრუნტი მსხვილ-მარცვლოვანი ქვიშებითაა წარმოდგენილი. წვრილმარცვლოვანი ან შტერისებრი ქვიშების დროს ფუძეზე წინასწარ აწყობენ 8 — 15 სმ სისქის მკვლე ბეტონის საგების ფენას. თიხოვანი გრუნტების შემთხვევაში კი ფუძეს აცილებენ გათხევადებულ ზედაპირულ ფენას და მას ცვლიან შემცირებული სიმტკიცის ბეტონის ფენით ანდა ზედაპირულ ფენაში ტყეპნიან ლორღს ან ხრეშს.

წყლით გაჯერებული წვრილმარცვლოვანი ქვიშები, რომლებსაც გააჩნიათ დენადობის თვისებები (მცურავი ქანები), შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დაბალდაწნევიანი კამხალების ფუძეებად, თუ მთელ კონტურზე ქვაბული შემოზღუდული იქნება ნარანდული კედლებით. ასეთი აგებულების წვრილმარცვლოვანი ქვიშები, განიცდის რა მკვეთრ დაჭლომას, გადადის გათხევადებულ მდგომარეობაში. მათ გამკვრივებას აღწევენ სიღრმული, ზედაპირული და წყალქვეშა აფეთქებით, ხიმიწებების ჩასობით ან ვიბრირებით.

კონსტრუქციული თავისებურებანი. როგორც წესი, არაკლდოვან ფუძეებზე აგებული გრავიტაციული კამხალები წარმოადგენს წყალსაშვებიანს. კამხალების ყრუ ნაწილს ადგილობრივი მასალებისაგან აგებენ. წყალსაშვების მოხაზულობას განსაზღვრავს ძვრაზე კამხალის მდგრადობის პირობები და საკეტების ტიპი. მსგავსი პროფილების შესახებ მითითებული იყო 5-2 პარაგრაფში. მნიშვნელოვნად ეკონომიური პროფილი მიიღება მაშინ, როდესაც კამხალს აქვს ვერტიკალური სადაწნეო წახანავი და ზემო ბიეფისაყენ განვითარებული საძირკვლის ფილა (ნახ. 7-1), რაც უზრუნველ-

ყოფს ამ ფილის მიტვირთვას წყლის წონით და ამასთანავე ბეტონის მოცულობის შემცირებასაც.

ბეტონის მარკების არჩევა და მათი განაწილება კაშხალის პროფილში, გალერეების მოწყობა კაშხალის შიგნით, წყალსაშვები წახნაგების მოხაზვა და მოპირკეთება, ბეტონში მფილტრავი წყლის შეკრება და გაყვანა და სხვ. წარმოებს ისე, როგორც კლდოვან ფუძეებზე შენებადი კაშხალებისათვის.

ჩვეულებრივ, კაშხალის გაქრას განივი დეფორმაციული (ტემპერატურულ-დაჯდომის) ნაკერებით ახდენენ ბურჯებზე. იმისათვის რათა შემცირებულ იქნეს ბეტონის ხარჯი და დაჯდომის ნაკერების რიცხვი, იყენებენ ორ და სამმალიან სექციებად დაყოფას. სექციათა შორის ნაკერების ფილტრაციის საწინააღმდეგო გამკვრივებათა კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს მათი საიმედო მუშაობა მეზობელი სექციების შესაძლო გადაადგილებათა დროს.

7-2 ნახაზზე მაგალითის სახით ნაჩვენებია ციმლიანსკის კაშხალის ნაკერების ფილტრაციის საწინააღმდეგო გამკვრივებათა კონსტრუქციული გადაწყვეტები. მათგან ვერტიკალური ნაკერების გამკვრივება წარმოდგენილია ბიტუმის შენაზავით სავსე შახტის სახით (ნახ. 7-2 ბ), ხოლო ჰორიზონტალური ნაკერებისა—ასეთივე შენაზავით სავსე აბაზანის სახით (ნახ. 7-2 ა). ბიტუმის შენაზავის გამოდენის საწინააღმდეგოდ აკეთებენ ბეტონის შანდორებს ან უქანგავი ფოლადის ფურცლებს.

წყალსაშვები კაშხალების მიერთებას ნაპირებთან ან მიწის კაშხალებთან ახდენენ შემაუღლებელ მოწყობილობათა საშუალებით (ნახ. 7-3).

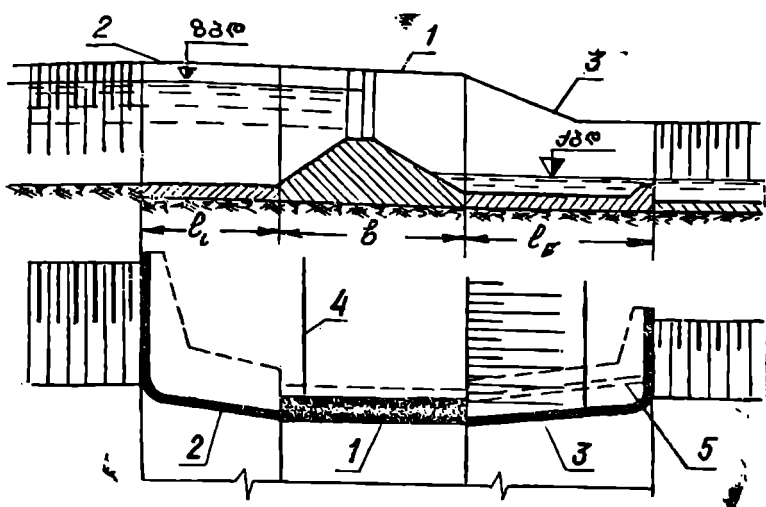
ს ა ნ ა პ ი რ ო ბ უ რ ჯ ი (ნახ. 7-3,1) იცავს ნაპირს ან მიწის კაშხალს გადასადგები წყლის ნაკადის ზემოქმედებისაგან; დასაშვებ ზღვრებამდე ამცირებს წყლის ფილტრაციას წყალსადგების შემოვლით; წარმოადგენს საკეტებისა და კაშხალის ხიდების საყრდენს. გრძივი კედელი შეიძლება შეადგენდეს წყალსაშვების მეზობელ მალთან ერთ მთლიანს (არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში) ან გამოყოფილი იყოს წყალსაშვებისაგან ნაკერით (კლდოვანი ან მკვრივი ფუძეების შემთხვევაში). კაშხალის წყალსატარ ხეცებთან მიერთების შემთხვევაში სანაპირო ბურჯის გრძივი კედლის წინაპირის წახნაგის მოპირკეთება წარმოებს შუალედური ბურჯების წახნაგების ანალოგიურად. იმისათვის, რათა თავიდან იქნეს აცილებული შემოვლითი ფილტრაცია ბურჯის შიგა ზედაპირისა და მიწის კაშხალის გრუნტის კონტაქტის გასწვრივ, საჭიროა მიერთების ადგილში გრუნტი გულდასმით გამკვრივდეს, ამასთანავე ბურჯის უქანა წახნაგი დაქანებული გაკეთდეს (ჩანაყარის მხარეს) არანაკლებ 1:10—1:12-ისა; საჭიროების შემთხვევებში ბურჯის ზედა ნაწილში უნდა მოეწყოს მიწის კაშხალის ტანში შემავალი ან მის დიაფრაგმასთან შერწყმული განივი წიბო და დიაფრაგმა (ნახ. 7-3,4).

წყალსაშვებ კაშხალსა და მომიჯნავე ბეტონის ნაგებობას შორის აწყობენ გამყოფ ბურჯის ნახევარბურჯის ანალოგიურად მდოვრე მოხაზულობის სათავისითა და გაგრძელებული ქვედა ნაწილით. უქანასქნელი ნაკარნახებია მიერთებული ნაგებობის ფუძის დაცვის მიზნით და ჰიდრავლიკური მოსაზრებებით.

ზ ე დ ა შ ე მ ა უ ლ ლ ე ბ ე ლ ი ს ა ყ რ დ ე ნ ი კ ე დ ე ლ ი (ნახ. 7-3,2) უზრუნველყოფს წყლის ნაკადის მდოვრე მისვლას წყალსაშვებთან და იცავს ნაპირის ან მიწის კაშხალის შესაბამის უბანს გარეცხვისაგან. საყრდენი კედლები, რომლებიც ნაჩვენებია 7-4 ა, ბ ნახაზზე, გამოიყენება მცირე დაწნევების







ნახ. 7-3. შემუღლებელ მოწყობილობათა სქემა:

1—სანაპირო ბურჯი; 2—ზედა საყრდენი კედელი; 3—ქვედა საყრდენი კედელი; 4—ფილტრაციის საწინააღმდეგო დიაფრაგმა ან ფარა; 5—დრენაჟი;  $l_1, l_2$  — შესაბამისად ძირულისა და წყალსაცემის სიგრძე;  $b$  — კაშხალის ძირის სიგანე.

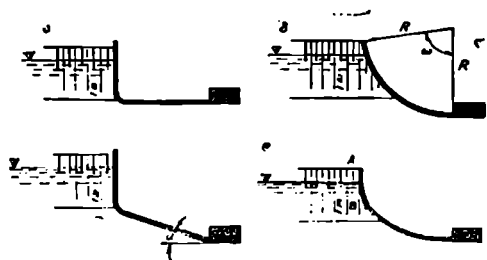
დროს ან იმ შემთხვევებში, როდესაც წყალსაგდებთან წყლის მისვლის სიჩქარეები უმნიშვნელოა. პილრაელიკური პირობების მიხედვით უმჯობესია ბსქემა, რომელშიც კუთხე  $\alpha = 10-30^\circ$ ; მსხვილი ნაგებობებისათვის იყენებენ 7-4 გ. დ ნახაზზე ნაჩვენებ ჰრუღწიოვალ საყრდენ კედლებს. ასეთი ნაგებობებისათვის ზედა საყრდენი კედლის ტიპს და ზომებს საბოლოოდ ირჩევენ ლაბორატორიული გამოკვლევებისა და ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიური შედარების საფუძველზე.

ზედა საყრდენი კედლები შეიძლება იყოს ჩაძირული (ნახ. 7-5 ა) ან ჩაუძირავი (ნახ. 7-5 ბ). პილრაელიკური პირობების მიხედვით უკეთესია ჩაუძირავი კედლები და ამიტომ იგი უფრო გავრცელებულია პილრომშენებლობის პრაქტიკაში.

ქვედა შემუღლებელი საყრდენი კედელი (ნახ. 7-6) უზრუნველყოფს ნაყადის მდგრად განდინებას ქვედა ბიეფში და რისბერმიდან ნაყადის გამოსვლის სიჩქარეების შემცირებას. ქვედა კედლის გრძივ ნაწილს, ჩვეულებრივ, ათავსებენ წყალსაცემის ფარგლებში  $\alpha = 6-12^\circ$  კუთხით (ნახ. 7-6 ბ, გ, დ).  $\alpha$  კუთხის უფრო მეტი მნიშვნელობის დროს საჭიროა წყალსაცემზე მოეწყოს პირსები — განმადინებლები. ჩვეულებრივ, აწყობენ დაუძირავი ტიპის ქვედა კედლებს; მათი თხემის მოხაზულობა კაშხალის ქვედა ფერდოს პროფილის მსგავსია (ნახ. 7-6).

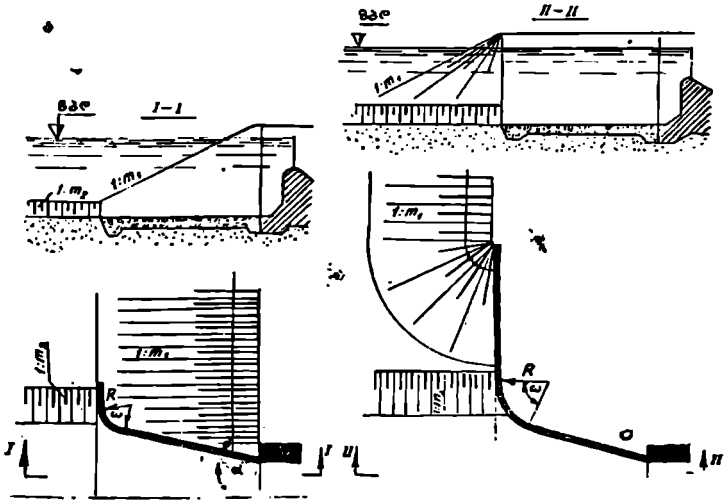
ხისტი საყრდენი კედლების ტიპები ნაჩვენებია 7-7 ნახაზზე. არაკლოვანი ფუძეების შემთხვევაში მასიური ბეტონის კედლების (ნახ. 7-7 ა) სიმაღლე არ უნდა აღემატებოდეს 10 — 15, ხოლო კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში 40 — 50 მ-ს. კედლის განივკვეთის ზომები განისაზღვრება ძვრაზე მდგრადო-

ბისა და სიმტკიცის პირობების მიხედვით. უკანასკნელი პირობა კრძალავს გამკვირვებულ დაბეჭდვებს წარმოშობას კედლის პროფილისა და ფუძის ყველა წერტილში. კონსოლურ (კუთხოვან) კედლებს (ნახ. 7-7 ბ) აგებენ რკინაბეტონისა ან



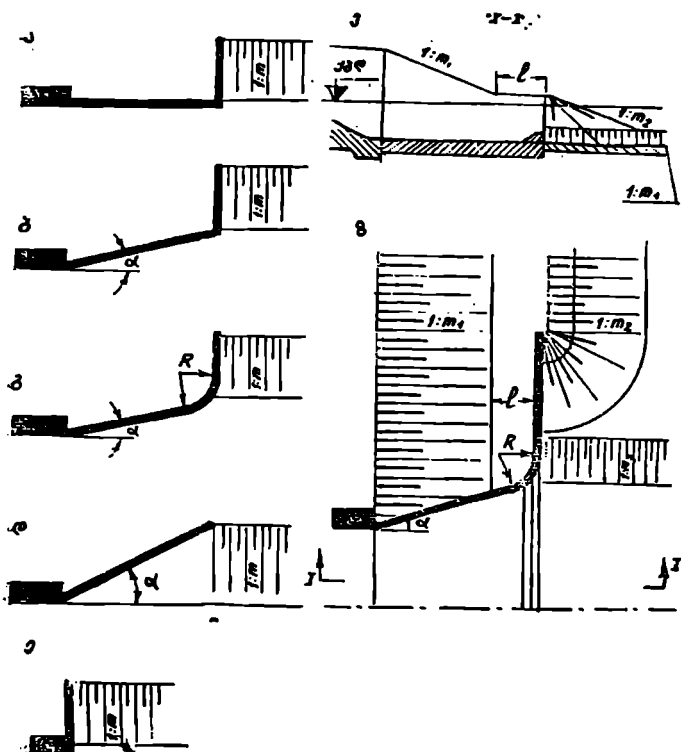
ნახ. 7-4. ზედა საყრდენი კედლის ზოგიერთი სქემა.

არმირებული ბეტონისაგან. კონტრფორსულ კედლებს (ნახ. 7-7 გ) აწყობენ რკინაბეტონისაგან. მათ კონსტრუქციულ ელემენტებს წარმოადგენენ: საძირკვლის ფილა, ბრტყელი ვერტიკალური კედელი და სამკუთხოვანი კონტრფორსები, რომლებიც განლაგებულია ერთმანეთისაგან 2,5—5,5 მ მანძილებზე. იმისათვის, რომ მიღწეულ იქნეს ძაბვათა უფრო თანაბარი განაწილება ფუძეში, კედელს წინაპირის მხრიდან უკეთდება შვერილი, რომლის სიგრძე



ნახ. 7-5. ბეტონისა და მიწის კაშხლის შემადგენელი ზედა საყრდენი კედლის გეგმა და ფასადი.

$l_1 = (0,1-0,2) h$ , სადაც  $h$  არის კედლის სიმაღლე (ნახ. 7-7 ა, ბ, გ). უკრელოვანი საყრდენი კედლების კონსტრუქცია შედგება რიგი სწორკუთხოვანი კუბისაგან, რომლებსაც ავსებენ ადგილობრივი გრუნტით (ნახ. 7-7, დ, ე).

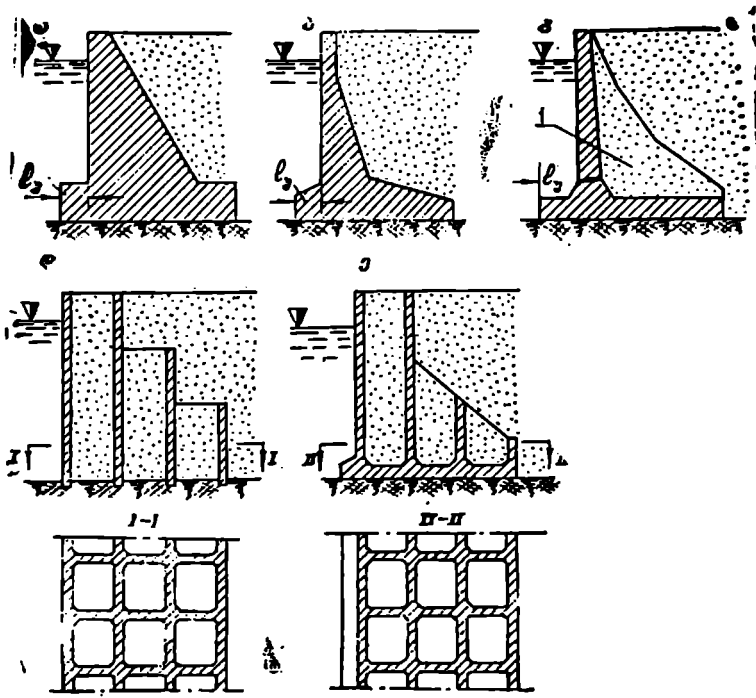


ნახ. 7—6. ქვედა საყრდენი კედლის სქემები (ა—ე); ბეტონისა და მიწის კაშხლის შემუშავებული კედლის პროფილი და გეგმა (ვ, ზ).

უჭრედების ზომებია 3×3-დან 5×5 მ-მდე. საძირკვლის ფილას ან ხიშინ-ქოვან როსტვერკს აწყობენ მაშინ, როდესაც ფუძე წარმოდგენილია სუსტი გრუნტებით. უჭრედოვანი საყრდენი კედლების სიმაღლე აიღება 15—20 მ-მდე.

შემუშავებულ საყრდენ კედლებს ყოფენ ტემპერატურულ-დაჯდომის ნაკერებით 15—20 მ სიგრძის სექციებად, რომელთა შორის ნაკერებს ამკვრივებენ სოგმანებით, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ფილტრაცია და გრუნტის ამობურცვა.

ჩვეულებრივ, წყალსაშვები კაშხალები დაყოფილია მალეზად შუალედური ბურჯების საშუალებით. ბურჯები ღებულობს საკეტებიდან გადაცემული წყლის წნევას და ამასთანავე ასრულებს სასამსახურო და საველი ხიდების საყრდენების მოვალეობას. მათ ზომებს განსაზღვრავს საკეტების, წყალსაშვები ხვრეტებისა და ხიდების მალის ნაშენის ტიპი და ზომები. ბურჯების სისქე ინიშნება საკეტების კილოების სიღრმით და მოწმდება სიმტკიცეზე ანგარიშით. ბურჯის ყელის მინიმალური სისქე საკეტების კილოების



ფიგ. 7-1. ილიტა საურდუხი კელუის ტიპი: 1-კონტროლი.

ზონაში იღლება არანაკლებ 0,8 მ-ისა; ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალების მოქმედებით ბურჯები მუშაობენ რთული წინაღობის პირობებში (ღუნვაზე ორ სიბრტყეში). მაქსიმალური ძაბვები წარმოიქმნება იმ ძალებისაგან, რომლებიც მოქმედებენ კაშხალის ღერძის გასწვრივ, ე. ი. კვეთის მცირე ინერციის მომენტის მიმართულებით. დროებითი ბურჯები, რომელთაც აწყობენ „საეარცხლის“ მეთოდით აგების დროს, გაიანგარიშება საკუთარ წონასა და წყლის ცალმხრივ წნევაზე, როგორც სამიჯკლის ფილაში ჩამაგრებული კონსოლები. ასეთი საანგარიშო შემთხვევა გულისხმობს, რომ ბურჯის ერთი მეზობელი მალი ჩაეკტილია საეკით, ხოლო მეორეში წყალი გაედინება მოსალოდნელი მაქსიმალური დონით. წყალსაშვები სათავისის ზემოთ ბურჯების დაარპირებას ახდენენ სიმტკიცეზე ანგარიშის მიხედვით.

ქვიშა-ხრეშოვანი ნატანის ან შიშვე უინულსვლის გატარების დროს ბეტონის მოსალოდნელი დაზიანებისაგან დასაცავად წარმოებს კაშხალისა და წყალსაცემი ფილის წყალსაშვები ზედაპირების მოპირკეთება. ამ მიზნით იყენებენ მაგარ ქვებს (ხშირად გრანიტებს) ან თუჯის ფილებს. ფრიად მედეგი აღმოჩნდა ისეთი მოპირკეთებანი, რომლებიც შესრულებულია ფურფუროლ-აკეტონიან მონომერზე („ΦА“) დამზადებულ პლასტბეტონით. ეს საყურადღებო გარემოება დადასტურებულია სარი-ჟურგანის (უზბ. სსრ) კაშხალის მოპირკეთების ექსპლუატაციის გამოცდილებით.

მაწიისქვეშა კონტურის სქემები და ელემენტები. ზემოაღნიშნულიდან გამოდინარე (§ 4-1), „კაშხალის მიწისქვეშა კონტურის“ ტერმინი გულისხმობს ნაგებობის საერთო კონტურის წყალგაუმტარ ნაწილს, რომელიც 7-8 ნახაზზე წარმოდგენილია 1—2—3—4—5—6 ხაზით. იმავე ნახაზზე ნაჩვენებია მიწისქვეშა კონტურის სხვადასხვა სქემა შესაბამისი ელემენტებით.

უღრენაჟო სქემას (ნახ. 7-8 ა) იყენებენ მაშინ, როდესაც კაშხალის აგება გათვალისწინებულია არაშეკიდულ წვრილმარცვლოვან ლამოვან ან მტვრიან გრუნტებზე და იქმნება დრენაჟის დალაშქვის საშუალებად.

ჰორიზონტალურ დრენაჟს, რომელსაც აგებენ კაშხალის ან ძირულის ქვეშ (ნახ. 7-8 ბ, გ), ქვემოდან უნდა გააჩნდეს უკუფილტრი. დრენაჟი უნდა იყოს მიტყლეფილი ფუძის გრუნტთან ნაგებობის ნაწილების წონით. კაშხალის ქვეშ მოწყობილი დრენაჟებიდან წყალი გაიყვანება ქვედა ბიეფში სანაპირო და შუალედურ ბურჯებში მოთავსებული გალურეების საშუალებით, ხოლო წყალსაცემის ქვეშ არსებული დრენაჟებიდან — მასში გათვალისწინებული ხერხებით ან თვით დრენაჟით.

6-B ხაზის გასწვრივ, აგრეთვე ქვედა კბილის ძირის ქვეშ დაწნევა თითქმის მუდმივია და ეთანადება ქვედა ბიეფის წყლის დონის მდებარეობას. ეს კი კაშხალის წონის შემცირების საშუალებას იძლევა.

უკუფილტრები ფუძის გრუნტს იცავს სუფოზიის, კონტაქტური გარეცხვის ან ამობურცვის შედეგად მოსალოდნელი დაშლისაგან. უკუფილტრი შედგება 2—3 ფენისაგან, რომელთა სისქე აიღება 10—15-დან 20—50 სმ-მდე.

ანკერულ ძირული ან კაშხალის სქემის (ნახ. 7-8 გ) გამოყენება მიზანშეწონილია მაშინ, როდესაც საჭიროა კაშხალის მდგრადობის გაზრდა ძვრაზე. ასე, მაგალითად, ციმლიანსკის კაშხალისათვის ანკერული ძირულის გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა კაშხალის ძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტი გაეზარდათ 0,9-დან 1,3-მდე.

ძალვა, რომლითაც ძირული აწევა ფუძეს, ტოლია ძირულზე ზემოდან მოქმედ  $W_1$  ჰიდროსტატიკურ და ქვემოდან მოქმედ (დრენაჟით რამდენადმე შემცირებულ)  $W_2$  ფილტრაციულ წნევათა სხვაობისა. ძალა, რომლითაც ანკერული ძირული აკავებს კაშხალს ძვრისაგან ტოლი იქნება:

$$S_a = f(W_1 - W_2) \quad (7-1)$$

სადაც  $f$  არის ფუძის გასწვრივ ძირულის ხახუნის კოეფიციენტი.

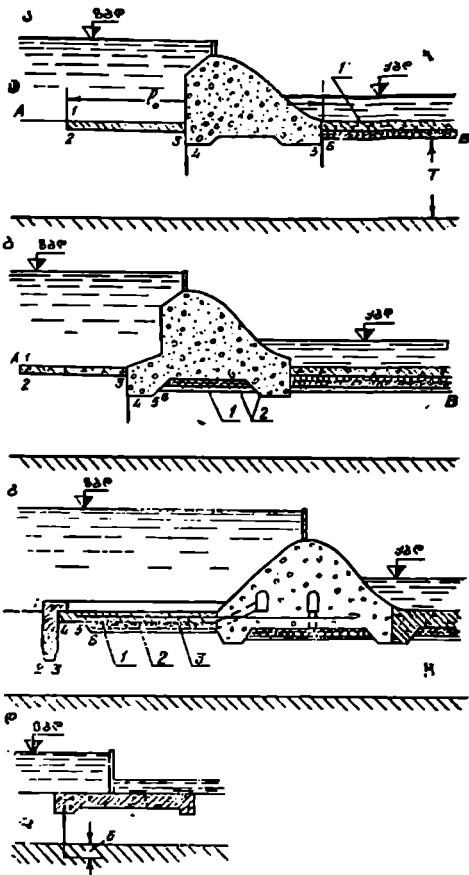
კაშხალის ზედა ნაწილი, რომელიც იმყოფება  $S_a$  გამჭიმავი ძალის ზემოქმედების ქვეშ, უნდა დაარმატურდეს.

ფუძის ვერტიკალურ დრენაჟს (ქებს დაახლოებით  $1.0 \times 1.0$  მ ზომებით) აწყობენ მაშინ, როდესაც ფუძეში განლაგებულია ანიზოტროპიული გრუნტები, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტი ვერტიკალური მიმართულებით მცირეა.

სიღრმული სქემა (ნახ. 7-8, დ) გამოიყენება წყალმუღწევი ფენის შედარებით მცირე (15—20 მ) ჩაღრმავების დროს. ამ შემთხვევაში ბეტონის კბილით წყალმუღწევი ფენის გადაკვეთის შედეგად გრუნტის წყლის მოძრაობა ფუძეში მთლიანად წყდება და კბილის წინ გრუნტის არეში

მყარდება ზედა ბიეფის, ხოლო კბილის უკან — ქვედა ბიეფის წყლის დონის შესაბამისი წნევები.

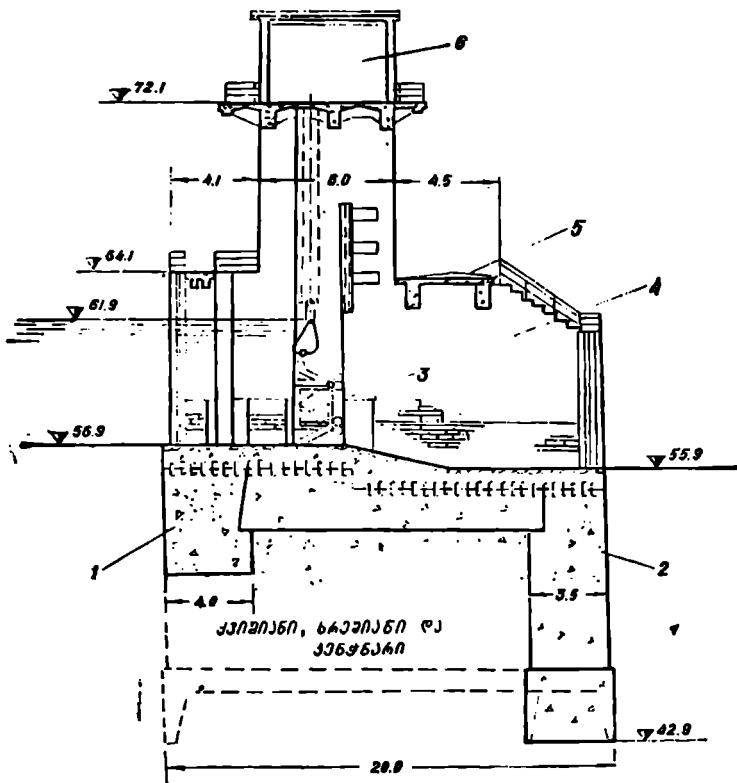
სიღრმულ სქემას შეიძლება მივაკუთვნოთ 7-9 ნახაზზე ნაჩვენები სამგორის სარწყავი სისტემის ჰიდროკვანძში (სოფ. პალდოსთან) შემავალი დაბალდაწნევიანი წყალსაშვები კაშხალის მიწისქვეშა კონტური. ასეთი კაშხალების აგება მიზანშეწონილია მთის მდინარეთა კალაპოტებისათვის დამახასიათებელ ხრეშოვან-ყენჭნარ გრუნტებზე. განსახილველ შემთხვევაში დაბალდაწნევიანი კაშხალის ტანი (ფლუტბეტი) წარმოადგენს ბეტონის ან რკინაბეტონის (უკანასკნელ ხანებში წინასწარ დაძაბულ) ფილას, რომელიც ეყრდნობა ორ კბილს. ფლუტბეტს არ გააჩნია ძირული, ამასთან ზედა ბეტონის კბილი უფრო მოკლეა, ვიდრე ქვედა. უკანასკნელის ჩაღრმავება შეადგენს  $(1-1,5) H$  ( $H$  დაწნევაა კაშხალზე), რაც იმის საშუალებას იძლევა, რომ უარყონ ყოველგვარი გამაგრება ფლუტბეტის უკან, რადგან ამ პირობებში კალაპოტის გარეცხვის სიღრმე ქვედა ბიეფში არ აღემატება  $(1-1,5) H$ . მაგალითად, პალდოს კაშხალზე



ნახ. 7-8. მიწისქვეშა კონტურის სქემები:

ა—უღრუნაუი; ბ—პორიზონტალური ღრუნაუი; გ—ძირულის ღრუნაუი; დ—სიღრმული სქემა; 1—უქუფილტრი; 2—ღრუნაუი; 3—რკინაბეტონის ანკერული ძირული; T—წყალსაკაეის მოთავსების სიღრმე.

(ნახ. 7-9), მისგან 20—30 მ დაშორებით, გარეცხვის სიღრმე 7—9 მ-ს მიაღწია. ანალოგიური სქემის მიწისქვეშა კონტური აქვს ჩითახევეპისის დაბალდაწნევიანი კაშხალს მდ. მტკვარზე. იგი აგებულია მძლავრ ალუვიალურ კენქნარზე და ქვიშა-ხრეშოვან დანალექებზე, რომლებიც შეიცავენ დიდი ზომის კაქარებს. კაშხალის ფლუტბეტის ორივე კბილი (ზედა 8,0 მ და ქვედა 12,0 მ სიღრმისა), შუალედური ბურჯები და მარცხენა სანაპირო საყრდენი ბურჯი ექსონური წესით არის ამოყვანილი.



ნახ. 7—9. სამორას ჰიდროკვანძის კაშხალი (სოფ. პალოსთან):

1—ზედა კბილი; 2—ქვედა კბილი, რომელიც ჩასაშვები კის გამოყენებითაა ამოყვანილი; 3—ბორბლებიანი ბრტყელი საკეტი სარქელით; 4—შუალედური ბურჯი; 5—ავტოზის ხილი; 6—ამწვევი მექანიზმების სათავსი.

როდესაც წყალშემტობორავი ნაგებობის მიწისქვეშა კონტური გეგმარღება თიხოვან გრუნტებზე, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ის გარემოება, რომ თიხის ფილტრაციის კოეფიციენტი უფრო მცირეა, ვიდრე ბეტონისა და ამის გამო ბეტონი შეასრულებს დრენაჟის როლს, ე. ი. წყალს გაიყვანს თიხოვანი ფუძიდან. ამგვარად, ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც ფუძეში განლაგებულია მცირეშელწევალი გრუნტები, მიზანშეუწონელია დავაგეგმაროთ განვითარებული ბრტყელი ძირულები, თუ არ უზრუნველვყავით ბეტონის მასივების დაბალი შელწევალობა იმ ნაწილებში, რომლებიც განიცდიან ფილტრაციული ნაკადის ზემოქმედებას.

საერთოდ, როგორც წესი, გეგმარების დროს საჭიროა განხილულ იქნეს მიწისქვეშა კონტურების სხვადასხვა სქემები. მათგან ყველაზე უფრო ეკონომიური ვარიანტი გამოვლინდება მას შემდეგ, როდესაც ჩატარდება თვით



კაშხალის სიმტკიცისა და მდგრადობის, აგრეთვე მისი ფუძის ფილტრაციული სიმტკიცის გაანგარიშებანი.

კაშხალის ძირის  $b$  სიგანე განისაზღვრება წყალსაშვები პროფილის ფორმისა და ზომების მიხედვით და მიახლოებით შეიძლება აღებულ იქნეს (1,5—2,2)  $H$  ფარგლებში, სადაც  $H$  წყლის სიღრმეა ზედა ბიეფში.

ძირის ნიშნული განისაზღვრება საჭირო ზიდვის უნარიანობის მქონე გრუნტის განლაგების, წყალსაცემის ზედაპირის მდებარეობისა და ფუძის ფილტრაციული პირობების მიხედვით. სამიარკლის მოთავსების სიღრმე წინასწარ შეიძლება დაინიშნოს (0,15—0,20)  $b$ -ს ტოლი.

ძირულება. ძირულებს ანუ საყვინთებს, რომელთაც ეკისრებათ მხოლოდ ფილტრაციული გზის გაგრძელების ფუნქციები. აკეთებენ თიხოვანი და თიხნარი გრუნტებისაგან, ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში თიხაბეტონისაგან, ტორფისაგან, ძალიან იშვიათად — ხისაგან.

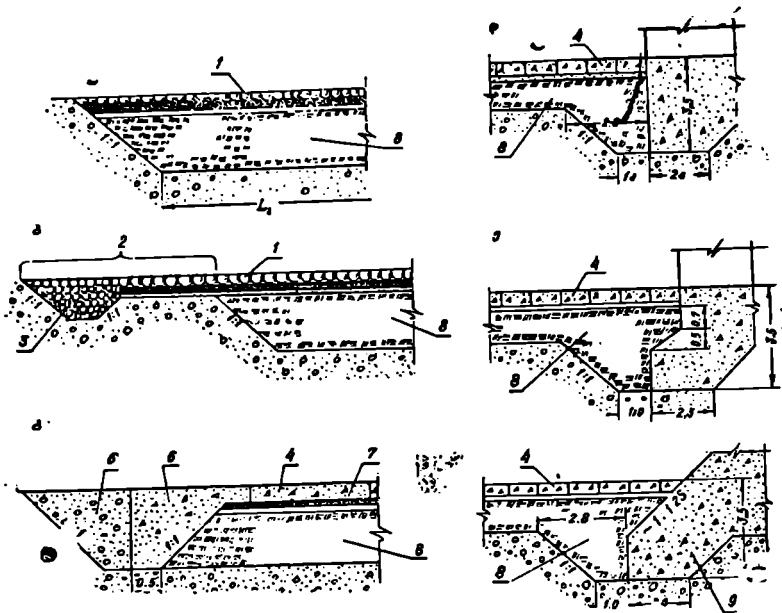
თიხის ძირულის მინიმალური სისქე თავში აიღება ~ 0,75 მ-ის ტოლი; ფლუტბეტთან მიახლოებისდა მიხედვით მას ზრდიან 1—2 მ-მდე და უფრო მეტად კაშხალის დაწნევაზე დამოკიდებულებით. ფილტრაციის დასაშვები გრადიენტი ძირულში აიღება 4—6-ის ტოლი. ძირულის მოწყობის დროს გრუნტი იყრება 0,10—0,15 მ სისქის ფენებად, რომელთაც შემდგომ ტყეპნიან საგორავებით ან სხვა საშუალებებით.

თიხნარისაგან შესრულებული ძირულის სისქე აიღება 20—30%-ით უფრო მეტი, ვიდრე თიხის ძირულისა, რადგან თიხნარი უფრო ნაკლები პლასტიკურობით ხასიათდება.

მშენებლობის დროს გაყინვის თავიდან აცილების მიზნით თიხისა და თიხნარის ძირულების მიტვირთვას აწყობენ 1,0—2,0 მ სისქის ქვიშის ფენით. ძირულის სიგრძე, ჩვეულებრივ, აიღება (0,5—1,5)  $H$ -მდე, სადაც  $H$  დაწნევაა კაშხალზე. მოწყობის შემდეგ თიხისა და თიხნარის ძირულებს ფარავენ ქვის ან ბეტონის საფარით (ნახ. 7-10), რათა თავიდან იქნეს აცილებული მათი წარეცხვა ექსპლუატაციის პერიოდში. წარეცხვის საწინააღმდეგოდ ასეთი საფარის მოწყობა კიდევ უფრო საჭირო ხდება უშუალოდ წყალსაშვებთან.

კალაპოტთან ძირულის მიერთების ადგილში, წყლისაგან ძირის გამოთხრის საწინააღმდეგობის თავიდან აცილების მიზნით, აწყობენ კბილს, რომლის უბეებში ყრიან კენჭნარ-ხრეშოვან გრუნტს (ნახ. 7-10 ბ); როდესაც ძირული ბეტონითაა გამაგრებული, აწყობენ ბეტონის კბილს (ნახ. 7-10 გ). ყველაზე უფრო საპასუხისმგებლოს წარმოადგენს კაშხალის ტანთან ძირულის მიერთების კვანძი. მცირე დაწნევების დროს თიხისა და თიხნარის ძირულების მიერთება ნაჩვენებია 7-10 დ, ე, ვ, ნახაზზე, ხოლო გადიდებული დაწნევებისათვის — 7-11 ნახაზზე, სადაც ბიტუმის ლეიბის (მატის) გაღუნული ნაწილი ასრულებს კომპენსატორის როლს.

ტორფის ძირულები ეწყობა კარგად დაშლილი ტორფისაგან. რომლის ტენიანობა უნდა შეადგენდეს დაახლოებით 80—85%-ს. მათი სისქე აიღება თითქმის ორჯერ მეტი, ვიდრე თიხის ძირულებისა, ამასთანავე, მათ ფარავენ 1,0—1,25 მ სისქის გრუნტის დამცველი ფენით. პრაქტიკაში გვხვდება ტორფის ფენოვანი ძირულებიც. ასეთი ძირული წარმოადგენს 0,5 მ სისქის 2—3 ტორფის ფენას, რომელთა შორის მოთავსებულია დაახლოებით



ნახ. 7—10. ძირულის ზედა ელემენტების ტიპები (ა-ბ) და წყალსაშვებთან ძირულის მიერთების კონსტრუქციები (დ-ე):

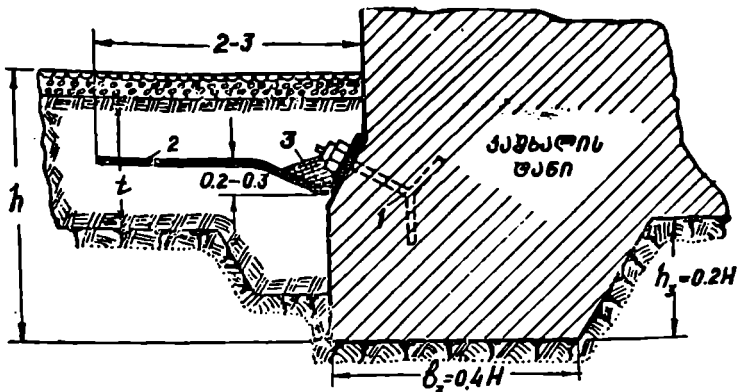
1—ერთპავი მოკირწყველა; 2—ძირულის წინა უბანი; 3—ქვის ჩანაყარი; 4—ბეტონის ფილები; 5—ბეტონის კბილი; 6—ყენჯნარი გრუნტის ჩანაყარი; 7—საგები; 8—თიხა; 9—კაშხალის ბეტონის კბილი.

0.5 მ სისქის ქვიშის შრეები. ტორფის ძირულები სსრ კავშირში პირველად გამოყენებულ იქნა თეთრიზღვა-ბალტიის არხის მშენებლობაზე.

თიხა ბეტონის ძირულები მზადდება თიხის (20 — 25%), ქვიშის 35 — 40%) და ხრეშის (35 — 40%) შენაზავისაგან. ასეთი ძირულების გამოყენება მიზანშეწონილია მაშინ, როდესაც მშენებლობის ახლოს არ მოიპოვება შესაფერისი ბუნებრივი მასალები (თიხა, თიხნარი ან ტორფი).

ხის ძირულები წარმოადგენს 2—3 რიგი ფიცრული ფენილისაგან შედგენილ საფარს, რომლის წყალშეუღწეობის გაზრდის მიზნით ფენილებს შორის ათავსებენ ქეჩას ან ტოლს. ხის ძირულებს, ჩვეულებრივ, იყენებენ ხის კაშხალებში.

რკინაბეტონის ძირულების გამოყენებას მიმართავენ მაშინ, როდესაც მათ ეკისრებათ აგრეთვე სტატიკური მუშაობის ფუნქციები, ე. ი. ისინი გამოიყენებიან როგორც ანკერული ძირულები (ნახ. 7-8 გ). ასეთი ძირული წარმოადგენს რკინაბეტონის ფილას ან ფილების რიგს, რომელთა ღერძული არმატურა შედის კაშხალის ტანში, კაშხალსა და ძირულს შორის მოქნილი ნაკერის შესაქმნელად, რაც ზოგჯერ სასურველია კაშხალის მოსალოდნელი დაჭდომის მისაღებად; მიერთების ადგილის მცირე უბანზე ცემენტის ბეტონი იცვლება დაარმატურებული ასფალტბეტონით ან დაარმა-



ნახ. 7 — 11. თიხაბეტონის ძირულის მიერთება ბეტონის კაშხალთან:  
 1—კანქიკები; 2—ბიტუმის ლიბი; 3—ქვიშაინი ბიტუმი.

ტურებული ასფალტით, რომელიც თავსდება ხის ფენილებს შორის ისე, როგორც ეს ციმლიანსკის კაშხალზეა გაკეთებული.

**ნარანდები.** ნარანდი (შუნტი) წარმოადგენს ფილტრაციული კონტურის მნიშვნელოვან ელემენტს. დანიშნულებისა და მიწისქვეშა კონტურში მისი მოთავსების ადგილის მიხედვით ერთმანეთისაგან განარჩევენ ძირულის, ზედა ანუ ძირითად და ქვედა ნარანდებს, ხოლო მასალების მიხედვით — ხის, ლითონისა და რკინაბეტონის ნარანდებს.

ძირულის ნარანდებს აწყობენ მხოლოდ ანკერული (დრენირებადი) ძირულის შემთხვევებში; მათი სიგრძე აიღება 2—3 მ-დან 0,5 H-მდე. ისეთი არაერთგვაროვანი ფუძის შემთხვევაში, რომელსაც გააჩნია წყალშეუღწევი შუა შრეები, ნარანდების რიგებმა შეძლებისდაგვარად უნდა გადაკვეთოს ისინი.

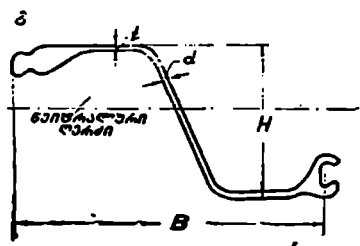
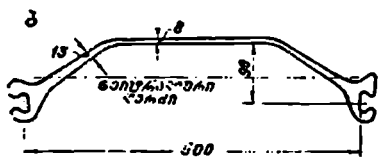
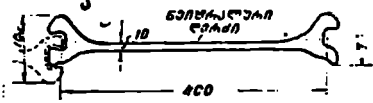
ზედა ნარანდი აგრძელებს ფილტრაციის გზას და წარმოადგენს დაწნევის მშობებს (ჩაქრობს); მისი სიგრძე აიღება დაახლოებით (0,5—1,5) H-მდე, ეწყობა კაშხალის ზედა წახნაგთან. თუ ნარანდის პირსა (წვერსა) და წყალსაკაეის ზედაპირს შორის დარჩენილი მანძილი  $\leq 0,1 T$ , სადაც T წყალსაკაეის ჩაღრმავების სიღღეა, მაშინ უმჯობესია ნარანდი დავიყვანოთ წყალსაკაემდე და ჩავღრმავოთ მასში 2—3 მ-ზე (ნახ. 7-8 ლ).

ქვედა ნარანდის სიგრძე აიღება 2—4 მ-მდე, იგი ეწინააღმდეგება კაშხალის ძირიდან გრუნტის ფილტრაციულ ამობურცვას, აგრეთვე რისბერმის მოსალოდნელი წარეცხვის შემთხვევაში კაშხალის ძირის გამორეცხვას. ქვედა ნარანდის მოწყობა იწვევს უეუწნევის გაზრდას, რომლის ასაცილებლად ნარანდს აკეთებენ პერფორირებულს. ფუძეში ნარანდების განლაგების შემთხვევაში მათ შორის მანძილი უნდა იყოს მათი საერთო სიგრძის არანაკლებ 0,75, წინააღმდეგ შემთხვევაში ნარანდების ეფექტურობა მკვეთრად მცირდება.

ხის ნარანდები შეიძლება შესრულდეს 18—22 სმ სისქის ძელეებისაგან ან ნაკლებ საპასუხისმგებლო ნაგებობებში—8—12 სმ სისქის ფიცრებისაგან. ასეთი ნარანდები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ქვიშოვან, თი-

ხოვან, თიხნარ და, უფრო იშვიათად, ხრეშოვან გრუნტებში. ხის ნარანდების ჩასობის სიღრმემ შეიძლება მიაღწიოს 5—7 მ-ს; ჩასობის დროს ნარანდის ძელებს დაზიანებისაგან დასაცავად მათ ბოლოებზე უკეთებენ ლითონის ქუსლებს. ხის ნარანდების გამოყენების შემთხვევაში ზედა ნარანდი ყოველთვის უნდა გაკეთდეს ძელური.

ლითონის ნარანდები გამოირჩევა მაღალი წყალშეუღწეობით; მათი გამოყენება შესაძლებელია ყოველგვარ არაკლდოვან გრუნტში, სახელდობრ: ლორღოვან, ხრეშოვან, კენჭნარ გრუნტებში და ა. შ. ლითონის ნარანდების კლიტის კონსტრუქცია (ნახ. 7-12) საშუალებას იძლევა რამდენადმე შემობრუნდეს ნარანდები ერთმანეთის მიმართ ჩასობის დროს. ნარანდის სიგრძე აღწევს 20—25 მ-მდე, ხოლო შედუღების ან მოქლონის გამოყენებით შეიძლება ისინი ჩაეასოთ ან ჩაუშუათ, მაგალითად გამორეცხვით, 50 მ სიღრმემდე.

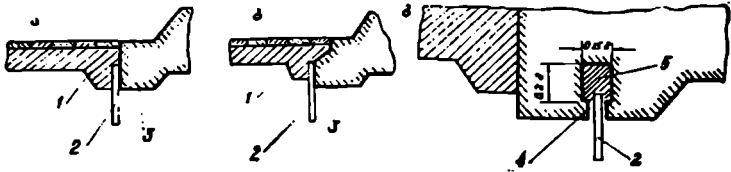


ნახ. 7—12. ფოლადის ნარანდების პროფილების ტიპები:

ა—ШП-1; ბ—ШК-1; გ—ШД-(1—6).

განიკვეთში აქვთ ტრაპეციული ფორმის ქიმი და კილო ანდა ლითონის ნარანდების მსგავსად კლიტე. რკინაბეტონის ნარანდები შეიძლება შესრულდეს სხვადასხვა ზომის: მათი სისქე იღლება 10—50, ხოლო სიგანე 50—60 სმ-ის ტოლი; საწარმოო სიძნელეთა გამო კაშხალებში ისინი შედარებით იშვიათად გამოიყენებიან.

ნარანდების შეუღლება კაშხალის საძირკველთან წარმოებს ორი წესით: 1) როდესაც იგი მიყრდნობილია მასზე და დაბეტონების დროს ასრულებს ყალიბის მოვალეობას (ნახ. 7-13 ა) და 2) როდესაც იგი შედის კაშხალის საძირკველში (ნახ. 7-13 ბ). პირველი წესი, ჩვეულებრივ, გამოიყენება ქვედა ნარანდებისათვის, ხოლო ზედსათვის მაშინ, როდესაც ნარანდისა და კაშხალის საძირკველის კონტაქტის წყალშეუღწეობის უზრუნველსაყოფად გვაქვს საკმარისად სქელი ძირული. ფილტრაციის მოკლე გზების წარმოშობის საწი-



ნახ. 7 — 13. კაშხალის საძირკველთან ზედა ნარანდის შეუღლების სქემები:

1—ძირული; 2—ნარანდი; 3—წყალსაშვების კბილი; 4—გულრონით შეზუთვა; 5—გულრონი. ნაალმდეგოდ კაშხალთან კონტაქტის ადგილში ძირულს 3—5 მ-მდე ასქელებენ. ხოლო ზოგჯერ აკეთებენ დახრილ ნაკერს, რათა მუშაობის ყოველნაირ პირობებში უზრუნველყოფილ იქნეს თიხის ძირულის მკიდრო შევება ბეტონთან (ნახ. 7-13 ბ).

როდესაც ნარანდის დაკავშირება საძირკველთან წარმოებს მეორე წესით (ნახ. 7-13 გ), მაშინ კუმშვადი გრუნტების შემთხვევაში ნარანდის ჩამაგრების კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს ნარანდისაგან დამოუკიდებელი საძირკვლის დაჭდომა, წინააღმდეგ შემთხვევაში უკანასკნელში წარმოიშობა ბზარები ნარანდის ხაზის გასწვრივ. ასეთ ჩამაგრებას შეიძლება მივიღწიოთ ნარანდის ქიმის ზემოთ ბეტონში უბის დატოვებით და მისი შევსებით ასფალტის მასტიკით, რომელიც წარმოადგენს ბიტუმის შენაზავს ქვიშასთან და ქვის ფქვილთან (ზოგჯერ ასბესტის ბოჭკოს დანამატით). უკუმშვადი (ხრეშოვანი, ლორღოვანი) გრუნტების დროს ნარანდი შეიძლება ხისტად ჩამაგრდეს ბეტონში.

ღ რ მ ა კ ბ ი ლ ე ბ ი და ფ ა რ დ ე ბ ი. პიღროშენებლობის პრაქტიკაში გვხვდება შემთხვევები, როდესაც ფუძის გრუნტის ხასიათისა (მსხვილკენჭოვანი, ლორღოვანი, კაქრიანი გრუნტები, სუსტი კლდის შუაშრეები) ან დიდ სიღრმეთა გამო შეუძლებელია ნარანდების ჩასობა. ასეთ შემთხვევებში, აგრეთვე მაშინაც, როდესაც საჭიროა შეიქმნას წყალსაკავამდე მიღწეული განსაკუთრებით უფონვადი ზღუდე, აწყობენ ბეტონის ან რკინაბეტონის ღრმა კბილებს, კედლებს ან ფარდებს.

ღ რ მ ა კ ბ ი ლ ე ბ ი და კ ე ლ ლ ე ბ ი შეიძლება შესრულდეს: ღია წესით კედლებ-გამაგრებულ ქვაბულებში (ტრანშეებში), რაც დასაშვებია მხოლოდ მაშინ, როდესაც წყლის მოღინება ქვაბულში მცირეა და შესაძლებელია მისი ღონის დაწვევა; ერთმანეთთან კლიტით შეერთებული, დიდი დიამეტრის მქონე რკინაბეტონის ღრუ რგოლური ხიმიწებების დასობით; ტრანშეებში წყალქვეშა დაბეტონების წესისა და ჩასაშვები ჰების ან კესონების გამოყენებით, რასაც ამჟამად იშვიათად მიმართავენ კაშხალშენებლობაში.

უკანასკნელ ხანებში ქვიშა-ხრეშოვან და კენწნარ გრუნტებში იყენებენ ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდებს, რომელთაც ქმნიან ცემენტ-თიხოვანი ხსნარების ჰირხნით. მათი განხორციელება შესაძლებელია ისეთ გრუნტებში, რომელთა ფილტრაციის უნარია 15—25-დან 80 მ/დღე-ღამეში.

#### § 7-2. კაშხალის კვადა იგივის მოწობილობანი

ქვედა ბიეფის მოწყობილობაში იგულისხმება წყალსაცემი მასზე მოთავსებული ენერჯის ჩამქრობებით ან მათ გარეშე და მოქნილი რისბერმა, რომელზედაც წარმოებს ნაკადის დამშვიდება. ამ მოწყობილობებს უნდა დაე-

მატოს კიდევ ეგრეთ წოდებული ბოლო უბანი, რომელიც რისბერმის ბოლოს იცავს გამორეცხვისაგან (ნახ. 7-1).

ქვედა ბიეფის მოწყობილობათა მუშაობის რეჟიმის დადგენა დაკავშირებულია კაშხალზე გადადინებული წყლის ხვედრითი ხარჯების სიდიდესთან. ნაკადის დინების  $u$  სიჩქარე რისბერმაზე აირჩევა კაშხალების ექსპლუატაციის საფუძველზე: ქვიშოვანი გრუნტებისათვის  $u = 2,5 - 3,0$  მ/წმ, თიხოვანისათვის  $u = 3 - 3,5$  მ/წმ.

გვეცოდინება რა  $h_1$  საანგარიშო სიღრმე რისბერმაზე, შეიძლება განვსაზღვროთ მასზე წყლის ხვედრითი ხარჯი,  $q_0 = u h_1$ . თუ გავითვალისწინებთ წყალსაშვებზე ბურჯებს, მაშინ ხვედრითი ხარჯი იქნება:

$$q_0 = (1,15 \div 1,25) q_0 \quad (7-2)$$

ხვედრითი  $q_0$  ხარჯი მოწოდება ქვედა ბიეფთან დატბორილი ნახტომით ან სხვა ფორმით შეუღლების პირობებზე. საპროექტო პრაქტიკის მონაცემებიდან გამომდინარე, საშუალო (10 — 25 მ) დაწნევის კაშხალებისათვის  $q_0$  სიდიდე შეიძლება აღებულ იქნეს ქვიშოვანი ფუძეების შემთხვევაში 30 — 45, ბოლო თიხოვანი ფუძეებისათვის 50 — 60 მ<sup>3</sup>/წმ-მდე.

შერჩეული  $q_0$  და  $q_0$  შემოწმების დროს უნდა გამოვლიოდეთ კაშხალისა და კვანძის სხვა ნაგებობათა ხერცების საკეტების მანევრირების სქემიდან, რაც გულისხმობს წყალდიდობის დაწყებისას საკეტების ისეთი მიმდევრობით გაღებას, რომელიც უზრუნველყოფს ქვედა ბიეფში ნაკადის ჰარბი ენერჯის ეფექტურ ჩაქრობას. საშუალოდაწნევიან ჰიდროკვანძებში საკეტების გაღება იწყება შვიდან და მიმდევრობით გრძელდება ორივე მხარეს ბოლომდე. დასაწყისში საკეტებს აღებენ 0,5 — 1 მ-ით, შემდეგ იგივე მიმდევრობით — 2 მ-ით და ა. შ. ისეთ სიდიდემდე, რომელიც დასაშვებია საკეტის ქვეშ ყინულის გაძვრომის თავიდან აცილების (საკეტის სიმაღლის 0,15 — 0,25-მდე) ან საკეტის ნაწილობრივი გაღების დროს (მისი სიმაღლის 0,5 — 0,6-ზე მეტად) ვიბრაციის დაუშვებლობის პირობებით. ამის შემდეგ თანდათანობით ცალ-ცალკე აღებენ ყველა საკეტს მთლიანად.

ბიეფების შეუღლებისა და ენერჯის ჩაქრობის სქემის არჩევის შემდეგ უნდა დადგინდეს წყალსაცემისა და რისბერმის ტიპები და ზომები გრუნტის ხასიათის შესაბამისად.

წყალსაცემისა და რისბერმის  $l$  საერთო სიგრძე მიახლოებით შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ი. ლევის ფორმულით:

$$l = l_0 + l_1 = \frac{15q_0^2}{H} \left( 1,2 - \frac{q_0}{H} \right) h_1 \left( \sqrt{1 + \frac{16H}{h_1}} - 1 \right), \quad (7-3)$$

სადაც  $q_0$  არის წყლის ხვედრითი ხარჯი რისბერმაზე;

$H$  — დაწნევა კაშხალზე;

$h_1$  — სიღრმე ნაკადის შეკუმშულ კვეთში (პირველი შეუღლებული სიღრმე) წყალსაცემზე.

მსხვილი ჰიდროკვანძების გეგმარების დროს ქვედა ბიეფის გამაგრების სიგრძე უფრო ხშირად განისაზღვრება მოდელზე ლაბორატორიული ცდების ჩატარების საფუძველზე.

საკუთრივ წყალსაცემის სიგრძე იანგარიშება ფსკერული რეჟიმის შესაბამისი ნახტომის სიგრძის მიხედვით ფორმულით

$$l_{\phi} = 5(h_2 - h_1), \quad (7-4)$$

სადაც  $h_2$  არის ნახტომის მეორე შეუღლებული სიღრმე.

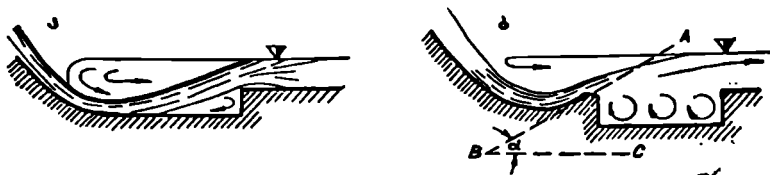
რისბერმის სიგრძე განისაზღვრება როგორც სხვაობა  $l_{\phi} = l - l_{\phi}$ .

**წყალსაცემი.** წყალსაცემს, რომელიც წარმოადგენს კაშხალის ტანის გაგრძელებას, აწყობენ ბეტონის ან არმატურაიანი ბეტონის ფილის სახით. წყალსაცემის ფარგლებში წარმოებს ნაკადის ჰარბი ენერჯის 60—70%-ის ჩაქრობა, ენერჯის დანარჩენი ნაწილი უნდა ჩაქრეს რისბერმის ფარგლებში (ნახ. 7-1). ყველა ჩამქრობი მოწყობილობა თავსდება წყალსაცემის ფილაზე. რისბერმის დეფორმაციის შედეგად გამორეცხვის (ძირის გამოთხრის) თავიდან აცილების მიზნით წყალსაცემი ფილა ბოლოვდება მოკლე კბილით ან ნარანდით. მიზანშეწონილი არ არის მიწისქვეშა კონტურის გაგრძელება წყალსაცემის ფილის ხარჯზე, რადგან ამ უქანასკნელისათვის იმაზე მეტი სიგრძის მიცემა, ვიდრე ეს (7—4) ფორმულით განისაზღვრება, გამოიწვევდა უკუწნევის გაზრდას კაშხალზე. როგორც წესი, წყალსაცემის ფილის ქვეშ ყოველთვის აწყობენ ბრტყელ დრენაჟს და უკუფილტრს. თუ წყალსაცემზე განლაგებულია ენერჯის ჩამქრობები, მაშინ მისი სიგრძე მკირდება და აიღება  $\beta$   $l_{\phi}$ -ის ტოლი, სადაც კოეფიციენტი  $\beta = 0,75 - 0,80$ . წყალსაცემის ფილის სისქე განისაზღვრება ჰიდროტექნიკური ანგარიშებით. საშუალო დაწნევის კაშხალებში აღნიშნული სისქე აღწევს 4—5 მ-ს. მისი შემცირების მიზნით საჭიროა შემცირდეს უკუწნევა წყალსაცემზე, რაც შეიძლება მიღწეულ იქნეს ფილაში ხვრეტების (ქების) მოწყობით, რომლებიდანაც იწარმოებს ფილტრატიული წყლის გამოსვლა ქვედა ბიეფში. კაშხალის ტანთან წყალსაცემის ფილის შეუღლებას ახდენენ მოქნილი ნაქერის საშუალებით, რომელიც კაშხალის ნაწილებს აძლევს ურთიერთდამოუკიდებელ დაჯდომის საშუალებას. რადგან დიდი სიჩქარეებით მოძრაი წყლის ნაკადის ზემოქმედებით წყალსაცემის ზედაპირი განიცდის ცვეთას. იგი უნდა დაიფაროს სპეციალური შედგენილობის მკერივი ბეტონით. ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში — ქვედა ბიეფში ქეიშა-ხრემოვანი ნატანის გადაგდების ან მძიმე ყინულსკლის დროს, — მისი ზედაპირის მოპირკეთება წარმოებს მაგარი ქვით ცემენტის ხსნარზე. უქანასკნელ ხანებში ამ მიზნით ზოგჯერ გამოიყენება ფოლადბეტონი და პლასტბეტონი.

**ენერჯის ჩამქრობები.** წყალსაცემებზე გადადინებული ნაკადის ენერჯის ჩასაქრობად წყალსაცემ ნაწილში ხშირად აწყობენ ამა თუ იმ ტიპის ჩამქრობებს — ჰას ან სპეციალურ ჩამქრობებს, რომლებიც დაბრკოლებას უქმნიან ნაკადის დინებას.

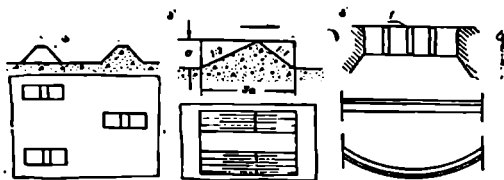
წყალსაცემი კა წარმოადგენს ნაკადის ენერჯის უმარტივეს და ყველაზე გავრცელებულ ჩამქრობას, რომელიც ეწყობა ფლუტბეტში ჩაღრმავებით (ნახ. 7-14) ან ფლუტბეტზე განივი კედლის მოწყობით, ანდა ზოგჯერ ჩაღრმავებისა და წყალსაცემი კედლის ერთდროული გამოყენებით. წყალსაცემი ქების ჰიდრაულიკური ანგარიში მოცემულია ჰიდრაულიკის სპეციალურ კურსებში და ცნობარებში.

წყალსაცემი შაშები და პირსები (ნახ. 7-15 ა) წარმოადგენს წყალსაცემის ფილაზე დაყენებულ ბეტონის შევრილებს, რომლებიც



ნახ. 7—14. წყალსაცემი ქვების სქემები:  
 ა—კაშხალთან მდოვრე შეუღლება; ბ—კაშხალთან საფეხურიან შეერთება.

ახდენენ ნაკადის გაპობას გეგმაში ცალკეულ ქაელებად. შეერილების სიმაღლე, მათი ზომები გეგმაში და ფორმები სხვადასხვაგვარია. თუ შეერილის სიმაღლე უფრო მეტია, ვიდრე მისი სიგანე ან სიგრძე, მაშინ იგი პირისს სახელწოდებას ღებულობს, წინააღმდეგ შემთხვევაში — შაშისას. ზოგჯერ შაშების მოვალეობას ასრულებს წყალსაცემის ფილაში ჩაფლული მაგარი მსხვილი ქვები. პირსებიცა და შაშებიც წარმოადგენს ნაკადის ენერჯის ძალიან ეფექტურ ჩაქრობებს. მათი განლაგება გეგმაში წარმოებს შახმატურად; უხელსაყრელესი განლაგება, ფორმები და ზომები შეიძლება დადგენილი იქნეს ექსპერიმენტული გზით პილროტექნიკურ ლაბორატორიებში. აღნიშნული ტიპის ჩაქრობები ხელს უწყობს ნაკადის განდინებას და ზვედრითი ხარჯების უფრო თანაბარ განაწილებას რისხებრმაზე.



ნახ. 7—15. ენერჯის ჩაქრობები:  
 ა—შაშები; ბ—კბილანა ზღურბლები; გ—ზღურბლ-განმდენები; 1—წყალსაცემი.

კბილოვანი ზღურბლები (ნახ. 7-15 ბ) იწვევს ნაკადის სიჩქარის მკვეთრ შემცირებას ფსკერთან, რაც იცავს კალაპოტს გარეცხვისაგან. მნიშვნელოვნად ამცირებს ქვედა ბიეფის გამაგრების სიგრძეს.

ზღურბლ-განმდენები (ნახ. 7-15 გ) ამცირებს ნაკადის ფსკერულ სიჩქარეებს და ხელს უწყობს ნაკადის თანაბარ განდინებას გეგმაში, რაც წყალსაცემების მალეების ნაწილის მუშაობის დროს ამცირებს კალაპოტის გარეცხვის ძაბრს გამაგრების უკან. ზღურბლებს გეგმაში აქვს სწორხაზოვანი, მრუდწრიული, ტეხილი (ჩვეულებრივ, ქვედა ბიეფის მხრით ჩაზნექილი) ან ზიგზაგისებური მოხაზულობა. მათი ვერტიკალური კვეთები წარმოადგენს ტრაპეციებს. ქვედა ბიეფის მხრიდან ზღურბლის მნიშვნელოვანი დატბორვის (ჩაძირვის) შემთხვევაში (როდესაც ფრუდის რიცხვი  $F_r < 20$ ) უფრო მიზანშეწონილია გაკეთდეს გეგმაში სწორხაზოვანი განაქერი ზღურბლები.

სპეციალური განმდენები წარმოადგენს გეგმაში გაგრძელებულ და ნაკადისადმი ირიბად დაყენებულ პირსებს, რომლებიც აიძულებენ



ნაკადს ერთი მომუშავე ხერტიდან განდინდეს წყალსაცემის მნიშვნელოვან სიგანეზე და ამით შემცირდეს მისი კინეტიკური ენერგია იმდენად, რომ თავიდან ავიცილოთ მხარტეული დინების წარმოშობა. ყველა მალის გაღების შემთხვევაში განმდენები მუშაობენ როგორც შაშური ჩამქრობები, ნაპირებისავენ ნაკადის გავრცელების ვასაუმჯობესებლად განაპირა მალეში განმდენებს მიმართავენ ერთი მხრით. ლაბორატორიულ გამოკვლევათა საფუძველზე შემუშავებულია განმდენების სხვა ახალი ტიპებიც, რომლებიც ჭერჭერობით ნაკლებადაა გავრცელებული.

ფრიად საყურადღებოა ნაკადის ენერჯის ჩაქრობის ახალი მეთოდები, რომელთაც საფუძვლად უდევს ნაკადის არა განდინება, არამედ ორი ნაკადის შეჯახება ძირითადი ნაკადის გაორების გზით. ხერელებიანი საღვრელის გამოყენების შემთხვევაში ნაკადის ენერჯის ჩაქრობას აღწევენ მრავალი ჰაერის შეჯახებით<sup>1</sup>. უნდა ვიფიქროთ, რომ სათანადო აპრობაციის შემდეგ ეს მეთოდები ფართოდ დაინერგება პრაქტიკაში.

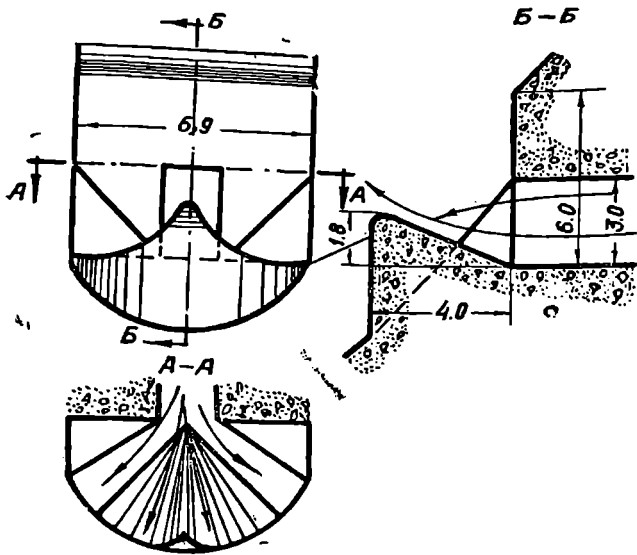
სსრ კავშირის ჰიდრომშენებლობის პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება შემალლებულსაფეხურიანი (ტუჩიანი) წყალსაშვები კაშხალები, რომლებიც უზრუნველყოფენ წყლის მავნე ენერჯის ჩაქრობას და ქვედა ბიეფთან ზედაპირული რეჟიმით შეუღლებას. ასეთი რეჟიმის დროს გარეცხვის ზონა გადატანილია ნაგებობიდან საკმარისი დაშორებით. საფეხური ყველგა აწეულიან პორიზონტალური ტუჩით, ამასთან, აწეულტუჩიანი წყალსაგდებები გამოიყენება როგორც კლდოვან, ისე არაკლდოვან ფუძეებზე. უკანასკნელ შემთხვევაში აუცილებლად აწყობენ წყალსაცემს და ენერჯის ჩამქრობებს (ნახ. 7-14 ბ). შემალლებული ტუჩის (ცხვირის) ჰიდრაულიკური გაანგარიშებანი მოცემულია სათანადო ცნობარებში.

წყლის ნაკადის ენერჯის ჩასაქრობად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე ვერტიკალურ სიბრტყეში განშრევების მეთოდი. ამ პრინციპს ემყარება, მაგალითად, პროფ. ა. სენკოვის კოქოვანი ჩამქრობების მუშაობა. ისინი წარმოადგენენ წყალსაშვების ბურჯებს შორის განლაგებულ ხის ან რკინაბეტონის კოქებს, რომელთაც აქვთ სწორკუთხოვანი ტრაპეციის ფორმის კვეთები. ეს ჩამქრობები ფრიად ეფექტურია, მაგრამ ძლიერი ყინულისგლისან ფსკერული ნატანის ინტენსიური მოძრაობის დროს განიცდის დარტყმებს, რაც იწვევს კოქების დაზიანებას და ამავე დროს ყინულისა და ნატანის შეკავებას.

**ენერჯის ჩაქრობა წყალჩაქხვებებით** უკან: სწულალო და მალალი კაშხალების შემთხვევებში წყლის გაშვება ქვედა ბიეფში შეიძლება აწარმოონ სიღრმული ან ფსკერული წყალჩაქხვებებით. ამ შემთხვევებში ჩამქრობებს, ანუ ეგრეთ წოდებულ დეფლექტორებს, აწყობენ მილების გამოსავალ ხერეტებთან. მათი დანიშნულებაა სიღრმული ხერეტებიდან გამოდინებული ნაკადის ენერჯის გაძლიერებული ჩაქრობა მისი განბნევის გზით (ნახ. 7-16).

<sup>1</sup>М. Э. Факторович, Методика приближенного гидравлического расчета сопряжения быфов водосбросных сооружений с использованием соударения потоков для гашения Энергии, Тех. информации ВНИИГ, Госэнергоиздат, М.—Л., 1956.

Его же, Водосбросная плотина с многоструйным гашением энергии в щелевом сливе: «Гидротехническое строительство» №7, 1960.

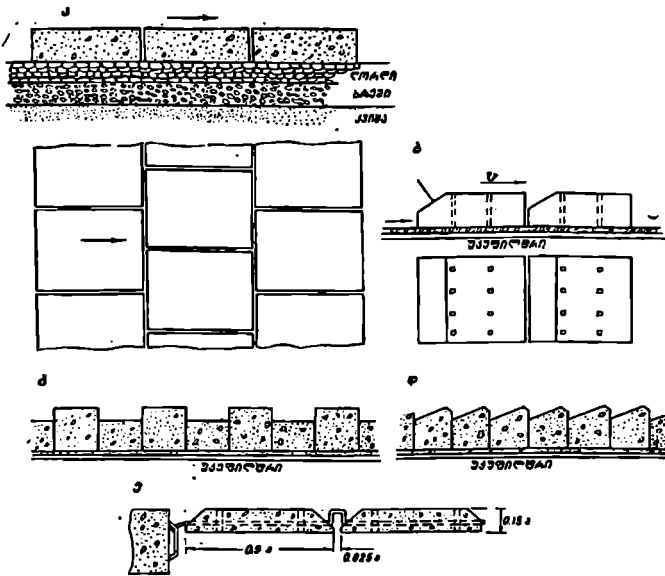


ნახ. 7 — 16. ნაკადის ენერჯის საბნეველა მილოვანი წყალსადგების გამოსავალთან.

ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე დამაწყნარებელი აუზები და წყალსაცე-  
ში ჰები, ჩამქრობები, რომლებიც ემყარებიან ნაკადის განშრეების პრინციპს  
და სხვ. არც ისე იშვიათია შემთხვევები (კლდოვანი ფუძეების დროს), როდესაც  
წყალჩასაშვებ მილს არ გააჩნია არაერთარი ჩამქრობი მოწყობილობა და  
წყალს ავდებენ ან უშუალოდ ატმოსფეროში — თავისუფლად ვარდნილი  
კუელის სახით, ანდა შედარებით ფართო კალაპოტში (წყალსაცემზე).

**რ ი ს ბ ე რ მ ა.** რისბერმა წარმოადგენს წყალშელწვეად საფარს, რომე-  
ლიც იცავს მდინარის კალაპოტს გარეცხვისაგან და ამასთანავე უზრუნველ-  
ყოფს ფილტრაციული წყლის თავისუფალ გამოსვლას ქვედა ბიეფში. რის-  
ბერმის კონსტრუქცია უნდა შეესაბამებოდეს მასზე წყლის დინების სიჩქა-  
რეს, ჰქონდეს საკმარისი მოქნილობა, წყალშელწვეადობა და დიდი სიმ-  
ქისე ზედაპირული ნაკადის სიჩქარეთა შესამცირებლად. დინების მიმარ-  
თულებით ნაკადის სიჩქარეთა შემცირებისდა მიხედვით რისბერმის კონს-  
ტრუქციის სისქეც თანდათან მცირდება.

ყველაზე უფრო საიმედო და მტკიცეა ბეტონის ფილებითა და  
მასივებით გამაგრება (ნახ. 7-17 ა). ასეთი გამაგრების გამოყენე-  
ბას მიმართავენ მნიშვნელოვანი სიჩქარეების დროს, როდესაც ადგილზე არ  
მოიპოვება მსხვილი ქვის კარიერი. ფილების სისქე აიღება 0,5 — 1,0 მ-მდე,  
ხოლო სიგრძე და სიგანე დაახლოებით 2 — 5 მ-მდე. დინების მიმართულე-  
ბით ფილები ერთმანეთთან მიბმულია გრძელი გვერდებით; მათ ალაგებენ  
ლორღის, ხრეშისა და ქვიშის საგებზე, რომელიც ამასთანავე წარმოადგენს



ნახ. 7—17. რისბერვის კონსტრუქციები: ა—ფილბი; ბ—დაცურებელი ხერტილი ფილბი; გ—ბეტონის ბლოკები; დ—დაცურებელი ბლოკები; ე—რკინაბეტონის ლეიბი.

უკუფილტრს. თუ ფილის სისქე დაახლოებით 1 მ-ის ტოლია, მაშინ მასზე დასაშვები დინების სიჩქარე აიღება 4,5 — 5 მ/წმ-მდე.

ფილბის რაციონალური ტიპი ნაჩვენებია 7-17 ბ ნახაზზე; ასეთი ფილბის ზედა წახნაგს აქვს მცირე დაცურება; ჰიდროდინამიკური ზემოქმედების შესამცირებლად მათ გააჩნიათ ხერტები. ბეტონის ფილბი ხასიათდება მცირე სიმჭისით, რაც მათ ნაკლად უნდა ჩაითვალოს. სიმჭისის გაზრდის მიზნით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბეტონის ბლოკები შვერილებით (ნახ. 7-17 გ, დ); მაგრამ ფილაზე ნატანის გატარების შემთხვევაში ასეთი შვერილები შეიძლება მოგლუდეს (გადალივსოს).

თხელი ფილბის გამოყენების შემთხვევაში მათ ერთმანეთთან აკავშირებენ ლითონის მოქნილი არმატურით და ქმნიან ბეტონის ან რკინაბეტონის ლეიბს (ნახ. 7-17 ე), რომელიც ჩანგლების საშუალებით შეიძლება დამაგრდეს წყალსაცემზე ან ხიმინჯების რიგზე, რათა არ ჩამოცოცდეს დამაგრების ქვედა ბოლოს გამორეცხვის დროს.

ყველაზე უფრო ძლიერ დამაგრებად ითვლება ხისა და რკინაბეტონის ძელყორეები; პირველის გამოყენებას მიმართავენ მაშინ, როდესაც დამაგრება ყოველთვის დაფარულია წყლით. ძელყორეების ზედა ნაწილს ავსებენ მსხვილი ქვით; თუ ასეთი ქვა არ მოიპოვება ადგილზე, მაშინ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ეგრეთ წოდებული გაბიონური გამაგრება. იგი წარმოადგენს ლითონის ბადისაგან დამზადებულ და ერთმანეთზე მეთუღით გადაბმულ ყუთებს, რომელთაც ავსებენ ქვით და ალაგებენ კალაპოტის გასამაგრებელ უბანზე. ბადის მოსალოდნელი გაგლეჯის გამო გაბიონების

გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის ისეთ მდინარეზე, რომელსაც დიდი რაოდენობით მოაქვს ფსკერული ნატანი და მცურავი ძირკვები.

დაბალდაწნევიანი კაშხალებისათვის გამაგრების ყველაზე უფრო გავრცელებულ სახეობას წარმოადგენს ქვაყრილი მსხვილი ქვის რამდენიმე რიგით, რომელშიც ზოგჯერ ასობენ ხიმინჯებს შახმატური წესით ( $d \approx 18-25$  სმ) ერთმანეთისაგან 1—2 მ-ის დაშორებით. თუ ქვაყრილი ეწყობა ქვიშოვან გრუნტებზე, მაშინ მას უნდა გაუკეთდეს საგები უკუფილტრის ან ფიჩხონის სახით. გამოყენებული ქვის სიმსხოს შესაბამისად ნაყარმა შეიძლება გაუძლოს ღინების სიჩქარეებს, რომელთა სიდიდე არ აღემატება 3,5—4 მ/წმ.

ცალკეულ შემთხვევებში რისბერმის ქვედა ბოლოში, სადაც ნაკადის ღინების სიჩქარე ეცემა 1,5—2,2 მ/წმ-მდე, დამოუკიდებელი გამაგრების სახით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფიჩხონის ლეიბი.

კონსტრუქციულად რისბერმას აწყობენ შემდეგნაირად: უშუალოდ წყალსაცემის უკან ათავსებენ ყველაზე უფრო ძლიერ გამაგრებას (მასიურ ფილებს, ბეტონის ლეიბებს, ძელყორებს), შემდეგ სიჩქარეთა შემცირების კვალობაზე — უფრო მსუბუქს (გაბიონებს, ქვაყრილს), ხოლო ბოლოში — რკინაბეტონის ან ფიჩხონის მოქნილ ლეიბებს. რისბერმის ქვედა უბანს აკეთებენ დამცველი ფერდოს სახით, რომელიც ბოლოვდება გარეცხვის ჩამჩარგულატორით ანდა ვერტიკალური კედლის სახით, რაც რისბერმის დამოკლების საშუალებას იძლევა; კედელი შეიძლება შეიქმნას ფოლადის ნარანდის ორი რიგით ან ნარანდული უჯრედებით (ნახ. 7-1), ხოლო ხრეშოვან გრუნტებში — ჩასაშვები კვებით.

დამცველი ფერდო (1:4—1:5) აფართოებს რისბერმიდან ჩაშვებულ ნაკადს და ამცირებს მის სიჩქარეებს ისეთ სიდიდეებამდე, რომელთა დროს კალაპოტი არ ირეცხება. ორმოს ან ჩამჩას სიღრმის დადგენა წარმოებს სუფთა წყალში ნაკადის დასაშვები საშუალო არაგამრეცხი სიჩქარის მიხედვით.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ანგარიშით დადგენილი ორმოს სიღრმე პრაქტიკულად არ მართლდება, რისბერმის უკან მომხდარი გარეცხვების დასაფარავად ჩამჩას ფსკერს ტვირთავენ ქვის ნარჩენებით ან სხვა მსხვილმარცვლოვანი მასალით.

წყალსაცემის ფარგლებში კალაპოტის ნაპირებს, ჩვეულებრივ, ამაგრებენ ბეტონის ან რკინაბეტონის ვერტიკალური ან ოდნავ დახრილი კედლით, რომელიც წარმოადგენს ბურჯის გავრცელებას. რისბერმის ფარგლებში სანაპირო ფერდოს წყალქვეშა ნაწილს ამაგრებენ თვით რისბერმის ანალოგიურად, მხოლოდ რამდენადმე შემსუბუქებული სახით, რადგან ნაპირებთან სიჩქარეები შემცირებულია (განსაკუთრებით ნაკადის განდინებასთან დაკავშირებით).

კალაპოტის ნაპირებისა და ფსკერის ნაწილობრივი გამაგრება საჭიროა ჩიქარდეს ზედა ბიეფშიც, კერძოდ კი იმ ადგილებში, სადაც წყალდიდობის გატარების დროს ადგილი აქვს სიჩქარეების გაზრდას (წყალსაგდების ახლოს, ნაპირებთან და შემაუღლებელ ჯებირებთან, დაბალი ზღურბლების წინ ფსკერთან და სხვ.). მათი გამაგრება წარმოებს ქვედა ბიეფის ანალოგიურად.

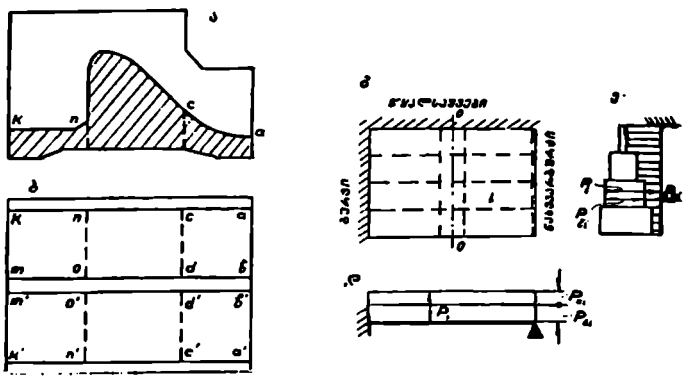
კაშხალის სექციის გაანგარიშება განივი მიმართულ ლეზით. კაშხალის სექციის კონსტრუქციაში წარმოშობილი ძალვათა სიდიდე დამოკიდებულია საძირკვლის ფუძეში კონტაქტურ ძაბვათა განაწილების ხასიათზე. ამასთან არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში არსებითი მნიშვნელობა აქვს ნორმალურ კონტაქტურ ძაბვათა განაწილების ხასიათს.

კაშხალის სექციის კონსტრუქციის სიხისტე ნაკადის დინების მიმართულებით იქმნება ბურჯებითა და ნახევარბურჯებით, რომლებიც ასრულებენ კონსტრუქციის სიხისტის წიბოების როლს. მაღალზღურბლიან კაშხალებში ნაკადის განივად (კაშხალის ღერძის გასწვრივ) სიხისტე იქმნება საძირკვლის ფილით და წყალსაშვების მასივით, ხოლო დაბალზღურბლიან კაშხალებში — საძირკვლით. ამგვარად, ნაკადის დინების მიმართულებით კაშხალის სექციის ანგარიშის დროს საძირკვლის ფილა ბურჯებთან და ნახევარბურჯებთან ერთად განხილული უნდა იქნეს როგორც კოლოფა კონსტრუქცია (ნახ. 7-18), რომელშიც ბურჯები და ნახევარბურჯები წარმოადგენს კედლებს, ხოლო საძირკვლის ფილა — თაროს. ასეთ კონსტრუქციაში, გარდა საერთო ღუნვისა, ადგილი აქვს ადგილობრივ ღუნვასაც. განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც წყალსაშვები მაღალია და ამასთანავე საძირკვლის ფილის კიდურა ნაწილები ძლიერადაა განვითარებული ქვედა და ზედა ბიეფისკვენ.

7-18 ნახაზზე ნაჩვენებია მაღალი წყალსაშვებიანი კაშხალის ორმალიანი სექციის განივი კრილი და გეგმა. საძირკვლის ფილის  $abcd$  და  $a'b'd'c'$  უბნები ქვედა ბიეფის, ხოლო  $kmon$  და  $k'm'o'n'$  უბნები ზედა ბიეფის მხარეზე განივად ადგილობრივ ღუნვას, როგორც ფილები, რომელთაც სამი მხრით გააჩნიათ საყრდენები, ხოლო ბიეფებისაკენ მიმართული მათი მეოთხე მხარე თავისუფალია. ფილებზე მოსულ დატვირთვებს წარმოადგენს: ფუძის რეაქცია, ფილების წონა, წყლის წონა ზემოდან და წყლის უკუწნევა ქვემოდან.

თუ წყალსაშვების  $cd$  და  $c'd'$  ვერტიკალურ კვეთებს (შესაბამისად,  $ni$  და  $n'o'$  კვეთებს ზედა ბიეფის მხარეზე) პირობით ჩავთვლით ფილების ხისტი ჩამაგრების ადგილებად (ნახ. 7-18) და ამასთანავე ბურჯებთან და ნახევარბურჯებთან  $ac$ ,  $bd$  და  $a'c'$ ,  $b'd'$  კვეთებში (შესაბამისად,  $kn$ ,  $mo$  და  $k'n'$ ,  $m'o'$  კვეთებში ზედა ბიეფის მხარეზე) გავითვალისწინებთ მათი დამაგრების ამა თუ იმ პირობებს, მაშინ ფილების ეს უბნები მიახლოებით შეიძლება გაანგარიშდეს გადაამკვეთი კოქების მეთოდით ფილის სისქის ცვალებადობისა და მგრები მომენტების გათვალისწინებით ანდა სხვა ანალოგიური მეთოდით.

გადამკვეთი კოქების მეთოდით სარგებლობისას წყალსაშვების ღერძის გასწვრივ მიმართული ზოლები განიხილება როგორც ერთი ბოლოთი ხისტად, ხოლო მეორეთი — თავისუფლად დაყრდნობილი კოქები (ნახ. 7-18 დ). წყალსაშვებისადმი ნორმალურად მიმართული ზოლები შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც მასში ხისტად ჩამაგრებული კონსოლები (ნახ. 7-18 ე). ფილაზე მოსული საერთო გარე დატვირთვის გადაწილებას კოქებსა და კონსოლებს შორის აწარმოებენ ზოლების გადაკვეთის წერტილებში მათი ჩაღუნვების ტოლობის პირობის მიხედვით. გამოთვლების შესამკვირვებლად ანგარიში შეიძლება რამდენიმე გამარტივდეს, კერძოდ, ურთიერთგადამკვეთი ზოლების



ნახ. 7—18. კაშხალის სექციის საძირკვლის ფილის ადგილობრივ ღუნვაზე განაგარიშების სქემა.

ჩალუნების გატოლება მოხდეს მხოლოდ ცენტრალური კონსოლის 0—0 ღერძული ხაზის გასწვრივ (ნახ. 7-18 გ), რომელიც გადის ბურჯებსა და ნახევარბურჯებს შორის მალის შუაზე და ამასთანავე არ იქნეს გათვალისწინებული მგრები მომენტები.

ამგვარად, *i*-ური კოქისათვის საანგარიშო განტოლებები იქნება:

$$\left. \begin{aligned} y_i^{\text{კოქ}} &= y_i^{\text{კონ}}, \\ p_i &= p_i^{\text{კოქ}} + p_i^{\text{კონ}}, \end{aligned} \right\} \quad (7-5)$$

სადაც  $y_i^{\text{კოქ}}$  და  $y_i^{\text{კონ}}$  არის *i*-ური კოქისა და კონსოლის ჩალუნები მათი გადაკეთის ადგილში;

$p_i$  — ფილაზე მოსული საერთო გარეგანი დატვირთვის ინტენსიურობა;

$p_i^{\text{კოქ}}$  — *i*-ური კოქზე მოსული დატვირთვის ინტენსიურობა;

$p_i^{\text{კონ}}$  — კონსოლზე მოსული დატვირთვის ინტენსიურობა *i*-ური კოქის გადაკეთის ადგილში.

(7—5) განტოლებები უნდა დაიწეროს ყველა კოქისათვის და მიღებული სისტემა ამოიხსნას.

ადვილად შეიძლება დაერწმუნდეთ, რომ არჩეული საანგარიშო სქემის შემთხვევაში (ჩალუნების გატოლება წარმოებს მხოლოდ ცენტრალური კონსოლის გასწვრივ)  $p_i^{\text{კონ}}$  დატვირთვა კონსოლის გასწვრივ იქნება ცვალებადი (საფეხბურთოვანი ეპიურით განაწილებული), ხოლო  $p_i^{\text{კოქ}}$  დატვირთვა ცალკეული კოქის გასწვრივ — მუდმივი.  $p_i^{\text{კოქ}}$  ან  $p_i^{\text{კონ}}$  განსასაზღვრავად მიღებულ განტოლებათა რიცხვი ტოლი იქნება ფილაში კაშხალის ღერძის გასწვრივ ამოკრილი კოქების რიცხვისა. კოქებსა და კონსოლზე მოქმედ დატვირთვათა დადგენის შემდეგ განსაზღვრავენ ადგილობრივი ღუნვით გამოწვეულ მღუნავ მომენტებსა და ძაბვებს. კოქის მალისა და ბურჯის საყრდენი მომენტების სიდიდეებში გვექნება გარკვეული მარაგი, რადგან ანგარიშის დროს დაშვებულია, რომ კოქის მეორე ბოლო ნახევარბურჯთან თავისუფლა-

დაა დაყრდნობილი. ამ კვეთში ფილის ანგარიშის დროს საყრდენი მომენტის შესაძლო სიდიდე ( $k_n$  და  $ca$  კვეთებში) აიღება ბურჯთან ( $m_0$  და  $db$  კვეთებში) აღძრული საყრდენი მომენტის სიდიდის 30—40%. აღნიშნულ გამარტივებულ ხერხში შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს ფილის სისქის ცვალებადობა ნაკადის დინების მიმართულებით.

ფილების გასაანგარიშებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვა მეთოდებიც, კერძოდ, შეიძლება ვისარგებლოთ ა. სმოტროვის მიერ შედგენილი ცხრილების მონაცემებით<sup>1</sup> ან ცხრილებით, რომელიც ფილებისათვის გამოცდა პ. ვარვაციის რედაქციით<sup>2</sup>, მხოლოდ საჭიროა ავირჩიოთ ფილის შესაბამისი პირობითი მუდმივი სისქე. იმასთან დაკავშირებით, რომ ცხრილებში მოცემული ფილების საკონტურო პირობები არ შეესაბამება მთლიანად 7-18 გ ნახაზზე ნაჩვენებ სქემის პირობებს, საჭიროა ვისარგებლოთ სამი მხრით ჩამაგრებული ფილის შესაბამისი ცხრილის მონაცემებით და შემდეგ მიახლოებითი ანგარიშების საფუძველზე შევიტანოთ სათანადო შესწორებანი მლუნავი მომენტების, საყრდენი რეაქციებისა და სხვა ძალების სიდიდეებში.

ადგილობრივ ღუნვაზე გაანგარიშების შემდეგ აწარმოებენ ფილის საერთო ღუნვაზე გაანგარიშებას ნაკადის დინების მიმართულებით, რომლის დროს გაითვალისწინება საძირკვლის ფილისა და ბურჯების ერთობლივი მუშაობა. საერთო ღუნვით წარმოშობილი ძალები იწვევენ ფილის გაქიმვას ქვედა ზედაპირთან. ამ ანგარიშების დროს, ცხადია, გათვალისწინებული უნდა იქნეს ადგილობრივი ღუნვის გავლენა, რისთვისაც საძირკვლის ფილიდან წარმოდგენით ამოჭრიან უბნებს, რომლებიც განიცდიან ადგილობრივ ღუნვას. და მათი საყრდენი კვეთების გასწვრივ მოსდებენ მათში მოქმედ ძალებს, სახელდობრ:  $M$  მლუნავ მომენტებს,  $Q$  გადაძვრულ ძალებს და, საჭიროების შემთხვევაში,  $H$  მგრებავ მომენტებს (ნახ. 7-19 გ. დ). უკანასკნელნი წარმოიშობიან მხოლოდ იქ, სადაც შესაძლებელია ფილის კიდის კვეთების კონტურული დეპლანაცია საყრდენებზე, ე. ი. მათი ბრტყელი ფორმის დამახინჯება გრების გამო.

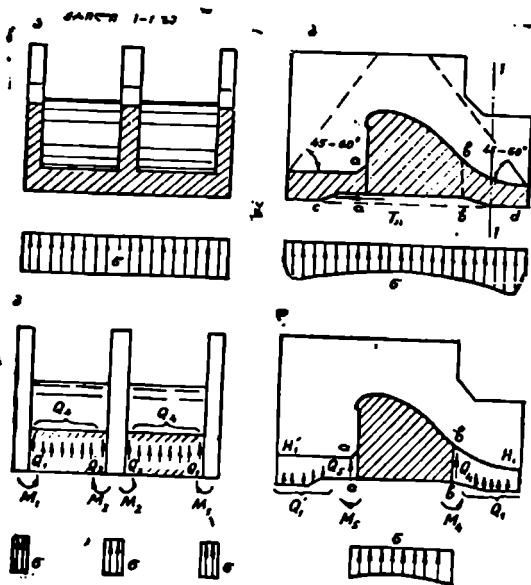
სექციის ვერტიკალურ კვეთებში საერთო ღუნვით გამოწვეული ძალების განსაზღვრის დროს ფუძის გრუნტის ნორმალური რეაქცია, წყლის წონა, ფილის წონა და ფილის ამოჭრილ უბნებზე მოსული სხვა ვერტიკალური დატვირთვები ანგარიშში არ შეჰყავთ, რადგან ისინი უკვე გათვალისწინებულია აღნიშნულ  $M$ ,  $Q$  და  $H$  კონტურულ ძალებში.

ფუძის პორიზონტალური რეაქცია, პორიზონტალური ძალები საძირკვლის ფილის ტორსებში ზედა და ქვედა ბიეთის მხარეზე, საანკერო ძირულის რეაქცია და სხვა ანალოგიური პორიზონტალური ძალები ანგარიშში შეჰყავთ საძირკვლის ფილის ყველა უბანზე (7-19 ნახაზზე ეს ძალები ნაჩვენები არ არის).

შეიძლება მივუთითოთ გაანგარიშების მეორე ხერხზეც, რომლის მიხედვით საერთო ღუნვისაგან სექციის კვეთებში გამოწვეულ ძალებს განსაზღვრავენ ფილის იმ უბნების წარმოდგენით ამოჭრის გარეშე, რომლებიც განიც-

<sup>1</sup> А. Смотров, Решение плит, нагруженных сплошной нагрузкой по закону трапеции, ОНТИ, 1936.

<sup>2</sup> П. М. Варвак, И. О. Губерман и др. Таблицы для расчета прямоугольных плит, Изд-во АН УССР, 1959.



ნახ. 7—19. კაშხალის სექციის განვითარებული მიმართულებით საანგარიშო სქემა.

დიან ადგილობრივ ღუნვას. ძალების გამოთვლის დროს გაითვალისწინება სექციაზე მოქმედი ყველა ძალა.

ხშირად საძირკვლის ფილას უწყობენ ზედა კბილს. რომელიც უზრუნველყოფს კაშხალის სექციის მდგრადობას  $cd$  სიბრტყის გასწვრივ ფუძის გრუნტის კრაზე წინაღობის შედეგად (ნახ. 7-19, ბ). ასეთ შემთხვევებში ზედა ბიეფის მხარეზე საძირკვლის ფილის ქვედის გაანგარიშებისა და მასში არმატურის შერჩევის დროს საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს  $T_{\alpha}$  ძალების ზემოქმედება კაშხალის კბილზე.  $T_{\alpha}$  ძალების სიდიდე შეიძლება მივიღოთ დაახლოებით  $cd$  სიბრტყეში მოქმედი შევიდულების ძალის ტოლი.

ბურჯებსა და ნახევარბურჯებს გააჩნიათ მნიშვნელოვანი სიმაღლე, ამიტომ ღუნვაზე მათი მუშაობა გრძივ სიბრტყეში წარმოებს ქვედა თაროიანი კოჭი-კედლის მსგავსად. კედლის როლს ასრულებს ბურჯი ან ნახევარბურჯი, ხოლო თაროს როლს — საძირკვლის ფილის შესაბამისი ნაწილი. ასეთ კოჭში საერთო ღუნვის მომენტის გამოთვლის დროს გაითვალისწინება განსახილველი ვერტიკალური კვეთის ცალმხრივ მოქმედი ძალები.

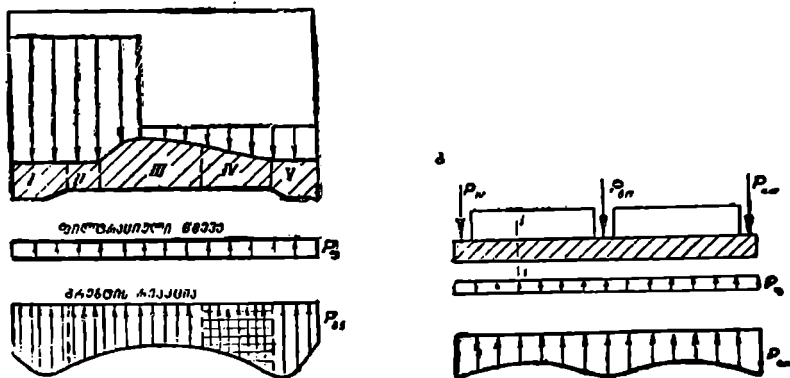
დეფორმაციის დროს ბურჯებისა და ნახევარბურჯების კვეთები არ რჩება ბრტყელი, განსაკუთრებით ტორსების მახლობლობაში. ამასთან დაკავშირებით მასალათა გამძლეობის მეთოდებით მათი ქვედა ვაკიშული ზონის სიმტკიცის გაანგარიშების დროს ანგარიშში შეიქცავეთ ბურჯის ის სიმაღლე, რომელიც 7-19 ბ ნახაზზე შემოსაზღვრულია საძირკვლის ნაწიბურებიდან მომავალი პორიზონტთან  $45 - 60^{\circ}$  დახრილი წვეტილი ხაზებით. ასეთი



პირობის შემთხვევაში შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ გაქიმულ ზონაში მოქმედი სრული ძალა საკმარისად ახლოსაა მის ნამდვილ მნიშვნელობასთან.

საძირკვლის ფილა მონაწილეობს სექციის როგორც საერთო, ისე ადგილობრივ ღუნვაში. ამიტომ ორივე აღნიშნული სახეობის ღუნვის შედეგად მის კვეთებში წარმოშობილი ძაბვები უნდა შეიკრიბოს.

დაბალზღურბლიანი კაშხალის სექციის გაანგარიშება კაშხალის ღერძის გასწვრივ. სექციის სიმტკიცე კაშხალის ღერძის გასწვრივ უზრუნველყოფილია საძირკვლის ფილით და მასთან ერთად მომუშავე წყალსაშვების ზღურბლით. ნაკადის მოძრაობის მიმართულეებით საძირკვლის ფილა იმყოფება არათანაბარი დატვირთვის ქვეშ, რაც აიხსნება ფუძის რეაქციის უნაგირისებური ეპიურით (ნახ. 7-20 ა). კაშხალის ღერძის გასწვრივ ფუძის რეაქცია აგრეთვე არათანაბარია, რადგან იგი განსაზღვრება ფილის როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე კოქის მუშაობით (ნახ. 7-20 ბ).



ნახ. 7—20. დაბალზღურბლიანი კაშხალის სექციის საძირკვლის გაანგარიშების სქემა გრძივი მიმართულებით.

მიახლოებითი ანგარიში შეიძლება ჩატარდეს ორი სქემით. გაანგარიშების პირველი სქემის თანახმად, საძირკვლის ფილას ყოფენ გრძივ ზოლებად (ნახ. 7-20 ა), რომლებიც განიხილებიან როგორც დამოუკიდებლად მომუშავე ელემენტები უშუალოდ მათზე ზემოდან და ქვემოდან მოქმედი დატვირთვების ქვეშ. ამასთანავე, ცხადია, თითოეული ზოლისათვის ჩაღუნვები სხვადასხვა იქნება. ფუძის რეაქციის ეპიურა თითოეული ზოლის გასწვრივ ნაჩვენებია 7-20 ბ ნახაზზე.

ფუძის რეაქციის ეპიურის  $p_i$  ორდინატას ნებისმიერ  $i$ — $i$  კვეთში, მაგალითად, IV ზოლისათვის, განსაზღვრავენ როგორც სიდიდეს, რომელიც პროპორციულია ეპიურის იმ უბნის ფართობის ფარდობისა ეპიურის მთელ ფართობთან, რომელიც 7-20 ა ნახაზზე დაშტრიხულია პორიზონტალური ხაზებით; სახელდობრ,

$$P_{i,IV} = R_i \frac{\omega_{i,IV}}{\Omega} \quad (7-6)$$

სადაც  $R_i$  არის მთელი საძირკვლის ფილის დრეკადი ფუძის რეაქციის ეპიურის ორდინატა  $i$  —  $i$  კვეთში, როდესაც მისი ანგარიში წარმოებს ისე, როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე კოქისა;

$\Omega$  — ფუძის რეაქციის ეპიურის ფართობი, რომელიც განისაზღვრება კაშხალის ლერძის განივად სექციის ანგარიშის დროს;

$\omega_{IV}$  — იმავე ეპიურის ფართობის ნაწილი IV ზოლისათვის.

საძირკვლის IV ზოლზე მოქმედ  $p_{\alpha IV}$  და  $p_{\epsilon IV}$  დაწოლის სიდიდენი შესაბამისად ბურჯებისა და ნახევარბურჯებისაგან განისაზღვრება იმ პირობიდან, რომ მათი მონაწილეობით უზრუნველყოფილია ყველა ვერტიკალური ძალის ჯამის ნულთან ტოლობა. გარდა ამისა, ეს სიდიდეები უნდა აკმაყოფილებდეს ტოლობას

$$\frac{p_{\alpha IV}}{p_{\epsilon IV}} = \frac{\sum p_{\alpha}}{\sum p_{\epsilon}}, \quad (7-7)$$

სადაც  $\sum p_{\alpha}$  და  $\sum p_{\epsilon}$  წარმოადგენს, შესაბამისად, ბურჯებისა და ნახევარბურჯებისაგან გადაცემულ სრულ დატვირთვებს, რომლებიც გაითვალისწინებიან მთელი საძირკვლის ფილის, როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე კოქის ანგარიშის დროს.

გ ა ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ი ს მ ე ო რ ე ს ქ ე მ ი ს დროს მიღებულია დაშვება, რომ გრძივ ზოლს აქვს თანატოლი ჩაღუნვები. ასეთი დაშვება განაპირობებს საანგარიშო ზოლებს შორის მღუნავი მომენტებისა და სხვა ძალებს განაწილებას მათი კვეთების ინერციის მომენტების პროპორციულად. ამიტომ მღუნავი მომენტი, მაგალითად, IV ზოლისათვის, განისაზღვრება ფორმულით

$$M_{IV} = M_{საან} \frac{I_{IV}}{\sum I}, \quad (7-8)$$

სადაც  $M_{IV}$  და  $I_{IV}$  არის, შესაბამისად, მღუნავი მომენტი IV ზოლის კვეთში და იმავე კვეთის ინერციის მომენტი;

$M_{საან}$  — საერთო მღუნავი მომენტი, რომელიც განსაზღვრულია საძირკვლის ფილის მთელი კვეთისათვის, როდესაც იგი გაიანგარიშება მთლიანად, როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე კოქი;

$\sum I$  — ყველა ზოლის ინერციის მომენტების ჯამი.

მღუნავი მომენტებისა და სხვა ძალებისათვის საანგარიშო სიდიდეებად აიღება იმ სიდიდეთა საშუალო მნიშვნელობა, რომლებიც განისაზღვრება საძირკვლის ზოლების მუშაობის აღნიშნული ორი უკიდურესი დაშვების საფუძველზე, სახელდობრ: პირველი საანგარიშო სქემის დროს ზოლების ჩაღუნვების ურთიერთდამოუკიდებლობის, ხოლო მეორე სქემის დროს ზოლების თანატოლი ჩაღუნვების დაშვების საფუძველზე.

#### § 7-4. ბურჯების, ნახევარბურჯებისა და უმაჯალღავალი

##### კაშხალის გაანგარიშება

ბურჯებისა და ნახევარბურჯების გაანგარიშება. საძირკვლის ფილასთან ბურჯებისა და ნახევარბურჯების ერთობლივი მუშაობის დროს მათ სიმტკიცეს ამოწმებენ კაშხალის განივი მიმართულებით მთა-

ვარი გამჭიმავი დაბევის მიხედვით, რომელთაც განსაზღვრავენ საძირკვლის ფილასთან მიერთების უბნებზე ქვედა ბიეფში. ყველაზე უფრო საშიშია უშუალოდ საძირკვლის ფილასთან მიერთების ადგილები, რადგან აქ მკვეთრად იცვლება საანგარიშო კვებები. ბურჯებისა და ნახევარბურჯების ვერტიკალურ განიეკვებებში მხებსა და ნორმალურ დაბეებს განსაზღვრავენ ზემოთ აღწერილ საერთო ღუნვაზე გაანგარიშების ღერხით.

მთავარი გამჭიმავი დაბევის განსაზღვრისათვის საჭიროა აგრეთვე ვიცოდეთ ნორმალურ მკუმშავ დაბეათა მნიშვნელობანი პორიზონტალურ კვებებში. ეს დაბეები ამცირებს მთავარ გამჭიმავ დაბეებს და ამიტომ უფრო მიზანშეწონილია ისინი განისაზღვრონ მხოლოდ ბურჯების ზემოთ მდებარე ნაწილების საკუთარი წონისა და მათზე მოქმედ მუდმივ ვერტიკალურ დატვირთვებისაგან.

მთავარ გამჭიმავ დაბეათა მნიშვნელობები და მათი მიმართულებები განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის იმ ფორმულებით, რომლებითაც ვისარგებლეთ გრავიტაციული კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდების შესწავლის დროს (იხ. § 5-3 და 5-4); სახელდობრ, ფორმულებით:

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}; \quad (7-9)$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{-(\sigma_x - \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}}{2\tau}. \quad (7-10)$$

დაბალზღურბლიანი კაშხალისათვის სექციის გაანგარიშება განივი მიმართულებით შეიძლება ჩატარდეს იგივე ღერხით, რომელიც ზემოთ მალალი წყალსაშვებიანი კაშხალისათვის იყო გამოყენებული. მაგრამ გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს მხოლოდ საერთო ღუნვაზე, რადგან დაბალი ზღურბლის შემთხვევაში საძირკვლის ფილის ზედა და ქვედა ბიეფების უბნებზე ადგილი არა აქვს ადგილობრივ ღუნვას.

საერთო ღუნვის ასათვისებლად საჭირო არმატურას ათავსებენ როგორც ბურჯებისა და ნახევარბურჯების, ისე საძირკვლის ფილის ფარგლებში.

კაშხალის სექციის გაანგარიშებას განივი მიმართულებით. ჩვეულებრივ, აწარმოებენ ნორმალურ საექსპლუატაციო შემთხვევაზე. მიუხედავად იმისა განიხილება მაღალზღურბლიანი თუ დაბალზღურბლიანი წყალსაშვები კაშხალი.

ბურჯები და ნახევარბურჯები უნდა გაანგარიშდეს გვერდით პორიზონტალურ დატვირთვებზეც. წყლის პორიზონტალური დატვირთვები ბურჯებში წარმოიშობა იმ შემთხვევებში, როდესაც წყალსაშვების მეზობელ მალეებში საკეტები მოთავსებულია სხვადასხვა დანიშნულების კილოებში (მაგალითად, ერთი საკეტი საექსპლუატაციო კილოებშია, ხოლო მეორე — სარემონტოში) და ამის შედეგად წყლის წნევა ბურჯის ორივე მხრიდან არ არის გაწონასწორებული. ანალოგიური პირობები წარმოიქმნება მაშინაც, როდესაც წყლის გაშვება წარმოებს წყალსაშვების მხოლოდ ერთ მეზობელ მალეში. დატვირთვების გაუწონასწორებლობას ადგილი აქვს ნახევარბურჯებშიც, რადგან კაშხალის სექციებს შორის ნაკერებში ვერტიკალური სოკმანების მდებარეობა არ ემთხვევა წყალსაშვები ხვრეტების საკეტების გასწორს.

ბურჯებისა და ნახევარბურჯებისათვის ჰორიზონტალურ დატვირთვებს წარმოადგენს აგრეთვე ყინულის სტატიური ან დინამიური წნევა, კრანსავალ კოქებზე ან ხიდების სამალო ნაშენებში მოქმედი მამუხრუქებელი ძალები, უკანასკნელთაგან წარმოშობილი ტემპერატურული ძალები და სხვ.

ბურჯებისა და ნახევარბურჯების საკმარისად ზუსტი გაანგარიშება გვერდით დატვირთვებზე შეიძლება ჩატარდეს გადაშვეთი კოქების მეთოდით. ამასთან, ბურჯებისა და ნახევარბურჯების ჰორიზონტალურ ზოლებს განიხილვენ როგორც კოქებს, რომელთაც არ გააჩნიათ დრეკადი საყრდენები, გარდა იმ ადგილებისა, სადაც ისინი გადაიკვეთებიან წარმოსახვით ვერტიკალურ კონსოლებთან. გაანგარიშებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ მზა ცხრილებით, რომლებიც შედგენილია კონსოლური ფილებისათვის. ასეთი მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში უწყვეტი (განაწილებული) დატვირთვები შეიძლება შეცვლილ იქნეს შეყურსულ ძალთა სისტემით.

თუ კრანსავალი კოქებისა და ხიდების სამალო ნაშენებისაგან გადაცემულ ან სხვა ანალოგიურ დატვირთვებს შეუძლია ძლიერი გავლენა მოახდინოს ბურჯებისა და ნახევარბურჯების ჰორიზონტალურ კვეთებში მოქმედ ძალებზე, მაშინ გარდა ჩვეულებრივი გაანგარიშებისა, საჭიროა ჩატარდეს ზღვრულ დატვირთვებზე გაანგარიშების ანალოგიური შემოწმებითი გაანგარიშება.

ცალკე მდგომი შუა ბურჯების გაანგარიშება. როდესაც ბურჯები წყალსაშვების ტანიდან გამოყოფილია ნაქერებით, მაშინ მათი საძირკვლის ნაწილი ეწევა მეტ დატვირთვას, ვიდრე წყალსაშვები და ამიტომ ხშირად ბურჯებს უფრო ღრმად ათავსებენ არაკლდოვან ფუძეში, ვიდრე კაშხალს, ანდა აწყობენ ხიმინჯოვან ან კესონურ ფუძეზე. მაგრამ ამასთანავე უნდა შევნიშნოთ, რომ მიზანშეწონილია არაკლდოვან, არაერთგვაროვან, კუმშვად ფუძეებზე ბურჯები შესრულდეს წყალსაშვების ტანთან ერთად, როგორც ერთი მთლიანი ნაგებობა. მეზობელი სექციების კონტაქტის ადგილებში კი ბურჯები ნაქერით გაიყოფა შუაზე ორ ნახევარ ბურჯად.

ბურჯების ფორმები დამოკიდებულია საკეტების ტიპზე, თვით წყალსაშვების ფორმაზე, ხიდების განლაგებასა და კონსტრუქციაზე და სხვ. ბურჯების სიმაღლე საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ საკეტი მთლიანად იქნეს ამოღებული წყლიდან. ბურჯების სისქე და სიგრძე ინიშნება იმ ვარაუდით, რომ მათში მოთავსდეს საკეტების საყრდენი ნაწილების ნიშები ან კილოები და სასამსახურო და სავალი ხიდები, ამასთანავე უზრუნველყოფილ იქნეს მათი საიძვლო მუშაობა (სათანადო სიმტკიცე და მდგრადობა).

ბურჯის კილოებით შევიწროებული ნაწილის სისქე აიღება არანაკლებ 1 — 1,5 მ; ამიტომ მასიური ბურჯების მინიმალური სისქე შეადგენს 2 — 2,5 მ და ცალკეულ შემთხვევებში შეიძლება მიაღწიოს 4 — 6 მ. ჩვეულებრივ ბურჯებში აკეთებენ ორგვარ კილოს: 1) დროებითი ანუ სარემონტო საკეტების (ან შანდორების) და 2) ძირითადი ანუ მუდმივი საკეტების კილოებს (ნახ. 7-21). მათი ზომები აიღება საკეტის ტიპისა და ზომების მიხედვით. ბურჯებისათვის ყველაზე გავრცელებული მასალაა ბეტონი და დაარმატურებული ბეტონი.

ცალკე მდგომი ბურჯების სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე გაანგარიშებანი უნდა ჩატარდეს მათი მუშაობის შემდეგი სამი ძირითადი მდგომარეობისათვის:

1. სამშენებლოსათვის, როდესაც კაშხალის წყალსაშვები ნაწილის მშენებლობა და მონტაჟი მთლიანად დამთავრებულია, მაგრამ იგი ჯერ კიდევ დაცულია წყლის მოქმედებისაგან სამშენებლო ზღუდარის მეშვეობით. ამ მდგომარეობის დროს ბურჯზე მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალური (წონის) ძალები: ბურჯის საკუთარი წონა, სასამსახურო და სავალი ხიდების წონა, ამწე მექანიზმებისა და მათი სათავისი წონა და სხვ.

2. ექსპლუატაციისათვის, როდესაც საკეტები მთლიანად დაშვებულია და, გარდა ზემოთ აღნიშნული ძალებისა, ბურჯზე დამატებით მოქმედებს ჰიდროსტატიკური წნევისა და ფუძეში ფილტრაციული ნაქადის წნევის ძალები.

3. სარემონტოსათვის, როდესაც ბურჯის ერთ მეზობელ მალში წყლის მაქსიმალური შეტბორვის დონეა (ან წყალი გაედინება მაღალი დონით), ხოლო მეორე მეზობელ მალში ჩაშვებულია სარემონტო საკეტები ორივე ბიეფის მხრიდან და მათ შორის არე განთავისუფლებულია წყლისაგან (ნახ. 7-21).

ბურჯის, მასზე მოთავსებულ სამალო ნაშენების და მოწყობილობათა წონის ძალები განისაზღვრება ჩვეულებრივი წესით — კონსტრუქციული ელემენტების წონათა გამოთვლის გზით და სათანადო ემპირიული ფორმულების გამოყენებით<sup>1</sup>.

საექსპლუატაციო მდგომარეობაში ჰიდროსტატიკური წნევის ძალები ზედა და ქვედა ბიეფიდან განისაზღვრება ფორმულებით:

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma H_1^2 (d+b); \quad (7-11)$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \gamma H_2^2 (d+b), \quad (7-12)$$

სადაც  $H_1$  და  $H_2$  საანგარიშო სიღრმეებია ზედა და ქვედა ბიეფებში;

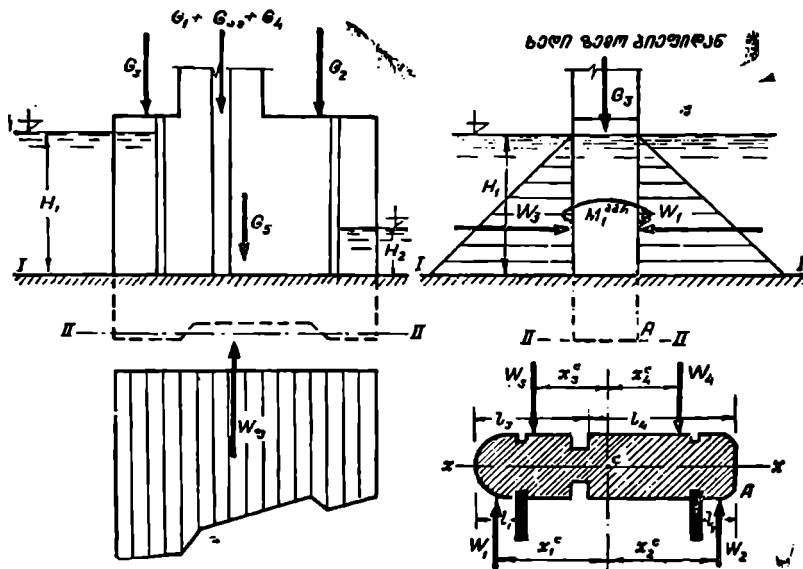
$b$  — კაშხალის წყალსაშვები მალის სიგანე.

ფილტრაციული და შემატივტივებელი წნევები განისაზღვრება 4 — 2 პარაგრაფში მოცემულ მითითებათა საფუძველზე.

სარემონტო მდგომარეობაში შუა ბურჯზე იმოქმედებს საექსპლუატაციო მდგომარეობაში მოქმედი ყველა ვერტიკალური ძალა, ხოლო ჰორიზონტალური ძალებიდან — გვერდითი ჰიდროსტატიკური წნევის ძალები (ნახ. 7-21):

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{2} \gamma H_1^2 l_1; \\ W_2 &= \frac{1}{2} \gamma H_2^2 l_2; \\ W_3 &= \frac{1}{2} \gamma H_3^2 l_3; \\ W_4 &= \frac{1}{2} \gamma H_4^2 l_4; \end{aligned} \right\} \quad (7-13)$$

<sup>1</sup> ნ. მოწონელიძე, ვ. მაღლაკელიძე, დაბალაწნევიანი სათავე ჰიდროკვანძი წყალსაშვები კაშხალით, მეთოდური სახელმძღვანელო საკურსო გეგმარის შესასრულებლად, სპი, თბილისი, 1970 წ.



ნახ. 7—21. ბურჯის საანგარიშო სქემები.

სადაც  $l_1, l_2, l_3$  და  $l_4$  ბურჯზე მოქმედი გვერდითი ჰიდროსტატიკური წნევის უბნების შესაბამისი სიგრძეებია.

სარემონტო მდგომარეობაში აღგილი აქვს აგრეთვე ბურჯის გრების მოვლენასაც, მაგრამ მისი გავლენა უმნიშვნელოა. 7-21 ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით ტოლქმედი მგრები მომენტი  $W_3$  და  $W_1$  ძალთა მოღების სიბრტყეში

$$M_{1, \text{გარ}} = W_3 \cdot x_3^c - W_1 \cdot x_1^c, \quad (7-14)$$

ხოლო  $W_4$  და  $W_2$  ძალთა მოქმედების სიბრტყეში

$$M_{2, \text{გარ}} = -(W_4 x_4^c - W_2 x_2^c). \quad (7-15)$$

ამ გამოსახულებებში  $x_1^c, x_2^c, x_3^c$  და  $x_4^c$  შესაბამისი ძალების მხრებია ბურჯის იმ ჰორიზონტალური კვეთების სიმძიმის ცენტრების მიმართ, რომლებშიც მოქმედებენ ეს ძალები. წარმოშობილ მხებ დაბეჭდვებს ექნება შემდეგი მნიშვნელობანი:  $M_{1, \text{გარ}}$  და  $M_{2, \text{გარ}}$  მომენტების მოქმედების სიბრტყეებს შორის კვეთებში

$$\tau'_{\max} = \frac{M_{1, \text{გარ}}}{W_{\text{გარ}}}; \quad (7-16)$$

ხოლო  $M_{2, \text{გარ}}$  მგრები მომენტის მოქმედების სიბრტყის ქვემოთ აღებულ კვეთებში

$$\tau'_{\max} = \frac{M_{1, \text{გარ}} - M_{2, \text{გარ}}}{W_{\text{გარ}}}, \quad (7-17)$$

სადაც  $W_{36}$  ბურჯის განივევების გრების წინაღობის მომენტია.

$$W_{36} = \frac{(m-0,63) d^3}{3}; \quad (7-18)$$

აქ  $m$  ბურჯის განივევების ზომების ფარდობაა,  $m = b/d$ .

მოყვანილ (7 — 16) და (7 — 17) გამოსახულებათა შედარება გვიჩვენებს, რომ გრენახე საჭიროა დაკმაყოფილდეს პირობა

$$\tau_{\max} = \frac{M_1, \text{ზრ}}{W_{36}} \leq [\tau], \quad (7-18)$$

სადაც  $[\tau]$  ბურჯის მასალისათვის დასაშვები ამხლეჩი ძაბვაა.

ნორმალური ძაბვები ბურჯის საანგარიშო კვეთებში გაიანგარიშება არათანაბარი კუმშვის ცნობილი ფორმულის გამოყენებით. შემოწმება ძერასა და გადაყირავებაზე ჩატარდება იმ ხერხების გამოყენებით, რომელთაც 5 — 7 პარაგრაფში გავეცანით.

ს ა ნ ა პ ი რ ო ბ უ რ ჯ ე ბ ი ს გ ა ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ა. წყალსაშვები კანხალის განაპირა სექციის ნახევარბურჯი, რომელიც შეერთებულია ნაგებობის გასწორში არსებული მიწის კაშხალთან ან სხვა ყრილთან, წარმოადგენს წყალსაშვების სანაპირო ბურჯს (ნახ. 7-3). იგი მუშაობს სხვა ნახევარბურჯებისაგან განსხვავებულ პირობებში, რადგან მასზე დამატებით მოქმედებს მიწისა და წყლის წნევები უკანა (უბის) მხრიდან. ეს დაწოლა საერთოდ შეიძლება იყოს მხიშენლოვანი, ამიტომ წყალსაშვები კაშხალის სექციის სანაპირო ბურჯს სისქეში აქვს უფრო დიდი ზომები, ვიდრე დანარჩენ ნახევარბურჯებს.

როდესაც სანაპირო ბურჯი მუშაობს მისი სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით, მაშინ იგი არსებითად წარმოადგენს ხისტ ფუძეზე — კაშხალის განაპირა სექციის საძირკველზე მდგარ საყრდენ კედელს. ქვედა საყრდენი კვეთის არადრეკადობასთან დაკავშირებით საჭიროა ეს გარემოება გათვალისწინებულ იქნეს სანაპირო ბურჯის, როგორც საყრდენი კედლის. გაანგარიშების დროს.

კლდოვანი ან საერთოდ მკვრივი ფუძეების შემთხვევაში სანაპირო ბურჯის გრძივი კედელი შეიძლება გამოყოფილ იქნეს წყალსაშვებიდან კონსტრუქციული ნაკერით. ასეთი სანაპირო კედლების გაანგარიშება ჩატარდება ჩვეულებრივი საყრდენი კედლების გაანგარიშების ანალოგიურად, მხოლოდ კონტაქტური ძაბვების ანგარიშის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ფუძის გრუნტის დამყოლობა. ამასთანავე, ცხადია, გათვალისწინებული უნდა იქნეს კედლის მუშაობა სხვადასხვა მდგომარეობაში: სამშენებლოში, როდესაც უახლოეს წყალსაშვებ ხერხეტი წყალი არ არის, და სექსპლუატაციონში, ძალთა შესაძლო არახელსაყრელი მოქმედების შემთხვევების გათვალისწინებით.

გარდა ჩვეულებრივი გაანგარიშებისა, სანაპირო ბურჯი უნდა შემოწმდეს ზღერული მდგომარეობის მეთოდის ანალოგიური მეთოდით, ამასთან განმსაზღვრელად უნდა ჩავთვალოთ ზღერული მდგომარეობა სიმტკიცის მიხედვით. ასეთი შემოწმების აუცილებლობა გაპირობებულია იმით, რომ ბურჯის საანგარიშო კვეთში მოქმედი ვერტიკალური ძალები შეიძლება პრაქტიკულად უცვლელი დარჩეს (რადგან ისინი წარმოადგენენ კედლისა და ნაწილობრივ

გრუნტის წონის ძალებს), მაშინ როდესაც, ამა თუ იმ მიზეზის გამო, ჰორიზონტალური წნევა შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს. ამიტომ არაცენტრალურ კუმშვაზე გაანგარიშების ჩვეულებრივმა მეთოდმა, რომელიც გულისხმობს ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალების ერთნაირი კოეფიციენტებით გაზრდას, შეიძლება არასწორი რეზულტატები მოგვცეს.

## თ ა ვ ი VIII

### თაღოვანი კაშხალები

#### § 8-1. ზოგადი ცნობები თაღოვანი კაშხალების შესახებ

თაღოვანი კაშხალები წარმოადგენს გეგმაში მრუდწრიული მოხაზულობის შემტორავ ნაგებობებს, რომლებიც გადასცემენ ჰორიზონტალურ დატვირთვების დიდ ნაწილს მთლიანად ხეობის კლდოვან ნაპირებს ან სპეციალურად აგებულ საყრდენ ბურჯებს. ასეთ კაშხალებს, ჩვეულებრივ, აგებენ ვიწრო და ღრმა ხეობებში, რომლებშიც განლაგებულია სათანადო სიმტკიცის კლდოვანი ქანები (ნახ. 8-1). აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ თაღოვანი კაშხალების განხორციელება შესაძლებელია საკმაოდ განიერ კალაპოტებშიც; ამას ადასტურებს თაღოვანი კაშხალების მშენებლობის ის გამოცდილება, რომელიც დაგროვდა ევროპის ქვეყნებში (იტალია, საფრანგეთი, პორტუგალია, შვეიცარია და სხვ.) მეორე მსოფლიო ომის შემდგომ პერიოდში.

თაღოვანმა კაშხალებმა, როგორც ეკონომიურად ხელსაყრელმა და ექსპლუატაციაში საიმედო ნაგებობებმა, დიდი ხანია მიიპყრო ყურადღება. არსებული ცნობებით პირველი თაღოვანი კაშხალი, რომელიც აშენდა იტალიაში 1611 წ. (პონტე ალტოს კაშხალი), იყო ქვის ხსნარზე წყობით, 5 მ სიმაღლისა და 15 მ რადიუსით; შემდეგ კი ამ კაშხალის სიმაღლეს თანდათანობით ზრდიდნენ 38 მ-მდე (1887 წ.). XIX ს. აშენებდნენ მცირე სიმაღლის თაღოვან კაშხალებს ევროპასა და აშშ-ებში, მაგრამ ამ კაშხალების მშენებლობა განსაკუთრებით ფართოდ დაინერგა XX ს. დღეისათვის მსოფლიოში უკვე განხორციელებულია 300-ზე მეტი თაღოვანი კაშხალი<sup>1</sup>, რომელთა სიმაღლე 30 მ-ზე მეტია. მათ შორის ყველაზე უფრო მაღალია ტინის კაშხალი საფრანგეთში (180 მ), მოვუაზენისა შვეიცარიაში (237 მ) და ვაიონტისა იტალიაში (266 მ). მშენებლობის სტადიაშია უნიკალური სიმაღლის (271, 5 მ.) ენგურის თაღოვანი კაშხალი საქართველოში (ნახ. 8-18).

განასხვავებენ საკუთრივ თაღოვან კაშხალებს, რომელთა სისქე ფუძეში შეადგენს სიმაღლის 5—15-დან 35%-მდე, და თაღოვან-გრავეიტაციულ კაშხალებს, რომელთა ფუძის სისქისა და სიმაღლის ფარდობა შეადგენს დაახლოებით 35—65%. შედარება გვიჩვენებს, რომ თაღოვანი კაშხალების სისქე 2—4-ჯერ, ხოლო ზოგჯერ 6—8-ჯერ და კიდევ უფრო მეტჯერ ნაკლებია. ეიღრე შესაბამისი სიმაღლის მასიური გრავეიტაციული კაშხალებისა. მაგრამ, რამდენადაც გეგმაში მრუდწრიული თაღოვანი კაშხალების სიგრძე უფრო

<sup>1</sup> Апрочные плотины (Труды научно-технического совещания по апрочным плотинам), Под общей редакцией А. А. Борового, Госэнергоиздат, М. -Л., 1961.



მეტია, ვიდრე სწორხაზოვანი გრავიტაციული კაშხალებისა, ბეტონის მოცულობა თაღოვან კაშხალებში მიიღება მხოლოდ 1,2—4-ჯერ უფრო ნაკლები, ვიდრე გრავიტაციულში. ფუ-  
ლადი დაბანდების ეკონომია იქნება წყობის ეკონომიაზე რამდენადმე უფრო ნაკლები, რადგან თაღოვანი კაშხალების ბეტონი 10—15%-ით ძვირია. ვიდრე გრავიტაციულისა.

თაღოვანი კაშხალის ფარ-  
დობითი სისქე, ანუ ეგრეთ წო-  
დებული მოყვანილობის  
კოეფიციენტი  $k = \frac{B}{H}$

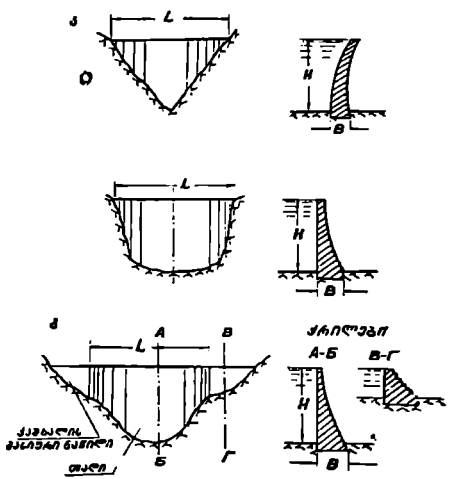
( $B$  — კაშხალის სიგანე ძირში,  $H$  — მისი უდიდესი სიმაღლე),  
დამოკიდებულია კაშხალის გა-  
სწორში ხეობის განივი კვეთის  
ფორმაზე. რომელიც ხასიათ-  
დება გასწორის კოეფიციენ-  
ტით —  $n = \frac{L}{H}$ , სადა  $L$  გა-

სწორის სიგანეა კაშხალის  
თხემის სიმაღლეზე.

გეოლოგიური და ტოპოგრაფიული პირობები. ეკო-  
ნომიურად ხელსაყრელი თაღოვანი კაშხალები შეიძლება აშენდეს მხოლოდ  
შესაფერის გეოლოგიურ და ტოპოგრაფიულ პირობებში.

კაშხალის ფუძის გეოლოგიურმა პირობებმა უნდა უზრუნველყოს მნიშ-  
ვნელოვანი დატვირთვების მიღების შესაძლებლობა. ამ მხრივ დიდი მოთხო-  
ვნილებანი წაუყენება ხეობის ნაპირებს, ხოლო მნიშვნელოვნად უფრო ნაკლები  
— ხეობის ფსკერს. ასეთ პირობებს აკმაყოფილებს მხოლოდ კლდოვანი  
ქანები, რომელთაგან მოითხოვება მონოლითურობა, მცირე დეფორმადობა.  
წყალშეუღწეობა, წყალმედვობა და მაღალი მექანიკური სიმტკიცე. თაღოვ-  
ანი კაშხალების ფუძეებად დიდი უპირატესობით სარგებლობს ამოფრქვეული  
ქანები — გრანიტები, პორფირიტები, ბაზალტები, დიაბაზები და სხვ. მაგრამ  
ამასთანავე გათვალისწინებული უნდა იქნეს, რომ ზმირად, ეფლუვიური ქანები  
(ბაზალტები, დიაბაზები, პორფირიტები) და მათი მსგავსი წარმოშობის ქანე-  
ბი), მიუხედავად იმისა, რომ ეფულებიან მაღალ სიმტკიცეს, ხასიათდებიან  
მნიშვნელოვანი ფორიანობით და ბზაროვნობით, რაც მოითხოვს სპეციალურ  
ლონისძიებათა ჩატარებას (სამაგრებელ ცემენტაციას). თაღოვანი კაშხალებ-  
ის ფუძეებად დასაშვებია ისეთი მაგარი დანალექი ქანებიც, როგორცაა  
ქვიშაქვები და კირქვები. არახელსაყრელია შემთხვევა, როდესაც ფუძის  
ქანები ჰორიზონტალურ ფენებადაა განლაგებული ანდა ფენები დაქანებულია  
ქვედა ბიფისაკენ.

უქანსკენელ წლებში ფუძეების გამაგრების ტექნიკის განვითარებამ  
მნიშვნელოვნად გააფართოვა თაღოვანი კაშხალებისათვის გამოსადეგ ფუძე-



ნახ. 8—1. თაღოვანი კაშხალების პროფილები ხეობის  
სხვადასხვა ფორმის დროს.

თა დიაპაზონი. ამის შედეგად მრავალი გასწორი, რომლებიც ადრე უარყოფილი იყო გეოლოგიური მოსაზრებებით, მიჩნეულია თაღოვანი კაშხალების მშენებლობისათვის გამოსადეგად. ამჟამად თაღოვან კაშხალებს აგებენ აგრეთვე გეოლოგიური აგებულებით ჭრელ, შედარებით დამყოლ კლდოვან ფუძეებზეც, ფართოდ იყენებენ რა მათი გამაგრების ღონისძიებებს. საექსპლუატაციო გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ზოგჯერ კლდის დეფორმაცია 5—10-ჯერ აღემატება ბეტონის დეფორმაციას. როსენის კაშხალი შვეიცარიაში, რომლის სიმაღლე 83 მ-ია, აგებულია ძლიერ დეფორმირებად ანიზოტროპიულ ქვიშაქვებზე და ქვიშა-მერგელოვან ფიქლებზე. რომელთა დრეკადობის მოდული შეადგენს ბეტონის დრეკადობის მოდულის  $\frac{1}{10} - \frac{1}{15}$

მოვუაზნის კაშხალი შვეიცარიაში აგრეთვე აგებულია კაოვან ფიქლებზე. რომლებიც მონაცვლეობენ თიხოვან-ნახშირიან ფიქლების ფენებთან. ამ კაშხალის ფუძეში არის ტექტონიკური დარღვევები და გადიდებული ბზაროვნობის ზონები.

სალამონდის 78 მ სიმაღლის, ხოლო ფუძეში 6,35 მ სისქის თაღოვანი კაშხალი პორტუგალიაში აგებულ იქნა 1953 წ. ბზაროვან გრანიტებზე, რომლებიც გადაკვეთილი იყო მრავალრიცხოვანი, მათ რიცხვში ღია, ბზარებით.

თაღოვანი კაშხალების მშენებლობამ ფრიად რთულ გეოლოგიურ პირობებში მოითხოვა მათი გულდასმით გათვალისწინება ნაგებობათა კონსტრუქციებში და სპეციალურ სამშენებლო ღონისძიებათა ჩატარება.

ფუძეებისა და ხეობათა ბორტების გასამაგრებლად ფართოდ გამოიყენება ცემენტაცია. ასე, მაგალითად, მოვუაზნის კაშხალის ფუძეში საცემენტაციო კაბურღილების სიგრძემ 40 000 მ-ს მიაღწია, ამასთან ცალკეული კაბურღილების სიგრძე 200 მ-მდე აღწევდა, ხოლო დასამუშავებელი ზონის საერთო ფართობი — 240 000 მ<sup>2</sup>-მდე. მნიშვნელოვანი ცემენტაციური სამუშაოები ჩატარდა ტინის კაშხალის ფუძეში, სადაც ადგილი ჰქონდა წყლის გაღინების საშიშროებას ქვედა ბიფისაყენ დახრილ მტკიცე, მაგრამ ძლიერ ბზაროვან კვარციტებში.

კლდოვანი ფუძეების გამაუმჯობესებელ ღონისძიებებს მიეკუთვნება ბზარების (ნაპრალების) ბეტონით დატამპონება (ჩატენა) და არასაიმედო კლდოვანი უბნების დაარმატურება. ჩვენში დატამპონება გამოყენებული იყო გერგებლის კაშხალის მშენებლობის დროს.

ღიდი ყურადღება უნდა მიექცეს ფუძის დეფორმირებადობის შესწავლას ნატურულ პირობებში (განსაკუთრებით კაშხალის შეერთების ადგილებში) ცემენტაციამდე და ცემენტაციის შემდეგ, დრეკადობის მოდულის განსაზღვრას ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით და სხვა მნიშვნელოვან საანგარიშო მახასიათებლების დადგენას.

თაღოვანი კაშხალების ეკონომიურობის საკითხში არსებით როლს ასრულებს გასწორის ტოპოგრაფიული პირობები. ექიმშეკეტი მნიშვნელობა ენიჭება  $n$  გასწორის კოეფიციენტი. თითქმის უკანასკნელ დრომდე აუცილებლობად იყო მიჩნეული, რომ მისი მნიშვნელობა არ უნდა ყოფილიყო 3—3,5-ზე მეტი, ხოლო სუფთა თაღოვანი კაშხალებისათვის — 1,5—2-ზე მეტი. ამჟამად აგებმარებენ და აშენებენ საკმაოდ ეკონომიურ კაშხალებს ისეთ ხეობებშიც, რომელთა გასწორის  $n$  კოეფიციენტი 7—8-მდე აღწევს. ამ თვალსაზრისით ფრიად საყურადღებოა პიევე დი კადორეს კაშხალი იტალიაში,

რომლის ზედა ნაწილში  $n=7,45$  (ნახ. 8-12). ცნობილი იტალიელი ინჟინრის ქ. სემენცას აზრით, თაღოვანი კაშხალები შეიძლება აღმოჩნდეს ეკონომიური უფრო ვანიერ ხეობებშიც, კერძოდ, როდესაც  $n$  ცვალებადობს 9-მდე. ხოლო დიდი კაშხალების მშენებლობისადმი მიძღვნილ VII მსოფლიო კონგრესის მასალების მიხედვით — 11-მდე.

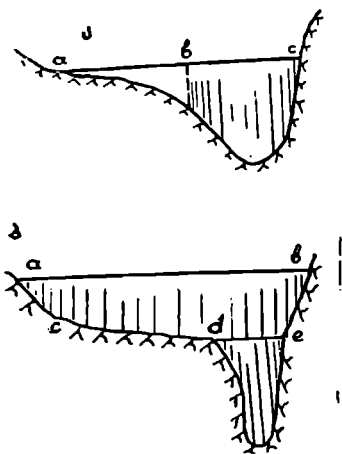
$n$  კოეფიციენტის ერთი და იმავე მნიშვნელობის დროს გასწორის კვეთის ფორმა შეიძლება იყოს სხვადასხვანაირი: დაახლოებით სწორკუთხოვანი, ტრაპეციოდალური და სამკუთხოვანი; გვხვდება ისეთი ფორმის ხეობებიც, რომელთაც აქვთ ამობურცული ფერდობები (ნახ. 8-1 გ).

თაღოვანი კაშხალის ასაგებად ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია ხეობის ისეთი ფორმები, რომლებიც უახლოვდებიან სამკუთხედს (ნახ. 8-1 ა). ამ შემთხვევაში კაშხალის ქვედა პორიზონტალურ კვეთებს, რომლებიც განიცდიან დიდ ჰიდროსტატიკურ წნევას, გააჩნიათ უფრო მცირე მალეები. რაც საშუალებას იძლევა ისინი შესრულდეს უფრო თხელი, ვიდრე გასწორის სწორკუთხოვანი ან ტრაპეციოდალური ფორმის კვეთების შემთხვევაში, რომელთა დროს თაღების მალეები მუდმივია ან მცირედ ცვალებადობს სიმძლავრეზე. ასეთ პირობებში, ცხადია, ფუძისაკენ ჰიდროსტატიკური წნევის გადიდებასთან ერთად თაღის კვეთების სისქეც უნდა იზრდებოდეს (ნახ. 8-1 ბ).

ფრიალ საყურადღებოა აგრეთვე თაღოვანი კაშხალის გეგმაში მოთავსების საკითხი. ყველაზე უფრო ხელსაყრელია მისი მოთავსება ხეობის შევიწროებული ნაწილის რამდენადმე წინ, რადგან ამ შემთხვევაში კაშხალის მხრები (ქუსლები) დაეყრდნობა ხეობის მიახლოებულ ფერდობებს (ნახ. 8-16). თუ მდინარე მიედინება ჩაღრმავებულ კალაპოტში, ხოლო ველის ფერდობები საქმარისად დამრეცია, მაშინ ნარწყულის უბნებს გადაღობავენ გრავიტაციული კაშხალებით, რომლებიც შეასრულებენ კალაპოტში ამოყვანილი თაღოვანი კაშხალის მისაბრჭენების როლს (ნახ. 8-1 გ). კაშხალის აღნიშნული გრავიტაციული ნაწილები თაღოვანისაგან გამოყოფილია დეფორმაციული ნაკერებით.

კაშხალის ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად და, მამსადაამე. მასში ძაბვათა ხელსაყრელი განაწილებისათვის უპირატესობა ენიჭება ხეობის სიმეტრიულ ფორმას; არასიმეტრიული კვეთების შემთხვევაში წარმოიშობა ადგილობრივი ძაბვები, რომლის დროსაც შესაძლებელია გასწორის *ab* ნაწილში მოეწყოს გრავიტაციული კაშხალი (ნახ. 8-2 ა), რომელიც ამავე დროს შეასრულებს თაღოვანი ნაწილის მისაბრჭენის მოვალეობას. ამავე პირობებში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს თაღოვანი და კონტრფორსული კაშხალებს კომბინაცია, რომლის დროსაც თაღოვანი კაშხალით გადაიხურება ხეობის ყველაზე ღრმა, ხოლო კონტრფორსულით — ხეობის მკვეთრად გაგანიერებული ნაწილი.

აღნიშნულ შემთხვევაში კაშხალის აგების საკითხი შეიძლება სხვაგვარადაც გადაწყდეს. მაგალითად. 8-2 ბ ნახაზზე ნაჩვენებ შემთხვევაში აწყობენ თითქოსდა ორ თაღოვან კაშხალს, *abcde* და *def*, რომლებიც მნიშვნელოვანწილად მუშაობენ დამოუკიდებლად, რადგან ისინი ერთმანეთისაგან გამოყოფილია პორიზონტალური ნაკერებით; ცალკეულ შემთხვევებში ჩვედა *def* ნაწილი შეიძლება შესრულდეს გრავიტაციული ან თაღოვანი, ხოლო ზედა *abcd* ნაწილი — კონტრფორსული კაშხალის სახით (მაგალითად, თაღოვან-კონტრფორსულით).



ნახ. 8—2. ხეობის არასიმეტრიული კვანძები.

თაღოვანი კაშხალების დამახასიათებელი პროფილები უკანასკნელი ორი-სამი ათეული წლის მანძილზე თაღოვანი კაშხალებისადმი დიდ ყურადღებას იჩენენ მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, განსაკუთრებით კი იტალიაში, საფრანგეთსა და პორტუგალიაში. მარტო საფრანგეთში ომის შემდგომ ოც წელიწადში აიგო 30-ზე მეტი თაღოვანი, ხოლო ამავე პერიოდში მხოლოდ 8-მდე გრავიტაციული კაშხალი. დაახლოებით იმავე პერიოდში (1945 — 1965 წწ.) იტალიაში აშენდა 40-ზე მეტი თაღოვანი, ხოლო 10-მდე გრავიტაციული კაშხალი, რომელთა შორის ნახევარი ღრუტანიანია. ამგვარად, იტალია და საფრანგეთი, სადაც თაღოვანმა კაშხალებმა მნიშვნელოვნად გამოაძევა გრავიტაციული, გახდნენ თაღოვანი კაშხალების ქვეყნები.

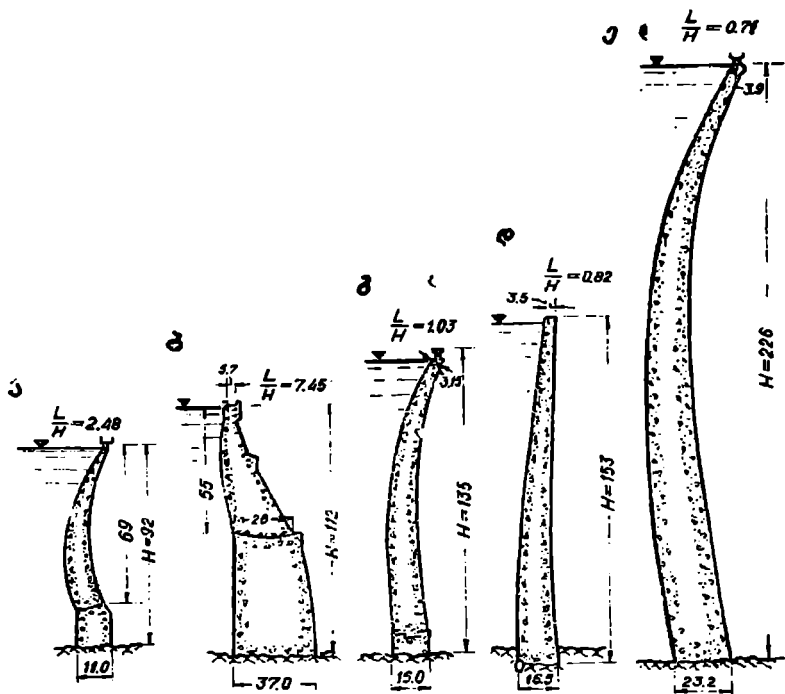
მიუხედავად იმისა, რომ მეორე მსოფლიო ომის შემდგომ პერიოდში თაღოვანი კაშხალების მშენებლობით იტალიამ პირველი ადგილი დაიკავა მსოფლიოში, აგებული თაღოვანი კაშხალების საერთო რაოდენობის მიხედვით იგი მაინც მეორე ადგილზეა აშშ-ების შემდეგ.

იტალიაში თაღოვანი კაშხალების მშენებლობის ყველაზე უფრო დამახასიათებელი ტენდენციებია: თაღოვანი კაშხალების სიმაღლის მნიშვნელოვანი გაზრდა, კონსტრუქციის სიმსუბუქე და მოხდენილობა — აგებულია დიდი რაოდენობა კაშხალებისა, რომელთა სისქის ფარდობა სიმაღლესთან 0,15-ზე ნაკლებია; მათ შორის არის რამდენიმე კაშხალი, რომელთა მოყვანილობის  $k = \frac{B}{H}$  კოეფიციენტი 0,09-ზე ნაკლებია; მკვეთრად გამოსახულია

მისწრაფება ორმაგი სიმრუდის თაღოვანი კაშხალების მშენებლობისაკენ (ვალ-გალინას, ლუმეისის, ვაიონტის და სხვა კაშხალები). გარდა ამისა, დასახულია თაღოვანი კაშხალების მშენებლობა არასიმეტრიულ ხეობებშიც, მაგრამ ცენტრალური ვერტიკალური სიბრტყის მიმართ კაშხალის სიმეტრიულობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა გამოყენებულ იქნეს სპეციალური ხერხები. ამ მიზნით კრიან ხეობის ნაპირებს, აგებენ ბეტონის გრავიტაციულ მისაბრჭვენებს (კოჩინელიკის კაშხალი) და აწყობენ ბალიშ-საცობებს. დამახასიათებელია, რომ იტალიაში აგებულ მრავალ თანამედროვე თაღოვან კაშხალს მოწყობილი აქვს პერიმეტრული ნაკერი, რომლითაც კაშხალი მოჭრილია ფუძისაგან. იტალიელი მეცნიერები და მშენებლები (ჯ. სემენცა, გ. ობერტი) თვლიან, რომ ნაკერებიან კაშხალებს აშკარა უპირატესობანი გააჩნიათ.

გარდა სუფთა თაღოვანი კაშხალებისა, იტალიაში აგებენ აგრეთვე თაღოვან-გრავიტაციულ კაშხალებს ფართო კალაპოტებში. მათ საილუსტრაციოდ ჩვენ ზემოთ მოვიხსენიებთ პიევე დი კალორეს კაშხალი, რომლის ხეობის მაჩვენებელი  $n = \frac{L}{H} = 7,45$ .

იტალიაში აგებული ზოგიერთი თაღოვანი კაშხალის პროფილები ნაჩვენებია 8-3 ნახაზზე.



ნახ. 8—3. იტალიის ზოგიერთი თალოვანი კაშხალის პროფილი:

ა—ვალ გალინას კაშხ. (1948—1952 წ.); ბ—პიევე დი კალორეს კაშხ. (1947—1950 წ.); გ—ლუმიის კაშხ. (1941—1947 წ.); დ—სანტა ჟუსტინას კაშხ. (1946—1951 წ.); ე—ვაიონტის კაშხ. (1956—1960 წ.).

საფრანგეთში თალოვანი კაშხალების მშენებლობას შემდეგი თავისებურებები ახასიათებს: ფართო გასაქანი მიეცა მაღალ, 100 მ-ზე მეტი სიმაღლის კაშხალებს (მათ მაგალითებს წარმოადგენენ კასტიონის კაშხალი — 100 მ. ბორის — 120 მ, ტინის — 180 მ და სხვ.); მშენებლობა წარმოებს უფრო არახელსაყრელ გეოლოგიურ პირობებში — ბზაროვანი კლდოვანი და არაერთგვაროვანი ფუძეების გამოყენებით, რაც დაკავშირებულია ფუძეების გამაგრებისა და გაუმჯობესების რთული ღონისძიებების ჩატარებასთან; სავსებით დამკვიდრდა ტენდენციები თალოვანი კაშხალების სისქის მნიშვნელოვანი შემცირებისა და თხელკედლიანი კონსტრუქციების გამოყენებისა (ფრანგული თალოვანი კაშხალებიდან უველაზე უფრო გაბეღული კონსტრუქციისაა 38 მ სიმაღლისა და 1,3-დან 3 მ-მდე სისქის გაყის კაშხალი და 88 მ სიმაღლის ტოლას კაშხალი, რომლის სისქე თხემთან კლიტეში შეადგენს 1,5 მ, ხოლო ფუძეში — 2 მ); ასევე აღინიშნება ტენდენციები ცილინდრული გარსის ტიპის ზედა ვერტიკალური და ქვედა მრუდწირული მოხაზულობის წახნაგებიანი თალოვანი კაშხალების მშენებლობისა. მაგალითად, ზემოხსენებული 180 მ სიმაღლის ტინის კაშხალის ზედა წახნაგი ვერტიკალურია და მოხაზულია 150 მ

სიკრძის რადიუსით, ხოლო ქვედა წახნაგი წარმოადგენს მრუდწირულ ზედაპირს, რომელიც ფუძესთან ახლოს გადადის ვერტიკალურში (ნახ. 8-4 ა). ასევე კასტიონის, ეგლის, სენ-პიერ-კონიეს, გაჟის და სხვა კაშხალების ზედა წახნაგებს აქვთ ვერტიკალური ცილინდრის მარტივი ფორმები, მათი ქვედა წახნაგები კი დახრილია.

აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ ზოგიერთი თანამედროვე ფრანგული კაშხალი. მაგალითად, ანშანეს — 75 მ (ნახ. 8-4 ბ), კუესკის-ნ6 მ და რამდენიმე სხვა მნიშვნელოვნად დახრილია ქვედა ბიეფისაკენ. გარდა ამისა, უკანასკნელ წლებში საფრანგეთში აშენდა სიმალღეზე მუდმივი ან თითქმის მუდმივი სისქის რამდენიმე კაშხალი (ბიოჟის, მულენ-რიბუს, ნაწილობრივ კი გაჟის და ტოლასი).

საფრანგეთში აგებული თაღოვანი კაშხალების უმრავლესობა წყალსაშვე-ბიანია. მათი დამახასიათებელია ნაკადის ენერჯის ჩაქრობა ჰაელების შეჭა-ხების საშუალებით.

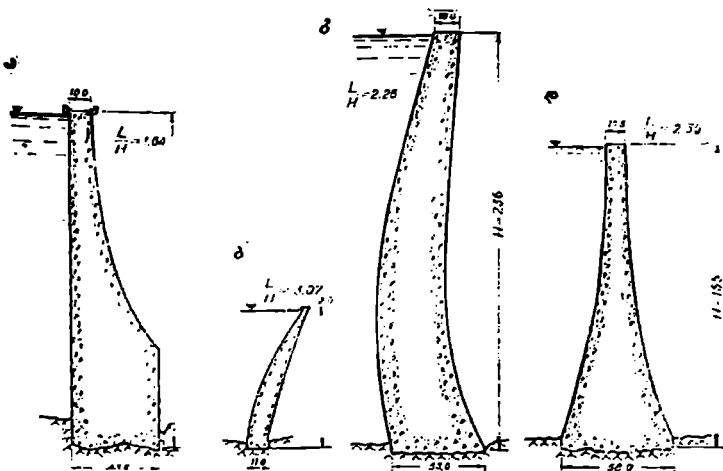
ომის შემდგომი პერიოდის ოცი წლის მანძილზე შვეიცარიაში აგებულ იქნა 12 თაღოვანი და თაღოვან-გრაჰიტაციული კაშხალი. მათ რიცხვს მი-ეკუთვნება მოვუაზენის 237 მ სიმაღლის, ცოციერის — 160 მ, ცერვეილას — 151 მ, მუარის — 145 მ და სხვა კაშხალები. უმრავლესობა აგებულია ვიწრო ხეობებში და წარმოადგენს ყრუ კაშხალებს. მოვუაზენის ზემალა კაშხალს. რომელიც ამასთანავე მნიშვნელოვანი სისქისაა, არა აქვს მოწყობილი პერი-მეტრული ნაკერი (ნახ. 8-4 გ).

წყალსაშვეები თაღოვანი კაშხალების დამახასიათებელ მაგალითებს წარ-მოადგენს პორტუგალიაში აგებული ბოსანის — 70 მ, კანსილას — 76 მ და კასტელუ-დუ-ბოდის 115 მ სიმაღლის კაშხალები. ამ უკანასკნელის წყალსა-შვეები გაანგარიშებულია 4000 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯის გამტარობაზე.

აშშ-ებში ამჟამად უპირატესობას ანიჭებენ გრაჰიტაციულ კაშხალებს, რადგან რიგ მშენებარე ობიექტებზე ხეობის გასწორები შეუფერებელია თა-ღოვანი კაშხალების ასაგებად. გარდა ამისა, გრაჰიტაციული კაშხალების უპი-რატეს მშენებლობას ამერიკელი ინჟინრები ასაბუთებენ ბეტონის წყობის პროცესის მალალი ტემპების მიღწევის შესაძლებლობით ფართო მექანიზა-ციის გამოყენების საფუძველზე და აშშ-ებში ცემენტის შედარების სითაფითა.

აშშ-ებში თაღოვანი კაშხალები ძირითადად აგებულია 1950 წლამდე. მათი პროექტები ითვალისწინებს თანამედროვე ევროპულ კაშხალებთან შე-დარებით უფრო „ფრთხილ“ გადაწყვეტას. 8-4 დ ნახაზე ნაჩვენებია 50-იან წლებში აგებული 165 მ სიმაღლის როსის კაშხალის პროფილი, რომლის სისქე თხემთან 10,5 მ-ის ტოლია, ხოლო ფუძეში — 58 მ-ისა. 1950 — 1965 წლებში აშშ-ებში აშენდა რვა თაღოვანი და თაღოვან-გრაჰიტაციული კაშხალი, მათ შორის გლენ-კანიონის 213,5 მ სიმაღლისა და ფუძეში 86,3 მ სისქის თაღო-ვან-გრაჰიტაციული, ფლემინგ-გორჯის 149,4 მ და ბაუნდერის 117 მ (ნახ. 8-7) სიმაღლის თაღოვანი კაშხალები.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ქვეყნებისა, თაღოვან კაშხალებს აგებენ რაგ სხვა ქვეყნებშიც, მათ შორის: ავსტრიაში, ესპანეთში, იუგოსლავიაში, ჩინეთ-სა და იაპონიაში. განსაკუთრებით საინტერესოა მშენებლობის იაპონური პრაქტიკა. ამ ქვეყანაში 1950 წლამდე საერთოდ არ აშენებდნენ თაღოვან კაშხალებს, მაგრამ უკანასკნელი ორი ათეული წლის მანძილზე, მიუხედავად



ნახ. 8-4. ზოგიერთი ქვეყნის თაღოვანი კაშხლების დამახასიათებელი პროფილები:

ა — ტინის კაშხ. (საფრ. 1948—1952 წ.); ბ — ანშანეს კაშხ. (საფრ. 1946—1950 წ.); გ — მოკუა-ზენის კაშხ. (შვეიცარია, 1951—1958 წ.); დ — როსის კაშხ. (აშშ, 1937—1949 წ.).

იაპონური გასწორების დიდი სეისმურობისა, განხორციელდა რიგი საინტერესო და გაბედული პროექტებისა.

ჩინეთში სახალხო რესპუბლიკის დამყარებიდან 10—12 წლის მანძილზე აგებულ იქნა ორი მრავალთაღოვანი და რამდენიმე თაღოვანი კაშხალი ვერტიკალური სადაწნეო წახნაგით. უკანასკნელთაგან აღსანიშნავია ბანცზიანის 45,3 მ და ლიუსუნეს 82 მ სიმაღლის სუფთა თაღოვანი და სიანხუნდიანის თაღოვან-გრავიტაციული კაშხალი, რომელსაც აქვს სიმაღლე 83,5 მ, სიგრძე თხემზე — 364 მ, მუდმივი რადიუსი — 180 მ და სისქე ფუძეში — 39 მ.

#### § 8-2. თაღოვანი კაშხალის დამაგრება და კონსტრუქცია

ჩვეულებრივ, თაღოვან კაშხლებს გეგმაში აქვს წრიული მოხაზულობა, რაც მიზანშეწონილია, რადგან სხვა ფორმის თაღებთან შედარებით იგი მკერემომენტანია — პილროსტატიკური დატვირთვისაგან წარმოქმნილი წნევის წირი ძალიან უახლოვდება თაღის ღერძულ ხაზს; მეორე მხრივ, ასეთი ფორმა ხელსაყრელია სამშენებლო სამუშაოთა წარმოების თვალსაზრისითაც.

უკანასკნელ ხანებში ხეობათა ფართო გასწორებში თანდათანობით გამოიყენება გეგმაში ცვლადი სიმაღლის მქონე ელიფსური ან პარაბოლური მოხაზულობის თაღოვან-გრავიტაციული კაშხლები.

აღებულ პორიზონტალურ კვეთში თაღოვანი კაშხალის სისქე მუდმივია. მაგრამ იმის გამო, რომ მუდმივისიქიან თაღებში ძაბვები ქუსლებისაკენ იზრდება, საჭიროა ქუსლებთან ახლო კვეთებში ისინი კონსტრუქციულად რამდენადმე გასქელდეს. ამასთანავე უნდა გვახსოვდეს, რომ ზომაზე მეტა გასქელება, როგორც ქვემოთ დავინახავთ (§ 8-3), არ აღუმჯობესებს მდგომარეობას.

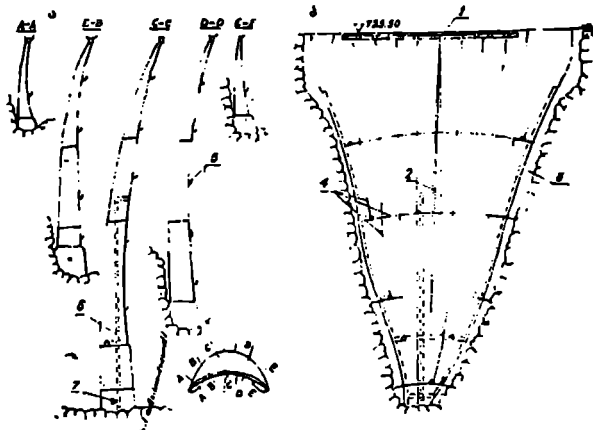
თეორიული გაანგარიშებები გვიჩვენებს, რომ თაღებში ძაბვები მით უფრო მცირეა, რაც უფრო მცირეა თაღის რადიუსი და რაც უფრო დიდია მისი ცენტრალური  $2\alpha$  კუთხე. დეტალური ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ თაღის პორიზონტალური კვეთის ფართობი და მასალის მოცულობა მაშინ მიიღება მინიმალური, როდესაც ცენტრალური კუთხე  $2\alpha = 150-180^\circ$ . იგულისხმება, რომ ეს კუთხე იქმნება იმ რადიუსებით, რომლებიც გადიან თაღის სადაწნეო წახნაგის რკალისა და კლდის გადაკვეთის წერტილებში და რომ ამ კუთხით ხასიათდება თაღზე ჰიდროსტატიკური წნევის გადაცემის ზონა.

ერთმანეთისაგან განარჩევენ: ა) მუღმიერადიუსიან და ბ) ცვალებადრადიუსიან, ანუ, როგორც ხშირად უწოდებენ, მუღმიერ ცენტრალურკუთხიან თაღოვან კაშხალებს. XIX ს. ბოლოს, ხოლო უფრო იშვიათად მიმდინარე საუკუნის პირველ ნახევარშიც, თაღოვან კაშხალებს აგებდნენ მუღმიერ რადიუსიანს. კაშხალების ასეთი მოხაზულობის დროს მისი სადაწნეო წახნაგი გამოდის ვერტიკალური, ხოლო ქვედა წახნაგი — დახრილი ფუძისაკენ კაშხალის სისქის ზრდასთან დაკავშირებით, ამასთან სადაწნეო მხარეზე კაშხალი გეგმაში მოიხაზება სიმაღლეზე მუღმიერ (ან თითქმის მუღმიერ), ხოლო ქვედა ბიეფის მხარეზე ცვალებადრადიუსიანი კონცენტრული რკალებით. თაღოვანი კაშხალის ასეთი ტიპი უფრო გამოსაყენებელია ხეობის სწორკუთხოვან და ტრაპეციოიდალური ფორმის განივ კვეთებში, რომლებშიც ამასთანავე შეიძლება შენარჩუნებულ იქნეს თაღოვანი კაშხალის ორივე პარამეტრი — მუღმიერი მინიმალური რადიუსი და მუღმიერი ცენტრალური კუთხე მთელ სიმაღლეზე (ნახ. 8-1 ბ). მუღმიერადიუსიან თაღოვან კაშხალებს მიეკუთვნება 30-იან წლებში აშშ-ებში აგებული გიბსონის 60 მ და დედუდის 46 მ სიმაღლის კაშხალები, რომელთა სისქე ფუძეში შეადგენს სათანადოდ 26,5 და 15,54 მ., აგრეთვე ზემოხსენებული ტინის — 180 მ, ბანცხიანის — 45,5 მ, ლუსიხეს — 82 მ და სიანხუნდიანის — 83,5 მ სიმაღლის თანამედროვე კაშხალები (ნახ. 8-4 ა).

ამჟამად ხეობის ტრაპეციოიდალური და სამკუთხოვანი ფორმის განივკვეთებში ყველაზე უფრო გავრცელებულია ცვალებადრადიუსიანი თაღოვანი კაშხალები მუღმიერი ცენტრალური კუთხით. ამასთანავე უნდა შევნიშნოთ, რომ პრაქტიკაში ადგილის მოშანდაკების სირთულის გამო მუღმიერი  $2\alpha$  ცენტრალური კუთხის შენარჩუნება ყოველთვის არ ხერხდება, მაგრამ ეს სასურველია. საქმე ის არის, რომ დატვირთვის ზრდასთან დაკავშირებით ქვემოთკენ რადიუსების შემცირება და დიდი ცენტრალური კუთხის შენარჩუნება იძლევა კაშხალების ეკონომიურ პროფილებს. ასეთი კაშხალების მაგალითებს წარმოადგენს ვალ-გალინას, ლუმიეის (ნახ. 8-3 გ), ვაიონტის (ნახ. 8-5), ხოგანის (ნახ. 8-8), მოვეუზენის (ნახ. 8-4 გ), ანშანეს (ნახ. 8-6), მარეყის (საფრანგეთი) და სხვა კაშხალები; აგებული კაშხალების ზედა თაღებში  $2\alpha$  კუთხე მერყეობს 110-დან 140°-მდე, ხოლო ქვედა თაღებში — 70 — 90°-ის ფარგლებში.

კაშხალის პროფილის ძირში სისქის წინასწარ დასანიშნავედ შეიძლება ვისარგებლოთ ინჟ. ა. სტუკის მონაცემებით, ხოლო მუღმიერადიუსიანი კაშხალისათვის, როდესაც ამასთანავე ცენტრალური კუთხე დაახლოებით 140°-ის ტოლია, ფ. ტოლკეს მონაცემებით. ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია ვისარ-





ნახ. 8-5. ეიონტის კაშხალი (იტალია):

- 1—პროფილები; 2—ხედი ქვედა ბიეფიდან; 1—წყალსაგდები ხერცებები; 2—სემეტრის ღერი; 3—სამძიკველი (უნაგირი); 4—შუა (სამშენებლო) ნაკერები; 5—სასამაბურო ხილები; 6—სადრენაჲო მილები; 7—საცემენტაციო გალერეა.

გებლოთ იმ გრაფიკით, რომელიც 1961 წ. შეადგინა „პიდროპროექტმა“ 1945 წ. შემდეგ აგებულ 65 ეკონომიური ტიპის თაღოვანი კაშხალის ანალიზის საფუძველზე (ნახ. 8-7).

კაშხალის ჩახაზვა გახწორში. თაღოვანი კაშხალის მოთავსება კლდის ზედაპირის პორიზონტალური გეგმაში წარმოებს სინჯვის წესით, ე. ი. კაშხალის გეგმისა და მისი პროფილის ფორმის თანდათანობით დაზუსტების გზით. ამ მიზნით კაშხალს სიმაღლეზე ყოფენ პორიზონტალურ სექციებად — თაღებად, შემდეგ არჩეული რაღიუსით გეგმაზე პირველად დააქვთ კაშხალის სიმაღლის შუა მესამედის თაღი, რომელიც მუდმივცენტრალურკუთხიან კაშხალებში ყველაზე უფრო დაძაბული და ამასთან ყველაზე სქელიცაა (ქვედა მესამედი მუშაობს უფრო მეტად როგორც კედელი), დანარჩენი თაღოვანი რგოლების ჩახაზვა გეგმაში წარმოებს მიმდევრობით ისე, რომ ზემოთ მოთავსებული თაღის სადაწნეო წახნაგი არსად არ უნდა კვეთდეს მის ქვემოთ მოთავსებულ თაღის სადაწნეო წახნაგს, გარდა ქუსლებისა, და იმყოფებოდეს ყველაზე სქელი თაღის შიგნით; ჩახაზვაში თაღის ქვედა წახნაგი შეძლებისდაგვარად უნდა ეხებოდეს ქვედა თაღის ქვედა წახნაგს კლიტეში ანდა გადიოდეს მისი კონტურის შიგნით. ამ პირობების დაცვით მუდმივკუთხიან კაშხალებში თავიდან ვიცილებთ ზედა ნაწილით ჩაკიდებულ პროფილებს, რაც მოუხერხებელია სამუშაოთა წარმოების თვალსაზრისით. მეორე მხრივ, ასეთი კაშხალები ხასიათდება მრავალი კარგი ღირსებით, რომელთაგან მნიშვნელოვანია მაღალი ზიდვის უნარიანობა, რაც უზრუნველყოფილია ორმაგი (ვერტიკალური და პორიზონტალური) სიმრუდით; აგრეთვე სიმუხუჭით, მოხდენილობითა და სხვ. ამიტომ თანამედროვე თაღოვან კაშხალთა უდიდესი უმრავლესობა ზედა თაღით ჩაკიდებულია ქვედა ბიეფის მხარეზე (ნახ. 8-5; 8-6).





გეგმაში თაღვანი კაშხალის ჩახაზვის დროს ითვალისწინებენ, რომ თაღების ქუსლები უნდა ეფუძნებოდეს ბუნებრივ განლაგებაში მტკიცე ან ხელოვნურად საიმედოდ გამაგრებულ კლდეს. ამის შედეგად, აგრეთვე გასწორის ტოპოგრაფიულ თავისებურებათა გამო, კაშხალის დაყრდნობის კონტურს შეიძლება ჰქონდეს არასწორი ფორმა. ამიტომ უკანასკნელ ხანებში თაღვანი კაშხალებში აწყობენ ეგრეთწოდებულ კონტურულ, ანუ პერიმეტროულ, ნაკერს, რომლითაც საკუთრივ კაშხალის ტანი გამოყოფილია უშუალოდ კლდეში ჩამაგრებულ საძირკვლის ნაწილისაგან („უნაგირისაგან“). პერიმეტრული ნაკერი აუმჯობესებს თაღვანი კაშხალის ძაბვის მდგომარეობას.

პერიმეტრული ნაკერი კეთდება მდოვრე მოხაზულობის (ნახ. 8-5), რაც ქმნის იმის საშუალებას, რომ თაღები დაეტირთოთ უფრო თანაბრად და თავიდან ავიცილოთ ადგილობრივი ძაბვები. კაშხალი ნაკერში ეყრდნობა ბეტონის ბალოშს, კლდეზე გადაცემული ძაბვების შემცირების მიზნით მისი სიგანე შეიძლება იყოს კაშხალის სისქეზე მეტი. პერიმეტრული ნაკერის მოწყობის შემთხვევაში იხსნება გამჭიმავი ძაბვები კაშხალის ქუსლებთან სადაწნეო მხარეზე და მცირდება ბზარების წარმოშობის შესაძლებლობა, იოლდება კაშხალების ეკონომიური კონსტრუქციების დაპროექტება  $\frac{L}{H}$  ფარდობის დიდი მნიშვნელობათა დროს, რადგან კონსოლები (ვერტიკალური ელემენტები), განიტვირთებიან რა ქვედა ნაწილში, დატვირთვის დიდ ნაწილს გადასცემენ თაღებს (პორიზონტალურ ელემენტებს).

ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითმა ინსტიტუტმა („მნიობ“) 60-იან წლებში წამოაყენა წინადადება იმის შესახებ, რომ კაშხალების თაღები შესრულდეს სამსახურიანი, ე. ი. სტატიკურად რკვევადი, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს გაანგარიშებას. ექსპერიმენტულ გამოკვლევათა მიზნით ლაჭანურის თაღვანი კაშხალის მშენებლობის დროს განხორციელდა ამ ტიპის თაღვანი ზღუდარი (ნახ. 8-16), მაგრამ მისი გამოკვლევები ბოლომდე არ იქნა მიყვანილი.

ვერტიკალური სიმრუდისა და სისქის როლი. თაღვანი კაშხალებს ადგამარებენ ცალმაგი და ორმაგი სიმრუდით, ანუ ეგრეთ წოდებულ გუმბათოვანს (ნახ. 8-5, 8-8). რაც უფრო დიდია ვერტიკალური სიმრუდე, მით მაღალია კაშხალის ზიდვის უნარი, მაგრამ მით უფრო რთულია სამუშაოთა წარმოება. ასეთ შემთხვევაში, ცხადია. ოპტიმალურად მიჩნეული უნდა იქნეს ყველაზე ეკონომიური გადაწყვეტა.

თაღვანი კაშხალის მუშაობაში დიდ როლს ასრულებს მისი სისქე; რაც უფრო მცირეა იგი და რაც უფრო დიდია სიმრუდე, მით უკეთესად მუშაობს კაშხალი როგორც სივრცული კონსტრუქცია. თანამედროვე თაღვანი კაშხალებში უშვებენ ფრიად მაღალ ძაბვებს: მკუმშავს 100—130 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე, გამჭიმავს — 25—30 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე ყველა ფაქტორის, მათ შორის ტემპერატურული რყევის გათვალისწინებით. ცალკეულ, ყველაზე დაძაბულ ადგილებში გამოიყენება დაარბატურება, როგორც, მაგალითად, გაყის კაშხალში (საფრანგეთი), რომლის სიმაღლე 38 მ-ია და მოყვანილობის კოეფიციენტი 0.07. ლაჭანურის კაშხალში (ნახ. 8-16, 8-17) და სხვ. შესაბამისად თაღვანი კაშხალებში იყენებენ უფრო მაღალი — 250, 300 და უფრო მეტი მარკის ბეტონებს, ვიდრე გრავიტაციულში.

მიუხედავად იმისა, რომ თაღოვან კაშხალებს ახასიათებს მცირე სისქე. ძალიან დიდი სიმაღლის შემთხვევებშიც კი ისინი წარმოადგენენ საესეუიო საიშედო დრეკად კონსტრუქციებს. კაშხალების მოდელების გამოცდები გვიჩვენებს, რომ მათი მრღვევი დატვირთვები რამდენჯერმე (3—10-ჯერ) აღემატება ნორმალურს. ასეთი კაშხალების ავარია კონსტრუქციის თაღოვანი ფორმის მიზეზით, მიუხედავად იმისა, რომ მათ ზშირად ძალიან გაბედული ფორმა აქვთ, ჟერ კიდევ არ არის რეგისტრირებული. ჩვენი საუკუნის 20-იან წლებში ადგილი ჰქონდა მცირე სიმაღლის (15 — 18 მ) თაღოვანი კაშხალების დანგრევის შემთხვევებს აშშ-ებში, მაგრამ მათი მიზეზი იყო ან ნაპირების გარეცხვა გადაადებული წყლით, ან გასწორის არაადამაყოფილებელი გეოლოგიური პირობები. უკანასკნელი მონაცემებით დადასტურებულია, რომ 1959 წ. საფრანგეთში მალპასეს კაშხალის ავარიის მიზეზი გახდა მარცხენა ნაპირთან შეუღლების ადგილებში აღმოჩენილი ტექტონიური დარღვევები, რომლებიც არ იყო გამოშელაენებული კაშხალის გეგმარების დროს ჩატარებულ საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევებით.

იმის დადასტურებლად, თუ რამდენად საიმედო კონსტრუქციებს წარმოადგენს თაღოვანი კაშხალები, შევიძლია მოვიყვანოთ ერთი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მაგალითი. 1963 წლის 9 ოქტომბერს ღამით იტალიაში მოხდა ვაიონტის წყალსაცავის მარცხენა გვერდის მიწის მასის მსხვილი გრავიტაციული დაცოცება; ჩამოინგრა ქანები, რომელთა საერთო მოცულობამ 360 მლნ.მ<sup>3</sup> შეადგინა. მეწყერმა წყალსაცავიდან განღვენა 114 მლნ.მ<sup>3</sup> წყალი; წარმოქმნილმა ტალღამ კაშხალის თხემის ზემოთ 246 მ სიმაღლეს მიაღწია. კაშხალზე გადაღინებულმა წყლის უდიდესმა მასამ წალეკა მდ. ვაიონტის ხეობაში განლაგებული სასამსახურო სათავსები საექსპლუატაციო და მეთვალყურე პერსონალთან ერთად, მდ. პიავეს ხეობაში არსებული ქალაქები: ლანჯერონე, პირაგო, ვილანოვა, რივალტა და ფაე. დაიღუპა 3000 კაცი. წალეკილ იქნა აგრეთვე სადგურის ობსერვატორია და მასთან ერთად მეწყერის დინამიკაზე დაკვირვების უახლესი მონაცემები. მიუხედავად ასეთი მძიე შედეგებისა, უნიკალური სიმაღლის (266 მ) ვაიონტის თაღოვან კაშხალს (ნახ. 8-5) თითქმის არავითარი დაზიანება არ მიუღია <sup>1</sup>.

მოყვანილი მაგალითით, აგრეთვე მრავალი სხვა თაღოვანი კაშხალის ექსპლუატაციის გამოცდილებით დასტურდება, რომ ამ კაშხალებს აქვთ სიმტკიცის ძალიან დიდი მარაგი, ვიდრე სხვა ტიპის კაშხალებს. მათ უნარი შესწევთ აიტანონ დიდი შემთხვევითი გადატვირთვა, რაც მოსალოდნელია. მაგალითად, მიწის ძვრის დროს, კატასტროფული დატბორვის დროს და სხვ.

მასალა და კონსტრუქციული დეტალები. თაღოვანი კაშხალების მშენებლობისათვის ფართოდ გამოიყენება ბეტონი, რომელიც თავისი თვისებებით უნდა აკმაყოფილებდეს თითქმის იგივე პირობებს, რასაც გრავიტაციული კაშხალებისათვის. აქ განსაკუთრებით დიდ როლს ასრულებს ბეტონის სიმტკიცე, მნიშვნელოვანია აგრეთვე წყალშეუღწეობა და კოროზიისადმი შედეგობა. რაც შეეხება ბეტონის მონოლითურობას, მას არ წაეყენება მკაცრი მოთხოვნილება, რადგან კონსტრუქციის თაღურობის გამო მასში ბზარების წარმოშობა უფრო ნაყლებად საშიშია, ვიდრე გრავიტაციულ კაშ-

<sup>1</sup> И. М. Буачидзе, Вопросы инженерной геологии гидроэлектростанций Южных Альп. Изд-во «Мешинсрება», Тбилиси, 1971.

ხალში. საქმე ის არის. რომ სადაწნეო წახნაგზე, ქუსლებთან, და ქვედა წახნაგზე, კლიტეში, ბზარების წარმოშობის შემთხვევაში თალში თითქოსდა წარმოიქმნება მცირე რადიუსის მქონე „მეორადი“ თალი, რომელშიც ძაბვები უკეთესადაა განაწილებული.

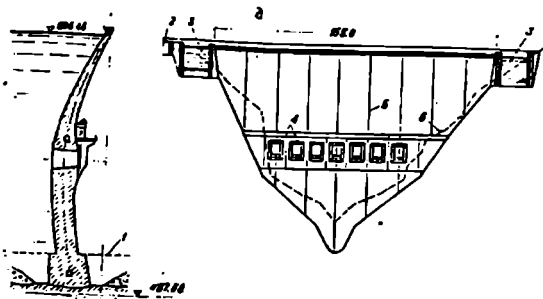
ისე როგორც გრავიტაციულ კაშხალებში, აქაც გამოიყენება ზონალური ბეტონი; მაგალითად. სადაწნეო მხარეზე — არანაკლებ 1,5 — 2 მ სისქის ბეტონის მოსაპირკეთებელი მკერივი ფენა დაახლოებით 250 კგ/მ<sup>3</sup> ცემენტის შეტულობით. დანარჩენ ნაწილში ცემენტის ხარჯი ბეტონში შეადგენს 200 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე. მაღალი თაღოვანი კაშხალების შემთხვევაში პროფილის ქვედა ნაწილში იყენებენ ბეტონს, რომლის შედგენილობაში 300 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე ცემენტი შედის.

ბეტონის თაღოვანი კაშხალების სისქე თავში ძალიან მცირეა (1,5-დან 2 — 4 მ-მდე). ამიტომ კაშხალზე გზის მოწყობა მოითხოვს სპეციალურ კოქონკონსოლური ტიპის გაფართოებულ ნაწილს. წყალშეუღწეობის უზრუნველსაყოფად კაშხალის სადაწნეო წახნაგს ფარავენ ტორკრეტით ანდა ლებავენ ბიტუმით; ქვედა წახნაგს ხშირად მოპირკეთების გარეშე ტოვებენ. კაშხალის ტანში ტემპერატურის მკვეთრი რყევის შემცირების მიზნით ჩრდილოეთის ქვეყნებში (მაგალითად, ნორვეგიაში) თაღოვან კაშხალს ქვედა ბიეფის მხრიდან უკეთებენ თხელ თბოსაინჰოლაციო კედელს, რომელიც კაშხალისაგან ჰაერის შუაშრითაა გამოყოფილი.

გვეგმარების დროს საჭიროა მნიშვნელოვანი ყურადღება დაეთმოს წყალსაგდების მოწყობის საკითხს. საპროექტო და საექსპლუატაციო გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ თაღოვანი კაშხალის ტანში მოწყობილი წყალსაშვები ნაწილი წარმოადგენს უფრო ეკონომიურ გადაწყვეტას, ვიდრე ნაპირებში მოწყობილი წყალსაგდებები.

მცირე გადასაგდები ხარჯების დროს მუდმივრადიუსიანი კაშხალებში ზოგჯერ შესაძლებელია ბეტონის დამატებითი ხარჯის გარეშე შექმნათ წყალსაშვები წახნაგი. ცვალებადრადიუსიანი კაშხალებში, პროფილების თავისებურებათა გამო, წესიერი მრუდწირული წყალსაშვები ზედაპირების შექმნა თაღების მნიშვნელოვან გასქელებას მოითხოვს. ამიტომ თაღოვან კაშხალებში უფრო მიზანშეწონილია მოეწყოს თავისუფლად ვარდნილი ჰაელის პრინციპზე მომუშავე წყალსაშვებები. ამასთან, ცხადია, წყალსაშვების თავი უნდა იყოს თავისებური ფორმის (ნახ. 8-17), რათა ნაკადის შორს გადაგდებით თავიდან ავიცილოთ ჰაელის დარტყმები კაშხალის ტანზე. წყალსაშვებზე გადადინებული ფენის სისქე განისაზღვრება 2 — 4 მ-ით. საჭიროების შემთხვევაში ჰაელის დაცემის ადგილში კაშხალის ფუძეს ამაგრებენ ბეტონით ან ქვის ლოდების დალაგებით; ამ მიზნით ზოგჯერ კაშხალის უკან ქმნიან დამაწყნარებელ აუზს, ისე როგორც ეს გაკეთებულია, მაგალითად, ლაჩანურის კაშხალზე (ნახ. 8-16, 8-17).

თაღოვან კაშხალებში აწყობენ აგრეთვე სიღრმით ხვრეტებს, ანუ ეგრეთწოდებულ წყალჩამოსაშვებებს (ნახ. 8-9). თუ ისინი გათვალისწინებულია თხელ და ძლიერ დაძაბულ კაშხალებში, მაშინ საჭიროა წყალჩამოსაშვები მილების ირგვლივ ბეტონი ძლიერ დაარმატურდეს. წყალჩამოსაშვები მილები ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში, ასევე ხშირად გამოიყენება ისინი ჰიდროელექტროსადგურის წყალმიმღებებად (ნახ. 8-6). ამ შემთხვევაში მეტწილად საკეტებს აწყობენ ქვედა მხარეზე, ზედა ბიეფის მხრიდან კი მხოლოდ



ნახ. 8-9. ბუნდერის კაშხალი (აშშ,  $B/H=0,085$ ):

ა—პროფილი; ბ—ზედი ქვედა ბიფიდან; 1—კალაპოტის ფსკერის ზედაპირი; 2—ლამატებითი საყვით; 3—სეგმენტური საყვით  $15,3 \times 14$  მ; 4—სიღრმული საყვით  $5,2 \times 6,4$  მ; 5—სამშენებლო ნაკერი; 6—მიწის ზედაპირი; 7—კაშხალის საძირკველი.

გისოს. შესაძლებელია აგრეთვე თავისუფლად ვარდნილი ქაელის პრინციპზე მომუშავე წყალსაშვებისა და წყალჩამოსაშვებების შეთავსება (ნახ. 8-17).

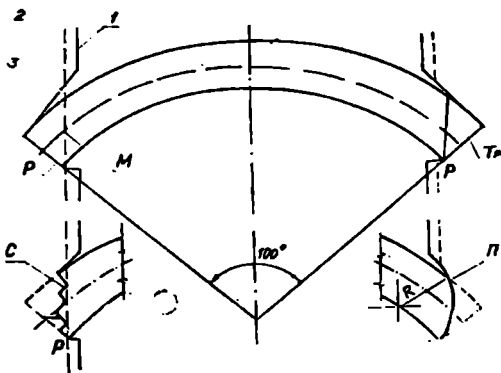
8-9 ნახაზე ნაჩვენებია ბუნდერის თალოვანი კაშხალი (აშშ), რომლის სიძალდე შეადგენს 117 მ-ს, სიგრძე თხემის გასწვრივ — 226 მ-ს, სიგანე თხემზე — 2,4 მ-ს და ძირში — 10 მ-ს, ბეტონის მოცულობა — 84 ათას მ<sup>3</sup>-ს, მოყვანილობის კოეფიციენტი —  $\frac{B}{H} = 0,085$ . ამ კაშხალში წყლის გადაგდება წარმოებს ორი სანაპირო წყალსაშვებით, რომლებიც სეგმენტური საყვითებითაა გადახურული, — 3060 მ<sup>3</sup>/წმ და შვიდი სიღრმული ზერეთით — 7140 მ<sup>3</sup>/წმ.

თალოვანი კაშხალების ფუძეების მოშადება ისევე წარმოებს, როგორც მასიური კაშხალებისათვის. ფილტრაციის საწინააღმდეგოდ ზოგჯერ აწყობენ კბილს, ხოლო ცემენტაციურ ფარდას, რომელიც ნაპირებშიც გრძელდება, თითქმის ყოველთვის.

კაშხალის დაკავშირებას ნაპირებთან განსაკუთრებული გულდასმით ახდენენ: აცილებენ დაშლილ კლდეს, ცემენტაციას უკეთებენ ბზაროვანს, წყლის ქაელითა და ქვიშით წმენდენ კლდის ზედაპირს, რის შემდეგ იწყებენ დაბეტონებას.

თალების ქუსლებისა და მათი ფუძეების დაკავშირება შეიძლება სხვადასხვა სქემით მოვახდინოთ<sup>1</sup>. უმრავლეს აგებულ თალოვან კაშხალებში განხორციელებულია რადიალური ტიპის ქუსლები, რომელთა მოხაზულობა ემთხვევა თაღის რადიუსს, ანუ თაღის ღერძის ნორმალს ქუსლის კვეთში (ნახ. 8-10, P ტიპი). რადგან ქუსლის ქვედა წიბო ( $\rho$  წერტილი) დაყვანილი უნდა იქნეს მტკიცე ქანებამდე, ამიტომ, ცხადია, რადიალურ ქუსლს შეესაბამება თაღის ყველაზე მეტი ჩაღრმავება და ბეტონისა და კლდის სამუშაოთა ყველაზე მეტი მოცულობა. სამუშაოთა მოცულობის ეკონომიის თვალსაზრისით ყველაზე უკეთესი იქნებოდა  $M$  მოხაზულობა, მაგრამ ქუსლის ასეთ ტიპს თითქმის არ იყენებენ, რადგან კონტაქტის სიბრტყეში მოსალოდნელია კრა და ძაბვების

<sup>1</sup> К. А. Абаджян, Исследование формы примыкания арочной плотины к основанию (Автореферат диссертации), М., 1970.



ნახ. 8—10. ქუსლების მოხაზულობის სქემები (კაშხალის პორიზონტალური კვეთი):

1—ფუძის ზედაპირის კონტური; 2—მტკიცე ქანების განლაგების სახლგარის; 3—ქვაბულის კონტური; P—რადიალური მოხაზულობის ქუსლები; M—მინიმალური ჩაღრმავების ქუსლები; C—საფეხურთან მოხაზულობის ქუსლები; TP—ტეხილი (სამკეთხოვანი) მოხაზულობის ქუსლები; II—მდოვრე (კოვხისებური) მოხაზულობის ქუსლები.

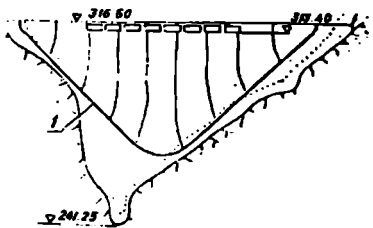
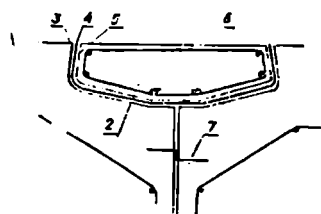
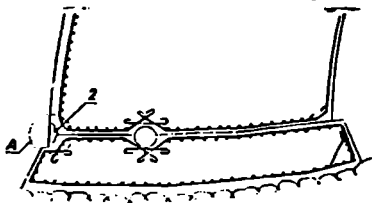
კონცენტრაცია  $p$  წერტილთან. სამუშაოთა ეკონომიურობისადმი მისწრაფებამ მთელ რიგ შემთხვევებში შესაძლებელი გახდა განეზორციელებინათ საფეხურთან (C ტიპი), მდოვრე ან უკოვხისებური (II ტიპი), სამკეთხოვანი, ე. ი. ცერობიანი, რადიალური და სხვა მოხაზულობის ქუსლები. მიახლოებითი გაანგარიშებების საფუძველზე დადგენილია ბეტონისა და კლდის სამუშაოების მოცულობათა ეკონომიის სიდიდე. რომელიც შეიძლება მიღწეულ იქნეს P ტიპის ქუსლების ნაცვლად M, C, II და TP ტიპის ქუსლების გამოყენებით კაშხალის სხვადასხვანაირი პროფილისა და ხეობის სხვადასხვა ფორმის დროს. საკმარისად გავრცელებული პირობებისათვის ეკონომიამ სამუშაოთა მოცულობაში დაყვანილ ბეტონში შეიძლება შეადგინოს კაშხალის სამუშაოთა მოცულობის 10—15%, ხოლო ვიწრო ხეობებში — მნიშვნელოვნად უფრო მეტი.

პერიმეტრულ ნაქერებს მოსალოდნელი დეფორმაციის ხასიათის შესაბამისად აწყობენ ბრტყელს ან ორნაე ჩაზნეკილს (ნახ. 8—11). საძირკვლის ბალიშის სივანე შეიძლება იყოს ნაქერში კაშხალის სივანის ტოლი ან მასზე უფრო მეტი. ნაქერის ზედაპირი იფარება ბიტუმის მასტიკის ფენით; ზედა მხრიდან ეწყობა რკინაბეტონის სოგმანი მასტიკაზე, რომლის უკან (2—3 მ მანძილზე) ზოგჯერ დრენაჟსაც ათავსებენ. როგორც კაშხალი, ისე საძირკვლის ბალიში ზედაპირთან უნდა დაარმატურდეს.

ფილტრაციულ წნევას თაღოვანი კაშხალის ფუძეში და ტანში თითქმის არაერთარი მნიშვნელობა არა აქვს მისი მდგრადობისა და სიმტკიცისათვის, ამიტომ ფუძისა და კაშხალის დრენაჟი, არსებითად, არ არის საჭირო. მიუხედავად ამისა, ზოგიერთ კაშხალებში იგი ეწყობა, რაც გამოწვეულია კლიმატური პირობებითა და გაყინვის შედეგად კაშხალის ტანის ბეტონის მოსალოდ-

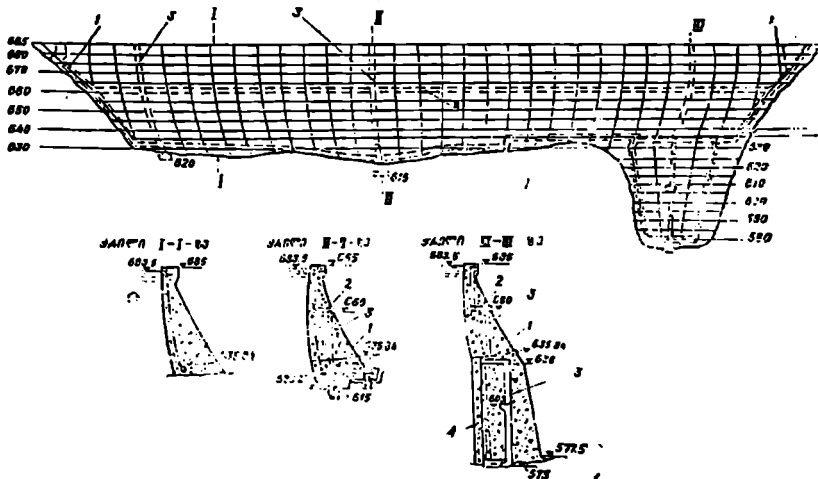


ნელი დაშლის თავიდან აცილების მიზნით. თაღოვან კაშხალში დრენაჟს აწყობენ ისევე, როგორც გრავიტაციულში, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ვერტიკალურ საწრეტებს აქ აქვთ უფრო მცირე დიამეტრები (6-15 სმ) და ისინი სადაწნეო წახნაგთან რამდენადმე უფრო ახლოსაა განლაგებული (ნახ. 8-12). მაგრამ თაღოვან-გრავიტაციულ კაშხალებში ეს არ არის აუცილებელი. !

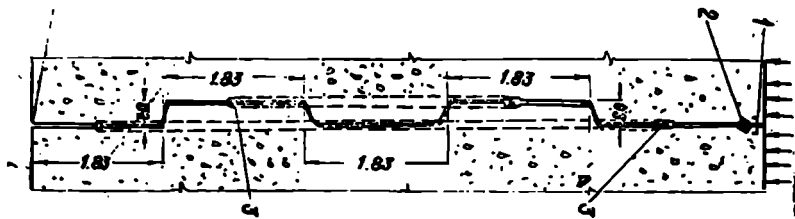


ნახ. 8-11. პერიმეტრული ნაკერის მოწყობის სქემა და დეტალი:

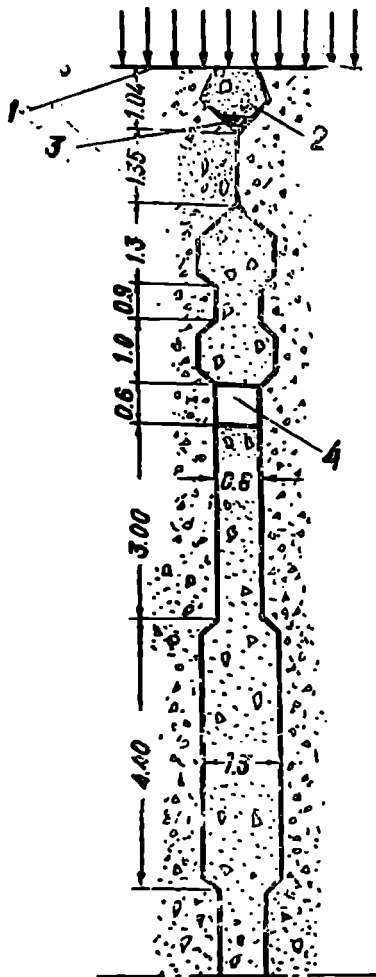
1—პერიმეტრული ნაკერი; 2—ჩიხნაბეტონის სოგმანი; 3—სპეციალური მასტია; 4—„Duzsilect“ 3 მმ; 5—„Aquasol“ 2.5 მმ; 6—არმატურა  $\Phi$  10 მმ; 7—სპილენძის ფურცლის შუადი 10 მმ.



ნახ. 8-12. პივევ დი კაღორეს კაშხალი (იტალია):  
1—კონტრულული ნაკერი; 2—სათვლიერებელ გალერეებ; 3—გალერეებში შესასვლელო და გაზომვების ჩასატარებელი შახტები; 4—დრენაჟი.



ნახ. 8-13. ცემენტირებადი სამშენებლო ნაკერი: 1—სპილენძის ფურცლით გამკერივება; 2—ასფალტის სოგმანი; 3—საცემენტაციო მილები 5 სმ.

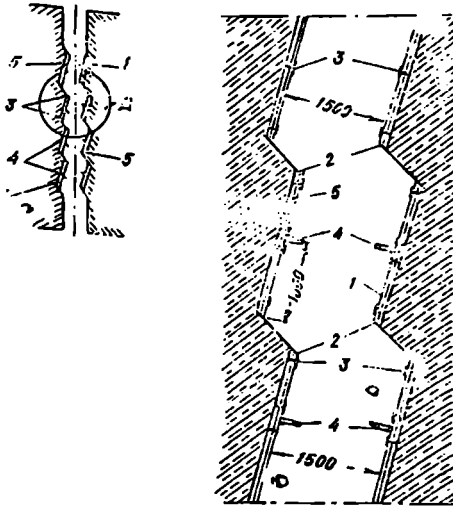


ტემპერატურულ-შეკლებითი მოვლენების შედეგად ბზარების წარმოშობის თავიდან აცილების მიზნით მშენებლობის დროს თაღოვან კაშხალს ყოფენ ბლოკებად განივი (რადიალური), ვერტიკალური ან დაახლოებით ვერტიკალური ნაკერებით. კაშხალის მონოლითურობის უზრუნველსაყოფად შემდგომში ახდენენ აღნიშნული ნაკერების ჩამაგრებას წყობის შესაძლო დაბალი, მაგალითად, 2—4° ტემპერატურის დროს. ამ მიზნით ზოგჯერ იყენებენ წყობის ხელოვნურ გაცივებას.

ვერტიკალური ტემპერატურულ-ჭდომითი ნაკერები შეიძლება მოეწყოს ვიწრო და განიერი. ვიწრო, ანუ ეგრეთ წოდებული ცემენტირებადი, ნაკერების კონსტრუქცია გრავიტაციული კაშხალების ნაკერების ანალოგიურია და მათ ხშირად აკეთებენ ფეხურებიანს (ნახ. 8-13). ასეთი ნაკერების სიგანე განისაზღვრება ბლოკებს შორის დაშორებით, რომლებიც მიიღება მათი გაცივების შედეგად; ორივე წახნაგის მხარეზე ნაკერები გამკერივებულია ლითონის ფურცლის სახით. ამასთანავე, სადაწნო წახნაგის მხარეზე მოწყობილ გამკერივებას ზოგჯერ აძლიერებენ ასფალტის სოგმანით. ბეტონირების დროს ნაკერებში ათავსებენ პერფორირებულ მილებს ან მილებს, რომელთაც გა-

ნახ. 8 — 14. ბეტონირებადი სამშენებლო ნაკერი:

1—სადაწნო წახნაგი; 2—რკინაბეტონის საცობი; 3—ბიტუმიის გამკერივებელი მასა; 4—ნაკერი, რომელიც ბეტონირდება ცივ დროს.



ნახ. 8—15. კომბინირებული კბილანა საშენებლო ნაკერი:  
 1—1 მმ სისქის ფოლადის ფირფიტა, რომლითაც გადახურულია სა-  
 ინექციო ღარაკები; 2—ცემენტის ხსნარი; 3—საანკერო ხრახნები;  
 4—ცემენტის საინექციო მილები; 5—საინექციო ღარაკები.

აჩნიათ სპეციალური თეფშისებური გამშვები; მათი საშუალებით შემდგომში წარმოებს ცემენტის დაჭირხნა და ნაკერების დახურვა.

ცემენტირებადი ნაკერების ღირსება იმაში მდგომარეობს, რომ დიდი წნევით ცემენტის ჭირხნის დროს თაღები შეიძლება წინასწარ შეეკუმშოს. რომელიც ამკირებს გამკვირვებულ ქაშხალში ექსპლუატაციის დროს. მათი ნაკლია ცემენტაციური მილების გამოგნესის შესაძლებლობა და მის შედეგად ცემენტაციის ხარისხის ნაკლები საიმედოობა.

განიერი, ანუ ბეტონირებადი, ნაკერების სიგანე იცვლება 0,7-დან 1,2 მ-მდე, მათ ავსებენ განსაკუთრებული მკვრივი ბეტონით (ნახ. 8-14).

ორივე აღნიშნული ტიპის ნაკერის ღირსებებით ხასიათდება ეგრეთ წოდებული კომბინირებული ტიპის ნაკერი, რომელთაც ჭერაბეტონებენ, ხოლო შემდეგ სპეციალურად ჩატანებული მილების მეშვეობით უკეთებენ ცემენტაციას.

საყურადღებოა როსსანის კაშხალის კომბინირებული კბილანა ნაკერი, რომლის სიგანე 1,5 მ-ია (ნახ. 8-15). დაბეტონების შემდეგ ეს ნაკერები გამკვირვებულ იქნა ცემენტაციით, რაც განხორციელდა პორიზონტალური მილულების მქონე ვერტიკალური საინექციო მილებით. კბილის დაჭირვება პორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით რომლებიც მათში ბეტონის შეღწევისაგან დაცულ ფირფიტებით.

კაშხალის ტემპერატურულ-შეკლებით ნაკერებს შორის მანძილი აიღება 10-დან 20 მ-მდე; უკანასკნელ ხანებში ამ მანძილს ღებულობენ 7 — 10 მ-ის ტოლს.

ცალკეულ შემთხვევებში წყლის მოხმარების გაზრდის მიხედვით წყალსაცავების მოცულობაც შეიძლება მნიშვნელოვნად გაეზარდოს თაღოვანი კაშხლების დაშენების გზით. მაგალითად, როსის მულმივეცენტრალურკუთხიან თაღოვან კაშხალზე (აშშ), რომლის მშენებლობა 1919 წელს დაიწყო, მოგვიანებით ორჯერ დააშენეს და მისი სიმაღლე გახადეს 164 მ-ის ტოლი. წამოყენებულია წინადადება მისი მესამე დაშენებისა 205 მ სიმაღლემდე.

თაღოვანი კაშხლების განვითარებას წარმოადგენს შემდეგი კონსტრუქციული გადაწყვეტები:

ა) კომბინირებული კაშხალი, რომელიც შედგება ქვედა თაღოვანი ნაწილისაგან, რომელზედაც იგება ზედა გრავიტაციული ნაწილი;

ბ) თაღოვანი ან გუმბათოვანი კაშხალი, რომელიც წინასწარ ირის შეკუმშული და ფუძეში ანკერების მეშვეობითაა ჩაპაგრებული;

გ) კონტრფორსებიანი თაღოვანი კაშხალი (მაგალითად, მონფორტეს კაშხალი პორტუგალიაში), რომელშიც კონტრფორსები გამოყენებულია ქვედა ნაწილში, სადაც თაღოვანი კაშხალი ძირითადად მუშაობს როგორც კედელი. კონტრფორსების სიმაღლე დაახლოებით კაშხალის სიმაღლის ნახევრის ტოლია. ამ ტიპის კაშხალის წარმოშობით ფართოდება თაღოვანი კაშხლების გამოყენების არე განიერ კალაპოტებში;

დ) გუმბათოვანი კაშხალი, რომლის წარმოშობა ნაკარნახებია მისწრაფებით, რაც შეიძლება სრულად იქნეს გამოყენებული ბეტონის მუშაობა კუმშვაზე არა მარტო ერთ, არამედ მრავალ-სიბრტყეში.

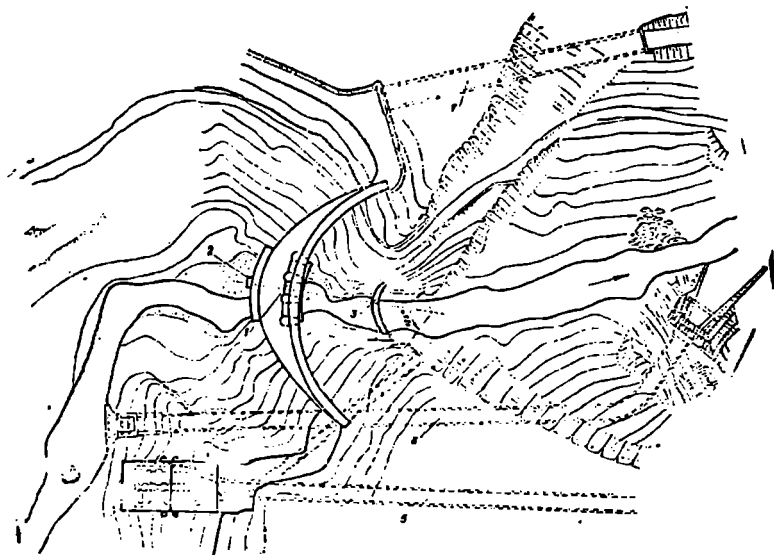
პრაქტიკაში გვხვდება აგრეთვე კომბინირებული კაშხლების სხვა სახეობანიც, მაგალითად, თაღოვანი მრავალთაღოვანთან და სხვ.

#### § 8-8. ლაჯანურისა და ინჯურის კიდრულაქროსადგურების თაღოვანი კაშხალები

ლაჯანურის თაღოვანი კაშხალი. ლაჯანურის ჰიდროელექტროსადგურის თაღოვანი კაშხალი, რომლის მშენებლობა დამთავრდა 1950 წელს. წარმოადგენს ამ ტიპის პირველ კაშხალს საბჭოთა კავშირში<sup>1</sup>. იგი აგებულია მდ. რიონის მარჯვენა შენაკადის — ლაჯანურის ვიწრო ხეობაში და ქმნის ორი გაერთიანებული ნაკადის — მდ. ლაჯანურისა და მასში უდაწნეო გვირგვინით გადადებულ მდ. ცხენისწყლის — დღელამური და კვირული რეგულირებისათვის 25 მლნ. მ<sup>3</sup> საერთო მოცულობის წყალსაცავს.

ჰიდროსადგურის სათავე კვანძი მდ. ცხენისწყალზე განლაგებულია დაბა ცაგერთან და წარმოადგენს ოთხმალიან დაბალზღურბლიან ბეტონის კაშხალს. რომლის მალეები გადახურულია ბორბლებიანი, ბრტყელი, მუშა საკეტებით ჩვეულებრივი წყალდიდობის დროს წყლის ხარკების გადასაგდებად საკეტებს აქვს 1,8 მ სიმაღლის სარკველები. კაშხალი უზრუნველყოფს 1600 მ<sup>3</sup>/წმ მაქსი-

<sup>1</sup> გერგეზილქისის ბეტონის კაშხალი მდ. კარა-კოსიზე დაღესტანში დაგეგმარებული იყო. როგორც თაღოვან-გრავიტაციული, მაგრამ მშენებლობის დროს გამოვლინებული არახელსაყოელი გეოლოგიური პირობების გამო მისი ისედაც მძიმე პროფილი კიდევ უფრო დაამძიმეს და, არსებითად, გადაქციეს გრავიტაციულ კაშხალად.



ნახ. 8—16. ლაჭანურის თალოვანი კაშხლის გეგმა: 1—წყალსაშეები; 2—წყალჩასაშეები; 3—სამსახსრიაინი პატარა თალოვანი კაშხალი; 4—წყალმიმღები; 5—დერიაციული გვირაბი; 6—სამშენებლო გვირაბი; 7—სატრანსპორტო გვირაბი.

მალური ხარჯის გატარებას. ფუძის ალუვიალური გრუნტების გარეცხვის თავიდან აცილების მიზნით ქვემო ბიეფში მოწყობილია წყალსაცემი ჰა, რომელიც უზრუნველყოფს ნაქადის ენერჯის ჩაქრობას.

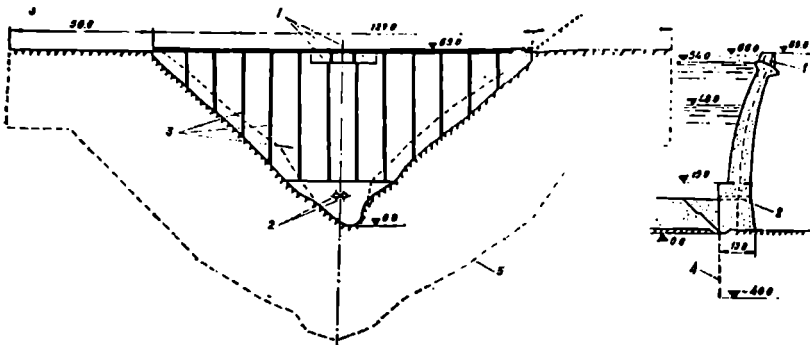
მარცხნიდან კაშხალს უერთდება წყალმიმღები, რომლითაც წარმოებს უდაწნეო დერიაციის საანგარიშო 60 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯის აღება. წყალმიმღების ზღურბლში მოწყობილია ფსკერული გამრეცი გალერეები. წყალმიმღებიდან 934 მ სიგრძის ღია არხით წყალი მიეწოდება ზემოხსენებულ 5.524 კმ სიგრძესა და 5.4 მ დიამეტრის მქონე უდაწნეო გვირაბს, რომელიც მოპირკეთებულია თუჯის ტუბინგებით. ხორკლიანობის შემცირების მიზნით ტუბინგების ღრმული აშოვებულია ბეტონით. უდაწნეო გვირაბით მდ. ცხენისწყლის წყალი გამოდის ლაჭანურის წყალსაცევიში.

ვინაიდან მდ. ლაჭანური ტიპური მთის მდინარეა, მას დიდი რაოდენობით შოაქვს მყარი ნატანი. წყალსაცევის სრული დალაშქვის ხანგრძლივობა დაახლოებით 40 წელს შეადგენს, მაგრამ წყალმიმღების ქვეშ მოწყობილმა გამრეცხმა ხვრეტებმა შეიძლება რამდენადმე გაზარდოს მისი სამსახურის ვადა.

მდ. ლაჭანურის ჰიდროკვანძის შედგენილობაში შედის შემდეგი ნაგებობები (ნახ. 8-16, 8-17):

წყალსაშეები თალოვანი კაშხალი, რომლის საერთო სამშენებლო სიმაღლე 69 მ-ს შეადგენს;

წყალმიმღები, რომელიც მოთავსებულია მარჯვენა ნაპირზე და გააჩნია ორი ხვრეტი 100 მ<sup>3</sup>/წმ საანგარიშო. ხარჯისათვის, ფსკერული გამრეცი გალერე-



ნახ. 8—17. ლაჩანურის თაღოვანი კაშხლის კრილიები: ა—კრილი კაშხლის ღერძზე; ბ—განვი კრილი; 1—წყალსაშვები; 2—წყალჩასაშვები; 3—ტემპერატურულ-შეკლების ნაქერები; 4—ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა; 5—ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდის საზღვარი: (66,0-ფშდ; 64,0 ნშდ; 48,0 მშდ).

რეები და 3.8 მ დიამეტრის მქონე გამრეცხი გვირაბი, რომელთანაც შეერთებულია აღნიშნული გალერეები;

მომვლელი სამშენებლო გვირაბი, რომელსაც აქვს 6 მ დიამეტრი და მოთავსებულია იგივე მარჯვენა ნაპირზე.

თაღოვანი კაშხლის ტანში მოწყობილია ფსკერული წყალჩამშვებები. რომელთა დანიშნულებას შეადგენს მინიმალური სამშენებლო ხარჯის გატარება იმ პერიოდში, როდესაც სამშენებლო გვირაბში წარმოებს ბეტონის საცობის დაყენება და აგრეთვე წყალსაცავის დაცლა ექსპლუატაციის პირველ წლებში. თაღოვანი კაშხლის თხემზე მოთავსებულია 7—7 მ სიგანის სამი წყალსაშვები ხერტი.

ამ კვანძისათვის საანგარიშო წყალდიდობის ხარჯი აღებულია 420 მ<sup>3</sup>/წმ. აქედან დერივაციულ სადაწნეო გვირაბში შედის 100 მ<sup>3</sup>/წმ, წყალმიმღების ფსკერული ხერტებით ვარდება 200 მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო თაღოვანი კაშხლის თხემით— 120 მ<sup>3</sup>/წმ.

სადაწნეო დერივაციული გვირაბით, რომლის სიგრძე 2549 მ-ია, ხოლო დიამეტრი 5,5 მ, წყლის საანგარიშო ხარჯი მიეწოდება ლაჩანურჰესის მიწისქვეშა სადგურის კვანძს (4,2 მ<sup>3</sup>/წმ სიჩქარით), შემდეგ ნამუშევარი წყალი უდაწნეო გამყვანი გვირაბით გაიყვანება მდ. რიონში. ჰესის მაქსიმალური დაწნევა 134 მ-ია, სიმძლავრე — 111 ათასი კვტ.

კაშხლის ფუძეს ქმნის ზედა ცარცის ურგონისა და სენონის იარუსების კირქოვანი დანალექი ქანები. ძიების დროს კირქვების სიზრქეში პირობით გამოყოფილ იქნა ფენების 7 დასტა, აქედან ქანების ხუთი დასტა ქმნის უშუალოდ კაშხლისა და სანაპირო შეერთების ფუძეს. კირქვების ყველა დასტა მონოკლინურად ეცემა ზედა ბიეფისაკენ 50—60° კუთხით. ფენების განლაგება მდინარის დინების მიმართულების თითქმის ნორმალურია.

რადგან ფუძის ქანები შეიცავს ბზარებსა და სიცარიელებს, ეს გარემოება გათვალისწინებულ იქნა ცემენტაციური სამუშაოების შესრულების დროს. კაშხლის უბანზე ქანების ბზაროვნებისა და წყალშთანქმელობის გამოსაკვლევად ჩატარდა წყლის საცდელი კირხნა კაბურღილებში; ამ წესით შესწავ-

ლილ იქნა კირქვების ყველა დასტა და აგრეთვე მათ შორის კონტაქტებიც. გამოკვლეული კლდოვანი ქანების წყალშთანქმელობა მერყეობდა 0,3 — 0,4 ლიტ./წამ. საცდელმა კირხნამ დაადასტურა კაშხალის ფუძის ცემენტაციის აუცილებლობა; ფუძის კირქვევანი ქანების კონსოლიდაცია მოხდა ცემენტის შეღარებით მცირე ხარჯით; მან შეადგინა დაახლოებით 125—150 კგ 1 გრძ. მ-ზე.

საველე გამოკვლევების შედეგად ლაჯანურის თაღოვანი კაშხალის ფუძის ქანებისათვის დადგენილ იქნა მონაცემები, რომლებიც საფუძვლად დაედო მის ანგარიშს<sup>1</sup>: კლდის ღრეკალობის მოდული — 170 000 კგ/სმ<sup>2</sup>; სრული დეფორმაციის მოდული ნარჩენი დეფორმაციების ჩათვლით — 80 000 კგ/სმ<sup>2</sup>; კლდის დროებითი წინალობა კუმშვაზე — 800 — 1200 კგ/სმ<sup>2</sup>, კლდის დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე — 80 კგ/სმ<sup>2</sup>, პუასონის კოეფიციენტი ბუნებრივი განლაგების პირობებში — 0,2 — 0,3, ღრეკადი უქუფნევის კოეფიციენტი — 600 აგ/სმ<sup>2</sup>.

ლაჯანურის თაღოვანი კაშხალი წარმოადგენს ორმაგი სიმრუდის მონოლითური ბეტონის კონსტრუქციას, რომელიც ჩამაგრებულია კონტურის გასწვრივ და ამოზნექილი ზედაპირით მიმართულია ზედა ბიეფისაყენ. კაშხალი აგებულია წრიული მოხაზულობის მუდმივი სისქის ბეტონის ჰორიზონტალური სიმეტრიული თაღებისაგან. ბეტონის სამი ზედა თალი რომლებიც ქმნიან ანტისეისმურ სარტყელს, კონსტრუქციულად დაარმატურებულია.

კაშხალის სრული სამშენებლო სიმაღლე შეადგენს 69 მ-ს, აქედან 49 მ უჭირავს მის თხელ თაღოვან ნაწილს, ხოლო 20 მ — ბეტონის „საცობს“ და კბილს ფუძეში. კაშხალის სისქე თხემთან 2,5 მ-ია, ძირში საცობთან — 7,6 მ, კაშხალის სიგრძე თხემის გასწვრივ — 127 მ, ქორდის სიგრძე — დაახლოებით 100 მ. კაშხალის თაღების რადიუსები იცვლება 59,5 მ-დან (თხემთან) 36,6 მ-მდე (ძირთან). ქორდის შეფარდება სიმაღლესთან — 2,04; მოყვანილობის კოეფიციენტი — 0,15.

აგების დროს კაშხალი მის მთელ სიგრძეზე დაყოფილი იყო ვერტიკალური შეკლების ნაკერებით 13 სვეტად. ხოლო სიმაღლეზე — 8 თაღად. რომელთა ცენტრალური კუთხე იცვლება 125-დან 78°-მდე. ვერტიკალური ნაკერები განლაგებული იყო ერთმანეთისაგან 10 — 10 მ-ის მანძილზე. დაბეტონების ბლოკების სიგანე, გარდა ზოგიერთი განაპირა ბლოკებისა, აღებული იყო ნაკეროდან ნაკერამდე. დასაბეტონებელი ბლოკების სიმაღლე შეადგენდა 2 მ-ს, მათი გადახურვა ახალი ბლოკებით წარმოებდა 4 — 5 დღის შემდეგ; დაბეტონებას აწარმოებდნენ 20 — 30 სმ სისქის ფენებით. ამასთან ფენებს ხურაედნენ ახალი ფენებით არაუგვიანეს 1,5 — 2 საათის შემდეგ. პირველადი და მეორეული ცემენტაციისათვის ნაკერების სობრტყეში დამონტაჟებული იყო საციმენტაციო მილების სისტემა სპეციალური თეფშისებური და რეზინის გამშვებებით<sup>2</sup>.

კირჩებში ფილტრაციის აღკვეთის მიზნით კაშხალის ფუძეში და მის გვერდებში მოეწყო 30 — 40 მ სიღრმის ორრიგა ცემენტაციური ფარდა.

კაშხალის მშენებლობის დროს დიდი ყურადღება ეთმობოდა ბეტონისათვის შემავსებლების შერჩევას, ცემენტის ხარისხს, ბეტონის დამზადებას.

<sup>1</sup> Т. Г. Гегелля, Плотины гидроэлектростанций Грузии, Изд. «Сабчота Сакартველო», Тбилиси, 1971.

<sup>2</sup> Г. И. Чоговадзе, Гидроэлектростанций Грузии, Изд. «Энергия», М., 1971.

პის მიწოდებას და დამუშავებას ბლოკებში. დაბეტონების დროს კაშხალის ტანში ჩადგეს 300-ზე მეტი ჩასატანებელი გამზომ-საკონტროლო ხელსაწყო, რომელთა საშუალებით წარმოებდა მუდმივი დაკვირვება როგორც მშენებლობის, ისე ექსპლუატაციის პერიოდში.

ლაჯანურის თაღოვანი კაშხალის დაგეგმარების დროს მისი სიმტკიცეზე გაანგარიშება ჩატარდა სხვადასხვა მეთოდით სავსე და დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევებისათვის. მის ასაგებად შემუშავებულ იქნა სპეციალური ტექნიკური პირობები.

ლაჯანურის კაშხალი წარმოადგენს თხელკედლიან კონსტრუქციას, ამიტომ ბეტონში ტემპერატურის მნიშვნელოვანი აღიარბატური აწევა არ იყო მოსალოდნელი. მაგრამ მშენებლობის დროს თაღში წარმოშობილ ტემპერატურულ-შეკლების ძაბვებს შეეძლო ბეტონში ბზარების წარმოქმნა, განსაკუთრებით კი ზაფხულის პირობებში. ამიტომ ტექნიკური პირობების მიხედვით ზაფხულის პერიოდის ბეტონირების დროს ბეტონის საწყისი ტემპერატურა არ უნდა უოფილიყო 15°-ზე მეტი. მისი შემცირება რეკომენდებული იყო მსხვილი შემავსებლების გაცივებით მდინარის წყლით მორწყვის გზით. როდესაც ეს ღონისძიება არასაკმარისი აღმოჩნდებოდა, ტემპერატურის შემდგომი შემცირება წარმოებდა დამსხვრეული ყინულის წყალში დამატებით.

ბეტონის დამზადებისა და წყობის სამუშაოები მიმდინარეობდა ღამით, ამასთან დაწყობილი ბლოკის მორწყვა წარმოებდა მთელი დღე-ღამის განმავლობაში. რეკომენდაციების შესაბამისად, ზამთრის პირობებში, როდესაც გარემოს ტემპერატურა იყო არა უდაბლეს  $+5^{\circ}\text{C}$ -ისა, ბეტონი მზადდებოდა  $60 - 70^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურამდე გამთბარი წყლით.

ლაჯანურის თაღოვანი კაშხალის მშენებლობის დაწყებას წინ უსწრებდა მრავალპზხრივი სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ჩატარება სხვადასხვა ძალოვანი ფაქტორის მოქმედების დროს მისი ძაბვითი მდგომარეობის შესწავლის მიზნით. ბეტონის შედგენილობისა და მარკების დასაპროექტებლად და სხვ.

ბეტონის შედგენილობის დაპროექტებისა და შერჩევის შემდეგ კაშხალის ასაგებად რეკომენდებული იყო ბეტონი  $250 - 280$  კგ/მ<sup>3</sup> ცემენტის შეტულობით. უშუალოდ კაშხალის ტანში ბეტონის სიმტკიცის შესამოწმებლად გამოყენებულ იქნა იმპულსური ულტრაბეგრის მეთოდი *ПК-7* ხელსაწყოთა გამოყენებით; ლაჯანურის კაშხალზე ჩატარებული ასეთი გამოცდა პირველი იყო სსრ კავშირის კაშხალთა მშენებლობაში. ამ გამოკვლევებმა ჩვენა, რომ ბეტონის სიმტკიცე კაშხალის ტანში უფრო მაღალია, ვიდრე კუბიკებში, რაც საესებით კანონზომიერია, რადგან კაშხალში ბეტონის გამაგრების პირობები მნიშვნელოვნად უფრო უკეთესია, ვიდრე კუბიკებში.

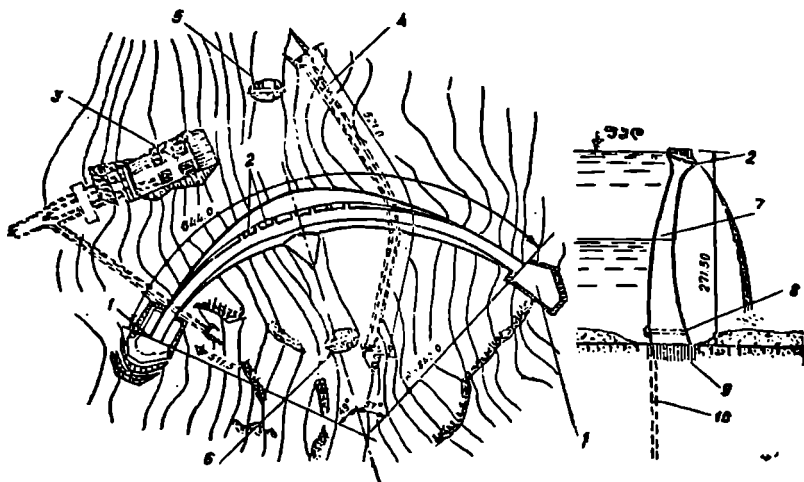
ბეტონის გაცივება უშუალოდ ნაგებობაში ხორციელდებოდა მდინარის წყლით მისი ზედაპირის სისტემატური. მორწყვით; უკანასკნელი წარმოებდა კაშხალის წახნაგებზე დამაგრებული პერფორირებული მილებიდან გამოდინებული ჰაერით, რომლებიც ქმნიდნენ წყლის გარსს.

ლაჯანურის კაშხალის დაბეტონება დაიწყო 1959 წლის იანვარში და გაგრძელდა 10 თვეს. ჩატარებული გამოკვების მონაცემების მიხედვით ტემპერატურის მაქსიმალური ეგზოთერმული აწევა ბეტონის ბლოკში  $45^{\circ}\text{C}$  აღწევდა:

1 Г. И. Чилингариншвили. Опыт поверхностного охлаждения кладки на строительстве арочной плотины Ладжанурской ГЭС. Оргэнергострои (информ. лист). М., 1962.





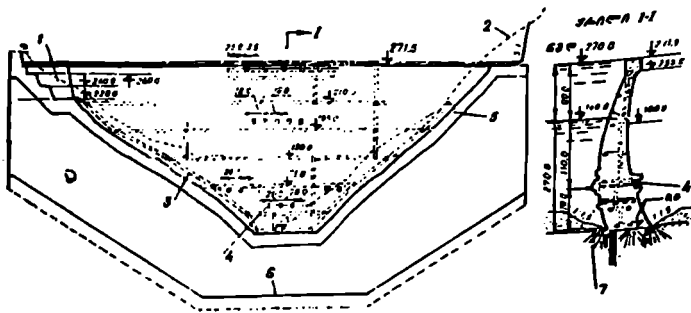


ნახ. 8—10. ენგურის ჰიდროელექტროსადგურის სათავე კვანძის გეგმა და თაღოვანი კაშხალი: განივი კრილი: 1—სანაპირო ბურჯები; 2—საექსპლუატაციო წყალსაგდები (6×25 მ, Q=2200 მ<sup>3</sup>/წმ); 3—წყალმიმღები; 4—სამშენებლო გვირაბი; 5—ზედა ზღუდარი; 6—ქვედა ზღუდარი, 7—1 რიგის წყალსაგდები; 8—ფსევრული გაშვები; 9—განმაბტიკებელი ცემენტატია; 10—ცემენტაციური ფარდა.

დან და დამთავრებული თანამედროვე დანალექებით. ამის შესაბამისად სხვადასხვა მათი ლითოლოგიური შედგენილობაც.

კაშხალი და ჰესის სათავეს კვანძის ყველა ნაგებობა განლაგებულია ბარემის კირქვების გავრცელების ფარგლებში. კირქვების ფენების ვარდნა მდინარის დინების მიმართულებით შეადგენს 60—70° კუთხეს. მდინარის თანამედროვე ნარწყულისა და კალაპოტის ფარგლებში ძირეული ქანები დაფარულია 35—40 მ სისქის კენჭნარ-ხრეშოვანი დანალექებით. ხეობის გვერდებზე (ბორტებზე) შემჩნეულია ჩამონატეხები, მცირე ზომის დაშლილი ზონები და ცალკეული ბზარები. კირქვები სუსტადაა დაკარსტული, ატარებს ზედაპირულ ხასიათს, რადგან 10 მ-ზე უფრო ღრმად არ ვრცელდება.

თაღოვანი კაშხლის ტექნიკური პროექტის საინჟინრო-გეოლოგიური დასაბუთებისათვის მისი განლაგების უბანზე ჩატარდა ფართო საძიებო-საკვლევო სამუშაოები. ამ გამოკვლევებით დადგინდა, რომ კაშხალის გასწორის მარჯვენა გვერდში ადგილი აქვს ნასხლეტი-ძვრის ტიპის მსხვილ გეოლოგიურ დარღვევას, რომელიც უშუალოდ კვეთს კალაპოტის უბანს. რღვევის გამოსავალი ზედაპირზე ფიქსირებულია 400—440 მ ნიშნულზე. მისი გაიკრება დაახლოებით განედურია და ეცემა ფერდობის მხარით 70—80° კუთხით. ნასხლეტი-ძვრის ჰორიზონტალური გადაადგილების ამპლიტუდა 40 მ-ის ტოლია. ხოლო ვერტიკალური გადაადგილებისა 100 მ-ს აღემატება. აღნიშნული მსხვილი გეოლოგიური დარღვევის გარდა, კაშხალის განლაგების უბნის რაიონში გამოვლინებულია დიდი რაოდენობის უფრო მცირე, 3—4 მ სიგანის, ტექტონიკური დარღვევები და 0.2—1.0 მ სიგანის ტექტონიკური ბზარები. ამ ბზარებს გარდა საერთოდ ქანების მასივები ხასიათდება ძლიერ გავრცელებული ბზაროვნობით.



ნახ. 8—19. ენგურის ჰიდროელექტროსადგურის კაშხალის გაშლილი პროფილი და განივი კრილი:

1—სანაპირო ბურჯი; 2—ზედაპირის კონტური; 3—პერამეტრული ვალერვა; 4—ფსკერული ხერხები; 5—განმამტკიცებელი ცემენტაციის კონტური; 6—ღრმა ცემენტაციური ფარის საზღვარი; 7—განმამტკიცებელი ცემენტაცია.

აღნიშნულ გეოლოგიურ დარღვევათა და საერთოდ გავრცელებული ბზაროვნობის გამო საჭირო გახდა ძალიან დიდი მოცულობის სამუშაოების ჩატარება კაშხალის ფუძის ქანების განმტკიცების მიზნით (ცემენტაცია, რღვევის ზონებისა და მსხვილი ბზარების ჩამაგრება ბეტონით, ფუძის მიკროუბნების დაანკრება და სხვ.). რაც შეეხება კაშხალის გასწორის იმ უბანს (მარჯვენა ვერდთან შეერთების ზედა ნაწილს), სადაც გამოვლინებულია ნასხლეთი-ძვრის ტიპის მსხვილი დარღვევა, საკითხი მისი ფუძედ გამოყენების შესახებ გადაწყდა მხოლოდ კონსტრუქციული გზით—ამ უბანზე კაშხალის ისეთი დაყრდნობის გათვალისწინებით, რომელიც მაქსიმალურად ამცირებს ძაბვებს ფუძეში დატვირთვის მასივის დიდ მოცულობაზე გადაცემის შეშუაობით.

ენგურის კაშხალი წარმოადგენს მსოფლიოში ყველაზე მაღალ თაღოვან კაშხალს (ნახ. 8-18); მისი ქორდის სიგრძე თხემის ნიშნულზე 570 მ-ის ტოლია, ქორდის სიგრძის შეფარდება კაშხალის სიმაღლესთან— 2,11, მაქსიმალური სისქე კლიტის კვეთში— 64 მ, ქუსლის კვეთში— 68 მ. კაშხალის მაქსიმალური სისქის შეფარდება მის სიმაღლესთან— 0,255; კაშხალის სისქე თხემის ნიშნულზე: კლიტეში— 10 მ; ქუსლის კვეთში— 12 მ.

კაშხალის ფუძეში ჩატარებულია ფართობრივი გამმაგრებელი ცემენტაცია, მოწყობილია ღრმა ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა, აგრეთვე ღრუნაჟი ქვედა ბიეფის მხარეზე, რომელიც მოიცავს ხეობის ფსკერს და ვერდებს. მაქსიმალური ხარჯების გატარება ხორციელდება კაშხალის თხემზე მოწყობილ წყალსაშვებით, რომელსაც აქვს თითოეული 25 მ სიგანის 6 მაღლი. წყალსაშვები ხერხები აღჭურვილია ავტომატური საკეტებით, რომლებზედაც მოქმედებს 3,5 მ-ის ტოლი დაწნევა. 0,01% უზრუნველყოფის წყალდიდობის ხარჯების გატარების დროს, როდესაც ამასთანავე მხედველობაში მიიღება მისი აკუმულაცია წყალსაცავით, ქვედა ბიეფში ვარდება წყალდიდობის ხარჯი 2550 მ<sup>3</sup>/წმ.

ენგურის თაღოვანი კაშხალის მშენებლობა ჩატარდება ორი რიგით: პირველი რიგის გაშვებას მოახდენენ მას შემდეგ, როცა კაშხალის სიმაღლე მიაღწევს 180 მ-ს; ამ მიზნით კაშხალზე ეწყობა 5 დროებითი წყალსაგდები

ხერეტი. კაშხალის სრულ სიმაღლემდე აგების შემდეგ დროებითი წყალსაგდები ხერეტები ჩამაგრდება ბეტონით (ნახ. 8-19). გარდა წყალსაგდები ხერეტებისა, ფუძიდან 70 მ სიმაღლეზე აწყობენ 2,2 მ დიამეტრის მქონე ოთხ სააგარო წყალგამწვებ ხერეტს, რომელიც აღჭურვილი იქნება კონუსური და დროულური საეცებით.

თალოვანი კაშხალის ქვაბულის მომზადების სამუშაოები ჩატარდა ღია წესით, რისთვისაც საჭირო გახდა დიდი მოცულობის კლდის სამუშაოების შესრულება ფერდობებზე მისასვლელი გრუნტის გზების გასაყვანად. მთლიანად თალოვან კაშხალში ეწყობა 3,7 მლნ.მ<sup>3</sup> ბეტონი; კალენდარული გეგმის შესაბამისად წელიწადში უნდა ჩაიწყოს 1 მლნ. მ<sup>3</sup> ბეტონი. კაშხალის ბეტონს წაყენებული აქვს მკაცრი მოთხოვნები, კერძოდ, მისი მარკა უნდა იყოს 350 კგ/სმ<sup>2</sup> კუმშვაზე და 25 კგ/სმ<sup>2</sup> გაჭიმვაზე. ბეტონის შემავსებლებად გამოიყენება მდ. ენგურის ალუვიალური დანალექები სოფ. ჭვართან; ეს დანალექები ხარისხდება ქვიშის 2 და მსხვილი შემავსებლების 4 ფრაქციად; ფრაქციის მაქსიმალური ზომაა 120 მმ.

ბეტონის დამზადების ტექნოლოგიური ხაზის შექმნის დროს გათვალისწინებულ იქნა მშენებლობის რაიონის სპეციფიკური პირობები და შედგენილ იქნა ბეტონის ქარხნისა და გამამდიდრებელი ფაბრიკის სპეციალური პროექტები. ბეტონის ქარხანა დააპროექტა „ორგენერატორის“ ლენინგრადის ფილიალმა, გამამდიდრებელი ფაბრიკა და საკარიერო მეურნეობა — „ჰიროპროექტის“ უკრაინის განყოფილებამ, კაბელქარანები — „სოიუზპრომშენანიზაციის“ მოსკოვის განყოფილებამ, ხოლო საბაგირო გზები — „სოიუზპრომშენანიზაციის“ თბილისის განყოფილებამ. გარდა ამისა, დაპროექტებულ იქნა: 3,0 მ<sup>3</sup> ტვეადობის ბაღია ბეტონის მისაწოდებლად, ლიანდაგზე მოძრავი ბეტონშიდები ბეტონის მისაზიდად ქარხნიდან კაბელ-ქარანებამდე, კარეები, ქარგილები და სხვ. შემავსებლების მოსაპოვებლად პირველად მდ. ენგურის ნარწყულში გამოყენებულ იქნა დრაგა, რომელსაც საერთოდ იყენებენ ოქროს-მომპოვებელ მრეწველობაში. ენგურის პირობებისათვის იგი რეკონსტრუირებულ იქნა ჰიდროპროექტის ახალი ტექნიკის განყოფილების მიერ. კაშხალის ბეტონისათვის სპეციალურ ცემენტს ამზადებს რუსთავის ცემენტის ქარხანა.

ენგურის თალოვანი კაშხალის ბეტონის დამზადებისას შემავსებლების გასაცივებლად პირველად გამოყენებულ იქნა არა ყინულის ნატეხები, არამედ ცივი პაერი, რომელიც მიიღება სპეციალურ მაცივარ-დანადგარებში.

ბეტონის ჩაწყობა თალოვან კაშხალში წარმოებს 4 კაბელ-ქარანის მეშვეობით; თითოეულის ტვირთშიდაობა ტოლია 25 ტ-ის, ხოლო მალი—930 მ-ია.

თალოვანი კაშხალის დაბეტონება წარმოებს გრძელ ბლოკებად, რაც განსაზღვრულია კაშხალის სვეტბად დაყოფით. ამის შესაბამისად ცალკეულ ბლოკე ვააჩნია თავისი საკუთარი ზომები; მაქსიმალურ ბლოკს აქვს 68 მ სიგრძე, რაც შესაბამებდა თალის სისქეს ძირში; კაშხალის ამოყვანის სიმაღლის ზრდის შესაბამისად სვეტის სისქე მცირდება; ბლოკების სიმაღლედ მიღებულია 1,5 — 3,0 მეტრი.

ბლოკების დაბეტონება წარმოებს ცალკეულ ფენებად იმ ანგარიშით, რომ თითოეულმა ფენამ გადაფაროს წინა ფენა 2 საათის შემდეგ; ფენის სიმაღლე 0,5 მ-ის ტოლია; წყობის დროს იყენებენ ლითონის ქარგილებს. დასაბეტონებელი ბლოკი იხურება ლითონის გადასატანი კარკით. რათა ბეტონის შენახვა და ტულ იქნეს კოკისპირული წვიმისაგან, რომელიც ხშირად და უეცრივ ახრ

მოსალოდნელი მშენებლობის რაიონში. კარვებში დატოვებულია სპეციალური საძრომები ბადისა და სხვა მექანიზმების ჩასაშვებად.

ბეტონის შენახვას ასწორებენ ცალკეულ ფენებად მცირეგაბარიტიანი ბულდოზერებით. ამავე ბულდოზერებზე კიდებენ  $H-86$  მარკის ხუთი ვიბრატორისაგან შემდგარ პაეტს, რომელთა მეშვეობით წარმოებს ბეტონის გამკვრივება. სპეციალური მომზადების შემდეგ ბლოკს აწყობენ ბლოკზე 4—5 ღლის შემდეგ.

როგორც ცნობილია, დაბეტონების პირველ დღეებში წარმოებს ბეტონის ტემპერატურის აწევა ცემენტის ეგზოთერმიის გამო. ტემპერატურული ძაბვების შემცირების მიზნით, აგრეთვე ცალკე მდგომ ბლოკების ნაკერების გამოწვლითების ვადის შესამცირებლად გამოყენებულ იქნა ბეტონის ხელოვნური გაცივება. ამ მიზნით დაბეტონების დროს ბლოკებში ალაგებენ სპეციალურ კლანკილ მილებს, რომელთა საშუალებით წარმოებს ცივი წყლის ცირკულაცია დასაწყისში  $11^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროს, რომელსაც შემდგომ, ბლოკში გაღლისდა მიხედვით, ამცირებენ  $2^{\circ}\text{C}$ -მდე. ბეტონის მაქსიმალური დასაშვები გახურება შეადგენს  $28-34^{\circ}\text{C}$ . ამიტომ წლის დროის შესაბამისად, ე. ი. გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით, დასაწყისში ბეტონის ტემპერატურა უნდა იყოს 7, 11,  $15^{\circ}\text{C}$ . ამასთან დაკავშირებით ბეტონის ქარხანა დაპროექტებულია იმ ანგარიშით, რომ გასცეს ბეტონის ნარევი  $+6^{\circ}\text{C}$  და  $12^{\circ}\text{C}$  საწყისი ტემპერატურით. ბეტონის გაცივების ხანგრძლივობა შეადგენს 6—7 თვეს. ცივი წყალი მიიღება სპეციალურ მაცივარ-დანადგარიდან. მილების საერთო სიგრძე შეადგენს ხვია მილებში 550 კმ-ს, ხოლო განმანაწილებელ ქსელში და მაგისტრალებში — 60 კმ-ს.

ნაკერების გამონოლითება წარმოებს მას შემდეგ. როდესაც ბეტონის ტემპერატურა ქვედა ნაწილში შემცირდება  $10^{\circ}\text{C}$ -მდე, შუა ნაწილში  $13^{\circ}\text{C}$ -მდე და ზედა ნაწილში კი  $16^{\circ}\text{C}$ -მდე. იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს ცემენტაცია, ნაკერის მინიმალური გახსნის სიგანე უნდა იყოს არანაკლებ 0,5 მმ-ისა.

ენგურის თაღოვანი კაშხალი განივი ნაკერებით დაყოფილია სექციებად. რაიონის ტემპერატურული რეჟიმის გათვალისწინებით ნაკერებს შორის მანძილი აღებულია 20 მ-ის ტოლი. კაშხალის სტატიკური მუშაობის პირობების მიხედვით ჰორიზონტალურ თაღოვან სარტყლებში მოქმედი ძალები შედლებისდაგვარად ნორმალური უნდა იყოს სექციებს შორის ნაკერების ზედაპირისაღმ. მაგრამ რადგან ენგურის კაშხალის ცენტრების ხაზი სივრცეში ძალიან განსხვავებულია ვერტიკალისაგან, ამიტომ თითოეული თაღისათვის ნაკერის ხაზების რადიალურად გატარების შემდეგ ნაკერის მიღებული ზედაპირი სივრცეში მრუდდება ყველა ნიშნულზე, რაც ქმნის ეგრეთ წოდებულ ქალიქალი და ლური ზედაპირს.

კაშხალის მონოლითურობის შესაქმნელად ტარდება აღნიშნული ნაკერების ცემენტაცია. ამ მიზნით ენგურის თაღოვანი კაშხალისათვის დამუშავებულია ნაკერების ცემენტაციის ორი ვარიანტი. პირველი გულისხმობს ნაკერებში ორი ცემენტაციური სისტემის მოწყობას, ე. ი. მისი დანიშნულებაა კაშხალის ნაკერების პირველადი ცემენტაცია, ხოლო მიღების მეორე სისტემისა — განმეორებითი (მრავალჯერადი) ცემენტაციის ჩატარების შესაძლებლობა ექსპლუატაციის პერიოდში ნაკერების გახსნის შემთხვევაში. მეორე ვარიანტის თანახმად, რადიალურ ნაკერში ეწყობა მიღების ერთი ცემენტაციური სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც პირველადს, ისე განმეორებად ცემენტაციას. ეს სის-

ტემა კონსტრუქციულად ისეა დაგეგმარებული, რომ ცემენტაციის შემდეგ იძლევა ყველა მკვებავი მილის გარეცხვისა და შემდგომი ციკლის მომზადების შესაძლებლობას.

ენგურის თაღოვანი კაშხალის პროექტის დასაბუთებისათვის ჩატარებულ იქნა უფართოესი კვლევითი სამუშაოები საბჭოთა კავშირის მრავალ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტსა და უმაღლეს სასწავლებელში. ამ მხრივ დიდი სამუშაოება ჩატარებული ბ. ვედენევის სახ. ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (ლენინგრადი), თბილისის ნაგებობათა და ჰიდროენერგეტიკის (ამჟამად საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა) სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, მოსკოვის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტში, საქართველოს ვ. ი. ლენინის სახ. პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში, საქართველოს მეცნ. აკად. სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომედევობის ინსტიტუტში. „ჰიდროპროექტის“ მოსკოვის, ლენინგრადისა და თბილისის განყოფილებებში და სხვ.

ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებულ მოდელურ გამოკვლევება შედეგად დადგინდა იქნა, რომ ჰიდროსტატიკური წნევისა და საკუთარი წონის მოქმედების დროს არაწრიული მოხაზულობის თაღოვანი კაშხალის ძაბვითი მდგომარეობა რამდენადმე უკეთესია, ვიდრე წრიული მოხაზულობის თაღოვანი კაშხალისა, ამასთანავე მას აქვს 200 ათასი მ<sup>3</sup>-ით უფრო ნაკლები მოცულობა და ამიტომ განსახორციელებლად საბოლოოდ მიღებულ იქნა არაწრიული მოხაზულობის კაშხალის გარიანტი.

მრავალმხრივმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ძირითადი საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედების დროს მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვები კაშხალში ცვალებადობს 80—90 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე, ხოლო გამჭიმავი ძაბვები — 18—20 კგ/სმ<sup>2</sup>-მდე. აღნიშნულს, ცხადია, უნდა დაემატოს ძაბვები, რომლებიც წარმოიშობა მიწისძვრის დროს ინერციული ძალების მოქმედების შედეგად.

თბილისის ნაგებობათა და ჰიდროენერგეტიკის ინსტიტუტში ჩატარებულმა მოდელურმა გამოკვლევებმა დაადასტურა, რომ დინამიკური ძაბვები მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევენ ხეობის განივად მიმართულ სეისმური ზემოქმედების (გვერდითი სეისმის) დროს, ამასთან მაქსიმალურ ძაბვებს ადგილი აქვს კაშხალის ქუსლის კვეთებში. ხეობის გასწვრივ მიმართული სეისმური ზემოქმედების (გრძივი სეისმის) დროს მაქსიმალური ძაბვები წარმოიშობა კაშხალის თაღების კლიტის კვეთებში.

ენგურპეისის უნიკალური თაღოვანი კაშხალის მშენებლობა, რომელიც რთულ გეოლოგიურ და ტოპოგრაფიულ პირობებში მიმდინარეობს, ჩვენს დროის უდიდესი მშენებლობაა. მისი წარმატებით დამთავრებით საქართველოსა და მთელი საბჭოთა ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობა მიიღებს უმდიდრეს მასალას თაღოვანი კაშხალების მშენებლობის შემდგომი განვითარებისათვის.

#### § 8-4. მოკლე ცნობები თაღოვანი კაშხალების სიმაღლის კალაშის მეთოდების შესახებ

თაღოვან კაშხალზე მოქმედი ძალები. ზოგად შემთხვევაში თაღოვან კაშხალზე შეიძლება მოქმედებდეს: საკუთარი წონა, წყლისა და ნატანის წნევები, ფილტრაციული უუუწნევა, ცინულის საფარის წნევა, ტემ-

პერატურული ძალები, ბეტონის შეკლებით და გაჭირვებით წარმოშობილი ძალები, სეისმური (ინერციული) ძალები და სხვ.

თხელი თაღოვანი კაშხალების შემთხვევაში ფილტრაციული უკუწნევა მხედველობაში არ მიიღება, ასევე იგი შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ თაღოვან-გრავეიტაციულ კაშხალებშიც, თუ ფუძეში და ხეობის გვერდებში განხორციელებულია ღრმა ცემენტაციური ფარდა. როგორც წესი, თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მიიღება ყინულის საფარის სტატიკური წნევა იმ მოსაზრების საფუძველზე, რომ ექსპლუატაციის პერიოდში წარმოებს მისი ჩამტერევა პერფორატორების ან სხვა საშუალებათა გამოყენებით.

თაღოვან კაშხალებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ძალები, რომლებიც წარმოიშობიან გარემოს ტემპერატურის ცვალებადობის შედეგად, მაგალითად, კაშხალის ტანის ტემპერატურის თანაბარი ზრდა იწვევს მისი თაღების ბოქვების დაგრძელებას, ხოლო ტემპერატურის შემცირება — ბოქვების დაშორებას, რაც ქუსლების ჩამაგრების შემთხვევაში წარმოშობს განმბრჩენ ძალებს. გარდა ამისა, კაშხალის წახნაგები იძყოფება სხვადასხვა ტემპერატურული რეჟიმის პირობებში, რაც იწვევს მათი წახნაგების დეფორმაციას სხვადასხვა სიდიდით და შედეგად განიკვეთების დამფრკადი მომენტების წარმოშობას. ტემპერატურული გაანგარიშების დროს მხედველობაში მიიღება მხოლოდ ტემპერატურის სეზონური ცვალებადობა, რომელიც კაშხალის ტანში აღწევს 3 — 6 მ სიღრმემდე; ტემპერატურის დღელამური ცვალებადობა, რომელიც აღწევს 0,2 — 0,3 მ სიღრმემდე, მხედველობაში არ მიიღება.

ძალები, რომლებიც წარმოიშობიან ბეტონის შეკლებითა და გაჭირვებით. ურთიერთშებრუნებულია ნიშნით და დამოკიდებულია ბეტონის შედგენილობასა და მისი წყობის მეთოდებზე. ბეტონის შეკლებითა და გაჭირვებით გამოწვეული ძაბვები შეიძლება მიახლოებით გამოსახულ იქნეს მათი ეკვივალენტური ძაბვებით, რომლებიც წარმოიშობიან შესაბამისად კაშხალის ტემპერატურის შემცირებით და გაზრდით, რადგან ორივე ეს პროცესი იწვევს ნაგებობის ბოქვების სიგრძის ცვალებადობას. ამიტომ თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების დროს აღნიშნული სამი ფაქტორი — გარემოს ტემპერატურის რყევა, ბეტონის შეკლება და გაჭირვება — შეიძლება დაყვანილ იქნეს შესაბამისი ამპლიტუდის ტემპერატურის ჯამურ რყევაზე. ასე, მაგალითად, როდესაც ბეტონის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი ტოლია 0,00001, ხოლო შეკლებით გამოწვეული დამოკლების კოეფიციენტი 0,0002, მაშინ შეკლების დეფორმაცია ბეტონის ტემპერატურის 20°-ით დაცემის ეკვივალენტურია. პრაქტიკაში, ითვალისწინებენ რა პლასტიკურ მოვლენებს ბეტონის გამაგრების დასაწყისში, შეკლებას მიახლოებით ლებულობენ ტემპერატურის 15°-ით დაცემის ეკვივალენტურს.

ბეტონის გაჭირვება უმთავრესად ვლინდება სადაწნეო წახნაგთან, იგა რამდენადმე აკომპენსირებს და ამცირებს ტემპერატურულ-შეკლების დეფორმაციებსა და ძაბვებს.

თაღოვანი კაშხალების სეისმურ ძალებზე გაანგარიშებას აწარმოებენ ორი ძირითადი მიმართულებით — მდინარის ხეობის გრძივად და განივად. დადგენილია, რომ კაშხალის ქუსლის კვეთებისათვის საანგარიშოდ უნდა ჩაითვალოს განივი (გვერდითი) სეისმური, ხოლო კლიტის კვეთებისათვის გრძივი სეისმური ზემოქმედება.

სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდები. თაღვანი კაშხალი არის გარსის ტიპის შემტობორავი ნაგებობა, რომლის ზუსტი თეორიული გაანგარიშება სამშენებლო მექანიკის ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს. მიუხედავად მრავალგზის ცდებისა, თაღვანი კაშხალის სიმტკიცის ამოცანის მკაცრი თეორიული გადაწყვეტა ჯერ კიდევ არ არის მიღებული. დაბეჭიბებით შეიძლება აღინიშნოს, რომ ასეთი გადაწყვეტა ზოგად პირობებში, როდესაც ცვალებადია კაშხალის ყველა გეომეტრიული პარამეტრი და ფუძის კლდოვანი ქანების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, თითქმის შეუძლებელია. სწორედ აღნიშნულმა გარემოებამ განაპირობა თაღვანი კაშხალების გაანგარიშებისათვის მრავალი მიახლოებითი მეთოდის დამუშავება, რომელთაც საფუძვლად უდევს გამარტივებული საანგარიშო სქემები.

ზოგადად, თაღვანი კაშხალების გაანგარიშების მეთოდები შეიძლება დავეყოთ ორ ჯგუფად: პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ეგრეთ წოდებული „სუფთა თაღის“ მეთოდები, რომლებიც განიხილავენ თაღვანი კაშხალიდან პორიზონტალური სიბრტყეებით ამოჭრილ ერთეული სიმაღლის თაღებს პორიზონტალური დატვირთვების მოქმედების და სხვადასხვა ხასიათის დაყრდნობის პირობებში, ხოლო მეორე ჯგუფს — მეთოდები, რომლებიც თაღვან კაშხალს განიხილავენ როგორც პორიზონტალური და ვერტიკალური დატვირთვების ქვეშ მომუშავე სივრცულ სისტემას.

სუფთა თაღის, ანუ დამოუკიდებლად მომუშავე თაღების, მეთოდი თავდაპირველად გამოიყენებოდა ძალიან მარტივი სახით; კაშხალის თაღების გაანგარიშება წარმოებდა ეგრეთ წოდებული ცილინდრული (ანუ „საქაბე“) ფორმულით; ანგარიშის ეს ხერხი არ ითვალისწინებდა თაღების ქუსლების ჩამაგრებას, ტემპერატურისა და სხვა მრავალი ფაქტორის გავლენას, მაგრამ, სამაგიეროდ, იგი მნიშვნელოვნად ზღუდავდა დასაშვებ მკუმშავ ძაბვებს ბეტონში, რაც იძლეოდა კაშხალების უავარიოდ მუშაობის გარანტიას.

შემდგომში სუფთა თაღის მეთოდი მნიშვნელოვნად განავითარეს მასალათა გამძლეობისა და დრეკადობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით. გათვალისწინებულ იქნა თაღის ჩამაგრების ხასიათი და ქუსლების დეფორმაცია, ტემპერატურის რყევის გავლენა და სხვ.

თაღვანი კაშხალების, როგორც სივრცული სისტემების, გაანგარიშების მეთოდებმა შედარებით მოგვიანებით იწყო განვითარება; ამჟამად ეს მეთოდები ვითარდება ძირითადად ორი მიმართულებით, პირველი ემყარება დისკრეტულ საანგარიშო სქემებს (მოდელს), ხოლო მეორე — გარსების თეორიას.

პირველი მიმართულების მეთოდებში თაღვანი კაშხალი წარმოდგენილია როგორც ვერტიკალური (კონსოლების) და პორიზონტალური (თაღების) ელემენტებისაგან შედგენილი დისკრეტული სისტემა. აღნიშნული ელემენტების ერთობლივი მუშაობა შეისწავლება ერთი ცენტრალური (ყველაზე მაღალი) ან მრავალი ვერტიკალური კვეთის საერთო წერტილებში გადაადგილებათა ურთიერთგატოლების გზით. ამ საფუძველზე განსაზღვრავენ კაშხალზე მოსული საერთო დატვირთვის ნაწილებს, რომლებიც გადაეცემა შესაბამისად თაღებისა და კონსოლების სისტემებს, ხოლო შემდეგ ამ დატვირთვებისაგან წარმოშობილ ძაბვებს შესაბამის ელემენტებში.

აღნიშნული მეთოდის სახესხვაობას წარმოადგენს ეგრეთ წოდებული „საცდელი დატვირთვების“ მეთოდი, რომელიც დამუშავა აშშ-ების მელიორაციის ბიურომ და ახლა ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანა-



ნაშ. წინა მეთოდისაგან განსხვავებით, ამ მეთოდში გარეგან ძალთა განაწილება თაღებსა და კონსოლებს შორის წარმოებს არაპირდაპირი გზით — წინასწარი დაშვებით საპროექტო გამოცდილების საფუძველზე.

თაღოვანი კაშხალის დისკრეტიზაციის ფორმა, რომელსაც საფუძველად უდევს თაღებისა და კონსოლების უთიერთგადაწყვეთი სისტემები, ძალიან ფართოდ არის გავრცელებული. გამოკვლევების ყველაზე დიდი რაოდენობა შესრულებულია დისკრეტიზაციის აღნიშნული ფორმის გამოყენებით. მაგალითად, ქ. განევის, კ. ხუბერაიანის, ა. კაქუშაძის და სხვათა გამოკვლევებში თაღოვანი კაშხალი წარმოდგენილია, როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე კონსოლების ან თაღების სისტემა; ამასთან, დრეკადი ფუძე იქმნება შესაბამისად თაღებით ან კონსოლებით; ი. ლუღუშაურისა და რ. როზინის გამოკვლევებში თაღოვანი კაშხალი იყოფა ორ სისტემად: „თაღოვან გარსად“ და „კონსოლურ გარსად“, რომლებიც იცვლება დისკრეტული ლეროვანი ელემენტებით; ა. ფილინისა და ან. ლოსაბერიძის გამოკვლევებში თაღოვანი კაშხალი წარმოდგენილია როგორც არაგამქოლი ლეროვანი გადაწყვეთი სისტემა უცნობი ურთიერთმჭიმედების კვანძური ძალებით; ეს სისტემა შედგება სასრული სიმრავლის თაღებისა და კონსოლებისაგან, ამასთან თითოეული თაღის სიმაღლე და თითოეული კონსოლის სიგანე სასრულია და ნულისაგან განსხვავებული.

თაღოვანი კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშების თაღ-კონსოლურ სქემაზე დამყარებული მეთოდების მრავალი მნიშვნელოვანი საკითხი დამუშავებულია ვ. სკირლინიკოვის, ა. შოკევიტინოვის, ს. სოკოლოვსკის და სხვათა შრომებში.

თაღოვანი კაშხალების, როგორც გარსების, სიმტკიცის კვლევა ჩატარებულია გარსების ტექნიკური თეორიის დიფერენციალურ განტოლებათა მიხედვითი ინტეგრების გზით, სახელდობრ, სასრული-სხვაობითი და ვარიაციული მეთოდების გამოყენებით, მაგრამ აღინიშნება მათემატიკური ხასიათის დიდი სიძნელებები, რაც დაკავშირებულია კაშხალი-გარსის შუა სიბრტყის და სასაზღვრო პირობების ანალიზურ გამოსახულებათა შედგენასთან, მაპროქსიმებული ფუნქციების შერჩევასთან და სხვ. ამ მიმართულებით გარკვეული სამუშაოებია ჩატარებული როგორც უცხოეთში, ისე ჩვენში; საყურადღებოა გამოკვლევები, რომლებიც წარმოებს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამოყენებით მათემატიკის ინსტიტუტში (ვ. ელენტი, ა. ზეოლესი, ფ. ცხადაია), აგრეთვე ს. ყუყის სახელობის ჰიდროპროექტის სამეცნიერო-კვლევით სექტორში (კ. ძიუბა, ი. ლომბარდო).

დიდ ყურადღებას იმსახურებს უკანასკნელ ხანებში ჩატარებული გამოკვლევები, რომელიც დაკავშირებულია თაღოვანი კაშხალების სასრული ელემენტების მეთოდით გაანგარიშებასთან (ა. ფილინი, ა. როზინი და სხვ.).

თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების დისკრეტული მეთოდების განვიტარებაში უცხოელმა მკვლევარებიდან დიდი წვლილი აქვთ შეტანილი მლადიენოვიჩს, ტონინის, სერაფიმს და სხვ. მათ მიერ ჩატარებულ გამოკვლევებში ზღვრული დისკრეტული სქემა (უსასრულო სიმრავლის თაღებისა და კონსოლების სისტემა) კარგადაა შეთავსებული კოლლოკაციის მეთოდთან, რითაც მიღწეულია ამოცანის ამოხსნის სრული ალგებრიზაცია ერთ ეტაპად.

საკვლევი დატვირთვების მეთოდის შემდგომი სრულყოფისათვის მნიშვნელოვანი სამუშაოებია ჩატარებული ს. ყუყის სახელობის ჰიდროპროექტის,

კაშხალების განყოფილებაში (ი. ლომოვი, ვ. ივანიშვიცი, ვ. ბრონშტეინი). კოლონაციის მეთოდთან დაკავშირებულ წრფივ ალგებრულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის არამდგრადობის სალიკვიდაციოდ აქ გამოყენებულია აკად. ა. ტიხონოვის მიერ არაკორექტული ამოცანების ამოხსნისათვის დამუშავებული რეგულარიზაციის მეთოდი, რაც დიდ ინტერესს იწვევს<sup>1</sup>.

მნიშვნელოვანი გამოკვლევებია ჩატარებული თალოვანი კაშხალების დინამიკისა და სეისმომედეგობის დარგში უკანასკნელი ათ-თხუთმეტი წლის მანძილზე. მართალია, ეს გამოკვლევები რამდენადმე მოგვიანებით დაიწყო (1963-64 წწ.), მაგრამ, მიუხედავად ამისა, მისი დონე საეხებით შეესაბამება თალოვანი კაშხალების სტატიკური სიმტკიცის თეორიის განვითარების თანამედროვე დონეს. ამ მიმართულებით პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს შ. ნაფეტვარიძის, ა. სინციანის და ს. მედვედევის გამოკვლევები, რომელთაც საფუძვლად უდევს სეისმომედეგობის თანამედროვე დინამიკური თეორია და ტალღური მექანიკა.

სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდების დამუშავებასთან ერთად ჩვენს ქვეყანაში ფართოდ ვითარდება თალოვანი კაშხალების ექსპერიმენტული გამოკვლევები მყიფე და დრეკად მოდლებზე მექანიკური მსგავსების თეორიის გამოყენებით; ამ მიმართულებით საყურადღებოა ის გამოკვლევები, რომლებიც ტარდება მოსკოვის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტში (მ. გრიშინი, ნ. როზანოვი, პ. გორდიენკო, ვ. ორეხოვი), ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (ნ. როზანოვი, კ. მალცოვი, ს. ანტონოვი), საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (გ. ჩილინგარიშვილი, პ. ლუტიძე) და სხვ.

თალოვანი კაშხალების სიმტკიცის შეფასების საკითხებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ნატურულ გამოკვლევებს. ამასთან დაკავშირებით უკანასკნელ ხანებში საბჭოთა კავშირის წამყვან საპროექტო ორგანიზაციებსა და კვლევით ინსტიტუტებში გარკვეული სამუშაოები ჩატარებული. საეხებით ცხადია, რომ ნატურული გამოკვლევების რეზულტატები უნდა გახდეს ეტალონი სიმტკიცეზე გაანგარიშებისა და მოდელური გამოკვლევების რეზულტატების შეფასებისათვის. მაგრამ ჭერჭერობით ამ გამოკვლევებმა ვერ მიაღწიეს ისეთ მეცნიერულ-ტექნიკურ დონეს, რომ შეასრულოს აღნიშნული ეტალონის როლი<sup>2</sup>. ნატურული დაკვირვების არსებული მეთოდოლოგია და შესაბამისი საკონტროლო-გამზომი აპარატურა იმდენად არასრულყოფილია, რომ კაშხალში ხერხდება მხოლოდ ძაბვების განაწილების ხარისხობრივი (და არა რაოდენობრივი) სურათის გამოვლინება.

თავისთავად ცხადია, რომ ექსპერიმენტულ და ნატურულ გამოკვლევათა მეთოდოლოგია თავისი განვითარებით წინ უნდა უსწრებდეს თალოვანი კაშხალების სიმტკიცის პრობლემის სხვა მხარეებს, იგი უნდა გამდიდრდეს პრინციპულად ახალი საშუალებებით; უნდა ვიფიქროთ, რომ უახლოეს დროში მნიშვნელოვნად განვითარდება თალოვანი კაშხალების ნატურული კვლევის პრობლემები.

<sup>1</sup> В. А. Морозов, В. Ф. Ивашищев, Примененные метода регуляризации к расчету арачных плотин, Сб. работ Вычислительного центра МГУ «Вычислительные методы и программирование», Т. V, изд.-во МГУ, 1966.

<sup>2</sup> К. М. Хуберян, Некоторые вопросы теории расчета арачных плотин, Известия ТНЦСЭИ имени А. В. Внителя, т. 19 (53), Изд.-во «Энергия», М., 1969.

ამჟამად თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების მეთოდები, რომლებიც ითვალისწინებენ ნაგებობის სივრცულ მუშაობას, იმდენადაა დამუშავებული, რომ მათი გამოყენებისათვის სიძნელეები პრაქტიკულად უკვე დაძლეულია. სათანადო საპროექტო ორგანიზაციების განკარგულებაშია ზოგიერთი ძირითადი მეთოდის (განსაკუთრებით საცდელი დატვირთვის მეთოდის) დეტალურად დამუშავებული ალგორითმები და პროგრამები ელექტრონული გამოთვლითი მანქანებისათვის. აღნიშნულიდან გამომდინარე, სუფთა თაღის მეთოდებმა, რომლებიც სულ ცოტა ხნის წინათ წარმოადგენდნენ თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების ძირითად საშუალებას, არსებითად დაკარგა წამყვანი მნიშვნელობა. მიუხედავად ამისა, მათი შესწავლა ფრიალ სასარგებლოა, ერთის მხრივ. იმიტომ, რომ თითქმის ყველა საანგარიშო მეთოდი, რომელიც ემყარება დისკრეტულ თაღ-კონსოლების სქემას, გაანგარიშების გარკვეულ ეტაპზე ფართოდ იყენებს სუფთა თაღის მეთოდის კვლევის აპარატს; მეორე მხრივ. თაღოვანი კაშხალის დაპროექტების წინასწარ სტადიაზე, როდესაც წარმოებს მისი ფორმისა და ზომების დადგენა, სუფთა თაღის ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენებას პირდაპირი აზრი აქვს. ქვემოთ მოგვყავს აღნიშნული მეთოდის ძირითადი საანგარიშო ფორმულები.

1. თავისუფლად დაყრდნობილი თხელი წრიული თაღის გაანგარიშვა

განსახილველი ხერხი, რომელიც გამოყენებულ იქნა გასული საუკუნის ბოლოს აგებული პირველი თაღოვანი კაშხალებისათვის, უმარტივესია. სიპტიციზე გაანგარიშებისათვის თაღოვან კაშხალს სიმაღლეზე ყოფენ პორიზონტალური კვეთებით ერთეული (ჩვეულებრივ. 1 მ) სიმაღლის დამოუკიდებლად მომუშავე თაღებად, რომელთა დატვირთვას შეადგენს თანაბრად განაწილებული ჰიდროსტატიკური წნევა; მიღებულია დამუშავება იმის შესახებ. რომ თითოეული საანგარიშო თაღი ქუსლებით თავისუფლად ეყრდნობა საყრდენებს. რომლებზეც მას შეუძლია უხახუნოდ სრიალი. ასეთი გამარტივებული სასაზღვრო პირობების გამო ნორმალური ძალა თაღის ნებისმიერ რადიალურ კვეთში მუდმივია და ტოლია საყრდენი რეაქციისა  $N=R=pr$ , სადაც  $p$  — ჰიდროსტატიკური წნევის ინტენსიურობაა, ხოლო  $r$  — თაღის გარე რადიუსი.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ნორმალური მკუმშავი ძაბვა თაღის ნებისმიერ რადიალურ კვეთში

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{pr}{e},$$

აქედან საანგარიშო თაღის საძიებელი სისქე

$$e = \frac{pr}{[\sigma]} \tag{8-1}$$

სადაც  $[\sigma]$  არის ბეტონზე დასაშვები ძაბვა კუმშვის დროს.

მიღებული უმარტივესი (8 — 1) ფორმულა, რომელსაც ცილინდრულ ანუ „საქვებზე“ ფორმულას უწოდებენ, თეორიულად მართებულია უსასრულოდ მკირე სისქის თაღებისათვის და ამიტომ სქელი თაღების შემთხვევაში იგი იძლევა უხეშ მიახლოებით რეზულტატებს.



$X_1$  და  $X_2$  სტატიკურად ურკვევად სიდიდეთა განსაზღვრა შეიძლება მნიშვნელოვნად გამარტივდეს, თუ ისინი ზოილება  $O$  წერტილში, რომელსაც თალის დრეკადი ცენტრი ეწოდება. დრეკადი ცენტრის მდებარეობა განისაზღვრება  $y_0$  ორდინატით, რომელიც მოიძებნება პირობიდან  $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$ .

ვსარგებლობთ  $\delta_{ik}$  გადაადგილების შემდეგი ზოგადი გამოსახულებით:

$$\delta_{ik} = \int_0^s \frac{M_i M_k}{EI} ds + \int_0^s \frac{N_i N_k}{EF} ds, \quad (8-3)$$

რომლის თანახმად,

$$\delta_{12} = \int_0^s \frac{M_1 M_2}{EI} ds + \int_0^s \frac{N_1 N_2}{EF} ds,$$

სადაც  $M_1$  და  $M_2$  არის, სათანადოდ,  $X_1=1$  და  $X_2=1$  ძალებისაგან გამოწვეული მღუნავი მომენტები განსახილველ კვეთში, რომელიც დაშორებულია თალის დრეკად ცენტრზე გამავალი  $ox$  ღერძიდან  $y$  მანძილით;  $N_1$  და  $N_2$  კი — იგივე ძალებით გამოწვეული ნორმალური ძალები აღნიშნულ კვეთში.

თუ განვიხილავთ თალის ერთ-ერთ ნახევარს, მაგალითად, მარცხენს (ნახ. 8-20), გვექნება:  $M_1=1$ ;  $M_2=1 \cdot y=y$ ;  $N_1=0$ ,  $N_2=1 \cdot \cos \alpha$ ; მაშინ

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \int_0^s \frac{y ds}{EI} = \int_0^s \frac{y_0 - y'}{EI} ds = 0,$$

საიდანაც

$$y_0 = \frac{\int_0^s y' ds}{\int_0^s ds}. \quad (8-4)$$

მაგრამ ნახაზის თანახმად:

$$y' = r_0 \cos \alpha - r_0 \cos \alpha_0 = r_0 (\cos \alpha - \cos \alpha_0); \text{ და } ds = r_0 d\alpha.$$

შაშასაღამე, ჩასმისა და  $(-\alpha_0, +\alpha_0)$  საზღვრებში ინტეგრების შემდეგ მივიღებთ

$$y_0 = r_0 \left( \frac{\sin \alpha_0}{\alpha_0} - \cos \alpha_0 \right). \quad (8-5)$$

რადგან პირობის თანახმად  $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$ , ამიტომ (8-2) კანონიკური განტოლებანი მარტივდება და სტატიკურად ურკვევადი სიდიდეები განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებებიდან:

$$X_1 = M_0 = -\frac{\Delta_1 r}{\delta_{11}}; \quad (8-6)$$

$$X_2 = H_0 = -\frac{\Delta_2 r}{\delta_{22}}. \quad (8-7)$$

თუ გამოვიყენებთ (8 — 3) ზოგად გამოსახულებას, ადვილად შეიძლება განვსაზღვროთ (8 — 6) და (8 — 7) განტოლებებში შემავალი სიდიდეები. მართლაც, (8 — 3) თანახმად,

$$\Delta_{1r} = \int_0^s \frac{M_0 ds}{EI}; \quad \delta_{11} = \int_0^s \frac{ds}{EI};$$

$$\Delta_{2r} = \int_0^s \frac{M_0 y ds}{EI} + \int_0^s \frac{N_0 \cos \alpha ds}{EF};$$

$$\delta_{22} = \int_0^s \frac{y^2 ds}{EI} + \int_0^s \frac{\cos^2 \alpha ds}{EF}.$$

ჩავსვათ ეს მნიშვნელობები (8 — 6) და (8 — 7) ფორმულებში და გავითვალისწინოთ, რომ  $l = \text{const}$ ,  $E = \text{const}$  და  $F = \text{const}$ , მაშინ ღრეკად ცენტრში მოდებული მომენტისა და განმბრჭენისათვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებებს:

$$M_c = - \frac{\int_0^s M_0 ds}{\int_0^s ds}; \quad (8-8)$$

$$H_c = - \frac{\frac{F}{I} \int_0^s M_0 y ds + \int_0^s N_0 \cos \alpha ds}{\frac{F}{I} \int_0^s y^2 ds + \int_0^s \cos^2 \alpha ds}. \quad (8-9)$$

როგორც ვხედავთ, მიღებულ გამოსახულებათა მნიშვნელები დამოკიდებულია მხოლოდ თალის ზომებსა და ფორმაზე, ამიტომ ნებისმიერი სიმეტრული დატვირთვისათვის მათ ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვთ.

თუ შევიტანთ (8 — 8) და (8 — 9) გამოსახულებათა მნიშვნელებში

$$ds = r_0 d\alpha; \quad y = y_0 - y' = r_0 \left( \frac{\sin \alpha_0}{\alpha_0} - \cos \alpha \right); \quad \frac{F}{I} = \frac{12}{l^3},$$

მოვახდენთ ინტეგრებას ( $-\alpha_0$ ,  $+\alpha_0$ ) საზღვრებში, ჩავატარებთ გარდაქმნებს და შემდეგ შემოვიღებთ აღნიშვნებს:

$$K_1 = \frac{1}{2} \sin 2\alpha_0 + \alpha_0 - \frac{2 \sin^2 \alpha_0}{\alpha_0}; \quad (8-10)$$

$$K_2 = K_1 + \frac{2 \sin^2 \alpha_0}{\alpha_0}, \quad (8-11)$$

საბოლოოდ მივიღებთ

$$M_s = - \frac{\int_0^s M_0 ds}{\frac{2\alpha_0}{\sin \alpha_0} l}; \quad (8-12)$$

$$H_s = - \frac{\frac{F}{l} \int_0^s M_0 y ds + \int_0^s N_0 \cos \alpha ds}{\left( \frac{12 K_1}{v^2 \sin^3 \alpha_0} + \frac{K_2}{\sin \alpha_0} \right) l}, \quad (8-13)$$

სადაც  $v = \frac{e}{l}$  თალის ფარდობითი სისქვა.

განსაზღვრულია რა ზედმეტი უცნობები, საჭიროა თალის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ჩატარდეს შემდეგი მომდევნოებით:

1) დატვირთვის ამა თუ იმ სახეობისათვის, მაგალითად, წყლის თანაბარი წნევისათვის, ტემპერატურის თანაბარი ცვლელადობისათვის და ა. შ. განისაზღვროს  $M_0$  მლუნავი მომენტი და  $N_0$  ნორმალური ძალა სტატიკურად რკვევადი სისტემის ნებისმიერ კვეთში;

2) მიღებული  $M_0$  და  $N_0$  მნიშვნელობები ჩაისვას (8 — 12) და (8 — 13) ფორმულებში და მათი მრიცხველების ინტეგრების შემდეგ განისაზღვროს ტატიკურად ზრკვევადი  $M_s$  და  $H_s$  სიდიდეები;

3) თალის რიგ კვეთებში, პირველ ყოვლისა კი ქუსლებში და კლიტეში. განისაზღვროს  $M$  მლუნავი მომენტი და  $N$  ნორმალური ძალა, რომლებიც 8-20 ნახაზიდან გამომდინარე სათანადოდ ტოლია:

$$M = M_0 + M_s + H_s y; \quad (8-14)$$

$$N = N_0 + H_s \cos \alpha; \quad (8-15)$$

4) გაანგარიშებულ იქნეს  $\sigma$  ნორმალურ ძაბვათა სასაზღვრო მნიშვნელობანი თალის სათანადო კვეთებში; თხელი თაღებისათვის  $\left( \frac{e}{r_0} < \frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right)$  ეს ძაბვები განისაზღვრება არათანაბარი კუმშვის ფორმულის გამოყენებით

$$\sigma = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W}, \quad (8-16)$$

სადაც  $F$  არის თალის განიკვეთის ფართობი,  $F = 1 \cdot e = e$ ;

$W$  — თალის კვეთის წინაღობის მომენტი,  $W = \frac{e^3}{6}$ .

შენიშნოთ, რომ სქელი თაღების შემთხვევაში საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს კვეთებში ძაბვების მრუდწირული კანონით განაწილება.

წყლის თანაბარ წნევაზე გაანგარიშება. სტატიკურად რკვევად სისტემაში წყლის თანაბარი წნევით გამოწვეული მლუნავი მომენტი და ნორმალური ძალა ტოლია სათანადოდ:  $M_0 = 0$  და  $N_0 = pr$ , სადაც  $p$  ჰიდროსტატიკური წნევის ინტენსიურობაა, ხოლო  $r$  — თალის გარეთა რადიუსი.

თუ ჩავსვამთ აღნიშნულ მნიშვნელობებს (8 — 12) და (8 — 13) ფორმულაში, მივიღებთ  $M_0 = 0$ , ხოლო

$$H_{\varphi} = - \frac{pr_0 \int_0^{\alpha_0} \cos \alpha \, ds}{\left( \frac{12 K_1}{v^2 \sin^3 \alpha_0} + \frac{K_2}{\sin \alpha_0} \right) l} = - \frac{2\gamma hr_0 r_0 \sin \alpha_0}{\left( \frac{12 K_1}{v^2 \sin^3 \alpha_0} + \frac{K_2}{\sin \alpha_0} \right) l} = A\gamma h, \quad (8-17)$$

სადაც

$$A = - \frac{2r_0 r_0 \sin \alpha_0}{\left( \frac{12 K_1}{v^2 \sin^3 \alpha_0} + \frac{K_2}{\sin \alpha_0} \right) l}. \quad (8-18)$$

საანგარიშო  $M$  მომენტის სიდიდე  $y$  ორდინატით განსაზღვრულ ნებისმიერ კვეთში, (8 — 14) გამოსახულების თანახმად,

$$M = M_0 + M_e + H_{\varphi} y = H_{\varphi} y,$$

სადაც ორდინატის მნიშვნელობა შეიძლება აღებულ იქნას  $+y_0$ -დან (ქუსლები) —  $y_1$ -მდე (თალის კლიტე).

აღვილად შეიძლება შევამოწმოთ, რომ  $\alpha_0$  კუთხის  $45^\circ$ -დან  $90^\circ$ -მდე ცვალებადობის დროს  $\frac{y_1}{y_0} = \frac{l - y_0}{y_0}$  ფარდობა იცვლება შესაბამისად 0,52-დან 0,57-მდე; ეს იმას ნიშნავს, რომ  $y_0$  თითქმის 2-ჯერ მეტია  $y_1$ -ზე; მაშასადამე, წყლის წნევისაგან გამოწვეულ მომენტს აქვს მაქსიმალური მნიშვნელობა თალის ქუსლებში:

$$M_3 = H_{\varphi} y_0 = A\gamma h y_0; \quad (8-19)$$

მომენტი კლიტეში

$$M_{32} = -H_{\varphi} y_1 = -\frac{y_1}{y_0} M_3. \quad (8-20)$$

გრძივი ნორმალური ძალა ქუსლის კვეთში, ე. ი. როდესაც  $\alpha = \alpha_0$ , განისაზღვრება (8 — 15) ფორმულით:

$$N_3 = N_0 + H_{\varphi} \cos \alpha_0 = pr_0 + H_{\varphi} \cos \alpha_0 = (r_0 + A \cos \alpha_0) \gamma h. \quad (8-21)$$

ძაბვები თალის ქუსლში განისაზღვრება (8 — 16) ფორმულით:

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F} \pm \frac{M_3}{W} = \frac{N_3}{e} \pm \frac{6M_3}{l^2}.$$

ამ გამოსახულებაში მინუს ნიშანი მიეკუთვნება სადაწნეო წახნაგს, ხოლო პლუსი — კაშხალის ქვედა წახნაგს ქუსლში. აქედან გამომდინარე, გამჭიმავი ძაბვები მაშინ წარმოიშობა ზედა წახნაგზე, როდესაც  $\sigma$  ლებულობს მინუს ნიშანს. ძაბვების სწრაფი გაანგარიშებისათვის ნ. კელენის მიერ შედგენილია სათანადო გრაფიკები<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Н. И. Келен, Арочные и контрфорсные плотины, Стройиздат, М., 1938.



ნორმალური ძალა კლიტეში, ე. ი. როდესაც  $\alpha=0$ , (8 — 15) გამოსახულების თანახმად ტოლია:

$$N_{\alpha=0} = N_0 + H_{\varphi} = (r_0 + A) \gamma h. \quad (8-22)$$

ნორმალურ ძაბვებს თალის კლიტეში (8 — 16), (8 — 20) და (8 — 22) გამოსახულებათა შესაბამისად ექნებათ შემდეგი მნიშვნელობები:

$$\sigma_{\alpha=0} = \frac{N_{\alpha=0}}{e} \pm \frac{6M_{\alpha=0}}{e^2}. \quad (8-23)$$

ამ ფორმულაში პლუს ნიშანი მიეკუთვნება სადაწნო წახნაგს, მაშასადამე, კლიტეში სადაწნო წახნაგის მხარეზე ყოველთვის უზრუნველყოფილია მკუმშავი ძაბვები; მინუს ნიშანი მიეკუთვნება ქვედა წახნაგს, ამიტომ აქ ზოგჯერ მოსალოდნელია გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობა.

თალის სხვა კვეთებში ძაბვები განისაზღვრება  $M_x$  მომენტისა და  $N_x$  ნორმალური ძალის მიხედვით, ამასთან უკანასკნელი უნდა განისაზღვრონ (8 — 19) და (8 — 21) ფორმულებით მათში  $y_0$  და  $\alpha_0$  მაგვირად  $y$  და  $\alpha$  ჩასმის გზით. 8-20 ნახაზის შესაბამისად  $y$  მნიშვნელობები დადებითია დრეკადი ცენტრის ქვემოთ, ხოლო უარყოფითი — მის ზემოთ.

### 8. ტემპერატურის თანაბარ ცვლილებაზე გაანგარიშება

თალის ტემპერატურული დეფორმაციების დროს გარე დატვირთვა არ არსებობს, ამიტომ ამ დატვირთვისაგან გამოწვეული  $M_0$  მლუნავი მომენტი და  $N_0$  ნორმალური ძალა ნულის ტოლია. წარმოიშობა მხოლოდ  $N_t$  ტემპერატურული განმბრჩენი დრეკად ცენტრში და შესაბამისი ტემპერატურული ძაბვები. რომლებიც ისევე იქნება განაწილებული თალში, როგორც წყლის თანაბარი წნევის მოქმედების დროს.

$H_t$  განმბრჩენი შეიძლება განისაზღვროს (8 — 7) ფორმულის გამოყენებით, თუ მასში  $\Delta_{2\varphi}$  შევცვლით  $\Delta_{2t}$  სიდიდით, რომელიც ტოლია  $\Delta_{2t} = \int_0^{\varphi} \alpha t \cos \alpha ds$ ,

ე. ი.

$$H_t = - \frac{\Delta_{2t}}{\delta_{32}}.$$

$H_t$  ტემპერატურული განმბრჩენის განსაზღვრისათვის შეგვიძლია ავირჩიოთ უფრო მოხერხებული გზა. მართლაც, ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ  $H_t$  განმბრჩენის სიდიდე ისეთივე ფარდობაშია წყლის თანაბარი წნევით წარმოშობილი  $H_{\varphi}$  განმბრჩენთან, როგორც თალის  $ds$  ელემენტის ბოკჯების შესაბამისი  $\Delta ds_t$  და  $\Delta ds_{\varphi}$  აბსოლუტური დაგრძელებანი (ან დამოკლებანი):

$$\frac{H_t}{H_{\varphi}} = \frac{\Delta ds_t}{\Delta ds_{\varphi}}, \quad (8-24)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} \Delta ds_t &= \alpha t ds, \\ \Delta ds_{\varphi} &= \frac{N_0}{EF} ds. \end{aligned} \right\} \quad (8-25)$$

აქ  $\alpha$  ტემპერატურული დაგრძელების კოეფიციენტი, რომელიც ბეტონისათვის აიღება  $\alpha = 0,00001$ .

მაშასადამე, ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{H_t}{H_0} = \frac{EF}{N_0} \alpha t, \quad (8-26)$$

ანუ

$$H_t = \frac{EF}{N_0} \alpha t H_0. \quad (8-27)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $N_0 = pr_a = \nu hr_a$ , ხოლო  $F = e$  და გამოვიყენებთ (8-17) ფორმულას, მივიღებთ:

$$H_t = \frac{Ee\alpha}{r_a} At. \quad (8-28)$$

ამ ფორმულაში  $t$  ტემპერატურა აიღება დადებითი (პლუს ნიშნით), თუ იგი აღემატება თალის შერთვის (ჩაკეტვის) ტემპერატურას, და უარყოფითი (მინუს ნიშნით) — მისი დაწევის დროს.

ვიციტ რა  $H_t$  განმზარჩენი, (8 — 14) და (8 — 15) დამოკიდებულებებიდან გამოვძინარე შეგვიძლია განვსაზღვროთ მომენტი და ნორმალური ძალა ნებისმიერ კვეთში:

$$M_{t,x} = H_t y \text{ და } N_t = H_t \cos \alpha. \quad (8-29)$$

ტემპერატურულ ძაბვებს კი გამოვთვლით (8 — 16) ფორმულით. ყველაზე საშიშია ძაბვები ქუსლებში, სადაც

$$M_{t,0} = H_t y_0; \quad (8-30)$$

$$N_t = H_t \cos \alpha_0; \quad (8-31)$$

$$\sigma_{t,0} = \frac{H_t y_0 \cos \alpha_0}{e} \pm \frac{6H_t y_0}{e^2}. \quad (8-32)$$

ფორმულაში ზედა ნიშანი მიეკუთვნება სადაწნეო წახნაგს, სადაც ტემპერატურის აწევის (+ $t$ ) დროს ყოველთვის არის კუმშვა, ხოლო დაწევის დროს (— $t$ ) — გაჭიმვა; ქვედა წახნაგზე ძაბვებს ექნება შებრუნებული ნიშანი. ამგვარად, ტემპერატურის აწევა იწვევს სასარგებლო ეფექტს, რადგან იგი თაღში აკუმპენსირებს ან ამცირებს პიაროსტატიკური წნევის მოქმედებით წარმოშობილ გამჭიმავ ძაბვებს; პირიქით, ტემპერატურის დაწევა კი თაღში იწვევს გამჭიმავი ძაბვების წარმოშობას იქ, სადაც წყლის წნევისაგან წარმოშობილი მკუმშავი ძაბვები მცირეა ან უკვე არსებობს. გამჭიმავი ძაბვები (ცხრ. 8-1): მაშასადამე, ამ შემთხვევაში თალის მუშაობა მკვეთრად უარესდება. აქედან გამომდინარე, როგორც წესი, საჭიროა თაღოვანი კაშხალის შერთვა მოხდეს შესაძლო დაბალი ტემპერატურის დროს, რათა შემცირდეს ტემპერატურის დაცემის ამპლიტუდა ექსპლუატაციის პერიოდში

№№	დატვირთვის სახეობა	ქუსლი		კოტე	
		სადაწნეო წახნაგი	ქვედა წახნაგი	სადაწნეო წახნაგი	ქვედა წახნაგი
	წყლის თანაბარი წნევა	←*	←	→	→*
	ტემპერატურის თანაბარი აწევა t°	(+)	-	-	(+)
	ტემპერატურის თანაბარი დაწევა t°	(-)	→	→	(-)
	სადაწნეო წახნაგის გახურება	←	-	→	-
	ქვედა წახნაგის გახურება	-	→	-	←

შენიშვნა. 1. პლუსი (+) კემშეა, მინუსი (-) გაქიმვა;

2. ფრხხლებით აღნიშნულია მაქსიმალური ძაბვები განაპირა ბოქკოებში;

3. ვარსკვლავებით აღნიშნულ ძაბვებს შეუძლიათ შეიცვალონ თეიანთი ნიშანი, განსაკუთრებით თაღის შიორე ცენტრალური კუთხისა და დიდი სისქის დროს.

ანალოგიურად განსაზღვრავენ ტემპერატურულ ძაბვებს თაღის კლიტეში; ამისათვის საქიროა (8-32) ფორმულაში ჩაისვას  $\alpha_0 = 0$  და  $y_0$  შეიცვალოს  $y_1$ -ით.

4. ტემპერატურის არათანაბარ ცვლილებაზე გაანგარიშება

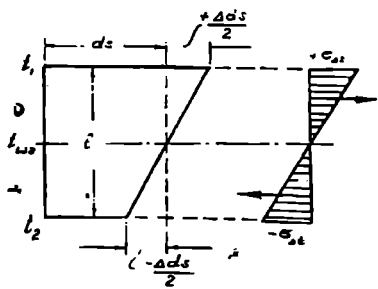
როდესაც თაღის წახნაგებზე არსებობს სხვადასხვა  $t_1$  და  $t_2$  ტემპერატურა, მაშინ ასეთი ტემპერატურული რეჟიმი გამოიწვევს წახნაგებზე და თაღის შიგნით ბოქკოების სხვადასხვა სიდიდით დაგრძელებას. თუ დავუშვებთ, რომ ტემპერატურის ვარდნა  $t_1$ -დან  $t_2$ -მდე წარმოებს წრფივი კანონით, მაშინ ეს შემთხვევა შეიძლება დავიყვანოთ წინა შემთხვევაზე; ამისათვის საქიროა განხილულ იქნეს თაღის  $ds$  ელემენტის დეფორმაცია ტემპერატურის საშუალო ცვლილების  $- \Delta t_{\text{ს.შ.}} = 0,5 (t_1 + t_2)$  დროს, რომელზეც დამატებით იმოქმედებს  $\Delta t = t_1 - t_2$  ტემპერატურათა სხვაობით წარმოქმნილი მომენტი (ნახ. 8-21).

თუ  $ds$  ელემენტის განაპირა ბოქკოების სიგრძეთა ცვლილება ტოლია  $\frac{\Delta ds}{2} = \alpha \frac{\Delta t}{2} ds$ , მაშინ, ჰუკის კანონის თანახმად, განაპირა ბოქკოებში წარმოშობილი ძაბვები ტოლი იქნება:

$$\sigma_{\Delta t} = \frac{2}{ds} E \epsilon = \frac{1}{2} E \alpha \Delta t \quad (8-33)$$

ტემპერატურათა სხვაობით გამოწვეული მომენტი შეადგენს შემდეგ სიდიდეს:

$$M_{\Delta t} = \frac{\sigma_{\Delta t}}{2} \cdot \frac{e}{2} \cdot \frac{2}{3} e = \frac{1}{12} E \alpha \nu^2 \Delta t \quad (8-34)$$



ნახ. 8-21. ტემპერატურის არათანაბარ ცვლილებაზე თაღის გაანგარიშების სქემა.

\* E და  $\alpha$  ჩვეულებრივი რიცხვითი მნიშვნელობების დროს ნამრავლი  $\alpha E = 20$  ტ/მ<sup>2</sup>. მაშინ კი  $\sigma_{\Delta t} = \Delta t$  კგ/სმ<sup>2</sup>.

იმ წახნაგზე, რომელზედაც ტემპერატურა მეტია, ვეაქვს  $+\frac{\Delta t}{2}$  და მეტემა-

ვი ძაბვები, ხოლო მოპირდაპირე წახნაგზე  $-\frac{\Delta t}{2}$  და გამკვირვებულ ძაბვები. აღნიშნულ ძაბვებს ადგილი აქვს თაღის ნებისმიერ კვეთში, ამიტომ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გათვალისწინებულ იქნეს იგი იმ კვეთებში, სადაც ისინი არახელსაყრელ გავლენას ახდენენ ჯამურ ძაბვებზე.

თაღის საერთო სიმტკიცის შეფასებისათვის საჭიროა შეჯამდეს სხვადასხვა დატვირთვისაგან გამოწვეული ძაბვები და ამის შესაბამისად არჩეულ იქნეს კაშხალის ბეტონის მარკა. ცხადია, ჯამურმა ძაბვებმა არ უნდა გადააჭარბოს შერჩეული მარკის ბეტონზე დასაშვებ ძაბვას. 8-1 ცხრილში მოცემულია სხვადასხვა დატვირთვისაგან წარმოშობილ ძაბვათა ნიშნები თხელი თაღებისათვის.

## 5. სუფთა თაღების გაანგარიშების სხვა მეთოდები

თაღების გაანგარიშების თეორია საკმაოდ ღრმად არის დამუშავებული. რეკომენდებულია რიგი მეთოდებისა, რომლებიც მოცემულია სამშენებლო მექანიკის სხვადასხვა კურსში და სპეციალურ გამოკვლევებში. მაგალითად, ცვლადი სისქისა და ცვლადი რადიუსის თაღების გაანგარიშების მეთოდი ზოგადი სახით მოყვანილი აქვს ე. კარიაგინს.<sup>1</sup> წრიული თაღები საკმარისად მარტივად გაანგარიშება ჰიდროსტატიკურ წნევასა და ტემპერატურულ ზემოქმედებაზე ნ. მელუშჩენკოსა და ა. მოჟევიტინოვის ხერხით<sup>2</sup>; შედარებით მარტივი საანგარიშო ხერხი დამუშავებული აქვს ალ. ლოსაბერიძეს<sup>3</sup> და სხვ.

ს ქ ე ლ ი თ ა ღ ე ბ ი ს ა თ ვ ი ს შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სპეციალური გრაფიკები, რომლებიც ითვალისწინებენ განივ ძალებს და ბრტყელი კვეთების კანონს<sup>1</sup>. ეს კანონი გულისხმობს ნორმალურ ძაბვების განაწილებას ჰიპერბოლური ეპიურით.

## § 8-6. თაღოვანი კაშხალის, რომლის სიგრძეც სინტაქსის, გაანგარიშების მეთოდები

### 1. გ. რიტერ—ვ. სკრილნიკოვის მეთოდი

განსახილველ მეთოდში თაღოვანი კაშხალი წარმოდგენილია პორიზონტალური თაღებისა და ფუქეში ჩამაგრებული ვერტიკალური კედელი-კონსოლების სისტემით. ჰიდროსტატიკური წნევის მოქმედების შედეგად აღნიშნული ელემენტები განიცდის დეფორმაციებს (გადაადგილებებს); ცხადია, საერთო წერტილებში თაღებისა და კონსოლების დეფორმაციები უნდა იყოს თანატოლი. თუ ეს პირობა საფუძვლად დაედება გაანგარიშებას, მაშინ კაშხალზე მოსული ჰიდროსტატიკური დატვირთვა გაიყოფა ორ ნაწილად: ერთი გამოიწვევს თაღების ჩაღუნვებს, ხოლო მეორე — კონსოლების ტოლ ჩაღუნვებს.

<sup>1</sup> Е. В. Близняк, М. М. Гришин, Н. Н. Джунковский, Е. К. Карягин и др.; Гидротехнические сооружения, т. II, Госстройиздат, 1939.

<sup>2</sup> Известия Всесоюзного научно-исследовательского института Гидротехники имени Б. Е. Велесева (ВНИИГ), вып. 22, Ленинград.

<sup>3</sup> Проектирование и строительство высоких плотня (по материалам совещания по высоким плотинам), Госэнергоиздат, 1960.



დატანით მიიღება თაღებსა და კონსოლს შორის დატვირთვის განაწილების მრუდის წერტილები. ხოლო მათი შეერთებით—თვით საძიებელი მრუდი AA კვეთში (ნახ. 8-22).

დატვირთვის განაწილების ეპიურიდან გამომდინარეობს, რომ კაშხალის ქვედა ნაწილში ჰიდროსტატიკური წნევის დიდ ნაწილს ეღებულობს კედელ-კონსოლი, ხოლო ზედა ნაწილში თაღების ფარდობითი დატვირთვა იზრდება.

რადგან ზედა მონაკვეთებში კონსოლს აქვს მაქსიმალური ჩალუნეები, ხოლო თაღებს მინიმალური, ამიტომ მათი ურთიერთგატოლების პირობა მოითხოვს კონსოლზე შებრუნებული დატვირთვის მოდებას (ნახ. 8-22).

მუდმივი  $e$  სისქის თაღის ჩალუნვა კლიტეში  $\gamma h_n^2$  ჰიდროსტატიკური წნევისაგან შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს, მაგალითად, კენის ფორმულით, რომელიც გამოყვანილია თხელი თაღებისათვის:

$$f_n^m = \frac{\gamma h_n^2 r a_0}{Ee} \cdot \frac{(\alpha_0 - \sin \alpha_0)(1 - \cos \alpha_0)}{\alpha_0 + \frac{\sin 2\alpha_0}{2} - \frac{1 - \cos 2\alpha_0}{\alpha_0 \left(1 + \frac{e^2}{12r_0^2}\right)}} \quad (8-36)$$

კედელ-კონსოლის ჩალუნვები შეიძლება გავიანგარიშოთ მაქსველ-მორის ცნობილი გადაადგილების ფორმულის გამოყენებით, რომლიდანაც, 8-23 ნახაზზე ნაჩვენები სქემის შესაბამისად, როდესაც ამასთანავე ინტეგრება იცელება შეჯამებით, საბოლოო სახით ვღებულობთ:

$$f_m^s = a^3 \sum_{k=1}^{k=n} P_k \sum_{i=m}^{i=n} \frac{(i-k)(i-m)}{EI_i \sin \varphi} + a \sum_{k=1}^{k=n} P_k \sum_{i=m}^{i=n} \frac{\cos^2 \varphi}{EF_i \sin \varphi} + K_1 a \sum_{k=1}^{k=n} P_k \sum_{i=m}^{i=n} \frac{\sin \varphi}{EF_i} \quad (8-37)$$

სადაც  $f_m^s$  არის კონსოლის  $m$ -ური მონაკვეთის სიმძიმის ცენტრის ჰორიზონტალური გადაადგილება;

$a$  — კონსოლის მონაკვეთების სიმაღლე  $\left(a = \frac{H}{n}\right)$ ;

$m$  — იმ მონაკვეთის სიმძიმის ცენტრის რიგითი ნომერი, რომლისთვისაც განსაზღვრავენ ჩალუნვას;

$k$  — იმ მონაკვეთის რიგითი ნომერი, რომლის შუაზეც მოდებულია ელემენტარული  $P$  ძალა (საესე წყალსაცავის შემთხვევაში ძალე-ბი მოიღება ყველა მონაკვეთზე);

$i$  — მონაკვეთის რიგითი ნომერი;

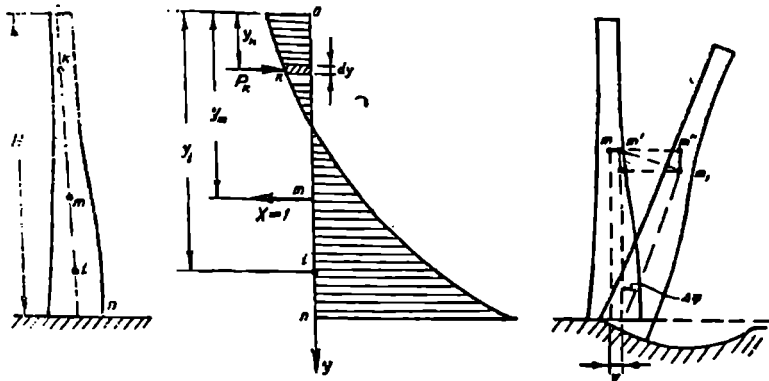
$I_i$  —  $i$ -ური მონაკვეთის საშუალო ინერციის მომენტი;

$F_i$  — იგივე მონაკვეთის საშუალო განივეკეთის ფართობი;

$E$  — თაღოვანი კაშხალის მასალის დრეკადობის მოდული;

$K_1 = 2k'(1-\nu)$ , სადაც  $k'$  არის კონსოლის განივეკეთში მხები ძაბვების უთანაბრო განაწილების კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 1,5-ის ტოლი;

$\nu$  — მასალის პუასონის კოეფიციენტი.



ნახ. 8-23. კედელ-კონსოლის დეფორმაციის განგარიშების სქემა.

(8-37) გამოსახულებაში ჯამის ორმაგ ზღვარში ნაგულისხმევეია, რომ, როდესაც  $k < m$  (ე. ი.  $k$  წერტილი  $m$  წერტილზე მაღლაა), საზღვრები იქნება  $i = m$ -დან  $i = n$ -მდე, ხოლო როდესაც  $k > m$ , მაშინ  $i = k$ -დან  $i = n$ -მდე.

ფუძის დეფორმაციის გაელენა გაითვალისწინება შემდეგნაირად: თუ ფუძეზე მოთავსებულია ხისტი სხეული, რომლის სიგანეა  $e_n$  და სიგრძე 1, მაშინ ფუძის დეფორმაციის დროს (ნახ. 8-23) კონსოლის  $m$  წერტილი გადაადგილდება  $m_1$  მდგომარეობაში. ამასთან  $\overline{mm'}$  პორიზონტალური გადაადგილება წარმოგვიდგება  $\overline{mm'} + \overline{m'm''}$  ჯამით. აქ  $\overline{mm'}$  არის  $m$  წერტილის  $v$  პორიზონტალური გადაადგილება, რომელსაც იწვევს  $Q = \sum_{i=1}^{k-n} P_i$  პორიზონტალური ძალა,

ხოლო  $\overline{m'm''}$  არის  $M = \sum_{i=1}^{k-n} P_i (1-k) a$  მომენტის მოქმედებით დრეკადი ფუძის  $\Delta \varphi$  კუთხით მობრუნების შედეგად გამოწვეული პორიზონტალური გადაადგილება;  
 $\overline{m'm''} = (n-m) a \sin \Delta \varphi \approx (n-m) a \Delta \varphi$ .

$v$  და  $\Delta \varphi$  გადაადგილებებისათვის ფოტის მიერ მიღებულია შემდეგი გამოსახულებანი<sup>1</sup>:

$$\left. \begin{aligned} mm' = v &= \xi \frac{Q}{E_n} + \eta \frac{M}{E_n e_n}; \\ \overline{m'm''} &= (n-m) a \Delta \varphi = (n-m) a \left( \mu \frac{M}{E_n e_n^2} + \eta \frac{Q}{E_n e_n} \right), \end{aligned} \right\} \quad (8-38)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} \xi &= (1-v^2) \sqrt{\frac{1}{e_n}}; & \eta &= \frac{(1-2v)(1+v)}{1+1.1e_n}; \\ \mu &= \frac{18(1-v^2)}{\pi(1+0.25e_n)}. \end{aligned} \right\} \quad (8-39)$$

<sup>1</sup> F. Vogt, Über die Berechnung der Fundament deformation, Det Norske Videnskapsakadem № 2, Oslo, 1925.

ამ ფორმულებში  $\nu$  ჰუასონის კოეფიციენტი, რომელიც დაახლოებით ტოლია  $1/6 - 1/8$ ;  $E_{\Phi}$  — ფუძის დრეკადობის მოდული.  $e_{ii}$  — თაღის სისქე ძირში (ფუძეში).

ამგვარად,  $m$  წერტილის სრული გადაადგილება ტოლი იქნება

$$f_m^{\Phi} = \nu + (n-m)a\Delta\varphi = \xi \frac{Q}{E_{\Phi}} + \eta \frac{M}{E_{\Phi}e_n} + (n-m)a \left( \mu \frac{M}{E_{\Phi}e_n^2} + \eta \frac{Q}{E_{\Phi}e_n} \right). \quad (8-40)$$

თუ ამ გამოსახლებაში ჩავსვამთ  $Q$  და  $M$  ზემოთ მოყვანილ მნიშვნელობებს და მოვახდენთ მსგავსი წევრების შეერთებას, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$f_m^{\Phi} = \frac{1}{E_{\Phi}} \left[ \xi + \eta(n-m) \frac{a}{e_n} \right] \sum_{k=1}^{n-m} \rho_k + \frac{1}{E_{\Phi}} \left[ \eta \frac{a}{e_n} + \mu(n-m) \left( \frac{a}{e_n} \right)^2 \right] \sum_{i=1}^{n-m} P_i(n-k). \quad (8-41)$$

ამგვარად, პორიზონტალური ძალებისაგან გამოწვეული სრული ჩაღუნვა კონსოლის  $m$  წერტილში ტოლი იქნება (8-37) და (8-41) ფორმულებით გამოთვლილი  $f_m^{\Phi}$  და  $f_m^{\Psi}$  ჩაღუნვების ჯამისა.  $f_m^{\Phi} + f_m^{\Psi}$  ჯამის ანგარიში უპირობესია ვაწარმოოთ ცხრილის წესით<sup>1</sup>.

ფუძისა და ფერდობების დრეკადობის გავლენა შეიძლება მიახლოებით გათვალისწინებულ იქნეს ტოლკე-ფოგტის მიერ რეკომენდებული წესით. რომლის თანახმად კონსოლს ფიქტიურად აგრძელებენ ფუძეში  $\Delta H = (0.4-0.5) r_n$  სიღრმით. ხოლო თაღს  $\Delta L = (0.4-0.5) e$  სიღრმით და გულისხმობენ, რომ კაშხალი ხისტადაა ჩამაგრებული ფიქტიურ ფუძეში (ნახ. 8-22. პუნქტირი).

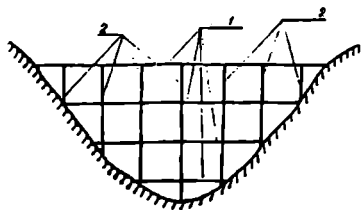
რიტერ-სკრილნიკოვის („ცენტრალური კონსოლის“) შემოადინებული მეთოდი შემდგომში სათანადოდ გაღრმავდა. გათვალისწინებულ იქნა ტექპერატურის თანაბარი და არათანაბარი ცვლილების გავლენა, თაღების ქუსლების დრეკადი ჩამაგრება, ქუსლებით სახსრულად დამაგრება, გადაადგილებათა ტოლობა ტანგენციალური მიმართულებით, მგრები მომენტების გავლენა და სხვ. ამ მიმართულებით საყურადღებო გამოკვლევები ჩაატარეს ს. სოკოლოვსკიმ. ე. ლომბარდომ, ე. განევემა, ე. ხუბერთანმა და მრავალმა სხვა მკვლევარმა. მიუხედავად ამისა, განხილული მეთოდი დასმულ ამოცანას სრულად ვერ წყვეტს.

## 2. საცდელი დატვირთვების მეთოდი

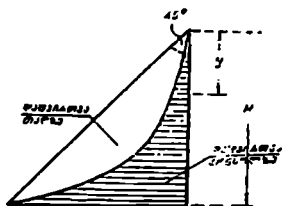
ეს მეთოდი წარმოადგენს წინა მეთოდის განზოგადებას და მას საფუძვლად უდევს გადაადგილებათა ტოლობა არა მარტო ერთ ცენტრალურ ვერტიკალურ კვეთში, არამედ აგრეთვე მრავალში. ანგარიშისათვის თაღოვან კაშხალს უოფენ რიგ პორიზონტალურ თაღებად და ვერტიკალურ კონსოლებად (ნახ. 8-24), შემდეგ უშვებენ თაღებსა და კონსოლებს შორის დატვირთვის რაღაც განაწილებას და ცნობილი მეთოდებით განსაზღვრავენ თაღებისა და კონსოლების ჩაღუნვებს მათი გადაკვეთის ადგილებში. თუ თაღების ( $f^{\Phi}$ ) და კონსოლების  $f^{\Psi}$  ჩაღუნვებს შორის განსხვავება მათი გადაკვეთის ადგილებში 10%-ს აღემატება, მაშინ ასწორებენ დატვირთვის ეპიურებს და იმეორებენ ჩაღუნვების გამოთვლას. ასე აგრძელებენ მანამდე, სანამ თაღებისა და კონსოლების ჩაღუნვებს შორის განსხვავება შესაბამის წერტილებში არ შემცირდება 10%-ზე ნაკლებ სიდიდემდე.

<sup>1</sup> И. Г. Гольшман и Е. П. Карп, К вопросу о расчете арочных плотин, «Гидротехнический сборник» № 2 и 3, Изд. МВТУ, М., 1929, 1930.





ნახ. 8-24. თაღოვანი კაშხალის დაყოფა პორიზონტალურ თაღებად და ვერტიკალურ კონსოლებად:  
1—თაღები; 2—კონსოლები.



ნახ. 8-25. დატვირთვის განაწილების გრაფიკი ცენტრალური კონსოლის სიბრტყეში.

გამოთვლითი სამუშაოების შემცირების მიზნით რეკომენდებულია სხვადასხვა ხერხი. თუ ჩვენს ხელთაა გაანგარიშებული თაღოვანი კაშხალების თაღებსა და კონსოლებს შორის დატვირთვის განაწილების საილუსტრაციო ლიტერატურული ან საარქივო მასალები, მაშინ შეიძლება ვისარგებლოთ ანალოგიის მეთოდით და გასაანგარიშებელი კაშხალისათვის დავნიშნოთ თაღებსა და კონსოლებს შორის დატვირთვის განაწილების შესაფერისი მრუდები. ამ წესმა შეიძლება ყველაზე სწრაფად მიგვიყვანოს სასურველ შედეგებამდე.

ცენტრალურ კონსოლზე მოქმედი დატვირთვა შეიძლება განისაზღვროს აგრეთვე მიახლოებითი წესით. რომელიც შემუშავებულ იქნა პ.ო.ფ. რეზალის მიერ<sup>1</sup>. ამ ხერხის თანახმად ცენტრალური კონსოლის მ<sup>2</sup>-ზე მოქმედი დატვირთვა გამოისახება შემდეგი განტოლებით (ნახ. 8-25):

$$p_a = \gamma y' \left( \frac{y}{H} \right)^m, \quad (8-42)$$

ხოლო თაღის მ<sup>2</sup>-ზე მოქმედი დატვირთვა კონსოლთან მისი გადაკვეთის ადგილში:

$$p_a = \gamma y \left[ 1 - \left( \frac{y}{H} \right)^m \right], \quad (8-43)$$

სადაც  $\gamma$  — არის წყლის ხედრითი წონა;

$y$  — განსახილველი წერტილის ჩაძირვის სიღრმე წყლის ღონის ქვეშ;

$H$  — კაშხალის მაქსიმალური სიმაღლე;

$m$  — ცვალებადი ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც დამოკიდებულაა კაშხალის გეომეტრიულ ფორმაზე; მისი მნიშვნელობა განისაზღვრება 8—2 ცხრილის მეშვეობით შემდეგ სიდიდეზე დამოკიდებულებით:

$$k = \frac{H}{r_0} \cdot \frac{1}{\lg \beta} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}}$$

ამ გამოსახულებაში:

$$\lg \beta = \frac{e_n}{H};$$

<sup>1</sup> Б. Ю. Калинович, Начала теории бетонных плотин, Госстройиздат, М., 1934.

$r_0$  არის თაღის ღერძის რადიუსი;  
 $e_n$  — თაღის სისქე ძირში;  
 $A$  — კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა თხელი თაღებისათვის ფუნქციონირებს ცენტრალური კუთხისა; როდესაც  $2\alpha_0 = 90^\circ$ , იგი ტოლია 1.9, ხოლო როდესაც  $2\alpha_0 > 100^\circ$ , მაშინ  $A = 2.0$ .

ცხრილი 8-2

$k$	$m$	$k$	$m$	$k$	$m$
0,00	0,00	2,96	1,50	10,5	6
0,91	0,25	3,76	2,00	12,5	7
1,36	0,50	5,35	3,00	15,2	8
1,90	0,75	7,00	4,00	—	—
2,20	1,00	8,70	5,00	—	—

რეზალის მეთოდი საშუალებას იძლევა დატვირთვის ეპიურა აგებულ იქნეს მხოლოდ ცენტრალური კონსოლისათვის. ხეობის ფერდობების მხარეზე განლაგებული კონსოლებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ამ ეპიურის ზედა ნიშნის სიმაღლის უბნით. რომელიც ტოლია კონსოლის სიმაღლისა. მხოლოდ საჭიროა ეპიურა შესწორდეს მის ქვედა ნაწილში შემდეგ მოსაზრებათა საფუძველზე: თაღზე ქუსლთან და კონსოლზე ფუძესთან მოქმედ დატვირთვათა ჯამი  $p_a + p_b = \gamma h$ ; გარდა ამისა, დატვირთვების ნაწილი, რომელიც გადაეცემა თაღსა და კონსოლზე. ცხადია, უნდა იყოს იმ მ კუთხის ფუნქცია, რომელსაც ფერდობის ხაზი ან მისი მხები ადგენს ჰორიზონტთან. კონსოლის შემთხვევაში ეს ფუნქცია უნდა იყოს ისეთი, რომ იგი ხდებოდეს ერთის ტოლი. როდესაც  $\theta = 0$ . ხოლო ნულის ტოლი, როდესაც  $\theta = 90^\circ$ .

უმარტივესი ფუნქცია, რომელიც აკმაყოფილებს ამ პირობებს.

$$p_a = \gamma h \cos^2 \theta \quad (8-44)$$

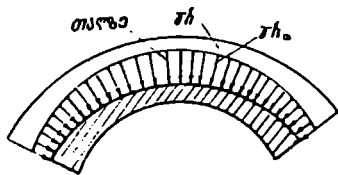
შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კონსოლზე მოქმედი დატვირთვის ეპიურის კორექტირებისათვის. ამ შემთხვევაში თაღზე მოქმედი დაწნევის ეპიურის ასაგებად დატვირთვა ქუსლში შეიძლება აღებულ იქნეს

$$p_b = \gamma h \sin^2 \theta \quad (8-45)$$

თაღებსა და კონსოლებზე მოქმედ დაწნევათა ეპიურების ასაგებად საჭიროა პირველ რიგში აიგოს კონსოლებზე მოქმედ დაწნევათა ეპიურები, შემდეგ კი ამ ეპიურების გამოყენებით განისაზღვროს თაღებზე მოქმედი დატვირთვები კონსოლებთან მათი გადაკვეთის ადგილებში; შესაბამისი მნიშვნელობანი დატანილ იქნეს თაღების დატვირთვის ეპიურებზე და შეერთდეს სწორი ხაზებით.

თუ აღნიშნული წერტილები შეერთდება მდოვრე მრუდით, მაშინ საერთო დატვირთვის ის ნაწილი, რომელიც მოდის თაღზე, გამოისახება 8-26 ნახაზზე ნაჩვენები მრუდწირული ეპიურით.

რეზალის მეთოდი ვერ ითვალისწინებს ზოგიერთ არსებით ფაქტორს: მკვლევარს, თაღოვანი კაშხლის დრეკადი ფუძის დამყოლო-



ნახ. 8-26. თაღზე მოსული დატვირთვის ეპიურის (დამტვირთველი ნაწილი) საყარაულო მოსახეობა.

ბის გავლენას; გარდა ამისა, მას საფუძვლად უდევს დაშვება იმის შესახებ, რომ კაშხალის განივევითი წარმოადგენს სამკუთხედს, რაც ფრიად მიახლოებით ზანიათს ატარებს. ამიტომ, ცხადია, ამ მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში იზრდება განმეორებითი განოთვლების რაოდენობა და, შესაბამისად, გამოთვლების დრო. საქმე ის არის, რომ რეალური დატვირთვის განაწილების მრუდები ძალიან ხშირად გამოდის ჰიდროსტატიკური წნევის სამკუთხოვანი ეპიურის ფარგლებიდან მის ზედა ნაწილში (ნახ. 8-22): ამ გარემოებას კი ვერ ითვალისწინებს პროფ. რეზალის მიერ შემოთავაზებული (8—42) განტოლება:

ხეობის სიმეტრიული ფორმის შემთხვევაში ჩაღუნვების გამოსათვლელად მიზანშეწონილია ინჟ. რ. ლიურანსის (აშშ-ების მელიორაციის ბიურო!) მიერ დამუშავებული ცხრილის მეთოდის გამოყენება, რომელიც ითვალისწინებს დიდი რაოდენობის სხვადასხვა ფაქტორის გავლენას თაღის დეფორმაციაზე. მათ შორის თაღის ღერძზე მდებარე წერტილების ნორმალურ გადაადგილებებზე მლუნაევი მომენტის, ნორმალური და განივი ძალებისა და საფუძვლის დამყობის გავლენას.

კონსოლების ჩაღუნვების განსასაზღვრელად ყველაზე უფრო მოხერხებულა ვისარგებლოთ პროფ. ვ. სკრილნიკოვის მეთოდით. რომელიც ეფუძნება კონსოლზე მოქმედი დატვირთვის გავლენის წირის აგებას. ეს მეთოდიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებულ იქნეს მლუნაევი მომენტი. განივი ძალა და ფუძის დამყობის გავლენა ჩაღუნვის სიდიდეზე; ამასთანავე. უზრუნველყოფს გამოთვლების საჭირო ავტომატიზაციას, რაც აჩქარებს გამოთვლით პროცესს და ამცირებს მოსალოდნელი შეცდომების საშიშროებას.

ვ. სკრილნიკოვის მეთოდით სარგებლობის დროს ძირითად შრომატევად სამუშაოს შეადგენს გავლენის წირების აგება. როდესაც ეს უკანასკნელი აგებულია. ცვალებადი დატვირთვის დროს კონსოლების ჩაღუნვების გამოთვლა აღარ წარმოადგენს სიძნელეს.

### 3. ქ. განევის გამოკვლევები

თაღოვანი კაშხალების, როგორც სივრცული სისტემების, სტატკური გაანგარიშების თეორიის განვითარების ახალი ეტაპი საბჭოთა კავშირში დაიწყო მოსკოვის ვ. კუბიშევის სახელობის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კათედრაზე 60-იან წლებში ქ. განევის მიერ ჩატარებული გამოკვლევებით. ამ გამოკვლევების დაწყებას ხელი შეუწყო თაღოვანი კაშხალების მშენებლობისათვის მომწიფებულმა პირობებმა, რაც გამოიწვია სსრ კავშირის მთის მდინარეებზე მალაწნევიანი ჰიდროკვანძების დაგეგმარებისა და მშენებლობის დაწყებით. თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების ახალი მეთოდების დამუშავებაში აქტიურად ჩაებნენ მრავალი სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტისა და უმაღლესი სასწავლებლის მეცნიერებო და სპეციალისტები, რომელთა კვლევის შედეგებმა თავისი გამოხატულება პირადად აგებულ და მშენებარე თაღოვანი კაშხალების ტექნიკური პროექტების დოკუმენტაციაში.

1 С. В. Соколовский. Указания по расчету арочных плотин методом «Пробной нагрузки» при симметричном ущелье, ОИСИ, Одесса, 1958.

საცდელი დატვირთვების მეთოდის შრომატევადობის შესამოწმებლად, აგრეთვე ტოლქვსა და ლომბარდის მეთოდების ნაკლოვანი მხარეების დასაძლევად კ. განვიხილოთ შემოთავაზებულ იქნა თალოვანი კაშხალების, როგორც სივრცული სისტემების. გაანგარიშების სამი სქემა<sup>1</sup>.

პირველი სქემა ემყარება იმ დაშვებას, რომ შესაძლებელია თალოვანი კაშხალის დანაწევრება რიგ ჰორიზონტალურ თალებად. რომლებიც წარმოადგენენ რიგი კედელ-კონსოლების საგებს („ვინკლერის ფუძეს“). საგების კოეფიციენტი  $\mu$  წერტილში წარმოადგენს იმავე წერტილში თანაბრად განაწილებული ერთეული ჰორიზონტალური დატვირთვით გამოწვეულ თაღის  $\delta$  ჩაღუნვის შებრუნებულ სიდიდეს:

$$K_{1n} = \frac{1}{\delta_n} = \frac{Ee(y)}{r^2(y)\mu(y)} f(x), \quad (8-46)$$

სადაც  $e(y)$  არის თალოვანი კაშხალის სიმალეზე ცეალეზადი სისქე;

$r(y)$  — თაღების ცეალეზადი სიმრუდის რადიუსი;

$\mu(y)$  — კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს თაღის ცენტრალური კუთხისა და ნაპირებში მისი ჩამაგრების პირობების გავლენას;

$f(x)$  — ფუნქცია, რომელიც ითვალისწინებს საგების კოეფიციენტის ცეალეზადობას თაღების მიხედვით, ამასთან მიღებულია, რომ კლიტეში  $f(x) = 1$ .

კედელ-კონსოლების გაანგარიშება წარმოებს დრეკად ფუძეზე მდებარე კოქის შემდეგი დიფერენციალური განტოლების გადაწყვეტის გზით:

$$EI(y)w^{IV}(y) + 2EI'(y)w'''(y) + EI''(y)w''(y) + K_1(y, x_n)w(y) = p(y), \quad (8-47)$$

სადაც  $I(y)$  არის კონსოლის ინერციის მომენტი;

$W(y)$  —  $n$ -ური კონსოლის რადიალური ჩაღუნვა.

შეიქმნა (8 — 47) განტოლების ამოხსნა შეიძლება თანდათანობითი მიახლოების ან ვარიაციული მეთოდების გამოყენებით. ცენტრალური და სხვა კონსოლებისათვის (8 — 47) განტოლების ამოხსნის შედეგად შეიძლება მივიღოთ აღნიშნული კონსოლების  $W(y)$  ჩაღუნვების ხაზი და იმ დატვირთვის სიდიდე, რომელსაც ლებულობს საკუთრივ თაღები:

$$p_n(x, y) = K_{1n}(x, y) W_n(x, y), \quad (8-48)$$

სადაც  $n$  ინდექსი არის კონსოლის ნომერი;

$W_n$  — კონსოლის ჩაღუნვა.

დატვირთვა, რომელსაც თავისთავზე ლებულობს კედელ-კონსოლები, განისაზღვრება როგორც სხვაობა

$$p_a(x, y) = p(x, y) - p_n(x, y).$$

თაღებსა და კონსოლებს შორის დატვირთვის განაწილების შემდეგ მათი გაანგარიშება წარმოებს სამშენებლო მექანიკის ჩვეულებრივი მეთოდებით.

როდესაც თალოვან კაშხალს გააჩნია ორმაგი სიმრუდე, მაშინ კონსოლები უნდა განგარიშდეს მრუდე ძელის განტოლების გამოყენებით. თუ მიახლოებით დაუშვებთ, რომ ევრტიკალური სიმრუდის  $R$  რადიუსი მუდმივია და ამასთან

<sup>1</sup> X. Г. Ганса. К расчету арочных плотин как пространственных систем. Сборник № 29 МИСИ имени В.В. Куйбышева, «Гидротехнические сооружения» (под ред. М. М. Гришнина). М., Гостройиздат, 1959.

ნავე კოვი-კონსოლების სიხისტეს აღნიშნავთ  $EI(y) = K$ , მაშინ (8—47) განტოლების მაგიერად მივიღებთ შემდეგ განტოლებას:

$$K\omega^{IV} + 2K''\omega''' + \left(K'' + \frac{2K}{R^2}\right)\omega'' + \frac{2K'}{R^2}\omega' + \left(\frac{K''}{R^2} + \frac{K}{R^4} + K_{1n}\right)\omega = p(y). \quad (8-49)$$

მეორე სქემა წარმოადგენს ჰირველის განვითარებას, რადგან ითვალისწინებს არა მარტო რადიალურ ჩაღუნვებს, არამედ კონსოლების ელემენტების ბრუნვასაც. ე. ი. მგრებს მომენტებს. ეს მომენტები შეიძლება გამოისახოს შემდეგი განტოლებით:

$$M_{2n} = K_{2n}\omega'(y), \quad (8-50)$$

სადაც  $K_{2n}$  არის  $K_{1n}$  ანალოგიური კოეფიციენტი, რომლითაც ხასიათდება თაღების დრეკადი წინაღობა კონსოლის ბრუნვისადმი.

საგების ეს მეორე რიგის კოეფიციენტი შეიძლება გამოვსახოთ ასე:

$$K_{2n} = \frac{1}{\Phi_{2n}}, \quad (8-51)$$

სადაც  $\Phi_{2n}$  არის თაღის ვერტიკალური კვეთის მობრუნების კუთხე ამ კვეთისადმი ნორმალური ღერძის მიმართ, რომელიც ტოლი უნდა იყოს კონსოლის ელემენტის მობრუნების კუთხისა მოცემულ წერტილში.

ეს კუთხე და  $K_{2n}$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია თაღის დრეკად და გეომეტრიულ მახასიათებლებზე.  $K_{2n}$  კოეფიციენტის შემოყვანით და  $EI(y)$  გამოვსახულების  $K(y)$  შეცვლით (8—47) განტოლების მაგიერად მიიღება კონსოლის ახალი დიფერენციალური განტოლება:

$$K\omega^{IV} + 2K''\omega''' + (K'' + K_{2n})\omega'' + K'_{2n}\omega + K_{1n}\omega = p(y). \quad (8-52)$$

მესამე სქემა ქ. განვეისა წარმოადგენს პირველი და მეორე სქემის განზოგადებას; ამ სქემის მიხედვით თაღოვანი კაშხალი განიხილება როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე ფილა. რომელსაც გააჩნია ცვალებადი დრეკადობის კოეფიციენტი. ამ ამოცანის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს სახე:

$$\nabla^2 (L\nabla^2\omega) + K_{1n}\omega = p(x, y), \quad (8-53)$$

სადაც  $\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2}$  არის ლაპლასის ოპერატორი;

$D = \frac{Ee^2}{12(1-\nu^2)}$  — ფილის ცილინდრული სიხისტე.

დანარჩენი აღნიშვნები კი ცნობილია.

მოცემულია (8—53) განტოლების ამოხსნა შესაძლებელია სასრული სხვაობათა მეთოდის გამოყენებით, რის შედეგად მიიღება  $p(x, y)$  დატვირთვის განაწილება  $P_n(x, y) = K_{1n}(x, y)\omega(x, y)$  — თაღებზე მოსულ და  $P_{\text{ფილა}}(x, y) = p(x, y) - P_n(x, y)$  — ფილაზე მოსულ ნაწილებად.

ქ. განვეის მიერ შემოთავაზებულ გაანგარიშებათა მეთოდებიდან საპროექტო პრაქტიკაში გამოყენებულ იქნა პირველი სქემა მხოლოდ ცენტრალური

კონსოლის გათვალისწინებით და მესამე სქემა ბულგარეთის ერთ-ერთ თა-  
ლოვანი კაშხალს განგარიშებისათვის.

#### 4. შერეული ვარიაციულ-ღეროვანი მეთოდი

განსახილველი მეთოდი დამუშავებულ იქნა პროფ. კ. ხუბერიანის მიერ საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (ყოფილი ტნისგეი). იგი ემყარება თალოვანი კაშხალის ღეროვან საანგარიშო მოდელს და ამოცანის გადაწყვეტის ვარიაციულ მეთოდს. ეს მეთოდი ატარებს შერეულ ხასიათს. რადგან ამოცანის ალგებრიზაცია ე. ი. ისეთი ახლო ამოცანამდე დაყვანა, რომელიც იძლევა რიცხვითი გადაწყვეტის საშუალებას, წარმოებს მისი მექანიკური მოდელისა და ფუნქციონალურ განტოლებათა ერთობლივი დისკრეტიზაციის გამოყენებით.

ეს მეთოდი დაფუძნებულია კაშხალის საანგარიშო მოდელზე. რომელიც პრინციპულად არ განსხვავდება საცდელი დატვირთვების ცნობილი მეთოდის საანგარიშო მოდელისაგან. იგი წარმოდგენილია უსასრულოდ მცირე სიმაღლის თალების უსასრულო სიმრავლით და უსასრულოდ მცირე სიგანის კონსოლების უსასრულო სიმრავლით. საცდელი დატვირთვების მეთოდისაგან განსხვავებით მოდელი ინტერპრეტირებულია როგორც ორფენიანი. უქანა ფენა, რომელიც შედგება თალებისაგან. კონსოლებისათვის განიხილება როგორც არაენკლერული დრეკადი ფუძე. გარე ძალოვანი დატვირთვები და წონის ძალის დატვირთვა მოდებულია უშუალოდ კონსოლებზე. ტემპერატურის ცვალებადობას განიცდის მოდელის ორივე ფენა. კაშხალის მასა თანაბრად ნაწილდება ორივე ფენას შორის.

თალი-კონსოლების სქემაზე დამყარებული შრავალი მეთოდისაგან განსხვავებით, რომლებშიც ძირითად უცნობ ფუნქციებად არჩეულია მოდელის ორივე ფენის ურთიერთ მოქმედების ძალები (რასაც ხშირ შემთხვევაში ამოხსნის გართულებამდე მიყვავართ), ვარიაციულ-ღეროვან მეთოდში ძირითად უცნობ ფუნქციებს წარმოადგენს სისტემის გადაადგილებაანი. ამ მეთოდში მიღებულ საანგარიშო მოდელის, ურთიერთმოქმედების ძალების აპროქსიმაციის სპეციალური ხერხის და გადაადგილებათა ერთობლივობა პირობების დახმარებით ამოცანა დაიყვანება ერთგანზომილებიან ფუნქციონალურ განტოლებათა სისტემაზე, რომელიც აღწერს კაშხალის გადაადგილებებს. ამ სისტემის ამოსახსნელად გამოიყენება ბუზნოვ-გალიორკინის ან რიტცის მეთოდის ალგებრიული მეთოდები.

ამოცანის ასეთი გადაწყვეტა ფრედგოლმის ტიპის მეორე გვარის ინტეგრალურ განტოლებათა გადაწყვეტის ეკვივალენტურია. ამის შედეგად და აგრეთვე ეფექტურ საკოორდინატო ფუნქციათა შერჩევის მეშვეობით, ამოსახსნელ განტოლებათა სისტემის კოეფიციენტების მატრიცი საკმაოდსად კარგადაა განპირობებული. აღნიშნული სისტემის ამოსახსნელად საკმაოდია სიზუსტითაა გამოსადეგი წრფივი ალგებრის ჩვეულებრივი მეთოდები.

ვარიაციულ-ღეროვანი მეთოდით თალოვანი კაშხალების ალგორითმება დამუშავებულია ოთხივე ძალოვანი ზემოქმედებისათვის — ჰიდროსტატიკური

1 К. М. Хуберян, Расчет арочных плотин по общему вариационному стержневому способу, Журнал «Гидротехническое строительство» №3, 1962.

დატვირთვისათვის, საკუთარი წონის მოქმედებისათვის, ტემპერატურული და სეისმური ზემოქმედებისათვის. იმავე მეთოდის საფუძველზე დამუშავებულია წრიული და სამკენტიანი თაღოვანი კაშხალების ჰიდროსტატიკურ და ტექნიკურ წონაზე გაანგარიშების სტანდარტული პროგრამები ბესმ-4 ელექტრონული ციფრული გამომთვლელი მანქანებისათვის. ეს ალგორითმები და პროგრამები შედგენილია მეთოდის მთელი რიგი ელემენტებისა და პროცესების ოპტიმიზაციის საფუძველზე.

#### 5. ფიქტიური „ორთოტროპიული“ სისტემების შერწყმის მეთოდი

ეს მეთოდი, რომელიც პროფ. ი. ლუღუშაურმა დამუშავა საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, ითვალისწინებს თაღოვანი კაშხალის იმ მთავარ თავისებურებას, რომელიც წარმოადგენს გარსის ტიპის უწყვეტ სივრცულ სისტემას, რომლის გაანგარიშება მიზანშეწონილია მოხდეს გარსების თეორიით. მაგრამ გარსების არსებული თეორიების უშუალო გამოყენება დაკავშირებულია მათემატიკური ხასიათის განსაკუთრებულ სიძნელეებთან, ამიტომ ამოცანის გასამარტივებლად ი. ლუღუშაურის მიერ რეკომენდებულია ახალი საანგარიშო სქემა. რომლის თანახმად თაღოვანი კაშხალ-გარსის მუშაობა წარმოდგენილია ორი ფიქტიური სისტემის — „ორთოტროპიული“ გარსების ერთობლივი მუშაობით<sup>1</sup>. ამ გზით დაძლეულია ზემოხსენებული მათემატიკური სიძნელეები. რადგან ექსპოზირებულია დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნა დაიყვანება ჩვეულებრივ დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნამდე. ამასთან უზრუნველყოფილია პრაქტიკულად სავესებით მისაღები სიზუსტე.

გამოთვლითი პროცესების მექანიზაციის მიზნით ეს მეთოდი დაპროგრამებულია ელექტრონულ ციფრულ გამომთვლელ მანქანაზე. რითაც მთლიანად გამოირცხვლია ხელით შრომა. ეს გარემოება საშუალებას იძლევა დასაგეგმოებელი კაშხალის გეომეტრიის ოპტიმიზაცია ჩატარდეს შემქმნელებელ ენგინერებში. ასეთი გამოკვლევები ჩატარდა ენგინერის კაშხალისათვის და დადგენილია 40 მ სიმაღლის ბეტონის საცობის მოწყობის მიზანშეწონილობა და კაშხალის კონტურის ხაზის გაზრატეხების მოცილების აუცილებლობა. რაც შედეგად გასაზრტველებლად.

#### 6. გაანგარიშების არაგამქოლი ღეროვან-დისკრეტული სქემა

საქართველოს მეცნ. აკადემიის სამშენებლო მექანიკისა და სესმომდეგობის ინსტიტუტში პროფ. ან. ლოსაბერიძის მიერ დამუშავებულ იქნა თაღოვანი კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდიკა, რომლის თანახმად თაღოვანი კაშხალი წარმოდგენილია როგორც არაგამქოლი, სსპრული სივრცითი თაღებისა და კონსოლებისგან შემდგარი. პირობით ღეროვანი სისტემა ერთი-ერთმოქმედების უწყობი შეყურსული ევანქური ძალებით<sup>2</sup>. ეს ძალები იშლება სამი — რადიალური, ტანგენციალური და კერტიალური მიმართულებით და

<sup>1</sup> И. И. Гудушаури. Исследования напряженного состояния и деформаций арочных плотин методом наложения фиктивных «Ортотропных» систем, Автореферат докторской диссертации, Тбилиси, 1967.

<sup>2</sup> А. А. Лосаберидзе. Исследование напряженного и деформированного состояния арочных плотин при статических и сейсмических воздействиях, Автореферат докторской диссертации, Тбилиси, 1971.

ამის შედეგად ყველა კვანძურ წერტილში მიიღება რეაქციის სამი ძალა და ამდენივე რეაქტიული მომენტი სათანადო ღერძების მიმართ.

განსახილველი მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს მრავალკონსოლური სქემა, არსებითად წარმოადგენს გ. რიტერის მეთოდის განზოგადებას. როგორც ზემოთ ვნახეთ, რიტერის მეთოდის მიხედვით თაღოვანი კაშხალიდან გამოიყოფა მხოლოდ ცენტრალური კონსოლი და დატვირთვის გადანაწილება ამ კონსოლის ღერძის თაღების ღერძებთან გადაკვეთის წერტილებში მუდმივი რჩება თითოეული თაღის მთელ სიგრძეზე. ამგვარად, აქ თაღებისათვის კონსოლები ქმნის ვინკლერულ ფუძეს და თითოეული თაღი განიხილება შესაბამისი თანაბრად განაწილებული რადიალური დატვირთვის მოქმედების ქვეშ.

განზოგადებულ მეთოდში კონსოლები თაღებისათვის ქმნის არავინკლერულ ფუძეს, რადგან ურთიერთქმედების ძალები ევალებადობს კონსოლების დამყოლობის ევალებადობის შესაბამისად.

თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების ეს სქემა იძლევა სამშენებლო მექანიკის ელასტიკური მეთოდების გამოყენების საშუალებას. კერძოდ, გამოყენებულია ცნობილი ძალთა მეთოდი, რომლის საფუძველზე ყველა დამაკვეთ კვეთში განუწყვეტლობის ძირითადი განტოლებანი დგება ერთობლივად უცნობი ძალების ან გადაადგილებების ყველა მიმართულებით, ხოლო შემდეგ წარმოებს მიღებულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა ელექტრონულ გამოსათვლელ მანქანაზე (ეგმ).

#### გაანგარიშების დისკრეტულ-კონტინუალური მეთოდი

თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების ეს მეთოდი დაამუშავა პროფ. ა. კაქუშაძემ საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის მასალათა გამძლეობისა და ღრეკადობის თეორიის კათედრაზე<sup>1</sup>. ამ მეთოდის მიხედვით თაღოვანი კაშხალი განიხილება როგორც სივრცული სისტემა, რომლის ტანი წარმოდგენილია ორი სისტემის — ცვლადი კვეთის სწორწაზოვანი (კონსოლების) და მუდმივი კვეთის წრიული ღეროების (თაღების) ერთობლიობით.

ცალკეული თაღები განიხილება როგორც ისეთ განზოგადებულ ღრეკად ფუძეზე მოთავსებულ, რომელიც ზოგად შემთხვევაში განისაზღვრება ექვსი ღრეკადი მახასიათებლით. ამ მეთოდში ღრეკადი ვინკლერული ფუძის როლს ასრულებს კონსოლები.

რამდენადმე მოგვიანებით ხსენებული ავტორის მიერ მითითებულ იქნა გზა, რომლითაც შესაძლებელია არავინკლერული ღრეკადი ფუძის სპეციფიკის გათვალისწინება და შემოთავაზებული საანგარიშო სქემის შემდგომი სრულყოფა<sup>2</sup>.

#### 8. თაღოვანი კაშხალების, როგორც თხელი გარსების, გაანგარიშება

თაღოვანი კაშხალი თავისი გეომეტრიული პარამეტრებით უახლოვდება გარსს, მაგრამ სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაში გამოყენებულ

<sup>1</sup> А. М. Какушадзе и др., Разработка методологии расчета арочных плотин, Опытные исследования, проектирования и строительства высоких плотин в Грузинской ССР, сб., Тбилиси, 1961.

<sup>2</sup> А. М. Какушадзе, Расчет арочных плотин. Арочное плотностроение (материалы совещания по вопросам проектирования и строительства арочных плотин). Под редакцией проф. В. С. Эрнстова, «Энергия», М.—Л., 1965.



გარსებისაგან განსხვავებით, მისი სასაზღვრო პირობები, გეომეტრია, მოქმედი დატვირთვები და სხვ. იმდენად რთულია, რომ სიმტკიცის ამოცანის ზუსტი გადაწყვეტა გარსების თეორიის საფუძველზე ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს.

უცხოელი მკვლევარებიდან თალოვანი კაშხალის, როგორც თხელი გარსის, ზოგადი ამოცანის მიახლოებითი კერძო ამონახსნები მიღებული აქვთ ტოლკეს. ლომბარდის და ჰერცოგს, რომლებმაც განიხილეს სწორკუთხოვან და ციკაბოფერლობებიან ტრაპეციულ გასწორებში მოთავსებული ცილინდრული გარსები.

სამკუთხოვანი და დამრეცფერლობებიანი ტრაპეციული გასწორებისათვის ქ. განევის მიერ შემოთავაზებულ იქნა წაკეთილი კონუსის ზედაპირის მაგვარი თალოვანი კაშხალის ფორმა. ასეთი მუდმივი სისქის კაშხალის, როგორც ნულოვანი გაუსური სიმრუდის გარსის, გაანგარიშება მანვე ჩამოაყალიბა ე. ვლასოვის<sup>1</sup> გარსების ზოგადი თეორიის საფუძველზე.

ამჟამად თხელი გარსების თეორიის საფუძველზე თალოვანი კაშხალების გაანგარიშების მეთოდების დამუშავება წარმოებს ჩვენი ქვეყნის მრავალ სამეცნიერო დაწესებულებაში: საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის გამოთვლით ცენტრში<sup>2</sup>, ამავე აკადემიის სამშენებლო მექანიკისა და სეისმომედეგობის ინსტიტუტში. ლენინგრადის სახ. უნივერსიტეტში<sup>3</sup>, „ჰიდროპროექტის“ სამეცნიერო-კვლევით სექტორში<sup>4</sup>, საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში და სხვ. თავისთავად ცხადია, რომ ამ გზაზე ჯერ კიდევ დიდი სიმწელებაა გადასალახავი იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს აღნიშნული მეთოდების პრაქტიკულ გამოყენებადღე დაყვანა.

თალოვანი კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის თხელი გარსების თეორიის გაოყენების იდეას ზოგიერთი მკვლევარი არ იზიარებს ან თუ იზიარებს, მხოლოდ გარკვეული თვალსაზრისით. მაგალითად, ე. ხუბერაინი იმოწმებს აკად. ვეკუას მონოგრაფიას. მიძღვნილს თხელი დრეკადი გარსების კლასიკური მომენტური თეორიის დაზუსტებისადმი<sup>5</sup> და მოჰყავს ნიშანი (კრიტიკიუმი), რომელიც ემყარება შემდეგ ძირითად დაშვებას:

$$1 \pm k_1 h \approx 1; \quad 1 \pm k_2 h \approx 1.$$

სადაც  $k_1, k_2$  შუა ზედაპირის მთავარი სიმრუდეებია;

$h$  — გარსის სისქის ნახევარი.

როდესაც ესა თუ ის გარსი აქმაყოფილებს ამ პირობას. მაშინ იგი შეიძლება მივაკუთვნოთ თხელი გარსების კატეგორიას. მაგალითად, ენგურის თა-

<sup>1</sup> В. З. Власов. Общая теория оболочек. Гостехиздат, М., 1949.

<sup>2</sup> В. С. Жегини, А. Р. Хвоless, Ф. Г. Цхадая. Некоторые вопросы геометрии срединной поверхности арочной плиты. Сообщения АН Гр. ССР, т. XXXII, № 2, 1961.

<sup>3</sup> Л. А. Розин. Метод расчленения в теории оболочек, Прикладная математика и механика АН СССР, том XXV, вып. 5, 1961.

<sup>4</sup> Его же основы расчета арочных плит по теории оболочек методом расчленения. Известия ВНИИГ, т. 77, изд. «Энергия», 1965.

<sup>5</sup> К. И. Дзюба. Исследования напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений и их оснований. Всесоюзная конференция ГС (тезисы докладов), МИСИ изд. В. В. Куйбышева, М., 1972.

<sup>6</sup> И. Н. Веква. Теория тонких полых оболочек переменной толщины. Изд-во «Медицинский», Тбилиси, 1965.

ლავენი კაშხალისათვის  $k_{\text{კ.კ.}} \approx 0,01021/0$ ,  $k_{\text{მ.კ.}} = 30$  მ, მაშასადამე, პირობა არ ემა-  
ყოფილდება,  $1 \pm 0,306 \neq 1$ . ამგვარად, ხსენებული სპეციალისტის<sup>1</sup> თვალსაზრისით  
იგი არ მიეკუთვნება თხელი გარსების კატეგორიას.

კაშხალის გასწორის ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობები, აგრე-  
თვე სიმაღლის შესაბამისად თალოვანი კაშხალების ფორმები და კონსტრუქცი-  
ები მრავალგვარია, ამიტომ ისინი არ შეიძლება მივყუთენოთ გარსების მხო-  
ლოდ ერთ კატეგორიას. მაგრამ ისიც ცხადია, რომ მუშაობის საერთო პირობე-  
ბითა და კონსტრუქციული ფორმებით ყველა ისინი, ამა თუ იმ მიახლოებით,  
წარმოადგენენ გარსებს. აქედან გამომდინარე გარსების თეორიის, კერძოდ პირ-  
ველ ეტაპზე თხელი გარსების თეორიის, გამოყენება თალოვანი კაშხალების სიმ-  
ტკიცეზე გაანგარიშებისათვის ფრიად სასარგებლო მიმართულებად უნდა ჩაი-  
თვალოს, მით უფრო იმიტომ, რომ თანამედროვე კაშხალთშენებლობაში ფარ-  
თოდ იწერება გაბედული ფორმის მაღალი და მსუბუქი თალოვანი კაშხალები.

## 9. ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშება

მომავალი გამოკვლევების უმნიშვნელოვანეს მიზანს უნდა წარმოადგენ-  
დეს ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით თალოვანი კაშხალების გაანგარიშების  
მეთოდის დამუშავება. ასეთი მეთოდის შექმნა უდიდეს მიღწევად იქნებოდა  
მიჩნეული, ცხადია, იმ პირობით, თუ იგი დაეფუძნებოდა არა დასაშვებ ძაბვა-  
თა მეთოდის ფორმალურ გარდაქმნებს, არამედ სრულიად ახალ აპარატს და  
არსებით ცვლილებას შეიტანდა თალოვანი კაშხალების სიმტკიცის თეორიის  
მთელ არსში.

ზღვრული მდგომარეობის მეთოდის დამუშავების ხაზით ძალიან დიდი  
სიძნელეებია, რადგან იგი მოითხოვს ფართო მასშტაბის უსუსტესი ექსპერი-  
მენტული გამოკვლევების ჩატარებას. „სუფთა თალის“ განხილვის ჩარჩოებში  
პირველი ნაბიჯები ამ მიმართულებით გადაიდგა მხოლოდ რამდენიმე სამეც-  
ნიერო-კვლევით დაწესებულებაში (საქ. სსრ მეცნ. აკად. სამშენებლო მექანი-  
კისა და სეისმომედგობის ინსტიტუტში, სამშენებლო კონსტრუქციების ცენ-  
ტრალურ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, „ჰიდროპროექტის“ სამეცნიერო-  
კვლევით სექტორში და სხვ.).

## 10. ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდი

რადგან თალოვანი კაშხალების სიმტკიცის არსებული თეორია ჯერ კიდევ  
ვერ უზრუნველყოფს მათი ძაბვითი და დეფორმაციული მდგომარეობის უსუ-  
სტო სურათის გამოვლინებას, საგამოკვლევო პრაქტიკაში ფართოდ დაინერგა  
თალოვანი კაშხალების მოდელური გამოკვლევების მეთოდი. ამჟამად ასეთი  
გამოკვლევები წარმოებს საკმარისად მსხვილი მაშტაბის მოდელებზე მსოფ-  
ლიოს მრავალ ქვეყანაში. პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს იმ გამოკვლევების  
შესახებ, რომელსაც მრავალი ქვეყნის დაკვეთით აწარმოებს იტალიის ქ. ბერ-  
გამოს ექსპერიმენტული კვლევის ინსტიტუტი. უკანასკნელ დროს თალოვანი  
კაშხალების მოდელური გამოკვლევები ფართოდ განვითარდა საბჭოთა კავშირ-

<sup>1</sup> К. М. Хуберля. Некоторые вопросы теории расчета арочных плотин, Известия  
ТНИСГЭИ им. А. В. Вишнера, издат-во «Энергия», М., 1969.

შიც — ჰიდროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (ლენინგრადი), მოსკოვის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტში, „ჰიდროპროექტის“ სამეცნიერო-კვლევით სექტორში (მოსკოვი), საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში და სხვ.

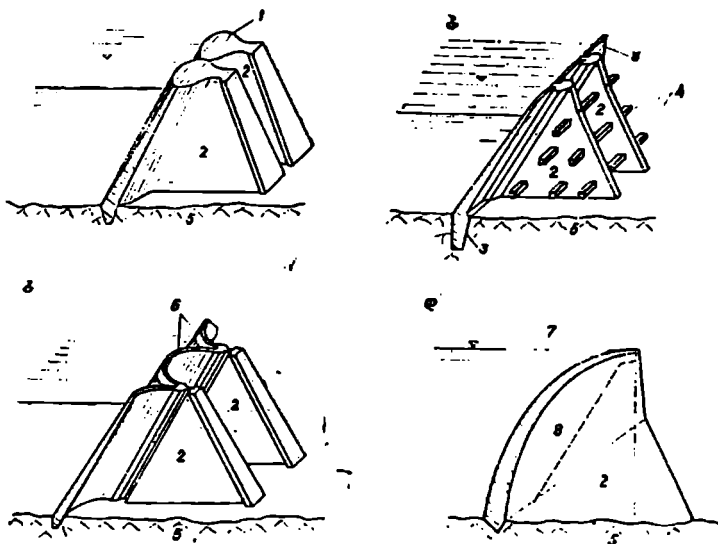
გაზომვების თანამედროვე ტექნიკური დონე საშუალებას იძლევა ნაგებობის ძოდლებზე მიღებულ იქნეს ძაბვებისა და დეფორმაციების საქმარისად საიშედო მონაცემები. ამჟამად არ გეგმარდება არცერთი თაღოვანი კაშხალი, რომელთა ტექნიკურ დოკუმენტაციას საფუძვლად არ ედოს როგორც ანალიზურ განაგარიშებათა, ისე ექსპერიმენტულ-მოდელურ გამოკვლევათა შედეგები.

## თ ა ვ ი IX

### კონტრფორსული კაშხალები

#### § 9-1. ზოგადი ცნოვაი და კლასიფიკაცია

კონტრფორსული კაშხალები წარმოადგენს შემსუბუქებული ტიპის შემტბორავ ნაგებობებს, რომლებიც საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს შრავალი ქვეყნის ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში. მათი განვითარებისათვის კარგი პერსპექტივებია დასახული საბჭოთა კავშირშიც.



ნახ. 9—1. კონტრფორსული კაშხალების ძირითადი ტიპები:

ა—მასიურ-კონტრფორსული; ბ—ბრტყელი გადახურეთ; გ—შრავალთაღოვანი; დ—შრავალღუმბათოვანი; 1—მასიური სათაეისები; 2—კონტრფორსეპი; 3—გადახურეთს ფილეტი; 4—სიხისტის კოჭები; 5—კლდე; 6—თაღები; 7—გუმბათი; 8—ქუსლების ხაზი.

გრავიტაციულთან შედარებით კონტროლსული კაშხალები ხასიათდება მნიშვნელოვანი ეკონომიურობით როგორც გამოყენებული მასალის (ბეტონის) მოცულობის, ისე მშენებლობის საერთო ღირებულების მხრივ. აღნიშნულმა უპირატესობამ განაპირობა მიმდინარე საუკუნის დასაწყისიდან (1903 წ.) დღემდე 500-ზე მეტი კონტროლსული კაშხალის მშენებლობა.

კონტროლსული კაშხალი შედგება ცალკე მდგომი კონტროლსებისაგან და ამა თუ იმ ტიპის სადაწნეო გადახურვისაგან. ასრულებს რა საყრდენების მოვალეობას. გადახურვისაგან მიღებულ დატვირთვებს კონტროლსები გადასცემს ფუძის გრუნტს უშუალოდ ან საძირკვის ფილის მეშვეობით. ამ უკანასკნელს აწვობენ არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში.

კონტროლსული კაშხალების კლასიფიკაციას უფრო ხშირად აწარმოებენ სადაწნეო გადახურვის ტიპისა და კონტროლსების კონსტრუქციის მიხედვით.

სადაწნეო გადახურვის ტიპის მიხედვით განასხვავებენ კაშხალებს: ა) ბეტონის მასიური გადახურვებით, ანუ მასიურ-კონტროლსულს; ბ) რკინაბეტონის ბრტყელი გადახურვებით (ფილებით); გ) ბეტონისა და რკინაბეტონის თაღოვანი გადახურვებით, ანუ მრავალთაღოვანს და დ) ორმაგი-სიმრუდის გადახურვებით, ანუ მრავალგუმბათოვანს (ნახ. 9-1).

კონტროლსების კონსტრუქციის მიხედვით კი: ა) ბეტონისა და ქვაბეტონის მასიური კონტროლსებით; ბ) ბეტონისა და რკინაბეტონის თხელი, მთლიანი ან გამჭოლი კონტროლსებით; გ) დიაფრაგმებით გაღონიერებული რკინაბეტონის ღრუ კონტროლსებით და დ) ბეტონის გაორმაგებული (ღრუ) კონტროლსებით (ყ. მარჩელოს ტიპი).

დამატებითი ელემენტების სახით კონტროლსებს შორის კაშხალში შეიძლება მოეწყოს სიხისტის. კოჭები (განმბრჩენები) ანდა კონტროლსების გვერდებზე გათვალისწინებულ იქნეს სიხისტის წიბოები ქვედა წახნაგების პარალელურად ან ვერტიკალური მიმართულებით; შედარებით იშვიათად შესაძლებელია სიხისტის კოჭები შეიცვალოს სიხისტის დიაფრაგმებით. მოსალოდნელი გრძივი ღუნვის (გამობურცვის) დროს აღნიშნული დამატებითი ელემენტების დანიშნულებას წარმოადგენს კონტროლსების ვერტიკალური სწორხაზოვანი ფორმის მდგრადობის უზრუნველყოფა.

კონტროლსულ კაშხალებში კონტროლსებს ერთმანეთისაგან ისეთ მანძილზე ათავსებენ. რომ დატვირთვის გადაცემის შედეგად სრულად იქნეს გამოყენებული მათი მასალის ზიდვის უნარი დასაშვები ძაბვების ფარგლებში. ღუნვაზე ან თაღის პრინციპზე მომუშავე გადახურვებშიც მასალა სრულადაა დატვირთული, ამიტომ კონტროლსული კაშხალის კონსტრუქციის საერთო წონა მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე გრავიტაციული კაშხალისა. ძერაზე მდგრადობის უზრუნველსაყოფად დანაკლის წონას კონტროლსული კაშხალი იესებს წყლის პრიზმის წონით, რომელიც გადაეცემა დახრილ სადაწნეო გადახურვას. ვერტიკალური სადაწნეო გადახურვის შემთხვევაში კი წყლის ასეთი პრიზმა არ არსებობს, ამიტომ, საკუთარი წონის გაზრდის მიზნით, უნდა აიგოს მასიური (სქელი) კონტროლსები ანდა გამოყენებულ იქნეს ფუძეში კონტროლსების ჩაანკერების მეთოდი.

პირველი კონტროლსული კაშხალი აგებულ იქნა ესპანეთში XVI საუკუნის ბოლოს (ელიჩეს კაშხალი). იგი წარმოადგენდა ქვის 23 მ სიმაღლის მრავალთაღოვან კაშხალს ვერტიკალური თაღებით. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ მრავალთაღოვანი კაშხალების მშენებლობა ფართოდ გავრცელდა მხოლოდ

XX საუკუნის დასაწყისიდან. როდესაც გამოყენებულ იქნა უფრო ეკონომიური დახრილი თაღები. ამჟამად მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში უკვე განხორციელებულია ამ ტიპის 70-ზე მეტი კაშხალი, რომელთაგან ყველაზე მაღალია მახიუჯაგანის კაშხალი კანადაში (215 მ).

ოკინაბეტონის პირველი კაშხალი ბრტყელი სადაწნეო გადახურვით (ფილებით) აგებულ იქნა 1933 წელს აშშ-ებში, მდ. ტერაზზე. ამჟამად მსოფლიოში განხორციელებულია ამ ტიპის 400-ზე მეტი კაშხალი.

მასიურ-კონსტრუქციული კაშხალები ჰიდრომშენებლობის პრაქტიკაში შეიძლება ჩვენი საუკუნის 30-იანი წლებიდან და თანდათანობით გაეცულებინათ მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. ამ ტიპის კაშხალებიდან ყველაზე მაღალია ანჩიპას კაშხალი იტალიაში — 111,5 მ (1952 წ.). რომელიც აშენდა ინჟ. კ. მარჩლოს წინადადებით.

კონსტრუქციულ კაშხალებს აშენებენ როგორც ყრუს, ისე წყალსაშვებს. მათ საერთო თავისებურებას წარმოადგენს კონსტრუქციის სიმსუბუქე და ეკონომიურობა. მასიურ-გრავიტაციულ კაშხალებთან შედარებით ეკონომია მასალის მოცულობასა და საერთო ღირებულებაში აღწევს 10 — 40% და უფრო მეტს. რაც დამოკიდებულია კაშხალის კონსტრუქციასა და ადგილობრივ პირობებზე.

კონსტრუქციული კაშხალების აგება საბჭოთა კავშირში მხოლოდ უკანასკნელ ხანებში დაიწყო და ამჟამად მშენებლობის სტადიაშია სამი ასეთი კაშხალი — კიროვის (ყირგიზეთის სსრ), ანდოიანის (უზბეკეთის სსრ) და ზეის (რუსეთის სფსრ), რომელთა სიმაღლეა. შესაბამისად, 86 მ, დაახლოებით 115 მ და 114 მ.

ბეტონისა და რკინაბეტონის კაშხალებში უშუალოდ წყლის წნევასა და ფილტრაციას ძირითადად განიცდის მხოლოდ გადახურვები, ამიტომ მის მასალას უნდა ახასიათებდეს დიდი წყალშეუღწევობა (მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ B-4 — B-8 მარკის ბეტონები). აგრესიული წყლებისაღმძი მედეგობა. თუ ასეთი არსებობს, და ყინვამედეგობა. კაშხალის დანარჩენ ნაწილში ბეტონი უნდა იყოს ყინვამედეგი და აკმაყოფილებდეს ყველა იმ მოთხოვნას, რაც წაყენება ბეტონის მასიურ-გრავიტაციულ კაშხალებში.

რკინაბეტონის კონსტრუქციებში წყლის ფილტრაციისა და არმატურის შესაძლო კოროზიის საწინააღმდეგოდ მიზანშეწონილია ჩატარდეს შემდეგი ღონისძიებანი:

- 1) თავიდან ავიცილოთ გამჭიმავი ძაბვები სადაწნეო წახნაგზე;
- 2) გაანგარიშდეს რკინაბეტონის სადაწნეო კონსტრუქციები ბეტონში ბზარების გახსნის შეზღუდვაზე მოქმედი სამშენებლო ნორმების შესაბამისად;
- 3) დაიფაროს სადაწნეო ზედაპირი ჰიდროსაიზოლაციო მასალით (ტორკრეტი, ბიტუმი და სხვ.);
- 4) შეიღებოს დაბეტონების წინ არმატურა ცემენტის ხსნარით და მოთავსდეს ბეტონის ზედაპირიდან არანაკლებ 6 — 10 სმ-ის დაშორებით.

ბეტონის შენაჯავის წყალცემენტის ფაქტორი (B/L) არ უნდა აღემატებოდეს 0,5, ხოლო ასაკრები რკინაბეტონისათვის — 0,4.

რკინაბეტონის ჰიდროტექნიკური კონსტრუქციებისათვის გამოიყენება სხვადასხვა მარკის არმატურა: ცხლად გლინული ფლ. 3, ფლ. 5 და 25 Г2С მარკის ფოლადისაგან, აგრეთვე პერიოდული პროფილის ცივად ელექტილი არმატურა. ამასთან, კონსტრუქციებში მას ათავსებენ მ ზ ა ა რ მ ა ტ უ რ ი ს

ბადის, პარალელური ღეროებისაგან შემდგარი პაკე-  
ტების, არმოფერმების, არმოქარქასების და არმოპა-  
ნელების სახით.

#### § 8-2. მასიურ-კონტროლული კაშხალავი

მასიურ-კონტროლულ კაშხალებს აგებენ ბეტონისაგან და, როგორც წე-  
სი, ისინი არ შეიცავენ არმატურას, გარდა იმ ცალკეული ზონებისა, სადაც ად-  
გილი აქვს ძაბვათა კონცენტრაციას. გრაეიტაციულთან შედარებით ეს კაშხა-  
ლები იალევა ბეტონის ეკონომიას (განსაკუთრებით მაღალი დაწნევის დროს)  
20—40. ხოლო ღირებულებისას—15—35%-მდე. გათვალისწინებულია, რომ  
კონტროლული კაშხალის 1 მ<sup>3</sup> ბეტონი 2—10%-ით უფრო ძვირია, ვიდრე  
გრაეიტაციულისა. რადგან საჭიროებს ცემენტისა და ყალიბების უფრო მეტ  
რაოფენობას და ამასთანავე მისი სამუშაოების წარმოება რამდენადღე გართუ-  
ლებულია. ამ ტიპის კაშხალებში გამოიყენება 200—250 მარკის ბეტონი, რომ-  
ლის მარჯა იცელება ზონების მიხედვით, ისე როგორც გრაეიტაციულ კაშხა-  
ლებში.

გარდა ამისა, აქ ბეტონის წყობის ხარისხი უკეთესია, ვიდრე გრაეიტაცი-  
ულში. რადგან ბეტონის ბლოკები უფრო თხელია და ადვილად წარმოებს ეკ-  
ზოთერმის სითბოს განზნევა.

კლდოვან ფუძეებზე აგებული ბეტონის მასიურ-კონტროლული კაშხა-  
ლების კლასიფიკაცია შეიძლება მოვახდინოთ შემდეგი ნიშნების მი-  
ხედვით:

1) წყალდიდობის წყლების გატარების ხერხის მიხედვით: ყრუ კაშხალე-  
ბი. რომელთა ტანის გაელით არ წარმოებს წყლის გადაგდება ქვედა ბიფეში  
(ნახ. 9-2 ა და ბ); წყალსაგდები კაშხალები (წყალსაშეები ან სიღრმული ხერხ-  
ტებით). რომლებიც წყლის გადაგდებას ქვედა ბიფეში აწარმოებენ თხემით ან  
ტანით (ან ორივეთი ერთად). წყალსაშეები მასიურ-კონტროლული კაშხალე-  
ბი შეიძლება მოეწყოს წყალსაშეები ფილით (ნახ. 9-2 გ) ან მის გარეშე — თ-  
ვისუფლად ვარდნილი ჭავლის პრინციპზე მომუშავე (ნახ. 9-2 დ), რომელსაც  
თხემზე შეიძლება ჰქონდეს საეკეტები ან იყოს უსაკეტო;

2) კონტროლის კონსტრუქციის მიხედვით: კაშხალები ცალფა კონტრ-  
ფორსებით (ნახ. 9-3 ა, ბ, გ) და გაორმაგებული (ღრუ) კონტროლსებით  
(ნახ. 9-3 დ, ე);

3) გეგმაში მოხაზულობის მიხედვით: სწორხაზოვანი, მრუდწირული და  
პოლიგონალური მოხაზულობის კაშხალები;

4) სადაწნეო გადახურვის ტიპის მიხედვით: მრუდწირული მოხაზულობის  
(ნახ. 9-3 ა), პოლიგონალური მოხაზულობის (ნახ. 9-3 ბ, დ, ე) და ბრტყელი  
სადაწნეო გადახურვებით (ნახ. 9-3 გ).

უკანასკნელ ხანებში ევროპის რიგ ქვეყნებში (განსაკუთრებით კი იტა-  
ლიაში) შესამჩნევად გაიზარდა მასიურ-კონტროლული კაშხალების რაოდე-  
ნობა. რაც აიხსნება იმ უპირატესობით, რომელიც ამ კაშხალებს ახასიათებს.  
მათ შორის მნიშვნელოვანია: ნაგებობის უკეთესი ძაბვითი მდგომარეობა და  
მის შედეგად მასალის რაციონალური გამოყენება: ბეტონის შექიდვისა და  
გამაგრების დროს წარმოქმნილი სითბოს უფრო ადვილად გაფანტვა და, მათ-

სადაზე, შეკლების ბზარების წარმოშობის შესაძლებლობის შემცირება; კაშხალის ძირზე ფილტრაციული ნაკადის უფრო მცირე წნევა და სხვა.

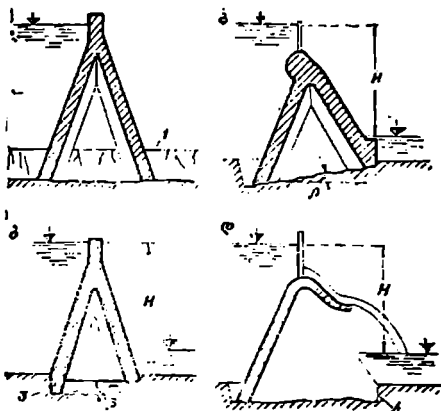
ზოგიერთ ქვეყნებში ტექნიკური პირობებით ფილტრაციული წნევა კონტრფორსის ფუძეში თავების გარდა გაითვალისწინება კედლის უბანზე, რომლის სიგრძე აიღება კონტრფორსის კედლის ორმაგი სისქის ტოლი.

განასხვავებენ მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების შემდეგ ორ ძირითად ტიპს:

ა) ცალფა კონტრფორსებიანს, რომელთაც, ჩვეულებრივ, ქვედა მხრიდან აქვთ ღია მალეები, და

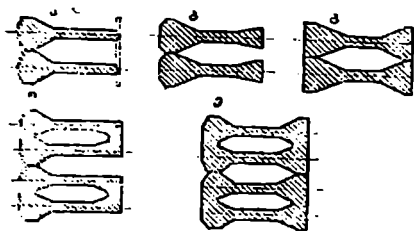
ბ) გაორმაგებულ კონტრფორსებიანს, რომლებშიც ორი მოსაზღვრე კონტრფორსის ნაწილები შეერთებულია ერთ ღრუ მასიურ კონტრფორსად.

გარდა ამისა, ისინი შეიძლება დავყოთ დახრილ და ვერტიკალურ (ან მასთან ახლო) ზედაწახნაგიან კაშხალებად.



ნახ. 9-2. მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების ტიპები განეგ პროფილში:

1-სუსტი კლდე; 2-მტკიცე კლდე; 3-კბილი; 4-საბრყენი.

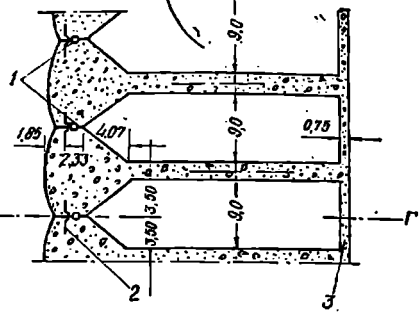
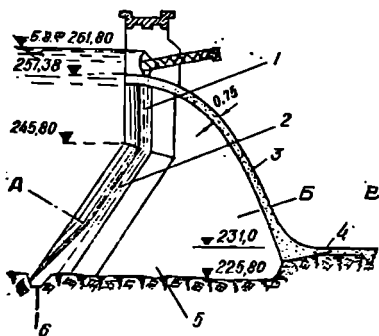


ნახ. 9-3. მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების ტიპები პრიზონტალურ კვეთში.

### 1. კაშხალები ცალფა კონტრფორსებით

ამ ტიპის კაშხალებში სადაწნეო გადახურვა იქმნება კონტრფორსების მასიური კონსოლური სათავისებით, რომელთაც შეიძლება ჰქონდეთ წრიული, პოლიგონალური ან ბრტყელი ფორმა.

პირველი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი ცალფა კონტრფორსებით (ნეტცლის ტიპისა) აიგო მექსიკაში 1929 წელს. მისი სიმაღლე შეადგენს 39, 0 მ, გააჩნია 26 წყალსაშვები მალი და წრიული მოხაზულობის კონსოლური სათავისები სადაწნეო მხრიდან (ნახ. 9-4). ასეთი მოხაზულობის სათავისებზე მოქმედებს წყლის რადიალური წნევა, რის შედეგად მათში წარმოიქმნება მხოლოდ მკუმშავი ძაბვები.



ნახ. 9-4. დონ მარტინის მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი წრიული მოხაზულობის სათავისებით მდ. რიო-სალადოზე: 1—სადრენაჟო მილები; 2—სპილენძის ფურცელი; 3—წყალსაშვები ფილა; 4—წყალსაყვები; 5—კონტრფორსების საძირკველი; 6—საქემენტაციო ქვები.

მასიურ-კონტრფორსულ კაშხალებში კონტრფორსები თავიანთი მასიური სადაწნო ზედაპირებით განცალკევებულია ერთმანეთისაგან კონსტრუქციული ნაკერებით და შეუძლია ურთიერთდამოუკიდებელი დაჯდომა, რაც კაშხალის დიდ ღირსებას წარმოადგენს. ნაკერების წყალშეუღწეობა დატულია კონტრფორსების სათავისებში ჩამაგრებული სპილენძის, უქანგავი ფოლადის ან რეზინის ფურცლების საშუალებით.

განსახილველი ტიპის კაშხალების მშენებლობისათვის საერთოდ საჭიროა კლდოვანი ფუძეები, მაგრამ დასაშვებია მათი მშენებლობა ნახევრად კლდოვან ფუძეებზეც. კონტრფორსებს შორის მანძილები აიღება კაშხალის სიმაღლის მიხედვით. მაგალითად, 40 მ-მდე კაშხალის სიმაღლის დროს იგი აიღება 9—12 მ-მდე, ხოლო უფრო დიდი სიმაღლეების შემთხვევაში—12—25 მ-მდე.

სამუშაოთა წარმოების გამარტივების მიზნით, წრიული მოხაზულობის მასიური კონსოლური სათავისები შეიძლება შეიცვალოს პოლიგონალურით, ხოლო ზოგჯერ ბრტყელი სათავისებით. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ბენ-მეთირის (ტუნისი), ლიუჩენდროს (შვეიცარია), ჯიოვერეტოს (იტალია), კრენგედეს (შვეიცია), მენცილის (ირანი) და სხვა კაშხალები, აგრეთვე ეგრეთ წოდებული შოტლანდიური ტიპის მასიურ-კონტრფორსული კაშხალები: ლოხ-სლოი, ლუბროხი, ჯიორა და სხვა. ჩამოთვლილი კაშხალების ნაწილი ნაჩვენებია 9-5—9-8 ნახაზებზე.

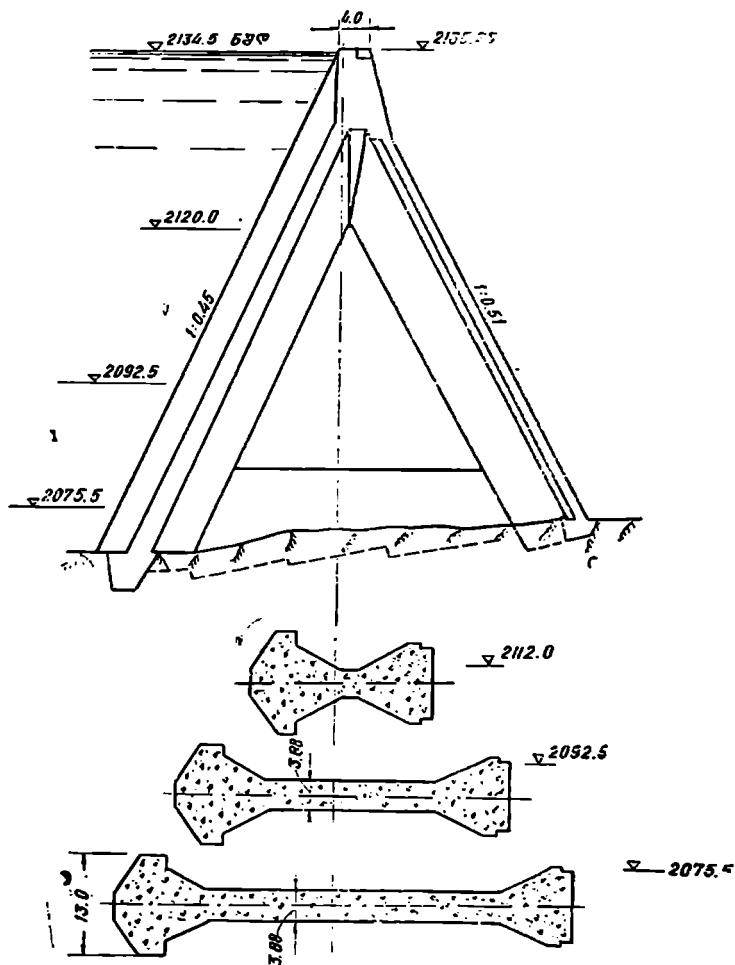
ლიუჩენდროს კაშხალი აიგო 1943—1947 წწ; მისი სიმაღლე დაახლოებით 68,5 მ-ია, ხოლო სიგრძე თხემის გასწვრივ—270 მ; იგი დაფუძნებულია გნეისებზე (ნახ. 9-5). თბოიზოლაციის მიზნით, კონტრფორსებს შორის შუალედური სივრცე ქვემოდან დაფარულია 1,5 მ სისქის ბეტონის ფილებით, საიდანაც შესაძლებელია შესვლა შიგა სიღრუეში.

საველე კვლევების ჩატარების მიზნით კაშხალის № 10 კონტრფორსი, რომლის სიმაღლეა 64 მ, აღჭურვილია დიდი რაოდენობის ხელსაწყოებით ტემპე-

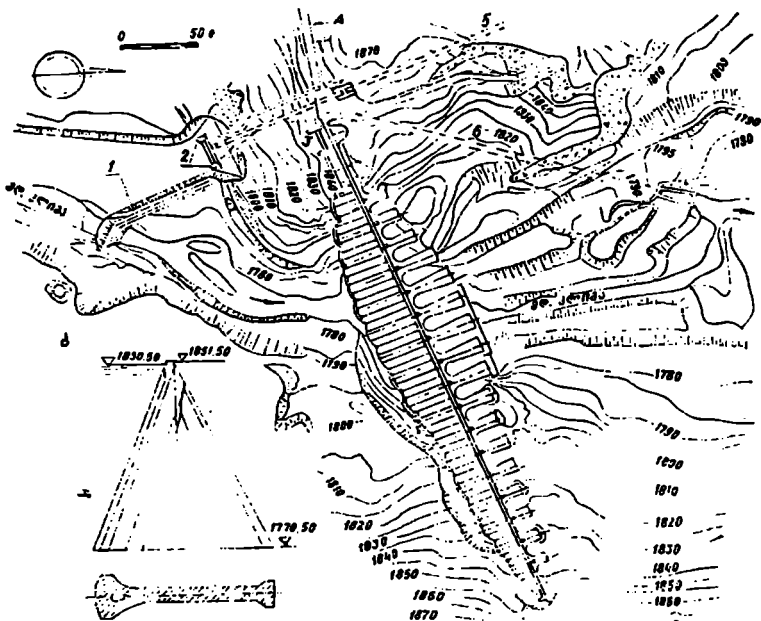


რატურის, დაგრძელებისა და ნაგებობის საერთო დეფორმაციის გასაზომად. კაშხალის ბეტონის საერთო მოცულობა შეადგენს 156000 მ<sup>3</sup>.

ჭიოვერეტოს კაშხალი მისი ტექნიკური და კონსტრუქციული მონაცემებით ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი და უახლესია ამ ტიპის ნაგებობათა შორის იტალიაში. მისი მშენებლობა დამთავრდა 1956 წლის აგვისტოში. კაშხალის მაქსიმალური სიმაღლეა 83 მ და შედგება 17 კონტრფორსისაგან (ნახ. 9-6).



ნახ. 9-5. ლიუჩენდროს მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი პოლიგონალური მოხაზულობის სათავეებით.



ნახ. 9—6. ქივერეტოს კაშხალის პილროკვანძი:

ა—გენერალური გეგმა; ბ—უმაღლესი კონტრფორსი; 1—ზღუდარი (საგუბარი); 2—ფსკერული ხერცები; 3—საექსპლუატაციო წყალსაშვები; 4—სასამსახურო შენობა; 5—ენერგეტიკული გვირაბი; 6—წყალსაღვები გვირაბი.

კონტრფორსული ტიპის კაშხალისა და მისი გასწორის არჩევა ნაკარნახევი იყო ტექნიკურ-ეკონომიური მოსაზრებებით, აგრეთვე ნაგებობის გასწორის ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობებით.

ტექნიკური პროექტის დამუშავების დროს წარმოიშვა აზრი იმის შესახებ, რომ კონტრფორსის სადაწნეო ნაწილში (სათავისში) მოწყობილიყო სიღრუე, რომელსაც სამუშაოთა წარმოების მოხერხებულობის მიზნით ექნებოდა მუდმივი კვეთის ფართობი (14 მ<sup>2</sup>). კონტრფორსებში ასეთი სიღრუის მოწყობამ უზრუნველყო ბეტონის ეკონომია, რომელიც მთელი პილროკვანძისათვის შეადგენს 14000 მ<sup>3</sup>. სიღრუეების მოწყობა თავებში ქმნის აგრეთვე სითბოს გაფანტვის ხელსაყრელ პირობებს ბეტონის შეჭიდვის დროს.

ჩატარებული საკონტროლო გაზომვები მოწმობს, რომ ბეტონის შეჭიდულობის მთელ პერიოდში მისი ტემპერატურა ამ ნაწილში არ აღმატებია, 34°C-ს. სიღრუე, რომელიც მიერთებულია კაშხალის სადრენაჟო მოწყობილობასთან, ამცირებს ფილტრაციულ უკუწინევას კონტრფორსის სათავისის ძირში.

ზემო ბიეფის მხარეზე წყლის წნევის ევრიკალური მდგენელის ეფექტური მოქმედების უზრუნველსაყოფად კონტრფორსის სათავისის აქვს პოლიგონალური მოხაზულობა, 'ხოლო ზედა წახანაგს — შესაბამისი დახრილობა (0,42);

ქვედა წახნაგისათვის დახრილობა განისაზღვრება 0,45 სიდიდით. კონტრაფორსის სათავისში სიღრუის განივევებით დანიშნული იყო სამუშაოთა წარმოების პირობების გათვალისწინებით.

ჯიოვერეტოს კაშხალის პროექტში ჩატარებულია შედარება ცოტა ხნით უფრო ადრე აგებულ ფედაის ცალფა კონტრაფორსებიან და ბაუ-მუჟჟერისის გაორმაგებულ კონტრაფორსებიან კაშხალებთან. შედარების შედეგები გვიჩვენებს, რომ 55 — 60 მ სიმაღლის კონტრაფორსებისათვის განსხვავება სამი ტიპის კონტრაფორსის ბეტონის კუბატურაში უმნიშვნელოა, ხოლო ანალოგიურ პირობებში მომუშავე მასიურ-გრავეიტაციულ კაშხალთან შედარებით ეკონომია 30%-ს შეადგენს.

როდესაც სიმაღლე 60 მ-ს აღემატება, კონტრაფორსების ის ტიპი, რომელიც გამოყენებულია ჯიოვერეტოს კაშხალში, იძლევა მნიშვნელოვნად უფრო მეტ ეკონომიას, ვიდრე მასიურ-კონტრაფორსული კაშხალების ჩვეულებრივი კონსტრუქციები.

ასეთი სიმაღლეების დროს, გარდა ბეტონის მნიშვნელოვანი ეკონომიისა, მიღწეულია მასალის უკეთესი გამოყენება დასაშვები ძაბვების ფარგლებში.

კაშხალის კონტრაფორსებს შორის მოწყობილი ნაკერები რეზინითაა გამკვრივებული; იგი შესრულებულია ხარისხოვანი პროფილირებული ლენტით. ასეთი ლენტის გამოყენება ნაკერის სპილენძის ფირფიტით გამკვრივებასთან შედარებით იძლევა 60% ეკონომიას. ჯიოვერეტოს კაშხალზე ნაკერების საერთო სიგრძე 1130 მ-ს შეადგენს.

მიუხედავად იმისა, რომ კაშხალი აგებულია მაღალმიან რაიონში (წყალსაცავის ნშდ მოთავსებულია ზღვის დონიდან 1850 მ ნიშნულზე), იგი ზედა წახნაგის მხარეზეც კი არ არის მოპირკეთებული ქვით. ამ თავისებურებას, ცხადია, აქვს დიდი ეკონომიური მნიშვნელობა, თუ გავითვალისწინებთ, რომ კაშხალის მხოლოდ სადაწნეო წახნაგის ფართობი შეადგენს 20400 მ<sup>2</sup>.

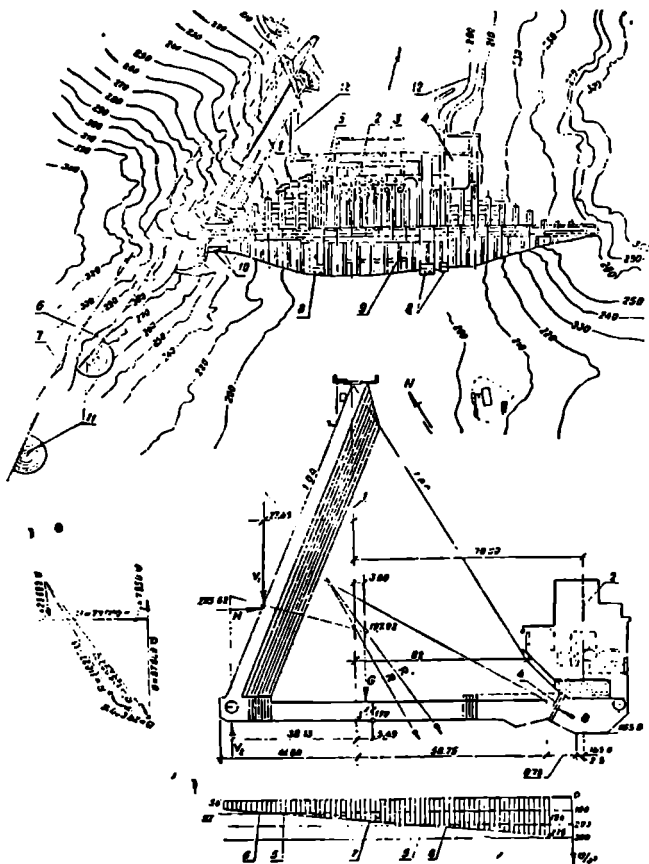
კაშხალისათვის ყინვამდელი ბეტონის მისაღებად ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტული გამოკვლევები.

ნაგებობის ქცევადი დავირვება როგორც სტატიკური და თერმული რეჟიმის, ისე ბეტონის ტენიანობის შესწავლის მხრივ ხორციელდებოდა ნაგებობის ბეტონში დაყენებული გამზომი ელექტროწინალობიანი ხელსაწყოებით. ნაგებობის ქცევის სრული სურათის მისაღებად ხელსაწყოები კონცენტრირებულია ერთ-ერთ მაქსიმალური სიმაღლის კონტრაფორსში.

მშენებლობის მკაცრმა პირობებმა, რაც გამოწვეული იყო ჰაერის ტემპერატურის 60°-მდე რყევით (−30°-დან +30°-მდე), მოითხოვა მუდმივი კონტროლის დაწესება ნაგებობის სითბურ რეჟიმზე.

მ ე ნ ე ი ლ ის კ ა შ ხ ა ლ ი, რომელიც აშკამად შახბანოუ-ფარახის სახელწოდებას ატარებს, წარმოადგენს მდ. სეფიდ-რულზე აგებულ ირიგაციულ-ენერგეტიკული ჰიდროკვანძის შემადგენელ ნაწილს (ნახ. 9-7). ეს კაშხალი დღეისათვის ყველაზე მაღალია მსოფლიოში აგებულ ცალფა კონტრაფორსებიან მასიურ-კონტრაფორსულ კაშხალებს შორის (106 მ).

ნაგებობის ძირითადი მაჩასიათებლები შემდეგია: კაშხალის მაქსიმალური სიმაღლე  $H_{\text{max}} = 106$  მ; კაშხალის სიგრძე თხემის გასწვრივ  $L = 425$  მ; კონტრაფორსის სისქე  $d = 5$  მ; კონტრაფორსების ღერძებს შორის მანძილი  $l = 14$  მ; სადაწნეო წახნაგის ქანობი  $\epsilon_{\text{გა}} = 0,4$ ; ქვედა წახნაგის ქანობი  $\epsilon_{\text{გბ}} = 0,6$ ; ბეტონის მოცულობა 700 000 მ<sup>3</sup>.

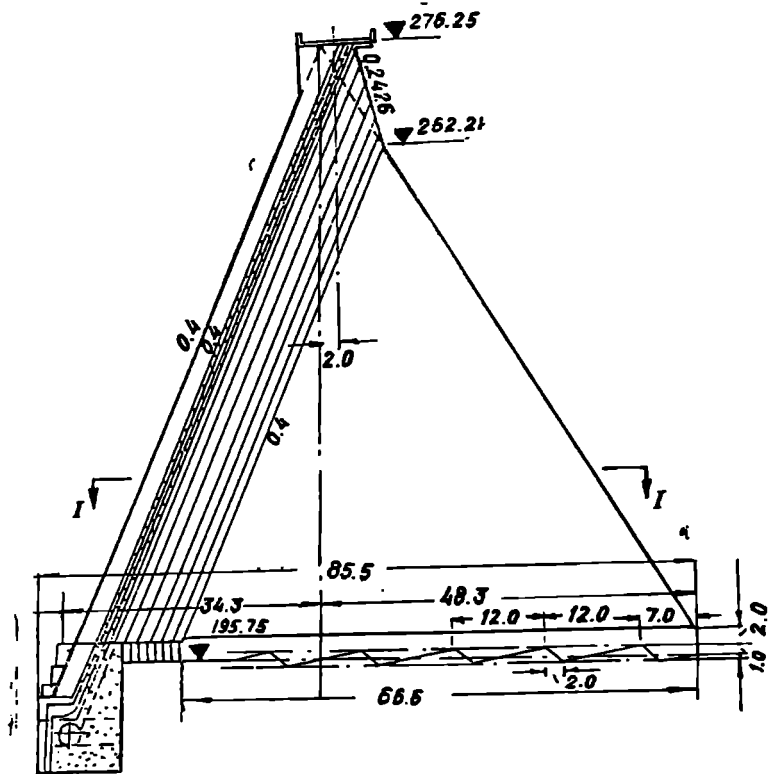


ნახ. 9—7. მენელის კაშხალი (ირანი):

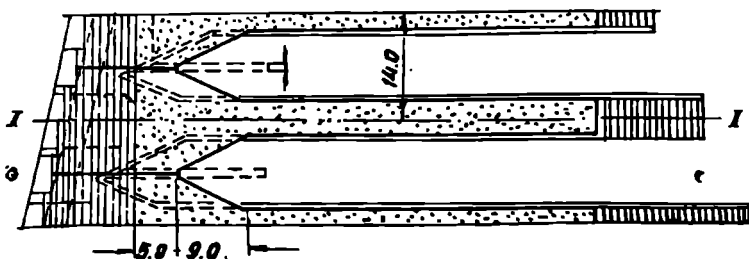
—გენერალური გეგმა; 1—ლაწენით მომუშავე სწრაფდენი; 2—აგრეგატების ღერძი; 3—ძილოვანი დანადგარი (ქესი); 4—განმანაწილებელი მოედანი; 5—კაშხალის ღერძი; 6 და 7—მომვლელი გვირაბები,  $D=8$  მ (მშენებლობის პერიოდისათვის); 8—წყარასაშუებისა და ძირითადი გამრეცი გალერეების შესავალი ხერხები; 9—წყლის შიღება ტურბინებისათვის; 10—წნეით მომუშავე წყალგამშვები; 11—წყალსავლები ძაბრი; 12—შესასვლელი გზა; ბ—კონტროლის საანგარიშო სქემა; 1—კაშხალის ღერძი; 2—აგრეგატების ღერძი; 3—კვეთის გული; 4—პირაეღვიური დომკრავტი; 5—ყველა ძალის, მათ შორის განმბრჩენის აქტიური წნევის მოქმედებით გამოწვეული ნორმალური ძაბვების განაწილების ეპიურა ფუძის კვეთში ( $V_2$  ძალების მოქმედება მხედველობაში არ არის მიღებული); 6—იგივე, განმბრჩენი ძალების გარეშე; 7—სიმძიმის ცენტრის ღერძი;  $Q$ —კონტროლის წონა;  $H$  და  $V_1$ —შესაბამისად პირობითური წნევის პორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელები;  $V_2$ —უკუწნევა;  $B$ —განმბრჩენის აქტიური წნევა ნაყერში;  $R$ —ყველა ძალის ტოლქმედი ნაყერში მოქმედი განმბრჩენის გარეშე;  $R$ —იგივე, ნაყერში მოქმედი განმბრჩენის გავალისწინებით.

მეზობელი კონტრფორსების სათავისებს შორის არსებული პირაპირის წყალშეუღწეობა უზრუნველყოფილია სპილენძის თხელი ფირფიტით გალონირებული კაუჩუკის მოქნილი ზოლით (ნახ. 9-8 და 9-9).

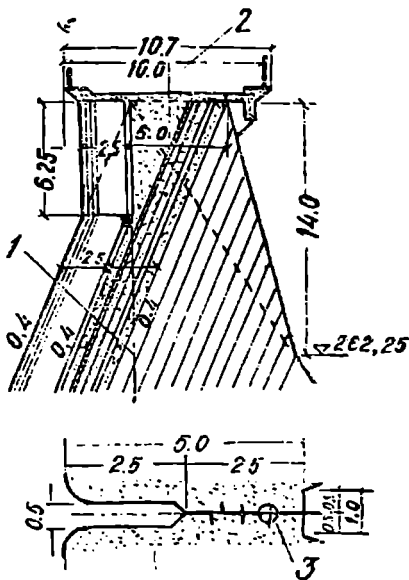
კაშხალის ტანის ბეტონისა და კლდის კონტაქტის ზონაში (სადაწნეო წახნაგის ფუძეში) გათვალისწინებულია წრიული მოხაზულობის სათვალეირებე-



გაილი I-I



ნახ. 9-8. მეწეილის კაშხალის კონტრფორსის ევრტიკალური (განივი) და ჰორიზონტალური კრილები.



ნახ. 9—9. შენეილის კაშხალის კონტრფორსის სათავისსა და ნაკერის დეტალი:

1—კაშხალის ღერძი; 2—გზის ღერძი; 3—საწრეტნი (ღრენა).

30 კონტრფორსი) ეყრდნობა ჰესის შენობის ქვეშ მოთავსებულ საძირკვლის საყრდენ მასივს. კონტრფორსებსა და საყრდენ მასივს შორის ნაკერში ჩაიდგა ბრტყელი ჰიდრაულიკური დომკრატები (200×100 სმ ზომის 14 დომკრატი, რომლებიც ნაკერში ქმნიან მისდამი ანორმალურად მიმართულ ძალვას—2 ათას ტ-ს თითოეული). დატვირთვის შემდეგ ნაკერები დაცემენტდა, რის შედეგადაც თითოეული კონტრფორსი აღმოჩნდა დატვირთული ძირითადი ძალების დამატებით 28 ათასი ტ სიღრმის მუდმივი ძალით. კონტრფორსის ასეთი კმატვირთვა არსებითად აღუმჯობესებს ძაბვების განაწილებას მის ფუძეში. ნაკერების წნევით დატვირთვის აწარმოებდნენ თანდათანობით (საფეხურებად).

შოტლანდიური ტიპის კაშხალები. უკანასკნელ წლებში შოტლანდიაში დამუშავდა და რიგ ჰიდროკვანძებზე განხორციელდა ცალფა კონტრფორსებიანი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალის ფრიალ საინტერესო ტიპი, რომელიც სხვა მსგავსი კაშხალებისაგან განსხვავდება კონტრფორსების სათავისებს შორის ღრობებითი შეკლების ნაკერების მოწყობით, რომელსაც ავსებენ ბეტონით მას შემდეგ, რაც კონტრფორსების სათავისების დიდ ნაწილში უკვე ჰქონდა ადგილი ბეტონის შეკლებას. ასეთი კონსტრუქცია აღუმჯობესებს კაშხალების კონტრფორსების სათავისების სტატიკურ მუშაობას და ამასთანავე იძლევა კონტრფორსების ღერძებს შორის მანძილის გაზრდის საშუალებას. სწორედ აღნიშნული კონსტრუქციული მოწყობა წარმოადგენს მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების მშენებლობის თავისებურებას შოტლანდიაში.

ლი ვალერია, რათა ნაგებობის ექსპლუატაციის პერიოდში შესაძლებელი გაზდეს ინექცია ცემენტის ხსნარით.

იმისათვის, რომ თითოეული კონტრფორსისათვის დაედგინათ სათავისის ისეთი კვეთი, რომელიც ცამორიცხავდა ყოველგვარი გამჭიმავი ძაბვის წარმოშობას, ჩატარდა სათანადო გამოკვლევები. სადაწნეო მზრიდან ნაკერებში მოეწყო ჩალრმავებანი (ნახ. 9-9) და გათვალისწინებულ იქნა გვერდითი ჰიდროსტატიკური წნევა როგორც ძალა, რომელიც აკომპენსირებს კონტრფორსის სათავისის სველ ზედაპირზე მოქმედ წყლის ძირითად (გრძივ) წნევას.

კაშხალის კონსტრუქციის (ნახ. 9-7) თავისებურება ის არის, რომ მისი 14 ცენტრალური კონტრფორსის ქვედა ქუსლები (კაშხალს სულ აქვს

წყალსაცავის ავსების შემდეგ კონტრფორსების სათავისების სადაწნეო კედლის ბეტონის წყლით გაჯერება იწვევს მის გაფართოებას (გაჭირჩვეებას), რომელიც დროებითი შეკლების ნაკერების ჩაკეტვის მომენტში თავისი სიდიდით აღემატება სათავისებში ბეტონის სრული შეკლების დარჩენილ დაუმთავრებელ ნაწილს. ამიტომ სათავისების ბეტონში და ბეტონით შევსებულ ნაკერებში კაშხალის ბრტყელი სადაწნეო წახნაგის გასწვრივ წარმოიშობა არა გამჭიმავი, არამედ მკუმშავი ჰორიზონტალური ნორმალური ძაბვები.

ამასთანავე, რაც უფრო დაბალია ჰაერის ტემპერატურა დროებითი შეკლების ნაკერების ბეტონით შევსების დროს, მით უფრო მცირე იქნება სათავისების ტემპერატურულ-შეკლების დეფორმაციების დარჩენილი დაუმთავრებელი ნაწილი და, მაშასადამე, მით მეტი იქნება მკუმშავი ძაბვები კაშხალის სადაწნეო კედელში წყლით გაჯერების შემდეგ; სხვანაირად რომ ვთქვათ, მით უფრო სარწმუნო იქნება სათავისში გამჭიმავი ძაბვების არარსებობის გარანტია ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში.

ბრტყელი სადაწნეო წახნაგიანი სათავისები მოხერხებულია სამშენებლო სამუშაოთა წარმოების თვალსაზრისით, რადგან ამარტივებს ყალიბს და ამასთანავე საშუალებას იძლევა იგი გაკეთდეს ლითონის მრავალჯერადი გამოყენებით, ე. ი. ინვენტარული.

დროებითი შეკლების ნაკერების მეორე მნიშვნელოვანი უპირატესობა ის არის, რომ ისინი თითოეული კონტრფორსისათვის ქმნიან სამშენებლო სამუშაოთა დამოუკიდებლად წარმოების შესაძლებლობას, რაც მნიშვნელოვნად აჩქარებს მშენებლობას.

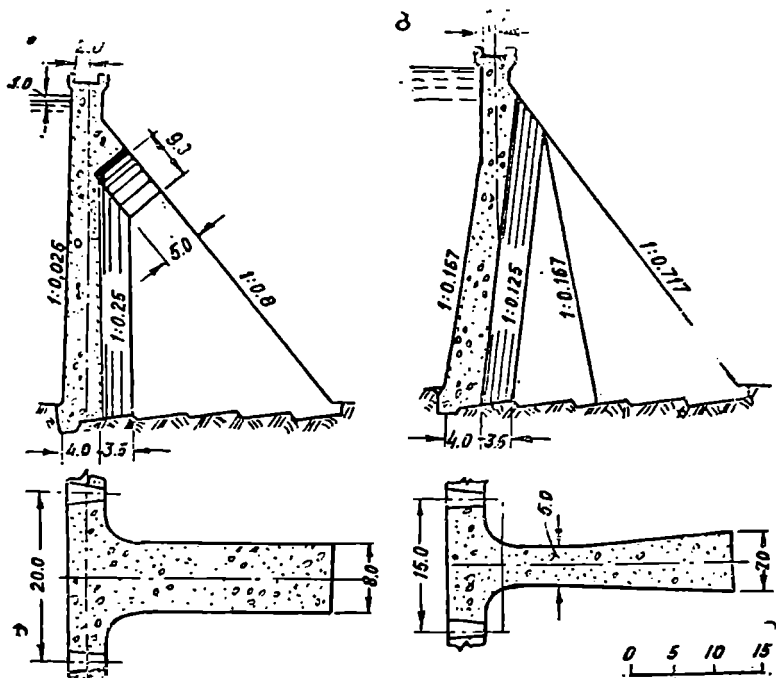
შოტლანდიაში მასიური ტიპის კონტრფორსულმა კაშხალებმა განიცადა თანდათანობითი სრულყოფა. მაგალითად, ლოხ-სლოის კაშხალმა (ნახ. 9-10 ა), რომლის ზედა წახნაგის ქანობია 40:1, ხოლო ქვედა წახნაგისა — 1:0,8, მოითხოვა კონტრფორსებს შორის მალევე წერილი ცილინდრული თაღების მოწყობა; ზედა წახნაგის 20:1-მდე დამრეცობამ ლუბრეოხის კაშხალში შესაძლებელი გახადა აღნიშნული თაღების სიღრმეების მნიშვნელოვანი შემცირება. ჯიორას კაშხალში (ნახ. 9-10 ბ) ზედა წახნაგე დახრილია 6:1, რითაც შესაძლებელი გახდა მთლიანად მოეხსნათ თაღოვანი რკოლები და შესაბამისად გაემარტივებინათ ყალიბები (მიეცათ მათთვის კაშხალის მთელ სიმაღლეზე გამოსაყენებელი სტანდარტული ელიფსური მოხაზულობა).

ლოხ-სლოის კაშხალის მსგავსია აგრეთვე შოტლანდიაში აგებული ტარზანისა და ლაიერის კაშხალები.

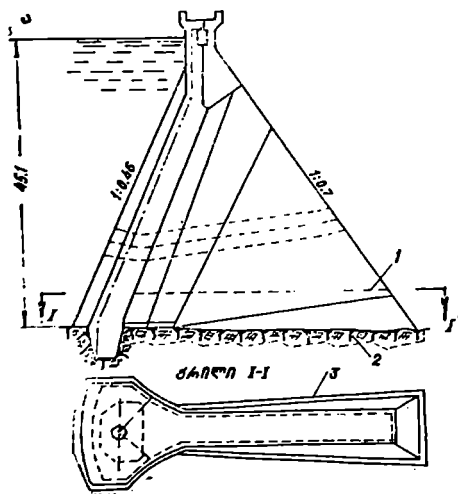
სხვა ტიპის მასიურ-კონტრფორსული ნაგებობიდან შეიძლება აღინიშნოს კაშხალები, რომელთა კონტრფორსების სათავისებს გეგმაში აქვთ წრიული მოხაზულობა, მაგალითად, აპკერ შაირას კაშხალი, რომლის მაქსიმალური სიმაღლე აღწევს 45,1 მ-ს (ნახ. 9-11).

გარდა იმ კაშხალებისა, რომელთაც გააჩნიათ წრიული მოხაზულობის სათავისები, უკანასკნელ ხანებში შოტლანდიაში აშენდა აგრეთვე კაშხალები, რომელთა კონტრფორსებს აქვთ პოლიგონალური მოხაზულობის სათავისები.

ანალოგიური ტიპის ნაგებობას წარმოადგენს ლედნოკის კაშხალი, რომელიც ყველაზე ახალია შოტლანდიაში განხორციელებულ მასიურ-კონტრფორსულ კაშხალებს შორის. რადგან იგი აგებულია გეოლოგიური ნასხლეტის მახლობლობაში, მასთან ასოციაციით დაკავშირებულია მიწის მრავალრიცხოვანი რხევები ამ ადგილში; ამიტომ კაშხალის დაგეგმარებისათვის საჭირო გახდა



ნახ. 9—10. შოტლანდიური ტიპის მასიურ-კონტრფორსული კაშხალები:  
 ა—ლობ-სლოი; ბ—ჯიორა.



ნახ. 9-11. აპერ შიირას კაშხალი: ა—  
 გვერდბედი; ბ—კონტრფორსის პრილი;  
 1—გრუნტის ზედაპირი; 2—კლდოვანი  
 ფუძე; 3—კონტრფორსების გაფართოე-  
 ბული ფუძე.



სპეციალური დებულების დამუშავება მშენებლობის რაიონის სეისმურობის გათვალისწინებით.

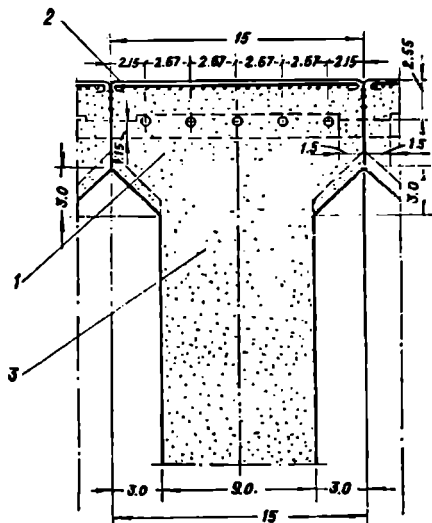
მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების ზოგიერთი მაგალითი. ამ ტიპის კაშხალების მშენებლობას მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში აწარმოებენ. მაგალითად, საფრანგეთში წყლის ენერჯის გამოყენების მიზნებისათვის 1947—1955 წწ. აგებულ იქნა ცალფა მასიური კონტრფორსებით პლან დ'ამონის კაშხალი, რომლის მაქსიმალური სიმაღლეა 49 მ; კაშხალი გეგმაში ძირითადად სწორხაზოვანია (დაახლოებით 230 მ სიგრძეზე), მაგრამ მარცხენა ნაპირზე აქვს მრუდწირული მოხაზულობა 194 მ რადიუსით. პროფილში კაშხალი სამკუთხოვანი მოხაზულობისაა; მისი სადაწნეო წახნაგის ქანობია 1:0,2, ხოლო ქვედა წახნაგისა — 1:0,625. კონტრფორსებს აქვს ბრტყელი სათავისები, რომელთა სიგანე (ღერძებს შორის მანძილი) 15 მ-ია, ხოლო კონტრფორსების კედლის სისქე—9 მ (ნახ. 9-12).

როზელანის ცალფა კონტრფორსებიანი კაშხალი აიგო აგრეთვე საფრანგეთში 1957-61 წწ. მისი კონტრფორსების მაქსიმალური სიმაღლეა 60 მ, ხოლო კაშხალის სრული სიგრძე თხემის გასწვრივ 804 მ (შუა თაღოვანი ნაწილის ჩათვლით). კონტრფორსების სათავისების მოხაზულობა პოლიგონალურია, მათი სიგანეები 20 მ-ს ტოლია.

საიმედოობის მიზნით ბეტონში უუწყნევის შესამცირებლად კონტრფორსების სათავისებში მოწყობილ იქნა პორიზონტალური ღრენები. გარდა ამისა, გათვალისწინებულ იქნა დაარმატურება სადაწნეო წახნაგის მახლობლობაში.

გარკვეული თავისებურებებით ხასიათდება მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების მშენებლობა შვეიციაში, რაც გამომწვეულია მკაცრი კლიმატური პირობებით. ეს პირობები საკმარისად ახლოსაა სსრ კავშირის ზიგი რაიონების კლიმატურ პირობებთან, ამიტომ მიზანშეწონილია გავეცნოთ შეედი ჰიდროტექნიკოსების მშენებლობის გამოცდილებას.

ამჟამად შვეიციაში მასიურ-გრავეიტაციული კაშხალების მშენებლობა პრაქტიკულად შეწყვეტილია. უკანასკნელ ხანებში იქ აგებული ბეტონის კაშხალების დიდი უმრავლესობა კონტრფორსულია. ამასთან, ამ ტიპის მრავალი ევროპული კაშხალისაგან განსხვავებით, თითქმის ყველა დაგეგმარებულია ბრტყელი სადაწნეო წახნაგით. კაშხალების სიმაღლე 40—45 მ-ია, კონტრფორსების



ნახ. 9—12. პლან დ'ამონის კაშხალის კონტრფორსის პორიზონტალური ქრისი:

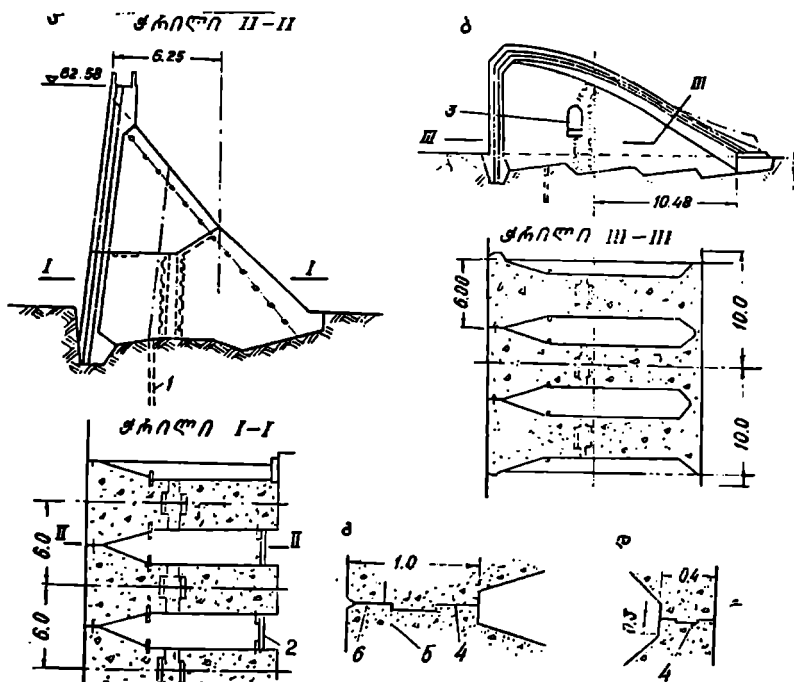
1—კონტრფორსის ბრტყელი სათავისი; 2—ლითონის ბაღე გამჭიმავი ძაბვების მისაღებად; 3—კონტრფორსის ცალფა კედელი.

ბრტყელ სათავისებში ჩალაგებულია პორიზონტალური მუშა. არმატურა, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ბზარების წარმოშობა კონსოლურ მხრებში.

შვეციაში გავრცელებულია ორი ტიპის კონტრფორსული კაშხალი: მასიური და თხელი. მასიურ კაშხალებში მათი ძვრაზე მდგრადობა უზრუნველყოფილია უპირატესად ნაგებობის საკუთარი წონით, ამიტომ მათ აქვთ ვერტიკალური (ან ვერტიკალურთან ახლო) სადაწნეო წახნაგი. რამდენადმე უფრო ადრე აგებულ კონტრფორსულ კაშხალებში სადაწნეო წახნაგები ცვალებადი სისქისაა; ამასთან, სისქე წრფივი კანონით იზრდება მალის შუიდან კონტრფორსის კედლამდე. ნაგებობის კონსტრუქციისა და ყალიბების გასამართიებლად უახლეს კაშხალებში სადაწნეო წახნაგს აქვს მუდმივი სისქე.

თხელ კაშხალებში სადაწნეო წახნაგი დახრილია, რაც წარმოშობს წყლის მიტვირთვას, რომელიც აუქმობებს კონტრფორსის ძვრაზე მდგრადობას.

პირველი შვედური მასიური ტიპის კონტრფორსული კაშხალის მშენებლობა კრენგედეს პილროლექტროსადგურისათვის მდ. ინდალ-ელივზე დაშთავრდა 1936 წ. მისი სიგრძე დაახლოებით 220 მ-ია, ხოლო მაქსიმალური სიმაღლე — 18 მ (ნახ. 9-13). სათავისებში მნიშვნელოვანი გამკვირვაი ძაბეების თავიდან აცილების მიზნით კონტრფორსების ღერძებს შორის მანძილი აღებულია 6 მ-ის ტოლი.



ნახ. 9—13. კრენგედეს კაშხალი მდ. ინდალ-ელივზე:

ა—ერე ნაწილი; ბ—წყალსაშვები ნაწილი; გ—ნაყერი ზედა წახნაგთან; 1—ღრენაყი; 2—დამთბუნი კედელი; 3—საინსპექციო გაღვრა; 4—ასფალტით შემოვრვა; 5—საიზოლაციო (გამკვირვებელი) ფურცელი; 6—ბიტუმის ფენა.

ამ ტიპის კაშხალებში ბეტონის ეკონომია 20 — 25%-მდე აღწევს, მაგრამ ყალიბებზე ხარჯების ერთგვარი გაზრდისა და სხვა საწარმოო გართულებათა გამო ღირებულების ეკონომია რამდენადმე უფრო მცირე მიიღება.

კრენგედეს კაშხალის მალეები ქვედა მხრიდან დახურულია შეფიცვრით; კონტრფორსებს შორის სივრცე თბება ჰესის გენერატორებიდან მომავალი ჰაერით. კაშხალის მალეების ნაწილი დაპროექტებული და განხორციელებულია წყალსაშვებიანი, ამასთან მალეების წყალსაშვები წახნაგები შექმნილია კონტრფორსების კონსოლებით ისე, როგორც სადაწნეო წახნაგის მხარეზე.

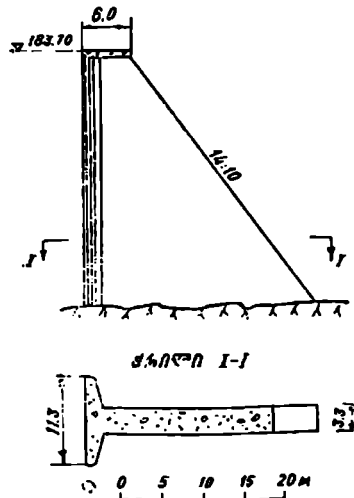
კრენგედეს კაშხალის ტიპის ნაგებობანი რამდენადმე სახეშეცვლილი ფორმით შემდგომშიც განხორციელდა შვეციაში.

მასიურ-კონტრფორსულ კაშხალებს შორის განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ის კაშხალები, რომლებიც შვეციაში აშენდა უქანასქნელი რამდენიმე წლის განმავლობაში სრიალა ყალიბის მეთოდით. ეს მეთოდი პირველად გამოყენებულ იქნა მდ. ენგერმან-ელიზე ლენგბიორნის 32 მ სიმაღლის კაშხალის მშენებლობის დროს (ნახ. 9-14). სრიალა ყალიბის მეთოდით მოგვიანებით აგებულ იქნა რამდენიმე სხვა კაშხალი. სამუშაოთა წარმოების გამოყენებული მეთოდის შესაბამისად ყველა ზემოთ აღნიშნულ კაშხალს აქვს ვერტიკალური სადაწნეო წახნაგი.

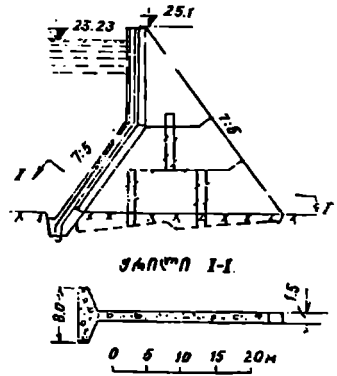
ორმოციანი წლებიდან შვეციის ჰიდროენერგომშენებლობაში განხორციელდა მშენებლობა თხელკედლიანი კონტრფორსული კაშხალებისა, რომელთაც მიეკუთვნებიან ხამარფორსის, მერსილს, სელსფორსის და სხვა კაშხალები.

პირველი დიდი კაშხალი მოქნილი ტიპის კონტრფორსებით აშენდა მდ. ლიუსნანზე 1946 — 1949 წწ; მისი სიგრძე 210 მ-ია, ხოლო მაქსიმალური სიმაღლე დაახლოებით — 30 მ. პროფილის ზედა ნაწილში კაშხალის ყრუ ნაწილი

დაპროექტებულ იქნა ვერტიკალური სადაწნეო წახნაგით; ამ ნაწილის ქვემოთ სადაწნეო წახნაგის ქანობი ტოლია 7:5 (ნახ. 9-15). კაშხალის ცალკეული



ნახ. 9—14. ლენგბიორნის კაშხალი მდ. ენგერმან-ელიზე.

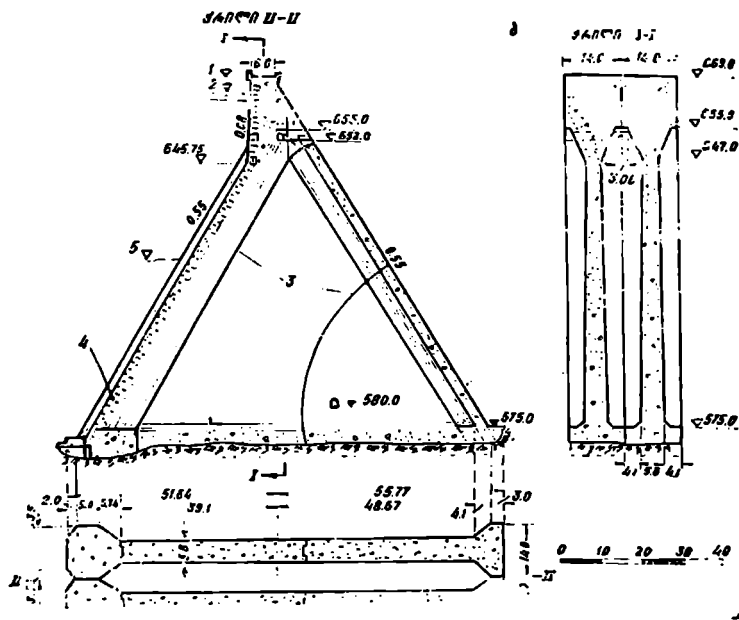


ნახ. 9—15. ყრუ ნაწილი ლიუსნე სტრომარის კაშხალსა მდ. ლიუსნანზე.

კონტრფორსების სიგანე ვერტიკალურ კონსტრუქციულ ნაქერებს შორის 8 მ-ს უდრის, კონტრფორსის კედლის სისქე ყველგან ერთნაირია და ტოლია 1,5 მ-სა.

ლიუსნე სტრომმარის ტიპის კაშხალი გამოყენებულ იქნა აგრეთვე გრანფორსის დანადგარზე მდ. სკელლეფტე-ელიეზე (1952 წ.); ამ კაშხალის მაქსიმალური სიმაღლე აღწევს 38 მ-ს.

ცალფა კონტრფორსებიანი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალებიდან აღსანიშნავია აგრეთვე იკავას კაშხალი, რომელიც წარმოადგენს ამ ტიპის პირველ კაშხალს იაპონიაში (ნახ. 9-16 და 9-17). იგი აგებულია მდ. ოხის შუა დინებაში; კაშხალთან მდებარე ჰესის დადგმული სიმაღლეა 62 000 კვტ; კაშხალი განხორციელდა ცნობილი იტალიელი ჰიდროტექნიკოსის კ. მარჩელოს კონსულტაციით.



ნახ. 9-16. იკავას კაშხალის ყრუ ნაწილი:

ა—განივი კრილი და გეგმა; 1—თხემი; 2—მაქსიმალური დონე; 3—კონსტრუქციული ნაქერები; 4—დრენები; 5—მინიმალური დონე; ბ—გრძივი კრილი.

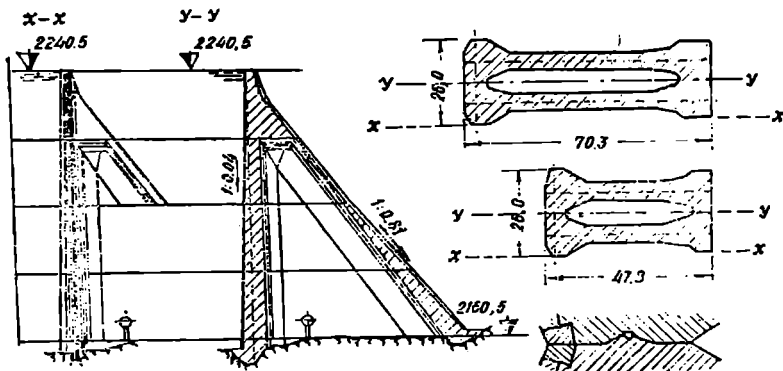
იკავას მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი, რომლის მაქსიმალური სიმაღლე 103,6 მ-ია, სიგრძე თხემზე 240 მ და ბეტონის წყობის მოცულობა — 460000 მ<sup>3</sup>, ქმნის წყალსაცავს 125 მლნ. მ<sup>3</sup> სასარგებლო მოცულობით. ჰიდროკვანძის მშენებლობა დაიწყო 1955 და დამთავრდა 1957 წ.

უქუწნევის შესამცირებლად სათავისების უკან, კონტრფორსებს შორის.



## 2. კაშხალები გაორმაგებული (ღრუ) კონტრფორსებით

ნაკერების ჩაოდნობის შემცირების მიზნით და კონტრფორსების უფრო მეტი გვერდითი მდგრადობისათვის 30-იან წლებში რეკომენდებულ იქნა გაორმაგებულ კონტრფორსებიანი კაშხალების კონსტრუქციები. ასეთი კაშხალები უპირატესად მუშავდებოდა იტალიასა და შვეიცარიაში. ქვემოთ მოკლედ არის აღწერილი განხორციელებული ნაგებობებიდან ყველაზე უფრო საინტერესო გაორმაგებულ კონტრფორსებიანი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალები.



ნახ. 9—18. დიქსანსის მასიურ-კონტრფორსული კაშხალის ვერტიკალური და პერიმეტრული კრილები.

დიქსანსის კაშხალი. ცნობილი ჰიდროტექნიკოსის ა. სტუესის წინადადებით შვეიცარიაში აიგო რიგი ღრუ კონტრფორსებიანი კაშხალებისა, თითქმის ვერტიკალური სადაწნეო წახნაგით, რომელთაგან ყველაზე უფრო ცნობილია დიქსანსის კაშხალი (ნახ. 9-18).

სპეციალისტების აზრით, თითქმის ვერტიკალური სადაწნეო წახნაგის მოწყობა საეჭვოა რომ მიზანშეწონილი იყოს, რადგან იგი იწვევს კაშხალის ბეტონის მოცულობის გაზრდას ზედა წახნაგით საკმარისად დამრეც კაშხალთან შედარებით.

იტალიის უახლესი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების მშენებლობის გამოცდილება ადასტურებს ზემო აღნიშნულ მოსაზრებას, რადგან მათი სადაწნეო წახნაგების დახრილობა განისაზღვრება 1:0,45 ქანობით.

დიქსანსის კაშხალი არის პირველი ღრუტანიანი მასიურ-კონტრფორსული ნაგებობა შვეიცარიაში, რომელიც აშენდა 1930 — 1935 წწ. იგი გეგმაში გაღუნულია და შედგება 31 გაორმაგებული კონტრფორსისაგან; კონტრფორსების სიგანეა 26 მ, ხოლო მაქსიმალური სიმაღლე — 87 მ.

ზედა და ქვედა წახნაგებთან დიქსანსის კაშხალის კონტრფორსების კედლები ფართოდება ისეთნაირად, რომ მეზობელი კონტრფორსები ერთმანეთს ეხება და ქმნის მთლიან გადახურვას. ქვედა გადახურვა გაკეთდა იმისათვის, რომ კაშხალი უკეთესად შემოფარგლულიყო გარემო ტემპერატურის ცვალებადობის გავლენისაგან. კაშხალის ზედა და ქვედა წახნაგები მოპირკეთებულია ბუნებრივი ქვით (გნეისით), რომლის ფენის სისქე 0,7 მ-ის ტოლია.

ნატურული დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ დიქსანსის ტიპის კაშხალებში ბეტონის ტემპერატურა უმნიშვნელოდ განსხვავდება მასიურ-გრავიტაციული კაშხალის ბეტონის ტემპერატურისაგან; კონტრფორსების კედლების ტემპერატურა არ ეცემა  $2-3^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბლა და, მაშასადამე, არ ვანიცდის ყინვის ზემოქმედებას; დეფორმაციები უმნიშვნელოდ აღემატება მასიურ-გრავიტაციული კაშხალების დეფორმაციებს.

**ტრონას კაშხალი.** ცნობილმა კაშხალთმშენებელმა კ. მარჩელომ საფუძველი ჩაუყარა ღრუ კაშხალების განვითარების ახალ ეტაპს იტალიაში.

9-19 ნახაზზე ნაჩვენებია ომის წლებში (1939 — 1942 წწ.) კ. მარჩელოს მიერ იტალიაში აგებული ტრონას კაშხალის განივი ჭრილი; ამ კაშხალმა, რომლის სიმაღლე შეადგენს 58 მ-ს, სიგრძე თხემის გასწვრივ — 182 მ-ს, ხოლო ბეტონის მოცულობა 87000 მ<sup>3</sup>, გრავიტაციულ ვარიანტთან შედარებით მოგვცა 27,5% ბეტონის მოცულობის ეკონომია, ხოლო 24% — ღირებულებისა.

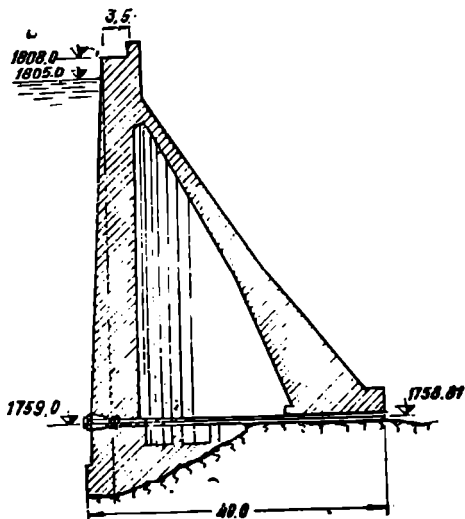
კაშხალი შედგება 24 მ სიგანის ღრუ კონტრფორსებისაგან, რომელთა საღაწნეო წახნაგის ქანობია 0,05, ხოლო ქვედა წახნაგისა — 0,64.

ღრუ კაშხალისათვის 1 მ<sup>3</sup> ბეტონის წყობის ღირებულება აღმოჩნდა 2—5%-ით უფრო მაღალი, ვიდრე გრავიტაციული კაშხალის შესაბამისი მაჩვენებელი.

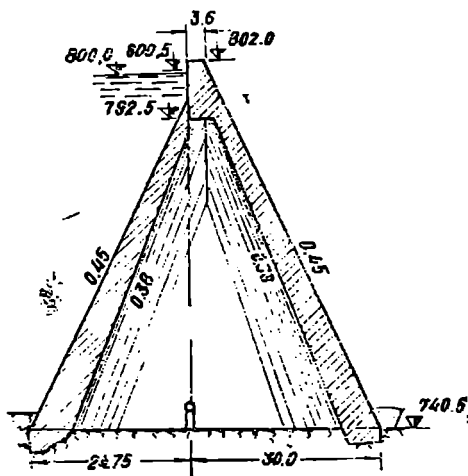
მაგრამ თუ მხედველობაში მივიღებთ იმ გარემოებას, რომ ამ კაშხალის გასწორი ზღვის დონიდან დაახლოებით 1800 მ სიმაღლეზეა მოთავსებული, მისი შეფასების დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს არა მარტო ღირებულების ეკონომია, არამედ მშენებლობის ვადების შემცირებაც.

ბაუ მუჟერისის კაშხალის მშენებლობა სარდინიაში (1947 — 1949 წწ.), რომელიც კ. მარჩელომ განახორციელა, იყო წინადადებული ნაბიჯი იტალიაში ღრუ ბეტონის კაშხალების კონსტრუქციების განვითარების საქმეში.

ბაუ მუჟერისის კაშხალი გეგმაში სწორხაზოვანია, ეფუძნება ფილიტურ ფიქლებს, წარმოქმნილია 22 მ სიგანის შვიდი ღრუ (გაორმაგებული) კონტრფორსით და ორი განაპირა მასიური მისაბრჯენით; კაშხალის სიგრძე თხემის გასწვრივ 235 მ-ია, მაქსიმალური სიმაღლე — 62 მ, წახნაგების ქანობი — 1:0,45 (ნახ. 9-20).



ნახ. 9—19. ტრონას გაორმაგებული კონტრფორსებიანი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი.



ნახ. 9—20. ბაუ მუჯერისის კაშხალის განივი (ცენტრალური) კრილი.

კაშხალის კონსტრუქციული მახასიათებლები კ. მარჩელოს მიერ მუშავდებოდა ნაგებობის მოცულობისა და მისი ღირებულების შემცირების მიზართულებით.

ჯრავიტაციულ კაშხალთან შედარებით ბაუ მუჯერისის კაშხალისათვის ბეტონის მოცულობის (კუბატურაში) ეკონომია შეადგენს 40%-ს, ხოლო ღირებულებისა—35%-ს.

ბაუ მუჯერისის კაშხალში მოწყობილია ზედაპირული და აგრეთვე ორი ფსკერული წყალსაშვები. წყალსაშვების მაქსიმალური გამტარობის უნარი ნორმალური შეტბორვის დონის დროს ტოლია 1050 მ<sup>3</sup>/წმ-ის, ხოლო ძალიან მაღალი

დონის დროს კი—1200 მ<sup>3</sup>/წმ-ის. მშენებლობის დროს მდინარის წყალდიდობის ხარჯების გასატარებლად № 5 კონტრფორსის ქვედა ნაწილში მოეწყობა დიდი ზერეტი 5X6,5 მ ზომებით.

ანჩიპას კაშხალი იტალიაში აგებულ გაორმაგებულ კონტრფორსებიან მასიურ-კონტრფორსულ კაშხალებს შორის ყველაზე მაღალია (111,5 მ). იგი აშენდა სიცილიაში და დაფუძნებულია ქვიშაქვებზე.

ანჩიპას კაშხალი, ისე როგორც ამ ტიპის ყველა კაშხალი, შედგება ცალკეული ღრუ კონტრფორსებისაგან, რომელთა შორის მალეები ღიაა ქვედა ბიეფიდან. კაშხალის ზედა კბილის ქვეშ გათვალისწინებულია ცემენტაციური ფარდა; კონტრფორსების ქვეშ კლდოვანი ფუძე გამაგრებულია ფართობრივი ცემენტაციით (ნახ. 9-21).

დრენირების უნარის გაზრდის მიზნით კონტრფორსებს შორის კლდოვანი ფუძე ჩაბურღულია სადრენაჟო ჰეხებით.

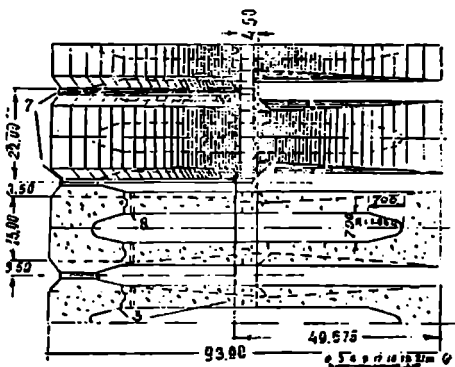
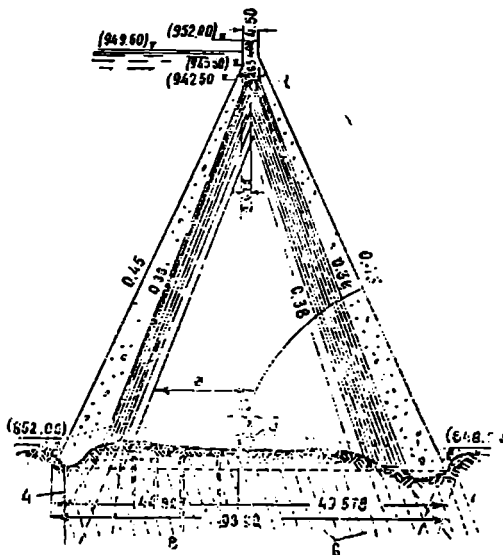
რადგან ანჩიპას კაშხალი წარმოადგენს დიდი სიმაღლის ნაგებობას, იგი აღჭურვილია მნიშვნელოვანი რაოდენობის გამზომ-საკონტროლო აპარატურით, რომელზედაც წარმოებს სისტემატური დაკვირვებანი.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი კაშხალებისა, იტალიაში და სხვა ქვეყნებში განხორციელებულია ამ ტიპის რამდენიმე სხვა კაშხალი.

ანდიჟანისა და კიროვის კაშხალები. საბჭოთა კავშირში კონტრფორსული კაშხალების მშენებლობა დასაწყის სტადიაშია. განხორციელებულია მხოლოდ ცალფა კონტრფორსებიანი წყალსაშვები მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი ქვეყნის ჩრდილოეთში (ინისკოსკის კაშხალი). შენდება, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, სამი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალი — ანდიჟანისა, კიროვისა და ზეის.

ანდიჟანის (კამპირ-რავათის) კაშხალის პროექტი შედგენილ იქნა „სრელაზ-

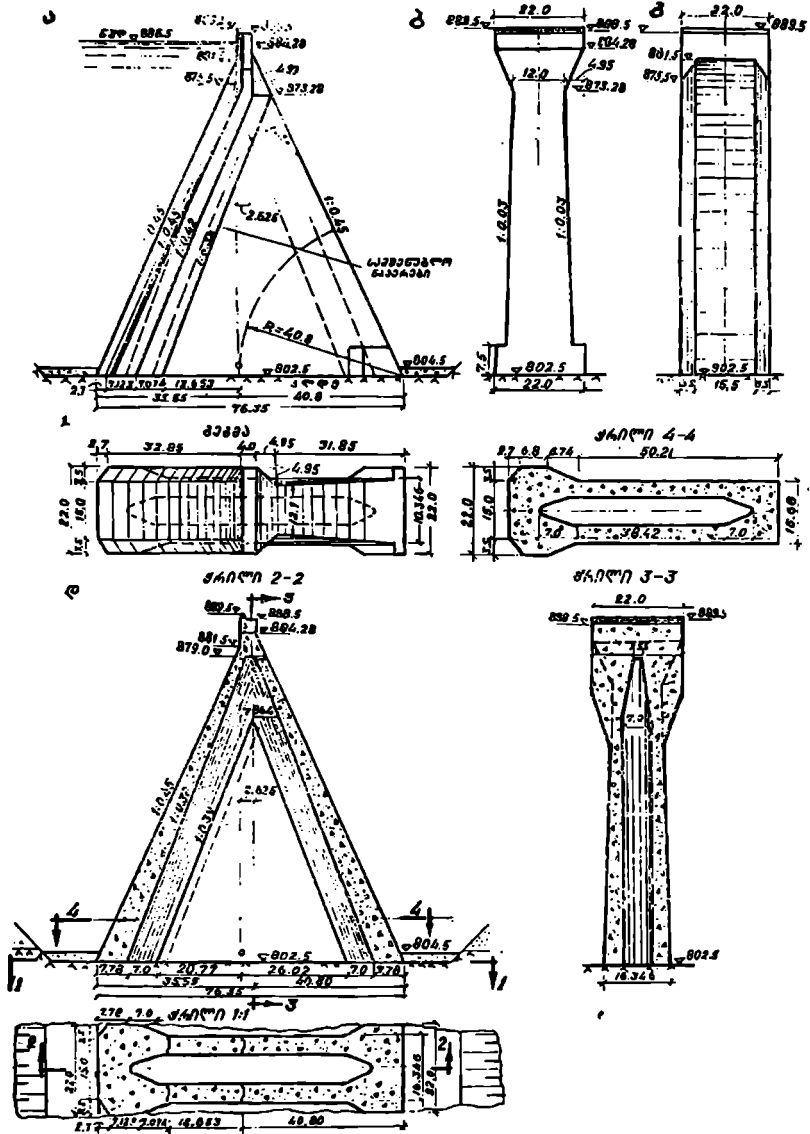




ნახ. 9—21. ანიჰას კაშხლის ვერტიკალური კრილი, გეგმა და კოორდინატული კრილი;

1—სავენტილაციო არხი; 2—კაშხლის ღერძი; 3—კამშენებლო ნაქერები; 4—ცემენტაციური ფარდა; 5—ზლოკში შესასვლელი; 6—ფუძის გასამაგრებელი ცემენტაცია; 7—შეკლების (ჩაჯდომის) ნაქერები; 8—სადრენაჟო ჰეზი.

გიპროვოდხლოპოკის“ მიერ; მისი სიმაღლეა 115 მ, ზედა და ქვედა წახნაგების ქანობი 1:0,50. იმის გამო, რომ კაშხლის მშენებლობა გათვალისწინებული იყო სეისმურად მაღალ აქტიურ რაიონში (საანგარიშო სეისმურობა 9 ბალი), თავდაპირველად დაგეგმარებულ კონტრფორსებთან კაშხლის პროექტში შეტანილ იქნა კონსტრუქციული ცვლილებანი; ამასთან, იყო წინადადებანი კონტრ-



ნახ. 9—22. ჯარის ორმაგკონტროლსეზიანი მასიურ-კონტროლული კაშხლის ხელები და ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კრილები.

ფორსების სიღრუეებში განივი დიაფრაგმების მოწყობისა, რაც, ჩვენი აზრით, არ იყო საკმაოდ დასაბუთებული.

კიროვის კაშხალის კონტრფორსების მაქსიმალური სიმაღლე 86 მ-ია, სიგანე ნაკადის განივად — 22 მ, წახნაგების ქანობი 1:0,45 (ნახ. 9-22). იგი დაგეგმარებულია „ყირგიზვიბროვოლნოზის“ მიერ სეისმურად საკმარისად მაღალი აქტიურობის რაიონში (საანგარიშო სეისმურობა 8 ბალი).

ზემოთ აღნიშნული ორივე კაშხალით იქმნება წყალსაცავები მდინარის ნაკადის სარეგულაციოდ, მორწყვისა და ენერგეტიკული მიზნებისათვის.

ვ. კუბიშვეის ნახელობის მოსკოვის საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტის დავალებით (იგი აწარმოებდა ამ კაშხალების დაგეგმარებასთან დაკავშირებულ სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს) წინამდებარე სახელმძღვანელოს ავტორის მიერ ჩატარებულ იქნა ანდიჟანისა და კიროვის მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების სეისმომდეგობაზე გაანგარიშებანი.<sup>1</sup>

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე ჩვენ დავრწმუნდით, რომ კ. მარჩელოს ტიპის გაორმაგებულ კონტრფორსებიანი კაშხალები ხასიათდება უდავოდ კარგი კონსტრუქციული, სამშენებლო და საექსპლუატაციო მაჩვენებლებით და ამიტომ ბუნებრივია, რომ ისინი კიდევ უფრო ფართოდ გავრცელებიან კაშხალთმშენებლობაში.

#### § 2-2. მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების სტატიკური გაანგარიშების საფუძველები

მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშება საკმაოდ დიდ სირთულესთან არის დაკავშირებული. საქმე ისაა, რომ ამ ტიპის კაშხალების კონტრფორსები წარმოადგენს რთული კონფიგურაციის ელემენტებს; ამასთანავე, სტატიკურად ურკვევადია ფუძესთან მათი ერთობლივი მუშაობის ამოცანა.

ნაგებობის სტატიკური მუშაობის ანალიზისათვის სასურველია გამოყენებულ იქნეს ისეთი მეთოდები, რომლებიც დრეკადობისა და პლასტიკურობის თეორიას ეფუძნებიან. მაგრამ ამ მეთოდების გამოყენება მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების გაანგარიშების დროს ძნელდება მათემატიკური გამოთვლითი ოპერაციების გართულების გამო. ამიტომ ამ ტიპის კაშხალების ძაბვითი მდგომარეობის ანალიზისათვის ჭერ კიდევ გამოიყენება გაანგარიშების მიახლოებითი მეთოდები.

ზემოაღნიშნულ სიძნელეთა დასაძლევად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გაანგარიშების კომპლექსური ექსპერიმენტულ-თეორიული მეთოდები.

#### 1. გაანგარიშების ელემენტარული მეთოდი

განსახილველი მეთოდით გაანგარიშებულ იქნა პირველი მასიურ-კონტრფორსული კაშხალები, იგი გამოიყენება ამჟამადაც.

<sup>1</sup> Н. С. Моцонелдзе, Матричный расчет сейсмостойкости массивно-контрфорсной плотины Анджижанского подохранилища, Труды ГПИ № 7 (119), 1967.

Его же, О сейсмостойкости Кировской плотины со сдвоенными контрфорсами, Труды ГПИ № 7 (127) и № 8 (128), 1968.

კონტრაქტორის პორიზონტალურ საანგარიშო კვეთებში (წახნაგებზე) მოქმედი  $\sigma_y$  ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები განისაზღვრება არათანაბარი კუმშვის ფორმულის გამოყენებით:

$$\sigma_y = \frac{\Sigma P}{F} \pm \frac{\Sigma M_0}{W} = \frac{\Sigma P}{F} \pm \frac{\Sigma M_0 x}{I}, \quad (9-1)$$

სადაც  $\Sigma P$  არის განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ყველა ვერტიკალური ძალის ჯამი;

$\Sigma M_0$  — განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი კვეთის ცენტრის მიმართ;

$F, W$  — განსახილველი კვეთის ფართობი და წინაღობის მომენტი;

$I$  — განსახილველი კვეთის ინერციის მომენტი მისი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი, კაშხალის ღერძის პარალელური ღერძის მიმართ;

$x$  — მანძილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან იმ წერტილამდე, სადაც განისაზღვრება  $\sigma_y$  ძაბვები.

როგორც უხედავთ, კონტრაქტორის პორიზონტალურ კვეთში ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები განაწილებულია სწორი ხაზის კანონით. რაც შეეხება  $\sigma_x$  პორიზონტალურ ნორმალურ და  $\tau$  ამხლეჩ (მხებ) ძაბვებს, კონტრაქტორის წახნაგებზე ისინი განისაზღვრებიან ისე, როგორც გრაეიტაციულ კაშხალებში, ე. ი. ელემენტარული პრიზმების ამოჭრისა და მათი წონასწორობის განხილვის გზით, როგორც  $\sigma_y$  ძაბვათა ფუნქციები. შემდეგ კი ცნობილი ფორმულებით განისაზღვრება  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  მთავარი ნორმალური ძაბვები კონტრაქტორის წახნაგებზე (იხ. თავი V, § 5-3).

ამგვარად, ელემენტარული მეთოდი არ იძლევა  $\sigma_x$  და  $\tau$  ძაბვების, აგრეთვე  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  მთავარი ძაბვების განსაზღვრის საშუალებას კონტრაქტორის ტანის შიგნით, რაც მის არსებით ნაკლს წარმოადგენს.

ზემოთ მოყვანილი მეთოდით გაანგარიშდა ისეთი საპასუხისმგებლო ნაგებობანი, როგორიცაა ცალფა კონტრაქტორებიანი რინკონ დელ ბონეტეს კაშხალი ურუგვაიში (პროექტის ავტორი პროფ. ლუდინი), გარმაგებულკონტრაქტორებიანი დიქსანსის კაშხალი შვეიცარიაში (კონსულტანტი პროფ. ა. სტუკი), ცალფა კონტრაქტორებიანი პლან დ'ამონის კაშხალი საფრანგეთში და სხვ.

## 2. მცირე ბლოკების მეთოდით გაანგარიშების პრინციპები

ამ მეთოდით ძაბვები შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ნებისმიერ წერტილში როგორც წახნაგებზე, ისე კონტრაქტორის კედლის შიგნით. ამისათვის კონტრაქტორს პორიზონტალური და ვერტიკალური ბრტყელი კვეთებით ყოფენ რიგ ცალკეულ მცირე ბლოკებად. დაშვებულია, რომ პორიზონტალურ კვეთებში  $\sigma_y$  ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები განაწილებულია წრფივი ეპიურით და განისაზღვრება ზემოთ მოყვანილი არათანაბარი კუმშვის (9-1) ფორმულის გამოყენებით.

კონტრაქტორის ნებისმიერ, კაშხალის ღერძის პარალელურ, ვერტიკალურ კვეთში  $\tau$  მხები ძაბვის განსაზღვრისათვის განიხილება წონასწორობა მცირე ბლოკისა, რომელიც შემოსაზღვრულია ორი პორიზონტალური სიბრტყით, ქვედა წახნაგით და ხსენებული ვერტიკალური კვეთით. თუ განსახილველ მცირე ბლოკზე მოქმედ ყველა ძალას დაეაგეგმილებთ ვერტიკალურ ღერძზე, მივი-

დებთ წონასწორობის პირობას, საიდანაც ადვილად განვსაზღვრავთ საძიებელ საშუალო მხებ (ამხლეჩ) ძაბვას აღნიშნულ ვერტიკალურ კვეთში. ანალოგიური წესით შეიძლება განვსაზღვროთ  $\tau$  მხებ ძაბვათა მნიშვნელობანი რიგ სხვა ვერტიკალურ კვეთებისათვის კონტრფორსის ტანის განსახილველ ნაკვეთურში, რომელიც შემოსაზღვრულია ორი საანგარიშო ჰორიზონტალური კვეთით. ვისარგებლებთ რა მხებში ძაბვების წყვილადობის კანონით (ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით  $\tau$  მხები ძაბვები თანატოლია), შეიძლება კონტრფორსის ჰორიზონტალურ კვეთებში ავაგოთ  $\tau$  ეპიურები.

ქვედა წახნაგიდან განსახილველ ვერტიკალურ კვეთამდე ორ ახლომდებარე ჰორიზონტალურ კვეთში მოქმედ ამხლეჩ ძალვათა სხვაობა გვაძლევს ჰორიზონტალური ძალის სიდიდეს. თუ ამ ძალას გავყოფთ აღნიშნული ვერტიკალური კვეთის ფართობზე, მივიღებთ მასზე მოქმედ  $\sigma_x$  ჰორიზონტალურ ნორმალური ძაბვის საშუალო მნიშვნელობას.

როდესაც  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  და  $\tau$  ძაბვები უკვე განსაზღვრულია, ცნობილი ფორმულების გამოყენებით შეგვიძლია ვიპოვოთ მაქსიმალურ და მინიმალურ მთავარ ნორმალურ და მთავარ მხებ ძაბვათა მნიშვნელობანი.

### 8. შოტლანდიური მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების გაანგარიშების მეთოდის პრინციპები

შოტლანდიაში ერობტის ცალფა კონტრფორსებიან მასიურ-კონტრფორსული კაშხალის დაგეგმარებასთან დაკავშირებული გამოკვლევების დროს კონტრფორსების ძაბვითი მდგომარეობა შესწავლილ იქნა ლ. ხენდრის მიერ როგორც ექსპერიმენტულად (ობტიკური მეთოდის გამოყენებით), ისე ანალიზურად.

ლ. ხენდრის მიერ დამუშავებული გაანგარიშების მეთოდიკა ემყარება შემდეგ დაშვებებს:

1. სადაწნოდან ქვედა წახნაგამდე  $\sigma_y$  ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები წრფივად იცვლება კვეთში;

2. ზედა წახნაგიდან ნებისმიერ  $x$  მანძილზე ძაბვები ერთნაირია (ტოლია) კონტრფორსის სისქეზე;

3) კონტრფორსის ჰორიზონტალური კვეთის ნეიტრალური ლერძი რჩება კონტრფორსის კედლის საზღვრებში.

ზემოდან ქვემოთ მიმართული რეზულტანტური  $P_x$  ვერტიკალური ძალა, რომელიც მოქმედებს კონტრფორსის ჰორიზონტალური კვეთის ნაწილზე სადაწნოდ წახნაგსა და  $x$  აბსცისის შორის (ნახ. 9-23), შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს შემდეგი სახით:

$$P_x = \frac{\Sigma P}{F} F_x + \frac{\Sigma M_0}{I} S_x, \quad (9-2)$$

სადაც  $\Sigma P$  არის ტოლქმედი ყველა ვერტიკალური ძალისა, რომელიც მოქმედებს კონტრფორსზე განსახილველი კვეთის ზემოთ;

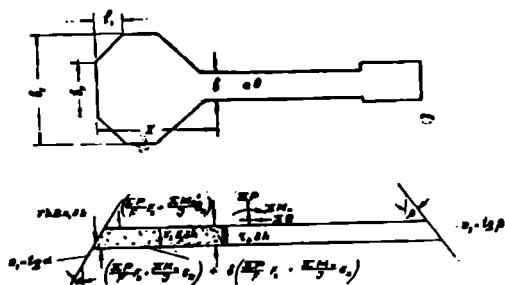
$F$  — ამ კვეთის სრული ფართობი;

$F_x$  — კონტრფორსის კვეთის ფართობი მისი სადაწნოდ წახნაგიდან  $x$  აბსცისამდე;

$\Sigma M_0$  — განსახილველი კვეთის ზემოთ მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი ამ კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

$I$  — კვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$S_x$  — კვეთის ფართობის  $F_x$  ნაწილის სტატიკური მომენტი იგივე ნეიტრალური ღერძის მიმართ.



ნახ. 9—23. შოტლანდიური მასიურ-კონტროლისული კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშების სქემა.

მხები ძაბვების განსაზღვრის მიზნით, კონტროლისიდან პორიზონტალური სიბრტყეებით ამოვკრათ მისი  $\delta h$  სისქის ელემენტი (ნახ. 9-23). სადაწნეო წახნაგიდან  $x$  მანძილზე გატარებულ ვერტიკალურ სიბრტყეში კონტროლისის ელემენტზე მოქმედი  $\tau$  მხები ძაბვა შეიძლება განისაზღვროს ტოლობიდან, რომელიც წარმოადგენს ამოკრილი ელემენტის წონასწორობის პირობას ვერტიკალური ღერძის მიმართ ( $\Sigma y = 0$ ).

$$\tau b \delta h = \gamma_1 F_x \delta h + \gamma h B n_1 \delta h - \frac{\delta}{\delta h} \left( \frac{\Sigma P}{F} F_x + \frac{\Sigma M_0}{I} S_x \right) \delta h, \quad (9-3)$$

სადაც  $h$  არის წყლის წნევა (მანძილი ზედა ბიეფის საანგარიშო დონიდან ელემენტის  $\delta h$  სიმაღლის შუა წერტილამდე);

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა;

$\gamma_1$  — ბეტონის მოცულობითი წონა;

$\tau$  — პორიზონტალური (ან ვერტიკალური, მხები ძაბვების წყვილადობის კანონით) მხები ძაბვები ზედა წახნაგიდან  $x$  მანძილით დაშორებულ ნებისმიერ წერტილში;

$B$  — კვეთის სიგანე, რომელზედაც მოქმედებს ზედა ბიეფის წყლის წნევა; ის ტოლია  $b_1$ -ის (ნახ. 9-23), გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც  $x < l_1$ ;

$b$  — განსახილველი კვეთის სიგანე იმ ადგილებში, სადაც აბსცისის  $x$ -ის ტოლია;

$n_1$  — სადაწნეო წახნაგის ფერდოს კოეფიციენტი ( $n_1 = 1 \text{ გმ}$ ); დანარჩენი აღნიშვნები მოცემულია (9-2) ფორმულაში.

როდესაც  $\delta h \rightarrow 0$ , (9-3) ფორმულიდან ვღებულობთ მხები ძაბვების ინტენსიურობას სადაწნეო წახნაგიდან  $x$  მანძილზე დაშორებულ ვერტიკალურ კვეთში:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\gamma_1 F_x}{b} + \frac{\gamma h B \Pi_1}{b} - \frac{1}{b} \cdot \frac{d}{dh} \left( \frac{\Sigma P}{F} F_x \right) - \frac{1}{b} \cdot \frac{d}{dh} \cdot \frac{\Sigma M_0}{I} S_x = \\ &= \frac{\gamma_1 F_x}{b} + \frac{\gamma h B \Pi_1}{b} - \frac{\Sigma P}{F b} \cdot \frac{d F_x}{dh} - \frac{F_x}{b} \cdot \frac{d}{dh} \left( \frac{\Sigma P}{F} \right) - \\ &\quad - \frac{\Sigma M_0}{I b} \cdot \frac{d S_x}{dh} - \frac{S_x}{b} \frac{d}{dh} \left( \frac{\Sigma M_0}{I} \right). \end{aligned} \quad (9-4)$$

ლ. ხენდრის მითითების თანახმად, (9-4) განტოლებაში შემავალი ყველა დიფერენციალი შეიძლება გამოსახულ იქნეს ცნობილი ზომების, ძალებისა და ა. შ. მნიშვნელობებში, ამიტომ მხებ ძაბვათა წყვილადობის კანონის შესაბამისად (9-4) ტოლობა წარმოადგენს კაშხალის კონტრფორსების ჰორიზონტალურ კვეთებში მოქმედ მხები ძაბვების განსაზღვრის ძირითად პირობას.

ანალოგიური მსჯელობით,  $\delta h$  სიღრმეზე, ე. ი. განსახილველ ელემენტარულ მოცულობაზე მოქმედი ჰორიზონტალური ნორმალური ძალა ნებისმიერ ვერტიკალურ სიბრტყეში, რომელიც მოთავსებულია სადაწნეო წახნაგიდან  $x$  მანძილზე (ნახ. 9-23), განისაზღვრება შემდეგი განტოლების საფუძველზე ( $\Sigma X = 0$  წონასწორობის პირობა):

$$\sigma_x b \delta h = \gamma h B \delta h - \frac{\delta}{\delta h} \tau b \delta h = \gamma h B \delta h - \delta \int_0^x \tau b dx. \quad (9-5)$$

აქედან  $\sigma_x$  ჰორიზონტალური ნორმალური ძაბვის ინტენსიურობა (როდესაც  $\delta h \rightarrow 0$ ) იმავე სიბრტყეში სადაწნეო წახნაგიდან  $x$  მანძილზე შეიძლება გამოსახულ იქნეს შემდეგი განტოლებით:

$$\sigma_x = \frac{1}{b} \left( \gamma h B - \frac{d}{dh} \int_0^x \tau b dx \right). \quad (9-6)$$

განსახილველ ჰორიზონტალურ კვეთში მოქმედი  $\sigma_y$  ვერტიკალური ნორმალური ძაბვები განისაზღვრება არათანაბარი კუმშვის ფორმულის გამოყენებით.

დავადგინოთ რა  $\sigma_x$  ჰორიზონტალურ ნორმალურ და  $\tau$  მხებ ძაბვებს კონტრფორსის რამდენიმე ჰორიზონტალური კვეთის რიგ წერტილებში, შეიძლება იმავე წერტილებში განისაზღვროს მთავარი ნორმალური და მთავარი მხები ძაბვები უკვე ცნობილი  $\sigma_y$  ვერტიკალური ნორმალური,  $\sigma_x$  და  $\tau$  ძაბვების საშუალებით (იხ. თავი V, § 5-3).

აღწერილი მეთოდით გაანგარიშებულ იქნა ერობტის რეალური კაშხალის კონტრფორსი; მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა იგივე კაშხალის კონტრფორსის მოდელის ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგებთან, რამაც საყენებით დამაკმაყოფილებელი შესატყვისობა აჩვენა.

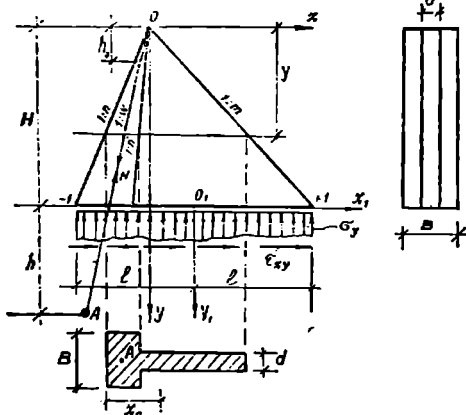
#### 4. კოქური მეთოდით გაანგარიშების პრინციპები

მასიურ-კონტროფორსული კაშხალებისათვის გაანგარიშების ეს მეთოდია დაამუშავა ა. მოწონელიძემ<sup>1</sup> გრავიტაციული კაშხალებისათვის რეკომენდებული კოქური მეთოდის საფუძველზე<sup>2</sup>.

გაანგარიშება დამატებით ითვალისწინებს ფუძის დამყოლებისა და კონტროფორსის შესაძლო ჩაანკერების გავლენას მის ძაბვით და დეფორმაციულ მდგომარეობაზე.

ზოგად შემთხვევაში, როდესაც განიხილება ფუძეში ჩაანკერების გავლენა; მასიურ-კონტროფორსული კაშხალის სექცია წარმოიდგინება სქემატური კონტროფორსის სახით (ნახ. 9-24), რომლის სათავეს აქვს მუდმივი  $B$  სივანე და

წრფივი კანონით ცვლებადი სისქე,  $a = ky$ , სადაც  $k = \frac{a_0}{H}$  ( $a_0$  სათავესის სისქეა



ნახ. 9—24. ფუძეში ჩაანკერებული მასიურ-კონტროფორსული კაშხალის საანგარიშო სქემა.

სათვის, როდესაც კაშხალზე მოქმედებს ჰიდროსტატიკური წნევა და საკუთარი წონა.

კოქური მეთოდიდან გამომდინარე, კაშხალის სექციის გაღუნული ღერძის დიფერენციალური განტოლება დაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{EI(y)}{1-\nu^2} \frac{d^2 u}{dy^2} = -M(y), \quad (9-7)$$

სადაც  $E$  და  $\nu$ , შესაბამისად, კაშხალის მასალის დრეკადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტია;

<sup>1</sup> А. Н. Мочепелдзе, статический расчет массивно-контрфорсных плотин с учетом податливости основания и заанкеривания, Тезисы докладов всесоюзной конференции ГС, МИСИ им. В. В. Куйбышева, М., 1972.

<sup>2</sup> И. И. Гудушаури, Балочный метод расчета гравитационных плотин треугольного сечения, Известия ТНЦСЭИ, том 10 (44), Госэнергоиздат, М., 1958.



$I(y)$  — კაშხალის სექციის განსახილველი პორიზონტალური კვეთის ინერციის მომენტი მის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ;

$u$  — კაშხალის სექციის კვეთების სიმძიმის ცენტრების პორიზონტალური გადაადგილებანი;

$M(y)$  — მღუნავი მომენტი კაშხალის სექციის საკუთარი წონისა და პიროსტატიკური წნევისაგან კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ.

მანძილები პორიზონტალური კვეთების სიმძიმის ცენტრებიდან სადაწნეო წახნაგამდე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$x_0 = cy, \quad (9-8)$$

სადაც

$$c = \frac{BK^2 + (m+n')(m+n'+2K)d}{2[BK + (m+n')d]}$$

შემდეგ

$$I(y) = K_1 y^2; \quad (9-9)$$

აქ

$$K_1 = \frac{BK^3}{12} + \frac{BK(2c-K)}{4} + \frac{d(m+n')^3}{12} + \frac{d(m+n')(m+n'-2c)^2}{4}$$

საკუთარი წონისა და წყლის წნევის მღუნავი მომენტი:

$$M(y) = (G+F)y^2, \quad (9-10)$$

სადაც

$$G = \frac{\gamma_1 K(3c-n-K)B}{6} - \frac{\gamma_1 n' d(3n-n'-3c)}{6} - \frac{\gamma_1 m d(3n+m-3c)}{6};$$

$$F = -\frac{\gamma B}{2 \cos \beta} \left( \frac{1}{3 \cos \beta} - c \sin \beta \right)$$

( $\gamma_1$  და  $\gamma$ , შესაბამისად, კაშხალის მასალისა და წყლის მთლიანობითი წონებია). თუ ჩავსვამთ ყველა ამ მნიშვნელობას (9-7) განტოლებაში, მივიღებთ

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = -\frac{(1-v^2)}{E} \cdot \frac{(G+F)}{K_1}. \quad (9-11)$$

შემდეგ ძაბვათა წრფივი განაწილების კანონიდან გამომდინარე გვექნება:

$$\sigma_y = \frac{(x+yn-x_0)E}{1-v^2} \cdot \frac{d^2 u}{dy^2} + \frac{1}{2} \gamma_1 y + \frac{\gamma B n}{2[BK + d(m+n')]} y. \quad (9-12)$$

თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ  $\frac{d^2 u}{dy^2}$  მნიშვნელობას წინა (9-11) განტოლებიდან, მივიღებთ ვერტიკალური ნორმალური ძაბვების გამოსახულებას

$$\sigma_y = a_1(x+yn-x_0) + a_2 y, \quad (9-13)$$

სადაც

$$a_1 = -\frac{G+F}{K_1}; \quad a_2 = \frac{1}{2} \gamma_1 + \frac{\gamma Bn}{2[BK+d(m+n')]}.$$

$\sigma_x$  და  $\tau$  ძაბვების მნიშვნელობებს ვეძებთ შემდეგი სახით:

$$\sigma_x = a_3 x + a_4 y; \quad (9-14)$$

$$\tau = a_5 x + a_6 y, \quad (9-15)$$

სადაც  $a_3, a_4, a_5$  და  $a_6$  ნებისმიერი კოეფიციენტებია, რომლებიც განისაზღვრებიან სასაზღვრო პირობებიდან კაშხალის სექციის სადაწნეო და ქვედა წახნაგთან გამოყოფილ ელემენტარული სამკუთხედების წონასწორობის განხილვის გზით:

$$\left. \begin{aligned} a_3 &= -\frac{G}{K_1(m+n)} [-m^2(m+n-c) - n^2c] + \frac{\gamma_1}{2} (m-n) + \\ &+ \frac{1}{m+n} \left\{ \frac{F}{K_1} [-m^2(m+n-c) - n^2c] + \frac{\gamma Bn(m^2-n^2)}{2[BK+d(m+n')]} - (1-n^2)\gamma \right\}; \\ a_4 &= \frac{m n G}{K_1(m+n)} [-m(m+n-c) + nc] + \frac{\gamma_1}{2} m n + \\ &+ \frac{m n}{m+n} \left\{ \frac{F}{K_1} [-m(m+n-c) + nc] + \frac{\gamma Bn(m+n)}{2[BK+d(m+n')]} \right\} + \frac{\gamma m(1-n^2)}{m+n}; \\ a_5 &= \frac{G}{K_1(m+n)} [-m(m+n-c) + nc] + \frac{\gamma_1}{2} + \\ &+ \frac{1}{m+n} \left\{ \frac{F}{K_1} [nc - m(m+n-c)] + \frac{\gamma Bn(m+n)}{2[BK+d(m+n')]} - n\gamma \right\}; \\ a_6 &= \frac{m n G}{K_1} + \frac{m n}{m+n} \left[ \gamma - \frac{(m+n)F}{K_1} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (9-16)$$

დაცლილი წყალსაცავის შემთხვევაში, ცხადია, ჰიდროსტატიკური წნევა არ მოქმედებს და ამიტომ (9-16) ფორმულებში საჭიროა ჩაისვას  $\gamma=0$  და  $F=0$  ( $F$  სიდიდე შეიცავს  $\gamma$ ).

ვიცით რა ძაბვათა კომპონენტების მნიშვნელობანი (9-13), (9-14) და (9-15), ფარდობითი დეფორმაციებისათვის ჰუკის განზოგადებული კანონის

$$e_x = \frac{1+\nu}{E} [(1-\nu)\sigma_x - \nu\sigma_y]; \quad (9-17)$$

$$e_y = \frac{1+\nu}{E} [(1-\nu)\sigma_y - \nu\sigma_x]; \quad (9-18)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau \quad (9-19)$$

და კოშის განტოლებების

$$\left. \begin{aligned} e_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; \\ e_y &= \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (9-20)$$

გამოყენებით ეპოულობთ კაშხლის ღერძის წერტილების გადაადგილებათა კომპონენტებს:

$$u = \frac{1+\nu}{E} \left[ \frac{(1-\nu)a_3}{2} x^2 + (1-\nu) a_4 xy - \frac{\nu a_1}{2} x^2 - \nu(n-c) a_1 xy - \nu a_2 xy \right] + \frac{1}{2} \Pi_2 y^2 + b_1 y + d_1; \quad (9-21)$$

$$v = \frac{1+\nu}{E} \left[ (1-\nu) a_1 xy + \frac{(1-\nu)(n-c) a_1}{2} y^2 + \frac{(1-\nu) a_2}{2} y^2 - \nu a_3 xy - \frac{\nu a_4}{2} y^2 \right] + \frac{1}{2} \Pi_1 x^2 + b_2 x + d_2. \quad (9-22)$$

ამ გამოსახულებებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$$\Pi_1 = \frac{1+\nu}{E} [2a_5 - (1-\nu) a_4 + \nu(n-c) a_1 + \nu a_2];$$

$$\Pi_2 = \frac{1+\nu}{E} [2a_6 - (1-\nu) a_1 + \nu a_3];$$

$b_1$  და  $b_2$  არის კოეფიციენტები, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას

$$b_1 + b_2 = 0; \quad (9-23)$$

$d_1$  და  $d_2$  — ინტეგრების მუდმივებია.

საძიებელი  $\sigma_x$  და  $\tau$  რეაქტიული ძაბვები განისაზღვრება წონასწორობისა და აგრეთვე იმ პირობებიდან, რომლებიც გამოსახებიან იგივეობებით:

$$\left. \begin{aligned} u &\equiv u_0; \\ v &\equiv v_0; \end{aligned} \right\} \quad (9-24)$$

სადაც  $u_0$  და  $v_0$ , შესაბამისად, ფუძის ზედაპირის წერტილების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადაადგილებებია. ნახევარსფერულ დაყვანილ კოორდინატებში ეს გადაადგილებანი ასე ჩაიწერება<sup>1</sup>:

$$u_0 \approx \left( K_2 B_2 - \frac{1}{2} K_3 A_1 \right) x_1^2 + (K_2 B_1 - K_3 A_0) x_1 + \left( K_2 B_0 - \frac{1}{2} K_2 B_2 + K_3 A_1 \right); \quad (9-25)$$

$$v_0 \approx \left( K_2 A_1 + \frac{1}{2} K_3 B_1 \right) x_1^2 + (K_2 A_1 + K_3 B_0) x_1 + \left( K_2 A_0 - \frac{1}{2} K_2 A_2 - K_3 B_1 \right). \quad (9-26)$$

ამ გამოსახულებებში:

$$K_2 = \frac{2(1-\nu_0^2) B}{E_0}; \quad K_3 = \frac{(1+\nu_0)(1-2\nu_0) B}{E_0},$$

<sup>1</sup> В. А. Флорин, Расчеты оснований гидротехнических сооружений, Стройиздат, М., 1948.

სადაც  $E_0$  და  $v_0$ , შესაბამისად, ფუძის ქანების ღრეკადობის ზოდული და პუ-  
ასონის კოეფიციენტებია;

$I$  — საკონტაქტო ზედაპირის ნახევარსიგანე;

$x_1$  — ნახევარსიგანეზე დაყვანილი კოორდინატი:

$$x_1 = \frac{x}{l}; \quad -1 \leq x_1 \leq +1.$$

ცხადია,  $u$ -ს და  $v$ -ს (9-21) და (9-22) გამოსახულებებიც საჭიროა ჩაიწე-  
როს დაყვანილ კოორდინატებში, ე. ი.  $x$ -ის ნაცვლად მათში ჩაისვას  $x_1$ .

თუ (9-24) იგივეურ ტოლობებში შევიტანთ  $u$ ,  $v$ ,  $u_0$  და  $v_0$  მნიშვნელო-  
ბებს და ერთმანეთს გავუტოლებთ ერთნაირხარისხიან  $x_1$ -თან მდგომ წევრებს,  
მოვიღებთ ექვს განტოლებას შემდეგი ათი უცნობით:  $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2,$   
 $b_1, b_2, d_1, d_2$ .

წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე,  $A_0, A_1$  და  $B_0$  უცნობებისათვის  
ვღებულობთ მნიშვნელობებს:

$$A_0 = \frac{Q}{\pi l B}; \quad A_1 = \frac{2M}{\pi l^2 B}; \quad B_0 = \frac{T}{\pi l B},$$

სადაც  $Q$  არის ფუძეზე მოქმედი ვერტიკალური წნევა;

$M$  — მღუნავი მომენტის სიდიდე ფუძის კვეთში;

$T$  — ჰორიზონტალური წნევა ფუძის სიბრტყეში.

უცნობ  $b_1$  ან  $b_2$  სიდიდეს ვპოულობთ (9-23) პირობიდან. ამგვარად,  $u_0$  და  
 $v_0$  კონტაქტურ გადაადგილებათა და  $\sigma_y$  და  $\tau_{xy}$  კონტაქტურ ძაბვათა გან-  
სასაზღვრელად ვღებულობთ განტოლებათა საჭირო რაოდენობას.

გვეცოდინება რა კოეფიციენტთა მნიშვნელობანი,  $\sigma_y$  და  $\tau_{xy}$  კონ-  
ტაქტური ძაბვები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$\sigma_y \approx \frac{1}{\sqrt{1-x_1^2}} [A_0 + A_1 x_1 + A_2 (2x_1^2 - 1)]; \quad (9-27)$$

$$\tau_{xy} \approx \frac{1}{\sqrt{1-x_1^2}} [B_0 + B_1 x_1 + B_2 (2x_1^2 - 1)]. \quad (9-28)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც პროექტით გათვალისწინებულია კონტრფორ-  
სების ჩაანკერება ფუძეში, ანალოგიური მიმდევრობით განსაზღვრავენ ანკე-  
რის ტროსის წინასწარი  $N'$  დაქიმივით გამოწვეულ  $u_0$  და  $v_0$  კონტაქტურ  
გადაადგილებებს და უცნობ  $\sigma_y$  და  $\tau_{xy}$  რეაქტიულ ძაბვებს. მაგრამ ამასთან  
ერთად კაშხალის სექციის, ფუძის და ანკერის ტროსის ერთობლივი მუშაობის  
ზოგადი ამოცანის გადაწყვეტის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ჰიდრო-  
სტატიკური წნევის მოქმედების შედეგად ანკერის ტროსში წარმოშობილი და-  
მატებითი უცნობი  $N''$  ძალა. ეს ძალა ტროსში წარმოიშობა წყალსაცავის შეკ-  
სებას დროს. მისი განსაზღვრისათვის უნდა გამოვიდეთ ტოლობიდან, რომე-  
ლიც არსებობს კაშხალებში ტროსის ზედა ბოლოს ჩამაგრების წერტილის  $u^{(0)}$   
და  $v^{(0)}$  გადაადგილებებს და თვით ტროსის იმავე ბოლოს  $u^{(0)}$  და  $v^{(0)}$  გადაადგილე-  
ბებს შორის. ეს პირობები ასე დაიწერება:  $u^{(0)} \equiv u^{(0)}$ ;  $v^{(0)} \equiv v^{(0)}$ .

აქ გადმოცემული მეთოდით გაანგარიშებულ იქნა რეალური კაშხალის  
კონტრფორსი, რომლის შედეგები საქმად კარგად შეუთანხმდა იმავე კონტრ-  
ფორსის ზოდელური გამოკვლევის მონაცემებს.

## 5. გაანგარიშების სხვა მეთოდები

ვ. ბარინოვის<sup>1</sup>, აგრეთვე ა. გოლდბერგისა და ვ. ბარინოვის<sup>2</sup> შრომებში რეკომენდებულია მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების გაანგარიშების მეთოდიკა იმ რეაქტიულ ძაბვათა გათვალისწინებით, რომლებიც წარმოიშობიან კონტრფორსის სათავისა და კედელს შორის.

ამ მეთოდის დამუშავებას წინ უსწრებდა ექსპერიმენტული გამოკვლევები, რომლებიც ჩატარდა ლენინგრადის ს. მ. კიროვის სახელობის ლენინის ორდენის სატყეო-ტექნიკური აკადემიის სამშენებლო მექანიკის კათედრაზე.

მასიურ-კონტრფორსული კაშხალის სექციას (კონტრფორსს) გაანგარიშებისათვის წარმოდგენით ჰქვიათ კონტაქტური სიბრტყის გასწვრივ ორ ნაწილად — სათავის-კოჭად და კონტრფორს-სოლად. ამასთანავე დაშვებულია, რომ სასაზღვრო სიბრტყის გასწვრივ ნორმალური და მხები ძაბვები იცვლება  $r$ -რადიუსის მიმართ  $n$ -ური რივის პოლინომის კანონით (ამოხსნა წარმოებს პოლარულ კოორდინატებში). ამოცანის ამოხსნისათვის გამოყენებულია სისტემის „სათავისი-სოლი“ პოტენციალური ენერჯიის მინიმუმის პრინციპი.

მეთოდის ნაკლად ის უნდა ჩაითვალოს, რომ იგი ვერ ითვალისწინებს ფუძის დამყოლობის გავლენას კონტრფორსის კედლის დაძაბულ-დეფორმაციულ მდგომარეობაზე.

მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების გაანგარიშების იმ თეორიულ მეთოდებიდან, რომლებიც ითვალისწინებენ კლდოვანი ფუძის დრეკადობის გავლენას, საჭიროა აღინიშნოს ვ. ლომბარდოს<sup>3</sup> და ს. გუნის<sup>4</sup> ნაშრომებში დამუშავებული მეთოდები.

მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების გაანგარიშებისათვის დიდი პერსპექტივა აქვს სასრული ელემენტების მეთოდი, რომელიც უკანასკნელ დროს საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება ნაგებობათა და კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის აშშ-ებში და მრავალ სხვა ქვეყანაში, მათ შორის საბჭოთა კავშირში<sup>5</sup>. თანამედროვე ეტაზე აღნიშნული მეთოდით შეიძლება გაანგარიშდეს გრავიტაციული კაშხალები დრეკად ფუქესთან ერთად<sup>6</sup>.

აღნიშნული მეთოდი უწყვეტ არეს განიხილავს, როგორც ერთმანეთის მომიჯნავე სასრული ელემენტებისაგან შემდგარს, რომლებიც სახსრულად არიან დამაგრებული წვეროებში, ანუ ეგრეთ წოდებულ კვანძურ წერტილებში. უწყვეტი არის ელემენტებად დაყოფას თან არ სდევს მისი გაჭრა; უწყვეტი არიდან ელემენტების გამოყოფა წარმოებს მხოლოდ იმისათვის, რომ მათ-

<sup>1</sup> В. Н. Баринов, К расчету прочности высоких массивно-контрфорсных плотин, Научные труды ЛОЛЛТА им. С. М. Кирова, № 102, 1963.

<sup>2</sup> А. М. Гольдберг и В. Н. Баринов. Экспериментальное исследование на моделях напряжений в стенке массивно-контрфорсной плотины, «Гидротехническое строительство» №12, 1964.

<sup>3</sup> В. Н. Ломбардо, Методика расчета напряженного состояния массивных гидротехнических сооружений, работающих совместно... Плотины и водосбросы, сб. трудов № 61, выпуск 1, МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1969.

<sup>4</sup> С. Я. Гун, Определение напряженного состояния плотин методом теории упругости, Труды ВОДГЕО, Гидротехника, вып. 30, М., 1971.

<sup>5</sup> Л. А. Розин, Расчет гидротехнических сооружений на ЭЦВМ, Метод конечных элементов, «Энергия», Л., 1971.

<sup>6</sup> С. Б. Ухов, Метод конечных элементов и возможности его применения при расчетах совместной работы гидротехнических сооружений и оснований, «Гидротехническое строительство» №11, 1972.

ში ცალ-ცალკე იქნეს განხილული დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობა, რომელიც ფორმირდება მთელი სისტემის ერთობლივი მუშაობის დროს. ამგვარად, არის დისკრეტიზაცია წარმოადგენს მხოლოდ პირობით ხერხს.

უმარტივესი მათემატიკური ფორმულირება, რომელიც გვთავაზობს უწყვეტობის რამდენადმე შემსუბუქებულ პირობას, შეესაბამება შემთხვევას, როდესაც გვერდები ან წახნაგები ელემენტებისა, რომლებიც სახსრულად არიან დამაგრებული წვერობებში, დეფორმირდება ისე, რომ რჩება სწორხაზოვანი ან ბრტყელი. ასეთ პირობას, ცხადია, მივყავართ გადაადგილებათა ველის უწყვეტობამდე, მაგრამ ძაბვათა და დეფორმაციათა ველში წყვეტა დასაშვებია. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, სასრული ელემენტების მეთოდი იძლევა სისტემაზე მოქმედ ნებისმიერი დატვირთვისაგან გამოწვეულ მხოლოდ გადაადგილებათა განსაზღვრის საშუალებას.

საინტერესოა მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების სტატიკური გაანგარიშების მიახლოებითი მეთოდიცა, რომელიც დაამუშავა ს. არაქელიანმა<sup>1</sup> მოსკოვის ვ. ვ. კუბიშვილის სახ. საინჟინრო-სამშენებლო ინსტიტუტის პილროტექნიკურ ნაგებობათა კათედრაზე. ეს მეთოდიცა ითვალისწინებს სხვადასხვა სიხისტის ერთგვაროვანი ფუძის გავლენას კონტრფორსის ძაბვით და დეფორმაციულ მდგომარეობაზე. ანგარიშის დროს კონტრფორსი სიმაღლეზე გაყოფილია ორ ნაწილად: ზედა  $\frac{3}{4} H$  ნაწილი გაიანგარიშება ისე, როგორც უსასრულო სიმაღლის სოლი, ღრეკადობის თეორიის ცნობილი მეთოდის გამოყენებით, ხოლო ქვედა  $\frac{1}{4} H$  ნაწილი — როგორც ღრეკად ფუძეზე მდებარე სოლი. გაანგარიშების ასეთი სქემა გრავიტაციული კაშხალებისათვის პირველად გამოყენებულ იქნა ი. კონსტანტოვის მიერ<sup>2</sup>.

ექსპერიმენტული კვლევებში მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების დაძაბული და დეფორმაციული მდგომარეობის თეორიული კვლევის მეთოდების დამუშავებასთან ერთად ფუძის გავლენის გათვალისწინებით ჩატარდა რიგი ექსპერიმენტული გამოკვლევებისა. ამ მიმართულებით განსაკუთრებით წარმატებით მუშაობენ მოსკოვის ვ. კუბიშვილის სახ. საინჟინრო-სამშენებლო და მოსკოვის პილროტექნიკური ინსტიტუტების პილროტექნიკურ ნაგებობათა კათედრებზე, აგრეთვე ს. ყუჟის სახ. „პილროპროექტის“ სამეცნიერო-კვლევით სექტორში, ბ. ვედენევის სახ. პილროტექნიკის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, საქართველოს ვ. ი. ლენინის სახ. პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში და სხვ. ასეთ გამოკვლევების რიცხვს მიეკუთვნება ნგუენ დინტრანის<sup>3</sup>, ს. არაქელიანის, მკვლევართა ჯგუფის მ. გრიშინისა და ნ. როზანოვის ხელმძღვანელობით<sup>4</sup> (გ. შიმელცი, ვ. ორეხოვი, ვ. პისტოგოვი, მ. ზერცალოვი და სხვ.) და სხვათა ნაშრომები.

<sup>1</sup> С. С. Аракелян, Некоторые вопросы статических исследований массивно-контрфорсных плотин на разномодульных и однородных основаниях. Автореферат диссертации на соиск. уч. степени к. т. н., Москва, 1967.

<sup>2</sup> И. А. Константинов, Приближенный способ статического расчета гравитационных плотин с учетом влияния основания. Автореферат диссертации на соискание ученой степени, к. т. н., Л., 1964.

<sup>3</sup> Нгуен Динь-Трань, Исследование напряженного состояния массивно-контрфорсных плотин на податливых основаниях. Автореферат диссертации на соиск. ученой степени, к. т. н., М., 1964.

<sup>4</sup> М. М. Гришин и др., Статические исследования массивно-контрфорсных плотин при наличии в основании зон тектонических нарушений, «Гидротехническое строительство», № 4, 1966.

<sup>5</sup> М. М. Гришин и др., Статические исследования массивно-контрфорсных плотин на разномодульных основаниях, «Гидротехническое строительство» № 6, 1967.

ერთგვაროვან, სხედასხვა მოდულიან, ანიზოტროპიულ, ტექტონიკური დარღვევების შემცველ და სხვა სახის ფუძეებზე აგებულ მასიურ-კონტროფორსული კაშხალების ექსპერიმენტული გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ კაშხალი-სა და მისი ფუძის დაძაბული მდგომარეობის ფორმირება არსებითადაა დამოკიდებული ნაგებობის ქვეშ განლაგებული ქანების დეფორმაციულ თვისებებზე. ამიტომ ღიდი მნიშვნელობა აქვს ფუძის იმ თვისებებზე, რომლებზეც ვაგვლენას ახდენს კაშხალის დაძაბულ მდგომარეობაზე.

### 0. კაშხალის ძვრაზე შემოწმება

მასიურ-კონტროფორსული კაშხალების და საერთოდ კონტროფორსული კაშხალების ძვრაზე გაანგარიშების მეთოდები იგივეა, რაც გრავიტაციული კაშხალებისათვის. კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში (უპირატესად სწორედ ასეთ ფუძეებზეა რეკომენდებული მასიურ-კონტროფორსული კაშხალების მშენებლობა), როდესაც არ არის მოსალოდნელი კაშხალთან ერთად მოსი ფუძის მდგრადობის დაკარგვა, ვისარგებლებთ ბრტყელი ძვრის საკმაოდ მარტივი ფორმულით (იხ. თავი V, § 5-4). ამასთან ერთად, ცალკეულ შემთხვევებში შეიძლება გავითვალისწინოთ კონტროფორსის ჩამაგრება კლდეში, კონტროფორსის კბილის მუშაობა ქრაზე, კლდის წინაღობა ახლეჩაზე და სხვ.

კარგი და საშუალო ხარისხის კლდოვანი ფუძის შემთხვევაში, როგორც წესი, კაშხალის ტანისა და ფუძის კონტაქტში გაითვალისწინება შექირდულობა. ამ შემთხვევაში კონტროფორსის  $K_{\Sigma}$  მდგრადობის კოეფიციენტი ძვრაზე ჰორიზონტალური ფუძის დროს განისაზღვრება ფორმულით:

$$K_{\Sigma} = \frac{\Sigma P + cF}{\Sigma Q} = \frac{f\sigma + c \left(1 + \frac{F_{\Sigma 3}}{F_{\Sigma 2}}\right)}{\tau} \quad (9-2?)$$

სადაც  $F$  არის კლდესთან ბეტონის შეხების ფართობი, რომელზედაც ადგილი აქვს შექირდულობას:

$$F = F_{\Sigma 2} + F_{\Sigma 3} \approx F_{\Sigma 2} + 2bh, \quad (9-30)$$

აქ  $F_{\Sigma 3}$  არის კონტროფორსის გვერდითი ფართობი, რომელზედაც ადგილი აქვს შექირდულობას;  $F_{\Sigma 2}$  ვაგვლენა მაშინ გაითვალისწინება, როდესაც კონტროფორსის ძირი სათანადოთაა ჩამაგრებული კლდეში;

$h$  — კონტროფორსის ძირის ჩაღრმავება მტკიცე კლდეში;

$b$  — კონტროფორსის სიგანე ძირში (დინების მიმართულებით);

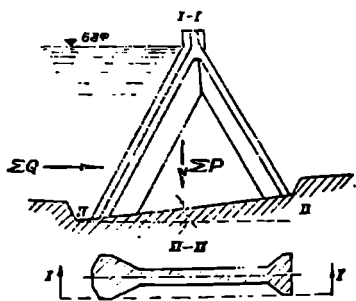
$\Sigma P$  — გასაანგარიშებელ კონტროფორსზე მოქმედი ყველა ვერტიკალური ძალის ჯამი;

$\Sigma Q$  — იგივე კონტროფორსზე მოქმედი ყველა ჰორიზონტალური ძალის ჯამი;

$\sigma = \frac{\Sigma P}{F_{\Sigma 2}}$  — საშუალო ნორმალური ძაბვა კონტროფორსის ძირში;

$\tau = \frac{\Sigma Q}{F_{\Sigma 2}}$  — საშუალო გადაშრული ძაბვა კონტროფორსის ძირის გასწვრივ;

$f$  და  $c$  — საანგარიშო კოეფიციენტები (ძვრის პარამეტრები), რომლებითაც ხასიათდება ფუძესთან კაშხალის კონტროფორსის კონტაქტის სიმტკიცე ქრაზე და რომელიც დამოკიდებულია ფუძის ქანების სახეობასა და მათ ბზაროვნობაზე, აგრეთვე ფუძის დეფორმადობაზე.



ნახ. 9-25. კონტრფორსის ძვრაზე მდგრადობის საანგარიშო სქემა.

ძვრისადმი კლდოვანი ფუძეების წინა-  
ლობადობის აღნიშნული  $f$  და  $c$  საანგა-  
რიშო პარამეტრები დასაშვებია აღებულ  
იქნეს  $CH\ 123 - 60$  (VI თავის: მე-5  
ცხრილის მონაცემები) თანახმად.

მაღალი და საშუალო სიმაღლის კაშ-  
ხალებისათვის რთული საინჟინრო-გე-  
ოლოგიური პირობების დროს და და-  
პროექტების დამამთავრებელ სტადიაში  
 $f$  და  $c$  განსაზღვრული უნდა იქნეს სააე-  
ლე პირობებში (საცდელ ქებაულებში  
და შტრეკებში) კლდეზე მიბეტონებული  
ბეტონის შტამპების ძვრაზე გამოკვლევე-  
ბის მიხედვით.

ძვრაზე კონტრფორსის მდგრადობის კოეფიციენტების მინიმალური და-  
საშვები მნიშვნელობანი აიღება ნაგებობის კლასის მიხედვით. მაგალითად,  
ძალთა ძირითადი შეხამების დროს I კლასის ნაგებობებისათვის  $K_{\alpha} = 1,3$ ; II  
კლასის ნაგებობებისათვის —  $1,2$ ; III კლასის ნაგებობებისათვის —  $1,1$ . ძალთა  
საგანგებო შეხამების დროს I და II კლასის ნაგებობებისათვის ამ კოეფიციენ-  
ტთა მნიშვნელობანი მცირდება დაახლოებით  $15 - 10\%$ -მდე, ხოლო III და  
IV კლასის ნაგებობებისათვის თითქმის უცვლელი რჩება.

კარგი ხარისხის კლდოვანი ფუძისა და კაშხალის კონტრფორსების დახრი-  
ლი ძირის შემთხვევაში (ნახ. 9-25) კონტრფორსის ძვრაზე მდგრადობის  $K_{\alpha}$   
კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$K_{\alpha} = \frac{f \Sigma P + \Sigma Q \operatorname{tg} \beta}{\Sigma Q - \Sigma P \operatorname{tg} \beta} + \frac{c F'}{\Sigma Q - \Sigma P \operatorname{tg} \beta} =$$

$$= \frac{f(\sigma + \tau \operatorname{tg} \beta)}{\tau - \sigma \operatorname{tg} \beta} + \frac{c \left( 1 + \frac{F'_{\text{ბი}}}{F'_{\text{წაა}}} \right)}{\tau - \sigma \operatorname{tg} \beta} \quad (9-31)$$

ამ გამოსახულებაში  $\beta$  არის კონტრფორსის ძირის დახრის კუთხე ჰორი-  
ზონტთან;  $F'$ ,  $F'_{\text{ბი}}$ , და  $F'_{\text{წაა}}$  ფართობები უნდა განისაზღვროს დახრილი ძირი-  
სათვის.

კაშხალის ფუძის დახრა დასაშვებია და ამასთანავე გასათვალისწინებელი  
მხოლოდ მაშინ, როდესაც გვაქვს კარგი ხარისხის კლდოვანი ფუძე.

როდესაც კაშხალის ძირში გათვალისწინებულია სათანადო სიმტკიცის ზე-  
და და ქვედა კბილები, ძვრის საანგარიშო სიბრტყედ შეიძლება აღებულ იქნეს  
ზედა და ქვედა კბილების ძირში გამავალი სიბრტყე; კონტრფორსის ძვრაზე  
მდგრადობის  $K_{\alpha}$  კოეფიციენტი კი შეიძლება განისაზღვროს (9-31) ფორ-  
მულით.

ფენოვანი ფუძის შემთხვევაში ანდა როდესაც კაშხალის კონტრფორსის  
ძირის ქვეშ კლდოვან ფუძეში გვაქვს დამდგარი ბზარები, საჭიროა დამატებით  
ჩატარდეს მდგრადობის შემოწმება იმ დაშვების საფუძველზე, რომ ნაგებო-  
ბისა და მასთან ერთად მის ქვეშ მოთავსებული ქანების ძვრა შეიძლება მოხ-  
დეს ქანების ყველაზე უფრო სუსტი კონტაქტის სიბრტყით ანდა ბზარის



ხაზის გასწვრივ. ამ შემთხვევაში, ცხადია, მარაგის კოეფიციენტის სიდიდე უნდა განისაზღვროს ძვრის საანგარიშო სიბრტყის მიმართ.

ამასთან ერთად საჭიროა, რომ ფენების ყოველი შესამოწმებელი კონტაქტისათვის ანგარიშში შეყვანდეს იქნეს შესაბამისი  $f$  და  $c$  კოეფიციენტები და ძვრის საანგარიშო სიბრტყის ზევით მოთავსებული ქანების წონა, ხოლო უკუწვევა განისაზღვროს ამ სიბრტყის მიმართ.

#### § 8-4. კონტრფორსული კაშხალები ბრტყელი გადახურვით

##### 1. ზოგადი ცნობები

კონტრფორსული კაშხალები ბრტყელი გადახურვით წარმოადგენს რიგ ცალკე მდგომ რკინაბეტონის ან არმატურიანი ბეტონის კონტრფორსებს, რომლებიც გადახურულია ცვალებადი კვეთის უქრი ან ვაჭრილი რკინაბეტონის ფილებით (ნახ. 9-1 ბ). თავის მხრივ, კონტრფორსები ჩვეულებრივ წარმოადგენს ცვალებადი სისქის სამკუთხოვან ან მასთან ახლო პროფილის ვერტიკალურ კედლებს, რომლის სადაწნეო წახნაგი ჰორიზონტთან დახრილია  $45 - 55^\circ$ , ხოლო ქვედა წახნაგი  $60 - 90^\circ$  კუთხით. განსახილველი ტიპის კაშხალები შეიძლება იყოს ყრუ და წყალსაგდები ზედაპირული ან სიღრმული ხვრეტებით.

ყრუსა და წყალსაგდებ კაშხალებს იყენებენ კლდოვან ფუძეებზე. თავისუფლად ვარდნილი ჰვალის პრინციპზე მომუშავე წყალსაგდები კაშხალები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ კარგ კლდოვან ფუძეებზე. ასეთ ფუძეზე აგებული კაშხალის კონტრფორსები უშუალოდ ეყრდნობა ფუძეს; ფილტრაციული მოვლენების საწინააღმდეგოდ კაშხალს უწყობენ კბილს და ცემენტაციურ ფარდას. რადგან კბილს გააჩნია მცირე სისქე, ცემენტაცია შეიძლება ჩატარდეს სპეციალური ფილიდანაც, რომელსაც ათავსებენ კლდეზე კბილის წინ. თუ კაშხალი იგება სუსტ კლდოვან (ნახევრად კლდოვან) ფუძეზე, მაშინ მისი კონტრფორსების ძირი რამდენადმე უნდა გაფართოვდეს ანდა მოეწყოს უფრო რთული საძირკველი.

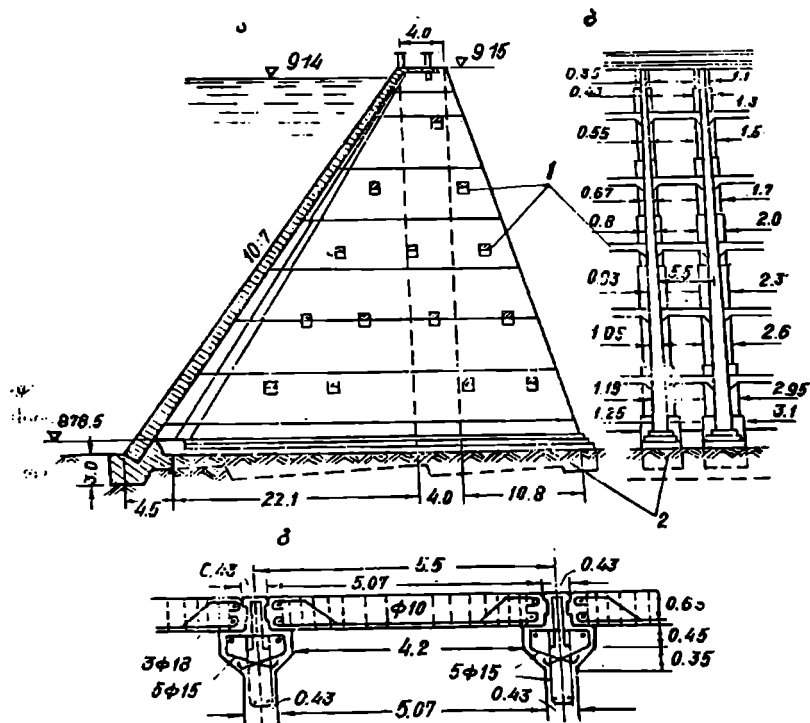
კონტრფორსულ კაშხალებს არაკლდოვან ფუძეებზე აგებენ აუცილებლად რკინაბეტონის მთლიანი საძირკვლის ფილით მხოლოდ წყალსაგდებს; ამ ტიპის ყრუ კაშხალები არაკონსოლიდირებული მიწის კაშხალებთან შედარებით.

უქრი გადახურვები გამოიყენება იშვიათად და ისიც მხოლოდ მაშინ, როდესაც კაშხალი იგება კარგ კლდოვან ფუძეზე და ამასთანავე მისი სიმაღლე არ აღემატება  $12 - 15$  მ-ს. უქრი გადახურვების გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ რევერსიული ტიპის კონტრფორსულ კაშხალებში, რომლებშიც კონტრფორსების ქვედა წახნაგზე მოწყობილი წყალსაგდები ფილა ამავე დროს წარმოადგენს სადაწნეო ფილას. მავრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ტიპის კაშხალები გამოიყენება ჭერჭერობით ერთეულ შემთხვევებში; ჩვენში ასეთი ტიპის ნაგებობას წარმოადგენს მდ. არისზე აგებული კაშხალი.

ბრტყელი გადახურვის მქონე ნაგებობებიდან ყველაზე უფრო გავრცელებულია კაშხალები ვაჭრილი დახრილი ფილებით (ნახ. 9-26), რომელთაც უფრო ადრე იწ. ამბურსენის ტიპის კაშხალებს უწოდებდნენ. ამ ტიპის კაშხალები მრავალი კარგი ღირსებით ხასიათდება: გადახურვის ფილებში თავი-

დან არის აცილებული გამკვირვებული ძაბვების წარმოშობა საყრდენებზე, ფუძის დეფორმაციის შემთხვევაში უზრუნველყოფილია კონტრფორსების ურთიერთ-დამოუკიდებელი დაჯდომა, სადაწნეო გადახურვა შეიძლება შესრულდეს ასა-წყობი ფილებით, ე. ი. თანამედროვე ინდუსტრიული მეთოდების გამოყენებით, რაც გულისხმობს კონსტრუქციის ცალკეული ნაწილების ქარხნული წესით დამზადებას და ადგილზე მზა სახით აწყობას.

ფილების საყრდენებს წარმოადგენს კონტრფორსების კონსოლური გასქე-ლებანი (ბაქნები), რომელთა სიგანე აიღება (0,5 — 1,0) *e*-მდე, სადაც *e* ფი-ლის სისქეა. ფილის მალი ინიშნება კაშხალის სიმაღლის მიხედვით 5 — 12 მ-ის ფარგლებში. მაღალ კაშხალებში მალეები შეიძლება გაზრდილ იქნეს 15 — 20 მ-მდე, მაგრამ ასეთ შემთხვევებში გადახურვის ფილის სისქე მნიშვნელოვ-ნად იზრდება, რადგან იგი წარმოადგენს ღუნვაზე მომუშავე რკინა-ბეტონის ვლემენტს, რომელშიც ბზარების წარმოშობა დაუშვებელია. თავისთავად ცხა-ლია, რომ მასიური ფილები კაშხალს არაეკონომიურს ხდის ერთი მხრივ იმი-ტომ, რომ ადგილი აქვს მასალის (ბეტონის) გადახარჯვას, ხოლო, მეორე მხრივ, ართულებს სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოებს. სწორედ აღნიშნულმა გარე-



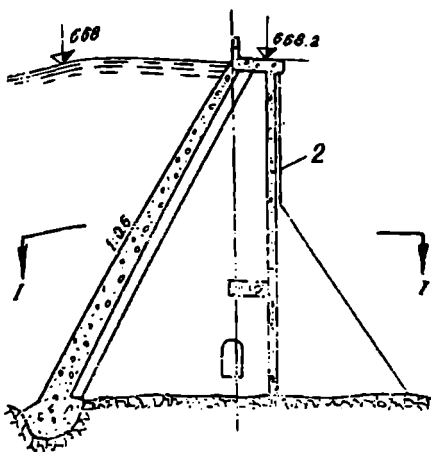
ნახ. 9—26. რკინაბეტონის კონტრფორსული კაშხალი ბრტყელი ვაკრილი სადაწნეო გადახურვით:

— კრილი მალის შუაზე; ბ—ხელი ქვედა ბიფიდან; გ—ფილის კვეთი 910 ნიშნულზე; 1—სიხისტის კოჭები; 2—დოლომიტი.

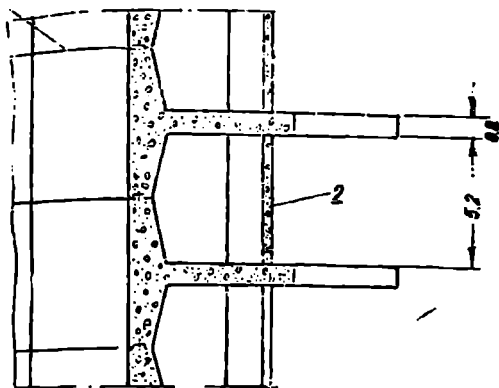
მოებამ შეზღუდა გაკრილი ბრტყელი გადახურვის მქონე რკინაბეტონის კონტრფორსული კაშხალების გამოყენება მაღალი (90—100 მ-ზე მეტი) დაწვევების დროს. მდგომარეობიდან გამოსავალი უნდა ვეძიოთ სადაწნეო გადახურვის რაციონალური კონსტრუქციების დამუშავებაში, სახელდობრ, რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული ელემენტების (ფილების, კოქების) გამოყენებაში.

დამატებითი ელემენტების სახით რკინაბეტონის კონტრფორსულ კაშხალებში ზოგჯერ აწყობენ სიხისტის კოქებს ანუ განმბრჩენებს, ცალკეულ შემთხვევებში კი სიხისტის წიბოებს, რომელთა დანიშნულებაა უზრუნველყოს კონტრფორსების მდგრადობა მოსალოდნელი გრძივი ღუნვის (გამობურცვის) ან გვერდითი ზემოქმედების დროს. განმბრჩენები წარმოადგენს კაშხლის ღერძის გასწვრივ კონტრფორსებს შორის განლაგებულ რკინაბეტონის კოქებს, რომელთაც ხშირად აქვთ ტესებრი ან შევლერისებრი განივკვეთის ფორმა (ნახ. 9-1, ბ და 9-26). სიხისტის კოქებს სიმაღლეზე ანლაგებენ ერთმანეთისაგან 4—8 მ-ის ხოლო პორიზონტალური მიმართულებით 5—12 მ-ის დაშორებით.

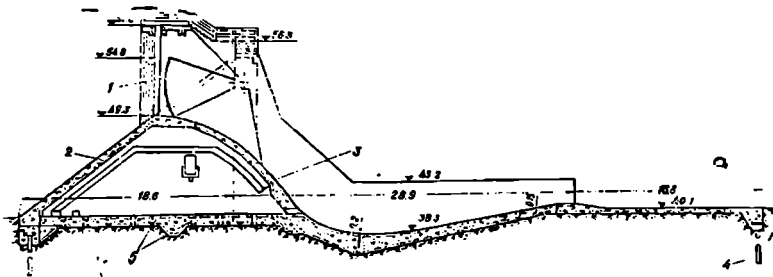
სადაწნეო გადახურვისათვის უკრი (კონტრფორსებში ჩამაგრებული) ფილების გამოყენება კონსტრუქციული თვალსაზრისით ფრიად მოხერხებულია, რადგან თავიდან არის აცილებული საყრდენებზე წყალშეუღწევი ნაკერების მოწყობის აუცილებლობა. მაგრამ ასეთი კაშხლის არსებითი ნაკლია ფუძის დეფორმაციებისადმი (კონტრფორსების დაჯდომისადმი) დიდი მგრძობელობა;



ჭრილი 1-1



ნახ. 9—27. ოლსტაპენის (ნორვეგია) კონტრფორსული კაშხლის კონსტრუქციული ფილებით:  
1—დეფორმაციული ნაკერები; 2—სათბუნებელი აედელი.



ნახ. 9 — წყალსაშვები კონტრფორსული კაშხალი არაკლდოვან ფუძეზე:  
 1—საკეტი; 2—სადაწნეო ფილა; 3—წყალსაშვები ფილა; 4—ფოლადის ნარჩნდი;  
 5—ღრენები ზომებით 0,15×0,15 მ.

რასაც, ჩვეულებრივ, თან სდევს ბზარების წარმოშობა სადაწნეო გადახურვაში. ამ ნაკლის ნაწილობრივ შემსუბუქება შეიძლება ყოველი რამდენიმე მალის შეჰდგე კაშხალის გაკრით და სათანადო ნაკერების მოწყობით.

კონსტრუქცია კაშხალისა, რომლის სადაწნეო გადახურვა იქმნება კონტრფორსებში ჩამაგარებული ფილებით, თავისებური სახეცვლილებით გამოყენებულია ნორვეგიის კაშხალთმშენებლობის პრაქტიკაში. ამ ტიპის ნორვეგიული კაშხალებიდან შეიძლება დავასახელოთ 14 მ სიმაღლის ოლსტაპენის კონტრფორსული კაშხალი კონსოლური ფილებით და სათბუნებელი კედლით (ნახ. 9-27). ასეთ კონსტრუქციებში ძაბვები უკეთესადაა განაწილებული; ამასთან მიაჩნიათ, რომ 20 მ-მდე სიმაღლის კაშხალებში წარმოშობილი გამჭიმავი ძაბვები საშიში არ არის.

როგორც აღვნიშნეთ, არაკლდოვანი ფუძეების დროს კონტრფორსებს აყრდნობენ სპეციალურ მთლიან არმატურიან საძირკველის ფილაზე, რომლის სისქე ინიშნება კონტრფორსებიდან გადაცემული დატვირთვის სიდიდის შესაბამისად 1—3 მ-მდე საზღვრებში. საძირკველის ფილა კონტრფორსულ კაშხალს აქცევს თითქოსდა გრავიტაციულად, იმ განსხვავებით, რომ მის მიერ ფუძეზე გადაცემული დატვირთვა შემცირებულია. ასეთი კაშხალის მიწისქვეშა კონტური არაკლდოვან ფუძეზე აგებულ გრავიტაციული კაშხალის მიწისქვეშა კონტურის ანალოგიურია, იმ განსხვავებით, რომ მას, ფილტრაციული წნევის შემცირების მიზნით, საძირკველის ფილაში მოწყობილი აქვს სადრენაჟო ხვრეტები. როგორც წესი, არაკლდოვან ფუძეზე აგებული საძირკველის ფილის მქონე კონტრფორსული კაშხალები წარმოადგენს წყალსაშვებ კაშხალებს, ამიტომ ზათ დამატებით მოწყობილი აქვთ წყალსაშვები ფილა (ნახ. 9-28).

## 2. სადაწნეო გადახურვის ფილის კონსტრუქცია და ანგარიში

სადაწნეო გადახურვის ფილის სისქე კაშხალის ზედა ნაწილში (თავში) აიღება ანგარიშის გარეშე, ჩვეულებრივ 0,2—0,3 მ-მდე, რაც დაპოკრებულია კლიმატურ პირობებზე. ინდუსტრიული მეთოდების გამოყენების შემთხვევაში, სამუშაოთა წარმოების მოხერხებულობის მიზნით, ფილის სისქე არ უნდა იყოს 1 მ-ზე ნაკლები. ფილის სისქე ძირში და შუალედურ კვეთებში განისაზღვრება სტატიკური ანგარიშით.

ფილებში აწვობენ ორგვარ პორიზონტალურ ნაკერს: ა) ფეხურებიან მუშა, ანუ სამშენებლო ნაკერებს დაბეტონების ეტაპების შესაბამისად სიმაღლის ყოველ 3 — 5 მ-ში, და ბ) ტემპერატურულ ნაკერებს სიმაღლის ყოველ 15 — 25 მ-ში, რომლებშიც გამკვრივების მიზნით ათავსებენ ლითონის ფურცლებს. წყალშეუღწეობის გასაძლიერებლად ფილების სადაწნეო ზედაპირს ფარავენ ტოკრეტის ფენით ან ბიტუმიტ.

ფილისა და კონტრფორსის კონტაქტს აწვობენ ფეხურების სახით, რომელსაც აქვს ერთი ან რამდენიმე შვერილი, რათა გაძნელდეს ფილტრაცია ნაკერებში. უკანასკნელს ავსებენ ბიტუმის მასტიკით, რომლითაც ფარავენ კონტრფორსის ბაქნის საყრდენ ზედაპირს (ნახ. 9-26 გ).

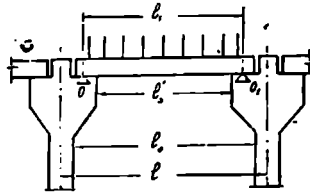
ამხლეჩი ძაბვების მისაღებად, როგორც წესი, ფილაში გაჭიმული არმატურის თითქმის ნახევარი უნდა აიღუნოს საყრდენებთან ახლოს.

ფილის გაანგარიშება. სადაწნეო ფილაზე მოქმედებს შემდეგი ძალები: 1) წყლის წნევა, რომელიც მიმართულია ფილის ნორმალურად, 2) ფილის საკუთარი წონა და 3) დატვირთვები, რომლებიც წარმოიშობიან მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში (კაშხალთან დაღეჭილი ნატანის, ყინულის, სეისმური წნევები და სხვ.). ძირითად დატვირთვებს წარმოადგენს პირველი ორი.

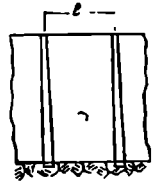
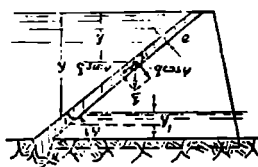
გაანგარიშების დროს განიხილება 1 მ სიგანის ფილის ზოლი, რომელიც ჩაძირულია ზედა ბიეფის დონის ქვეშ  $y$  სიღრმეზე, სადაც წყლის წნევა  $p = \gamma y$ . თუ განიხილება ფილის ის ზოლი, რომელიც ჩაძირულია ქვედა ბიეფის დონიდან  $y_1$  სიღრმეზე (ნახ. 9—29), მაშინ მასზე მოქმედი ჯამური წნევა იქნება:  $p = \gamma (y - y_1)$ .

ღუნვაზე ფილის გაანგარიშების დროს მხედველობაში მიიღება მისი საკუთარი წონის ნორმალური მდგენელი  $q_{cc\psi}$ , სადა  $q = \gamma_1 e$  არის ფილის წონა მისი ზედაპირის 1 მ<sup>2</sup>-ზე ( $\gamma_1$  — რკინაბეტონის მოცულობითი წონა,  $e$  ფილის სისქე), ხოლო  $\psi$  — ფილის პორიზონტთან დახრის კუთხე. რაც შეეხება  $q_{sino\psi}$  მდგენელს, იგი აწარმოებს ფილის გრძივ კუმშვას და წონასწორდება კონტრფორსზე ხახუნით და ფუძის გრუნტის რეაქციით.

ფილის საანგარიშო მალი განისაზღვრება პირობითი  $O$  და  $O_1$  საყრდენების მდებარეობით, რომელთაც ათავსებენ საყრდენ რეაქციათა ეპიურების სიმძიმის ცენტრების ქვეშ. დამკვეთულია, რომ საყრდენი რეაქციები განაწილებულია სამკუთხოვანი ეპიურებით. (ნახ. 9-30).



3



ნახ. 9—29. სადაწნეო გადახურვის საანგარიშო სქემა: — კონტრფორსების გადახურვის გაბარიტული ზომები; ბ — გადახურვის საანგარიშო სქემა.

ანგვარად, თუ კონსოლური გასქელების (ბაქნის) სიგანეს ალენიშნავთ  $b$ -თი, მაშინ ფილის საანგარიშო შალი იქნება:

$$l_1 = l'_0 + \frac{2}{3} b,$$

ხოლო მთელი სიგრძე  $l_0 = l'_0 + 2b$  (ნახ. 9-29).

საანგარიშო ზოლისათვის მაქსიმალური მღუნავი მომენტი

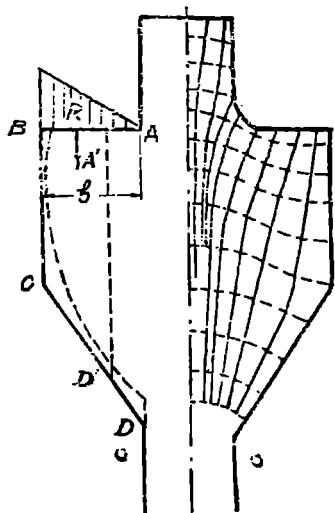
$$M = M_1 + M_0 = \frac{\rho l_1^3}{8} + \frac{q \cos \psi \cdot l_1^2}{8} = \frac{(\gamma y + \gamma_1 e \cos \psi) l_1^2}{8}, \quad (9-32)$$

ხოლო ვადაძვერი ძალა საყრდენებზე

$$Q = R = 0,5 (\gamma y + \gamma_1 e \cos \psi) (l'_0 + 2b). \quad (9-33)$$

ჩაღვან (9-32) გამოსახულებაში შედის ფილის საძიებელი  $e$  სისქე, ან უკანასკნელს წინასწარ ნიშნავენ ან მიახლოებით განსაზღვრავენ მხოლოდ

წყლის წნევით გამოწვეული  $M_0 = \frac{\rho l_1^3}{8}$  მომენტის მიხედვით.



ნახ. 9-30. კონტრფორსის გასქელების (ბაქნის) საანგარიშო სქემა.

თხვევაში ელემენტარული თეორიით დაბეჭდვებს ფილაში.

კონსოლური და უკერი ფილები (ნახ. 9-27) გაიანგარიშება ანალოგიურად, მაგრამ ამისათვის გამოიყენება კონსოლური და უკერი კოჭების ფორმულები.

რკინაბეტონის ზოგადი მეთოდების გამოყენებით ფილის სისქეს და არმატურის საჭირო რაოდენობას არჩევენ  $M$  მღუნავი მომენტისა და  $Q$  ვადაძვერი ძალის მიხედვით ისე, როგორც გაჭრილი თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭისათვის. ანგარიშები წარმოებს  $y$ -ის რიგი მნიშვნელობებისათვის — ყოველ 5—10 მ-ზე; შუალედური სიდიდეები მიიღება წრფივი ინტერპოლაციით.

უფრო ზუსტი გაანგარიშების შედეგების ანალიზის საფუძველზე კ. ძიუბას ნაშრომში<sup>1</sup> დადგენილია, რომ პრაქტიკულად სავსებით საკმარისია სადაწნეო გადახურვის ფილები გაანგარიშდეს ელემენტარული მეთოდით და რომ ამ მეთოდით შეიძლება ვისარგებლოთ ფილებისათვის, რომელთა სისქის ფარდობა მალთან ნაკლებია 1:3 — 1:3,5. დიდი დაწნევების დროს, თუ ფარდობა აღმოჩნდება უფრო მეტი, მაშინ გადახურვები უნდა გაანგარიშდეს როგორც სქელი ფილები (კოჭი-კედლები). უკანასკნელ შემთხვევაში 1,5—2-ჯერ ამცირებს გამჭიმავ

<sup>1</sup> К. И. Дзюба. Расчет тонких плит напорного перекрытия контрфорсных плотин, «Гидротехнические сооружения», сборник № 29, МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1959.

წყალსაშვები ფილების გაანგარიშების დროს, რომელიც აგრეთვე ანალოგიურად წარმოებს, მხედველობაში შემდეგი დატვირთვები მიიღება: 1) ფილის საკუთარი წონა და 2) წყალსაშვებზე გადადინებული წყლის ფენის წნევა. კაშხალების პრაქტიკული მოხაზულობის პროფილებში ეს წნევა მცირეა და მას მარაგით ღებულობენ გადადინებული წყლის ფენის წონის ტოლად. ჰაელის ჩამოსაშვებზე (ცხვირზე) დამატებით გაითვალისწინება  $h_1$  სისქისა და  $r$ -რადიუსიანი გაღუნული ჰაელის ცენტრიდანული ძალა, რომელიც ქმნის ჰარბ წნევას ფილაზე. ფართობის ერთეულზე ეს წნევა მიახლოებით ტოლია:

$$\omega_0 = \gamma \left( 1 + \frac{v^2}{gr} \right) h_1, \quad (9-34)$$

სადაც  $v$  არის ჰაელის სიჩქარე,  
 $g$  — თავისუფალი ვარდნის აჩქარება.

### 8. კონტრფორსის მხრების გაანგარიშება

კონტრფორსის მხარზე მოქმედებს გადახურვის ფილის ნახევარმალიდან გადაცემული დატვირთვა, რომელიც სიდიდით ფილის  $R$  რეაქციას ეტოლება. მიღებულია, რომ უკანასკნელი განაწილებულია სამკუთხედის კანონით (ნახ. 9-30). მღუნავი მომენტი მხრის ფუძეში ტოლია:

$$M_{\text{მ}} = \frac{2}{3} b R = \frac{1}{3} (\gamma y + \gamma_1 e \cos \psi) b' \cdot \quad (9-35)$$

მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვები  $AB$  ხაზის გასწვრივ ძრდება საყრდენზე ხახუნის ძალების გამო, რომლებიც წარმოიშობა ტემპერატურის დაწევის დროს ფილის დამოკლების შედეგად. ხახუნის ძალა ფილასა და მხარს შორის გამოითვლება ფორმულით  $S = fR$ , სადაც  $f$  არის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 0,5-ის ტოლი, თუ ხახუნის  $AB$  ზედაპირი დაფარულია ბიტუმის მასტიკით.

ოპტიკური მეთოდით მიღებულ მთავარ ნორმალურ ძაბვათა ტრაექტორიების სურათიდან გამომდინარეობს, რომ მაქსიმალურ კუმშვას ადგილი აქვს  $B$  წერტილში, ხოლო მაქსიმალურ გაჭიმვას —  $A$ -ში (ნახ. 9-30). ძაბვათა ადგილობრივი კონცენტრაციის თავიდან აცილების მიზნით, მიზანშეწონილია  $A$  წერტილში სწორი კუთხე დამრგვალდეს.

კონტრფორსის მხრის თეორიული ფორმა პარაბოლურია (პონქტირი 9-30 ნახაზზე), მაგრამ პრაქტიკულად მას აეთებენ  $BCD$  ტეხილი ხაზით.  $BC$  ზომა, ჩვეულებრივ, აიღება  $AB$ -ს ტოლი ან რამდენადმე მასზე მეტი.  $CD$  ხაზის დახრა უნდა იყოს ისეთი, რომ  $AD$ ,  $A'D'$  და ყველა დანარჩენი კვეთის ახლებზე წინაღობა იყოს დაახლოებით ერთნაირი.

### § 9-5. ბრტყელი გადახურვის მონე კაშხალები კონტრფორსის სიმაკისა და მხარე გაანგარიშება

#### 1. კონტრფორსზე მოქმედი ძალები და მათი განსაზღვრა

კონტრფორსზე მოქმედი ძირითადი დატვირთვებია: 1) წყლის წნევა უშუალოდ კონტრფორსზე და სადაწნეო ფილის ნახევარზე კონტრფორსის ორივე მხრიდან; 2) ფილის წონა; 3) კონტრფორსის საკუთარი წონა. ზოგ შემთხვევა-

ში გაითვალისწინება აგრეთვე დამატებითი დატვირთვები: ყინულის წნევა, ნატანის წნევა და სხვ.

წყლის წნევა კონტრფორსზე შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს კორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებით, რომლებიც შესაბამისად ტოლია:

$$W_1 = 0,5 \gamma h^2 l; \quad (9-36)$$

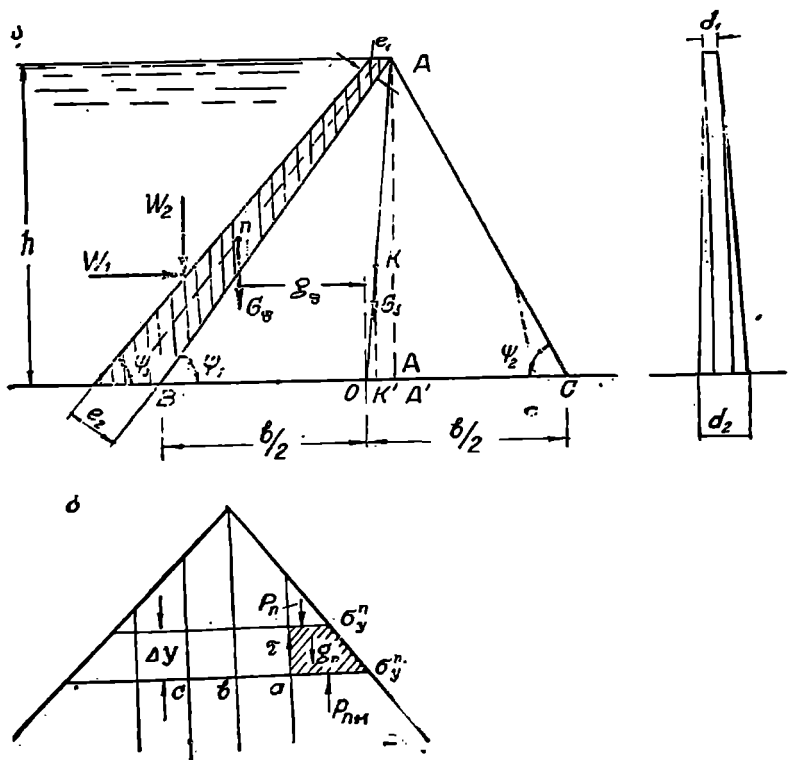
$$W_2 = 0,5 \gamma h^2 i \operatorname{ctg} \psi_0; \quad (9-37)$$

სადაც  $h$  კონტრფორსის სიმაღლეა;

$l$  — კონტრფორსების ღერძებს შორის მანძილი;

$\psi_0$  — სადაწნეო წახნაგის დახრის კუთხე კორიზონტთან.

ამ ძალების მოდების წერტილი მოთავეებულია სადაწნეო წახნაგზე ფუძიდან (ან განსახილველი კორიზონტალური კვეთიდან) წყლის ფენის სიმაღლის  $1/3$  (ნახ. 9-31).



ნახ. 9—31. კონტრფორსის საანგარიშო სქემა:

ა—მასალათა გამძლეობის მეთოდით; ბ—მცირე ბლოკების მეთოდით.



ფილის წონა კონტროლის იმ ნაწილის წონის ჩათვლით, რომელიც ყოფს მეზობელი მალეების ფილებს, ტოლი იქნება:

$$G_6 = \frac{0,5 \gamma_1 (e_1 + e_2) h l}{\sin \psi_0}, \quad (9-38)$$

სადაც  $e_1$  ფილის სისქეა თავში;

$e_2$  — ფილის სისქე ძირში.

ფილის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა კონტროლის ნებისმიერი პორიზონტალური კვეთის შუა წერტილის მიმართ განისაზღვრება ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის ფორმულის გამოყენებით. განსახილველ შემთხვევაში ფუძის კვეთის შუა წერტილის მიმართ იგი ტოლია:

$$g_{\text{ფ}} = \frac{b}{2} + \frac{e_2}{2 \sin \psi_0} - \frac{h}{3 \lg \psi_1} \cdot \frac{2e_2 - e_1}{e_2 + e_1}. \quad (9-39)$$

უფრო ზუსტი იქნება, თუ ამ გამოსახულებაში  $\psi_1$  შეიცვლება  $0,5 (\psi_0 + \psi_1)$  კუთხით.

კონტროლის წონა განისაზღვრება მისი  $V_3$  მოცულობის მიხედვით (ნახ. 9-31). თუ კონტროლის წყობის მოცულობითს წონას აღვნიშნავთ  $\gamma_2$ -თი, მაშინ გვექნება:

$$G_3 = \gamma_2 V_3 = \gamma_2 \left[ \frac{bh}{2} d_2 + \frac{h}{3} b (d_1 - d_2) \right] = \frac{\gamma_2 bh}{6} (d_1 + 2d_2). \quad (9-40)$$

კონტროლის  $K$  სიმძიმის ცენტრი მოთავსებულია  $AO$  მედიანაზე ფუძიდან  $\overline{KK'}$  სიმაღლეზე; უკანასკნელი შეიძლება განისაზღვროს კონტროლის მოცულობისა და მისი შეპადგენელი პრიზმისა და პირამიდების მოცულობათა მომენტების განტოლებიდან (ნახ. 9-31):

$$M = V_3 \cdot \overline{KK'} = \frac{bh}{2} d_1 \cdot \frac{h}{3} + \frac{bh}{3} (d_2 - d_1) \frac{h}{4},$$

საიდანაც ადვილად ვღებულობთ:

$$\overline{KK'} = \frac{h}{2} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 + 2d_2}. \quad (9-41)$$

კონტროლის  $G_3$  წონის მხარი ფუძის კვეთის შუა წერტილის მიმართ განისაზღვრება  $OAA'$  და  $OKK'$  სამკუთხედების მსგავსებიდან:

$$g_3 = \overline{OK'} = \overline{KK'} \frac{\overline{OA'}}{\overline{AA'}} = \frac{(d_1 + d_2) \left( \frac{b}{2} - h \operatorname{ctg} \psi_2 \right)}{2 (d_1 + 2d_2)}. \quad (9-42)$$

## 2. კონტროლის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ელემენტარული მეთოდით

განვსაზღვრეთ რა კონტროლზე მოქმედი ძალები და მათი მოდების წერტილების მდებარეობა, ადვილად შეიძლება გამოვთვალოთ ნორმალური ძაბვები კონტროლის ნებისმიერ პორიზონტალურ კვეთში არათანაბარი კუმშვის ფორმულის გამოყენებით.

ვერტიკალური ძალების ჯამი  $BC$  კვეთისათვის ტოლია:

$$\Sigma P = W_3 + G_B + G_A;$$

ყველა ძალის მომენტების ჯამი  $O$  წერტილის მიმართ:

$$\Sigma M = W_1 \cdot \frac{h}{3} + G_A \cdot g_A - W_2 \left( \frac{b}{2} + \frac{e_1}{\sin \psi_0} - \frac{h}{3} \operatorname{ctg} \psi_0 \right) - G_B \cdot g_B.$$

ნორმალური ძაბვები  $BC$  კვეთის წახნაგებზე ტოლი იქნება:

$$\sigma = \frac{\Sigma P}{bd_1} \pm \frac{6 \Sigma M}{b^2 d_1}. \quad (9-43)$$

სხვა ძაბვები, როგორცაა აშხლელი ძაბვები პორიზონტალურ კვეთებზე, მთავარი ნორმალური და მთავარი აშხლელი ძაბვები განისაზღვრება იმ ფორმულებით, რომლებიც გამოყვანილი იყო გრავიტაციული კაშხალებისათვის; მაგრამ ანისათვის საჭიროა მათში  $\gamma y$  ჰიდროსტატიკური წნევა შეიცვალოს  $\gamma y \frac{l}{d}$ , სადაც  $l$  კონტრფორსების ღერძებს შორის მანძილია, ხოლო  $d$  — კონტრფორსის სისქე შესაბამის კვეთში.

ამგვარად, ხსენებული ფორმულების შესაბამისად (იხ. თავი V, § 5-3) გვექნება:

ძხები ძაბვებისათვის სადაწნეო წახნაგზე

$$\tau' = \left( \sigma' - \gamma y \frac{l}{d} \right) \operatorname{ctg} \psi_1; \quad (9-44)$$

ქვედა წახნაგზე

$$\tau'' = \sigma'' \operatorname{ctg} \psi_2; \quad (9-45)$$

მთავარი ნორმალური ძაბვებისათვის სადაწნეო წახნაგზე

$$\sigma_1' = \gamma y \frac{e}{d}; \quad (9-46)$$

$$\sigma_2' = \frac{\sigma'}{\sin^2 \psi_1} - \gamma y \frac{l}{d} \operatorname{ctg}^2 \psi_1; \quad (9-47)$$

ქვედა წახნაგზე

$$\sigma''_1 = \frac{\sigma''}{\sin^2 \psi_2}; \quad (9-48)$$

$$\sigma''_2 = 0.$$

მთავარი აშხლელი ძაბვებისათვის სადაწნეო წახნაგზე

$$T' = \frac{\sigma' - \gamma y \frac{l}{d}}{2 \sin^2 \psi_1}; \quad (9-49)$$

ქვედა წახნაგზე

$$T'' = \frac{N''_1}{2} = \frac{\sigma''}{2 \sin^2 \psi_2}. \quad (9-50)$$

$\sigma'_2$  ძაბვისათვის დაწერილი (9-47) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ კაპიციანი ძაბვების წარმოშობის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა შესრულდეს პირობა  $\sigma'_2 > 0$ , ე. ი.

$$\frac{\sigma'}{\sin^2 \psi_1} > \gamma \gamma \frac{l}{d} \text{ctg}^2 \psi_1$$

ანღა

$$\sigma' > \gamma \gamma \frac{l}{d} \cos^2 \psi_1. \quad (9-51)$$

ამგვარად, (5-51) პირობა ზღუდავს კონტრაფორსის სადაწნეო წახნავის უახრილობის  $\psi_1$  კუთხეს.

საჭიროა შევნიშნოთ, რომ კონსოლური გასქელების გათვალისწინების შემთხვევაში გამოყენებული უნდა იქნეს უფრო ზოგადი (9-1) ფორმულა.

ძაბვათა მნიშვნელობანი კონტრაფორსის ტანში ელენტიარული მეთოდით შეიძლება მხოლოდ შიპლოებით იქნეს განსაზღვრული, ამიტომ მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს ზემოთ აღწერილი „მცირე ბლოკების“ მეთოდი (იხ. § 9-3, პ. 2), რომლის შესაბამისადაც კონტრაფორსი წინასწარ უნდა დაიყოს ევრტიკალური და პორიზონტალური სიბრტყეებით ბლოკებად. ანგარიშა იწყებენ განაპირა, ქვედა წახნავთან გამოყოფილი ბლოკიდან (ნახ. 9-33 ბ); აუ გვეცოდინება  $\sigma_y$  და  $\sigma_y$  ნორმალური ძაბვები ბლოკის შემოშსაზღვრულ პორიზონტალურ კვეთების განაპირა წერტილებში და ამასთანავე გამოვალთ პორიზონტალურ კვეთებში მათი წრფივი განაწილების კანონიდან, აღვიღად განესაზღვრავეთ  $p_n$  და  $p_{n+1}$  ძალებს ბლოკის პორიზონტალურ წახნაგებზე. შემდეგ კი ბლოკის წინასწარობის პირობიდან გამომდინარე, გვეცოდინება რა მისი წონა  $G_n$ , განესაზღვრავეთ ბლოკის ევრტიკალურ წახნაგზე მოქმედ  $\Delta x$  ძალას და მათთანამე,  $\tau$  საშუალო ამხლებ ძაბვას  $\sigma$  წერტილში. ანალოგიური წესით განესაზღვრავეთ ამხლებ ძაბვებს მთელი პორიზონტალური კვეთის ბ,  $\epsilon, \dots$  წერტილებში, ხოლო შემდეგ მთელ რიგ სხვა პორიზონტალურ კვეთებში. გვეცოდინება რა  $\tau$  სიდიდეები ორ მეზობელ პორიზონტალურ კვეთში (მზე ძაბვათა წვეილდობის კანონის ძალით) და ამხლები ძალები ბლოკის კვეთებში ( $\Delta x_n$  და  $\Delta x_{n+1}$ ) კვეთის ფართობებზე გამრავლებით), შეიძლება განესაზღვროთ  $\sigma \Delta x$  პორიზონტალური ძალები, როგორც ბლოკის პორიზონტალურ კვეთებში მოქმედ ამხლები ძალებათა სხვაობა, ხოლო აქედან —  $\sigma_x$  ძაბვებიც. ცხადია, თუ ვიცით  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  და  $\tau$  მნიშვნელობები, აღვიღად განესაზღვრავეთ მთავარ ძაბვებს და საერთოდ ძაბვათა მთელ კომპლექსს.

რადგან „მცირე ბლოკების“ მეთოდი შრომატევადია და გამოთვლების ჩასატარებლად დიდ დროს მოითხოვს, შეიძლება ვისარკებლოთ პრაქტიკულად უფრო მოაერბებული მიახლოებითი მეთოდით, რომლის მიხედვითაც დაშვებულია  $\tau$  ძაბვების განაწილება კვადრატული პარაბოლის კანონით, ხოლო  $\sigma_x$  და  $\sigma_y$  ძაბვებსა — წრფივი კანონით. დავეწერთ რა ზოგადი სახით აღნიშნულ ძაბვათა განტოლებებს, მათში შევაჯალ მუდმივებს განესაზღვრავეთ სასაზღვრო პირობების გამოყენებით.

მაღალი, საბასუხისმგებლო კონტრაფორსული კაშხალების დაპროექტების დროს საჭიროა ჩატარდეს აგრეთვე უფრო ზუსტი ანგარიშები დრეკადობის თეორიის იმ მეთოდის გამოყენებით, რომელსაც ჩვენ გავეცანით გრავიტაციული კაშხალების შესწავლის დროს (იხ. თავი V, § 5-4). აღნიშნული მეთოდის პირდაპირი გამოყენება მიზანშეწონილია მუდმივი სისქის კონტრაფორსებისათვის, მხოლოდ იმ პირობით, რომ საანგარიშო ფორმულებში  $\gamma \gamma$  პიდროსტატი-

კური წნევის სიდიდე შეიცვალოს  $\gamma \gamma \frac{l}{d}$  სიდიდით.

ცვლადი სისქის კონტროლის შემთხვევაში, კერძოდ, როდესაც სისქე ცვალებადობს სიმალეზე წრფივი კანონით:  $d = d_2 + \frac{d_1 - d_2}{h} y = d_2 + k y$ , შეიძლება ვისარგებლოთ კ. ძიუბას მიერ შემოთავაზებული ამოხსნით, რომელიც მან მიიღო დრეკადობის თეორიის ბრტყელი ამოცანის დიფერენციალურ განტოლებათა საფუძველზე<sup>1</sup>.

შედარება იმ მონაცემებისა, რომლებიც მიღებულია დრეკადობის თეორიისა და ელემენტარული მეთოდებით, გვიჩვენებს, რომ ელემენტარული მეთოდი სავსებით მისაღებია წახნაგებზე მოქმედ ნორმალურ ძაბვათა გასაანგარიშებლად.

### 3. საძირკვლის ფილის მოწყობა, მისი გაანგარიშება

როგორც აღნიშნული იყო, სუსტი არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში კონტროლსების ქვეშაყობენ სპეციალურ არმატურაიან საძირკვლის ფილას, რომელიც ზრდის დატვირთვის გადაცემის ფართობს და, მასასადაამე, ამცირებს ხვედრით დატვირთვას მასზე.

საძირკვლის ფილის სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს მიახლოებით. სტატიკური თვალსაზრისით იგი მუშაობს როგორც ფირფიტა, რომელიც ზემოდან დატვირთულია საკუთარი წონით და კონტროლსების  $P$  წნევის ძალებით, ხოლო ქვემოდან ფუძის რეაქციისა და ფილტრაციული უკუწნევის ძალებით. ყველაზე საშიშია ფილის ღუნვა კაშხალის ღერძის პარალელურ ვერტიკალურ სიბრტყეში, ამიტომ მიახლოებითი ანგარიშისათვის მას კაშხალის ღერძის გასწვრივ ყოფენ 1 მ სიგანის ზოლებად. შეიძლება დავუშვათ, რომ რეაქციის ძალა თანაბრადაა განაწილებული ზოლის მთელ სიგრძეზე და ზოლი მუშაობს როგორც მრავალმალიანი უჭრი კოჭი. უფრო ზუსტი რეზულტატების მისაღებად მიზანშეწონილია საანგარიშო ზოლები განხილულ იქნეს როგორც დრეკად ფუძეზე მდებარე კოჭები და გაანგარიშდეს ბ. ჟემოჩინის ცნობილი მეთოდით. ზოლების საანგარიშო მალი განისაზღვრება კაშხალის (საძირკვლის ფილის) ვერტიკალურ (დეფორმაციულ) ნაკერებს შორის მანძილით, რომელიც იღება 20 — 40 მ-მდე; ნაკერებს, ჩვეულებრივ, აკეთებენ კონტროლსებში.

### 4. კონტროლსის ძვრაზე გაანგარიშება

ა) კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში ბრტყელი გადახურვის მქონე კაშხალების კონტროლსების ძვრაზე მდგრადობა შეიძლება შემოწმდეს იმავე მითითებებისა და ფორმულების გამოყენებით, რომლებიც ზემოთ იყო მოცემული მასიურ-კონტროლსული კაშხალებისათვის (იხ. § 9-3, პ. 6). თუ უგულებელვყოფთ კბილის ჩამაგრებას და კლდის წინააღმდეგ კონტროლსის უკან, მაშინ ძვრაზე შემოწმებისათვის შეიძლება დამატებით ვისარგებლოთ ვ. შიგლკანოვის სახეშეცვლილი ფორმულით:

$$\frac{cF}{K^I_{\alpha} Q} + \frac{2\sigma^I_{\alpha} F_1}{K^{II}_{\alpha} Q} \geq 1, \quad (9-52)$$

<sup>1</sup> К. И. Дзюба, Расчет коятрфорсов плотин на прочность, Труды Гидропроекта, сб. восьмой, М., 1963.

სადაც  $\sigma_{\alpha}$  არის საშუალო ვერტიკალური ნორმალური ძაბვა კონტრფორსის ფუძეში, კგ/სმ<sup>2</sup>, ე. ი.  $\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma'_{\alpha} + \sigma''_{\alpha}}{2}$ ;

$F_1$  — კონტრფორსის ძირის ფართობი, სმ<sup>2</sup> ( $F_1 = b d_1$ );

$F$  — კონტრფორსის ქვედა, ფუძეში ჩამაგრებული ნაწილის ზედაპირის ფართობი, სმ<sup>2</sup>,  $F = (2h + d_1)b$ , სადაც  $h$  კონტრფორსის ჩაღრმავების სიმაღლეა;

$Q$  — კონტრფორსზე გადაცემული ჰორიზონტალური ძალების ჯამი, კგ;  
 $c$  — ხვედრითი შექიდილობა ბეტონისა კლდესთან, კგ/სმ<sup>2</sup>;

$K^I_{\alpha}$  — მარაგის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 3-ის ტოლი;

$K^{II}_{\alpha}$  — მარაგის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 1,3-ის ტოლი.

$F$  ფართობის გამოთვლის დროს კლდის ზედა დაშლილი ფენის სისქე უნდა გამოირიცხოს, მაშასადამე, გათვალისწინებული უნდა იქნეს მხოლოდ მტკიცე კლდეში ჩამაგრების სიღრმე. იმ შემთხვევაში, როდესაც კლდეში კონტრფორსის ჩამაგრების საიმედოობა სათუთაა, ანდა როდესაც მას აგებენ უშუალოდ კლდოვან ფუძეზე (მცირე სისქის დაშლილი ფენის მოხსნის გათვალისწინებით), მაშინ (9-52) ფორმულაში უნდა ჩაისვას  $F = F_1$ .

ტექნიკური პროექტის შედგენის სტადიაზე  $c$  ხვედრითი შექიდილობის მნიშვნელობა აიღება სათანადო მითითებათა შესაბამისად (იხ. § 9-3, პ. 6). ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთების სტადიაზე მისთვის შეიძლება აიოროთ შემდეგი მნიშვნელობანი:  $c = 12$  კგ/სმ<sup>2</sup> — მტკიცე კლდოვანი ქანების შემთხვევაში,  $c = 8$  — საშუალო სიმტკიცის კლდოვანი ქანებისათვის და  $c = 3$  — შედარებით სუსტი კლდოვანი ქანებისათვის.

როდესაც კონტრფორსის ძირი ჰორიზონტთან დახრილია  $\alpha$  კუთხით ანდა როდესაც ფუძეში გვაქვს ჰორიზონტთან  $\alpha$  კუთხით დახრილი კბილები, მაშინ (9-52) ფორმულაში  $\sigma_{\alpha}$ -ს ნაცვლად უნდა ავიღოთ დახრილი ძირის პერპენდიკულარულად მიმართული ძაბვების საშუალო მნიშვნელობა, ხოლო  $Q$ -ს ნაცვლად შეტანილი უნდა იქნეს  $Q \cos \alpha - P \sin \alpha$  სიდიდე, სადაც  $P$  ყველა ვერტიკალური ძალის ჯამია.

წინასწარი გაანგარიშებების დროს შექიდილობის ძალების გაუთვალისწინებლად კაშხალის ძერაზე მდგრადობის კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$K_{\alpha} = \frac{2\sigma'_{\alpha} E_1}{Q \cos \alpha - P \sin \alpha} \quad (9-53)$$

ამასთანავე  $K_{\alpha}$  მინიმალური მნიშვნელობა აიღება კაშხალის სიმაღლის,  $c$ -ს მოსალოდნელი სიდიდის, კაშხალის კბილის ჩამაგრების ბასიათის, სადაწნეო გადახურვის ტიპის (კონტრფორსებთან მისი კავშირის) და სხვათა შესაბამისად. რაც უფრო მაღალია კაშხალი, მით უფრო ნაკლებ ჯავლენას ახდენს ამ ფორმულაში გაუთვალისწინებელი ფაქტორები, კერძოდ შექიდილობა, კბილის არსებობა და ა. შ., ჩვეულებრივ,  $K_{\alpha} = 0,75 - 1,0$ .

განსახილველი ტიპის კაშხალების ძერაზე გაანგარიშების დროს, როგორც წესი, კონტრფორსის ძირში ფილტრაციული წნევა მისი ძალზე სიმცირის გამო არ მიიღება მხედველობაში.

ბ) არაკლდოვანი ფუძეების დროს საძირკვლის ფილის მქონე კონტრფორსული კაშხალების ძვრაზე მდგრადობა გაიანგარიშება იმ მეთოდებით, რომლებიც გამოიყენება გრავიტაციული კაშხალებისათვის (იხ. თავ. V, § 5-7).

#### 6. კონტრფორსების ზომებისა და მათ შორის მანძილების დანიშვნა

კონტრფორსების ზომების დანიშვნის დროს ხელმძღვანელობენ კონტრფორსული კაშხალების მშენებლობის გამოცდილებით. აქედან გამომდინარე, კონტრფორსის სიგანე ძირში აიღება  $b \approx (1 - 1,5) h$  საზღვრებში, სადაც  $h$  კონტრფორსის სიმაღლეა. არაკლდოვან ფუძეზე აგებულ წყალსაშვებ კაშხალებში  $b$  სილიდე შეიძლება აღემატებოდეს  $2h$ -ს.

კონტრფორსის  $d_2$  სისქე თავში აიღება საწარმოო და საექსპლუატაციო მოსაზრებათა შესაბამისად 0,25-დან 1 მ-მდე. ძირში მისი სისქე იზრდება  $h$  სიმაღლის შესაბამისად და მიახლოებით შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული ფორმულით,  $d_1 = 0,1 h d_2$ , სადაც  $h$  აუცილებლად უნდა იქნეს გამოსახული მეტრებში.

კონტრფორსებს შორის ეკონომიური მანძილის დასადგენად საჭიროა შედარდეს სხვადასხვა  $l$  მალის მქონე კონტრფორსული კაშხალების ვარიანტები.

#### § 8-8. კონტრფორსების გრძივ ღუნვაზე (გამომბურცვაზე) მდგრადობა

ბრტყელი გადახურვის მქონე კონტრფორსული კაშხალების, აგრეთვე მრავალთალოვანი კაშხალების კონტრფორსები წარმოადგენს შედარებით თხელ ვერტიკალურ კედლებს, რომელთა პროფილი ახლოსაა სამკუთხედთან ან ტრაპეციასთან. ყველაზე უფრო ხშირად კონტრფორსის სისქე იზრდება ძირისაკენ წრფივი კანონით, ხოლო უფრო იშვიათად — საფეხურებში ანდა რჩება მუდმივი მთელ სიმაღლეზე. კონტრფორსის სისქის შეფარდება სხვა ზომებთან ისეთია, რომ კონტრფორსი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც თხელი ფილა. რადგან კონტრფორსი-ფილა ძირითადად წარმოადგენს თავის სიბრტყეში მომუშავე შეკუმშულ კონსტრუქციას, მასში შეიძლება განვითარდეს ჯრძივი ღუნვის მოვლენა (გვერდითი გამობურცვა), რომლის საშიშროება მით უფრო იზრდება, რაც უფრო თხელია კონტრფორსი და, ამასთანავე, რაც უფრო მაღალია კაშხალი.

იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ გრძივი ღუნვის მოვლენა, საჭიროა ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში კონტრფორსები, იქნება ისინი სიხისტის კოეფიციენტით (ან სიხისტის წიბობით) თუ მათ გარეშე, შევამოწმოთ გრძივ ღუნვაზე (გამომბურცვაზე) გაანგარიშების სპეციალური მეთოდით.

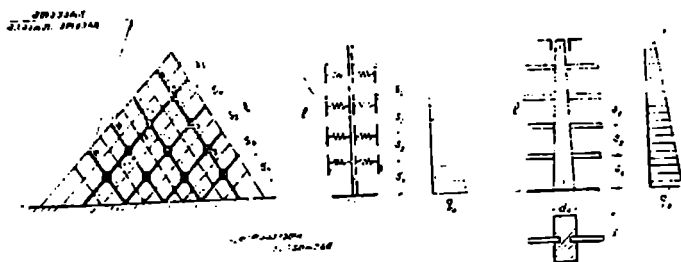
კონტრფორსის სტატიკური მდგრადობის ზოგადი ამოცანა (სიხისტის კოეფიციენტის მუშაობის ჩათვლით), მათემატიკური თვალსაზრისით, არაკორექტულ ამოცანათა რიცხვს მიეკუთვნება, რადგან მისი ზუსტი თეორიული გადაწყვეტა ჩაკეტილი სახით თითქმის შეუძლებელია. ქვემოთ ჩვენ მოგვყავს კონკრეტული მითითებანი კაშხალების კონტრფორსების გრძივ ღუნვაზე (გამომბურცვაზე)

მდგრადობის კვლევის მიახლოებითი მეთოდების შესახებ. რომლებიც წინამდებარე სახელმძღვანელოს ავტორმა დაამუშავა უკანასკნელ წლებში<sup>1</sup>.

### 1. კონტრფორსები სიხისტის კოეფიციენტით

მდგრადობაზე განაგარიშების მიზნით კაშხალის ნუდმივი ამ ცვალებადი სისქის კონტრფორსი იცვლება დისკრეტული, ურთიერთგადასწყვეთი კავშირების (ღეროების) სისტემით, რომელთაგან ერთი წარმოადგენს მთავარი მიმართულების კოეფიციენტს (ზოლებს), რომლებიც განიცდიან ტრაპეციის კანონით განაწილებული მკუთხავი დატვირთვის მოქმედებას და მიმართული არიან ქვედა წახნაგის პარალელურად. სოლო მეორე — ზედა წახნაგის პარალელურად მიმართულ გადასწყვეთ კავშირებს (ნახ. 9-32 ა). ზოგად შემთხვევაში ურთიერთგადასწყვეთი ზოლები მიმართულებანი უნდა დადგინდეს კაშხალის სიხისტის ელემენტების განლაგების შესაბამისად.

განსახილველ დისკრეტულ მეთოდში მთლიანი კონტრფორსის მდგრადობაზე განაგარიშება იცვლება მთავარი მიმართულების ზოლების მდგრადობაზე განაგარიშებით. თითოეული მთავარი მიმართულების ზოლი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც შეაღებულ დრეკად საყრდენებზე მოთავსებული ღერო, რომელსაც ბოლოებში გააჩნია სხვადასხვა სასაზღვრო პირობები (ნახ. 9-32 ბ). I, II, III და ა. შ. მთავარი მიმართულების ზოლების დრეკადი საყრდენების მოვალეობას ასრულებს 1, 2, 3 და ა. შ. გადასწყვეთი ზოლები სიხისტის კოეფიციენტთან ერთად. 9-32 ა ნახაზე კონტრფორსი დაყოფილია ოთხი მთავარი მიმართულებისა და ამდენივე რაოდენობის გადასწყვეთ ზოლებად; სხვა შემთხვევაში კონტრფორსის დაყოფის რაოდენობა შეიძლება შესაბამისად. საერთოდ მიზანშეწონილია გადასწყვეთი ზოლების რაოდენობა დაინიშნოს I მთავარი მიმართულებას ზოლში სიხისტის კოეფიციენტის რიცხვის რაოდენობის ტოლი. ასევე მიზანშეწონილია მთავარი მიმართულების ზოლების რაოდენობა აღებულ იქნეს გადასწყვეთი მიმართულების ზოლების რაოდენობის ტოლი (თუმცა ეს აუცილებელი არ არის).



ნახ. 9—32. კონტრფორსის გრძელ ღეროებზე (გამობურცვაზე) მდგრადობის განაგარიშების დისკრეტული სქემა.

კონტრფორსის შემცველი დისკრეტული სისტემის (ნახ. 9-32 ა) ელემენტების ურთიერთშემაჯობის (მოქმედების) შესასწავლად და მის საფუძველზე

<sup>1</sup> Н. С. Моцеллидзе, Устойчивость и сейсмостойкость контрфорсных плотин, II:1. «Энергия», М., 1971.

თითოეულა მთავარი მიმართულების ზოლის (ნახ. 9-32 ბ) დრეკადი საყრდენებისათვის სიხისტის (დამყოლობის) რეზულტატური კოეფიციენტების მნიშვნელობათა დააადგენად უნდა ვისარგებლოთ სათანადო მეთოდით, რომელიც დეტალურადაა დაწესებული ავტორის ზემოაღნიშნულ მონოგრაფიაში.

მდგრადობის განსახილველი დისკრეტიზებული სივრცული ამოცანის ერთგანზომილებიან, ევრეთწოდებულ „ეკვივალენტური კონტრორისის“, მდგრადობის ამოცანაზე დაყვანის შემდეგ ამ უკანასკნელის მდგრადობის კვლევა წარმოებს მატრიცული მეთოდით.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ უმრავლეს შემთხვევებში მდგრადობის მხრივ ტულ პირობებში იმყოფება განაპირა, ყველაზე გრძელი, მთავარი მიმართულების ზოლი (I ზოლი, ნახ. 9-32 ა), საესებით ბუნებრივი იქნება იგი მივიღოთ საანგარიშო ზოლად („ეკვივალენტურ კონტრორისად“) და შუალედური დრეკადი საყრდენების სიხისტის რეზულტატური კოეფიციენტები დავადგინოთ სწორედ ამ ზოლისათვის (თავისთავად ცხადია, იმ შემთხვევაში, როდესაც კონტრორისი ქვედა წახნაგთან გასქელებულია, საანგარიშოდ უნდა ავირჩიოთ ერთ-ერთი მეზობელი მთავარი მიმართულების ზოლი).

მას შემდეგ, რაც „ეკვივალენტური კონტრორისის“ გრძივ ღუნვაზე მდგრადობის გამოკვლევა მატრიცულ ფორმაში უკვე ჩატარებულია, რაც, ცხადია, მოითხოვს საკმაოდ ვრცელი გამოთვლითი ოპერაციების ჩატარებას ამა თუ იმ ციფრობრივი გამოთვლელი მანქანის გამოყენებით, ტრაპეციის კანონით განაწილებული მკუმშავი დატვირთვის (ნახ. 9,32 ბ და გ) საძიებელი მინიმალური კრიტიკული მნიშვნელობა მიიღება შემდეგი სახით:

$$Q_{კრ} = (q_{კრ})_{კრ} = K \frac{E I_{კრ}}{l^3}, \quad (9-54)$$

სადაც  $K$  არის გამოთვლების შედეგად მიღებული კონტრორისის მდგრადობის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა;

$E$  — კონტრორისის მასალის დრეკადობის მოდული;

$I_{კრ}$  — ეკვივალენტური კონტრორისის (I მთავარი მიმართულების ზოლის) საშუალო სისქის შესაბამისი კვეთის ინერციის მომენტი მისი სიმძიმის ცენტრზე ნაკადის დინების მიმართულებით გამავალი ღერძის მიმართ;

$l$  — ეკვივალენტური კონტრორისის სიმაღლე.

კონტრორისის გრძივ ღუნვაზე (გამობურცვაზე) მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი გამოითვლება ფარდობით

$$\rho = \frac{Q_{კრ}}{Q}, \quad (9-55)$$

სადაც  $Q_{კრ}$  არის (9-54) ფორმულით მიღებული კონტრორისის კრიტიკული დატვირთვის მნიშვნელობა;

$Q$  — ეკვივალენტურ კონტრორისზე მოქმედი განაწილებული მკუმშავი დატვირთვის რეალური მნიშვნელობა ( $Q_{კრ} = q_{კრ} l$ ;  $q_{კრ} = 0,5 (q_n + q_n)$ , რომელიც სიდიდით ეტოლება ამ დატვირთვის ეპიურის ფართობს (ნახ. 9-32 ბ). ეპიურის აგება წარმოებს წინასწარ, კონტრორისის



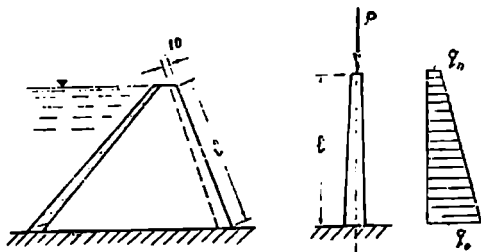
ქვედა წახნაგის პარალელურად მოქმედ ნორმალურ ძაბვათა რიცხოვრით მნიშვნელობათა მიხედვით.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ კონტრფორსების აგებისა და სადაწნო გადახურვის მოწყობის სამუშაოთა წარმოების პროცესში ყოველთვისაა მოსალოდნელი ერთგვარი უზუსტობა (ეგრეთ წოდებული საწყისი ექსცენტრისიტეტები). მაშინ საიმედოობის უზრუნველსაყოფად კონტრფორსის გრძივ ღუნვაზე მდგრადობის  $\mu$  მარაგის კოეფიციენტი სასურველია მოთავსდეს  $\mu=2-2,5$  შეაღწევი.

## 2. კონტრფორსები სიხისტის კოეფიციენტის გარეშე

ადვილად შეიძლება დაერწმუნდეთ, რომ კაშხალების კონტრფორსების გრძივ ღუნვაზე მდგრადობის გაანგარიშების ზემოთ აღწერილი ზოგადი დისკრეტული მეთოდი შეიძლება პირდაპირ იქნეს გამოყენებული კონტრფორსებისათვის, რომელთაც არ გააჩნიათ სიხისტის კოეფიციენტი, რადგან განსახილველ შემთხვევაში „ეკვივალენტური კონტრფორსი“ წარმოდგენილია I მთავარი მიმართულების ზოლით (ნახ. 9-32 ბ), რომლის შეაღწეული დრეკადი საყრდენების მოვალეობას ამჭერად აარულებს მხოლოდ გადაშეკეთი მიმართულების ზოლები სიხისტის კოეფიციენტის გარეშე. განსხვავება მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ მნიშვნელოვნად მარტივდება გამოთვლები, რომელიც რეზულტატური სიხისტის კოეფიციენტების განსაზღვრასთანაა დაკავშირებული.

კრიტიკული დატვირთვის საანგარიშო მიხედვით ფორმულაში გრძივ ღუნვაზე მდგრადობა ისეთი კაშხალების კონტრფორსებისა, რომელთაც არ გააჩნიათ სიხისტის კოეფიციენტი, შეიძლება შემოწმდეს მდგრადობის მალული მარაგის შენარჩუნებით კონტრფორსის ქვედა წახნაგთან ამოკრილი 1,0 მ სიგანის შეკუმშული ზოლის მდგრადობის განხილვით (ნახ. 9-33 ა, ბ).



ნახ. 9-33. კონტრფორსის მდგრადობაზე გაანგარიშების გამარტივებული სქემა.

აღნიშნული სქემატიზებული ამოცანის მატრიცული მეთოდით ამოხსნის შედეგად კრიტიკული შეკუმშული ძალის განსაზღვრელად ავტორის მიერ მიღებულია ფორმულა

$$P_{კ} = 2,46 \frac{EI}{l^2} - (0,257 q_n + 0,074 q_0) l, \quad (9-56)$$

რომელიც პრაქტიკული თვალსაზრისით ძალიან საყურადღებოა, რადგან იგი შეიცავს განაწილებული მკუმშავი დატვირთვის მოქმედების ყველა შესაძლო კერძო შემთხვევას. მაგალითად, როდესაც  $q_0 = q_n = q$ , ე. ი. თანაბრად განაწილებული და შეყურსული მკუმშავი დატვირთვის ერთდროული მოქმედების დროს (9-56) ფორმულა ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$P_{კ} = 2,46 \frac{EI}{l^2} - \frac{ql}{3}. \quad (9-57)$$

როდესაც გამოყოფილ საანგარიშო ზოლზე მოქმედებს მხოლოდ სამკუთხეული კანონით განაწილებული მკუმშავი დატვირთვა ( $q_n = 0$  და  $P = 0$ ), მაშინ (9-56) ფორმულიდან ვღებულობთ:

$$\left(\frac{ql}{2}\right)_{კ} = 16,6 \frac{EI}{l^2}. \quad (9-58)$$

გაჩივი ღუნვის კლასიკური თეორიის საფუძველზე ეს კერძო ამოცანა ამოხსნილი აქვს ა. დინიკს<sup>1</sup>. მან მდგრადობის კოეფიციენტისათვის მიიღო 16,1 მნიშვნელობა. მაშასადამე, შედეგებს შორის განსხვავება 3% -ს არ აღემატება.

რამდენადაც კაშხალების მთლიან კონტრფორსებში სიმაღლეზე განაწილებულ მკუმშავ დატვირთვის უჭირავს დომინირებული მდგომარეობა, მიზანშეწონილია (9-56) ფორმულას მიეცეთ სხვა სახე. ამისათვის მასში  $P_{კ}$  შევცვალოთ მოცემული  $P$  შეყურსული ძალით და გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$q_{სა} (0,259 \alpha + 0,074 \beta) = 2,46 \frac{EI}{l^2} - P,$$

სადაც მიღებულია აღნიშვნები:

$$q_{სა} = 0,5 (q_0 + q_n); \quad \alpha = -\frac{q_n}{q_{სა}}; \quad \beta = \frac{q_0}{q_{სა}}. \quad (9-59)$$

ტოლობის მარჯვენა მხარეში მოთავსებული  $2,46 \frac{EI}{l^2}$  გამოსახულება წარმოადგენს  $P_2$  ეილერის კრიტიკულ ძალას, ანუ კრიტიკულ ძალას იმავე ღეროსათვის, როდესაც განაწილებული დატვირთვა არ მოქმედებს. მარტივი გარდაქმნების შემდეგ აღნიშნული ტოლობიდან მივიღებთ:

$$(q_{სა} l)_{კ} = \frac{2,46(1-\mu)}{0,259\alpha + 0,074\beta} \cdot \frac{EI}{l^2}, \quad (9-60)$$

სადაც

$$\mu = \frac{P}{P_2}.$$

ამგვარად, მუდმივი სისქის კონტრფორსისათვის, რომელსაც არა აქვს სიხისტის კოქები, მდგრადობის წინასწარი შეფასების დროს შეგვიძლია გვერდი ავუაროთ უფრო ზოგადი მატრიცული მეთოდის გამოყენებას და ვისარგებლოთ პრაქტიკულად მოხერხებულ (9-60) მიახლოებითი ფორმულით.

<sup>1</sup> А. Н. Дини́к, Продольный изгиб, ОНТИ, 1939.

კონტრფორსები სიხისტის წიბოებით. თუ გამოხატვაზე მდგრადობის გაზრდის მიზნით კონტრფორსებში გათვალისწინებული გვერდითი სიხისტის წიბოები, მაშინ დეტალური გვეგარების დროს მისი შემოწმება გრძივ ღუნვაზე უნდა ჩატარდეს ზემოთ აღწერილი ზოგადი დისკრეტული მეთოდით, როგორც ეს წარმოებს კონტრფორსებისათვის, რომელთაც არ გააჩნიათ სიხისტის კოჭები (იხ. პ. 1 და 2).

მიახლოებითი გაანგარიშების ჩასატარებლად, ცხადია, შეგვიძლია დავემაყოფილოდეთ კონტრფორსის ქვედა წახნაგთან ყველაზე გრძელი საანგარიშო ზოლის გამოყოფით და მისი მდგრადობის განხილვით (ნახ. 9-34). მუდმივი სისქის კონტრფორსის შემთხვევაში გამოყოფილი ზოლის კრიტიკული დატვირთვის მნიშვნელობა შეგვიძლია განვსაზღვროთ (9-60) ფორმულის გამოყენებით, რომელშიც ინერციის მომენტს ექნება მნიშვნელობა:

$$I = I_0 [1 + 2mn(3 + 6n + 4n^2)], \quad (9-61)$$

სადაც მიღებულია აღნიშვნები:

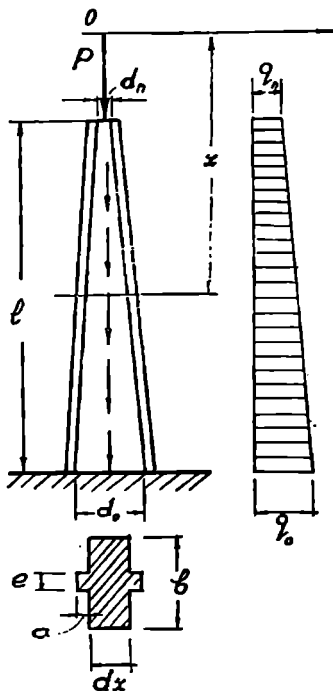
$$m = \frac{e}{b}; \quad n = \frac{a}{d}; \quad I_0 = \frac{bd^3}{12}.$$

აქ  $e$  და  $a$  სიხისტის წიბოს განიკვეთის ზომებია (ნახ. 9-34);

$b$  და  $d$  — კონტრფორსის საანგარიშო ზოლის განიკვეთის ზომები.

(9-60) და (9-61) ფორმულებით შეგვიძლია ვისარგებლოთ აგრეთვე სიხისტის წიბოების მქონე წრფივი კანონით ცვალებადი სისქის კონტრფორსების მდგრადობის წინასწარი შეფასების დროს. რისთვისაც,  $I_0$ -ის ნაცვლად (9-61) ფორმულაში ჩაისმება შუა კვეთის ინერციის მომენტი  $I_{სა}$ .

როდესაც კონტრფორსის საანგარიშო ზოლის სისქე და სიხისტის წიბოების სიმაღლე იცვლება წრფივი კანონით ისე, რომ მათი კონტრფორსის ბაზები იკვეთება ერთ წერტილში ( $O$  კოორდინატთა სათავეში), მაშინ მისი განიკვეთის ინერციის მომენტის ცვალებადობის კანონი შეიძლება განვიცხადოთ განტოლებით



ნახ. 9-34. სიხისტის წიბოების მქონე კონტრფორსის ელემენტის (ზოლის) გრძივ ღუნვაზე საანგარიშო სქემა.

$$I_x = \frac{8I_{სა}}{(h+1)^3} [1 + 2mn(3 + 6n + 4n^2)] \left(\frac{x}{h}\right)^3. \quad (9-62)$$

თუ სიხისტის წიბოების განიევკეთის ფართობი მუდმივია სიმაღლეზე, ხოლო კონტრფორსის ზოლის სისქე ცვალებადობს იგივე წრფივი კანონით (ნახ. 9-34). მაშინ:

$$I_x = \frac{8I_{x0}}{(\theta+1)^3} \left[ \left( \frac{x}{h} \right)^3 + 6mn \left( \frac{x}{h} \right)^2 + 12mn^2 \left( \frac{x}{h} \right) + 8mn^3 \right], \quad (9-63)$$

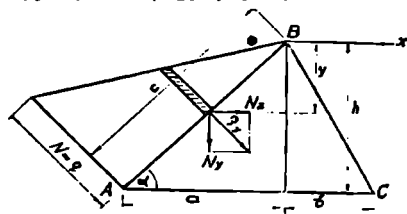
სადაც  $I_{x0}$  არის კონტრფორსის ზოლის განიევკეთის ინერციის მომენტი საშუალო სისქის ადგილში; გარდა ამისა,

$$m = \frac{e}{b}; \quad n = \frac{a_n}{d_n}; \quad h = \frac{l}{\theta-1}; \quad \theta = \frac{d_0}{d_n}.$$

უფრო ზუსტი შედეგების მისაღებად, ცვალებადი სისქის ან ცვალებადი სიხისტი და სიხისტის წიბოების მქონე კონტრფორსის საანგარიშო ზოლის ინტეგრაციის გასაანგარიშებლად მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ამოცანის ამოხსნის მატრიცული ფორმა.

### 8. კონტრფორსის მდგრადობის (გამობურცვის) ამოცანის გამოკვლევა ფილის დიფერენციალური განტოლების გამოყენებით

კონტრფორსის, როგორც ცვალებადი სისქის არასიმეტრიული სამკუთხოვანი ფილის, მდგრადობის ამოცანის გამოკვლევა მათემატიკური ხასიათის დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული. მისი ამოხსნა ჩვეულებრივი პირობებისათვის. როდესაც კაშხალში არ არის გათვალისწინებული სიხისტის ელემენტები (კოქები, წიბოები), მოხერხდა მხოლოდ ამ უკანასკნელ ხანს ფილის მდგრადობის დიფერენციალური განტოლების გამოყენებით<sup>1</sup>.



ნახ. 9-35. კონტრფორსი-ფილის მდგრადობაზე (გამობურცვაზე) საანგარიშო სქემა.

საანგარიშო სქემიდან გამომდინარე (ნახ. 9-35), მეზობელი ნახევარმალებიდან და უშუალოდ სადაწნეო წახნაგიდან კონტრფორსზე გადაცემული ჰიდროსტატიკური წნევა იშლება კოორდინატთა ღერძების მიმართულებით მოქმედ ნორმალურ ძალებად:

$$N_x = q_y \sin \alpha = q_y \frac{h}{c};$$

$$N_y = q_y \cos \alpha = q_y \frac{a}{c},$$

სადაც  $q_y$  არის კონტრფორსის სადაწნეო წახნაგზე მოქმედი ჰიდროსტატიკური წნევის ინტენსიურობა, რომელიც იცვლება წრფივი კანონით.

$$q_y = N \frac{y}{h}.$$

<sup>1</sup> Н. С. Мочонелйдзе, З. Ш. Геденйдзе, Решение задачи устойчивости контрфорса плотной постоянной толщины с использованием дифференциального уравнения устойчивости пластины, Труды ГПИ № 8 (156), юбилейный сборник, посвященный 50-летию ГПИ, Тбилиси, 1972.

აქ  $y$  მოცემული წერტილის ჩაძირვის სიღრმეა წყლის დონის ქვეშ:

$h$  — კონტრფორსის სიმაღლე;

$N$  — ჰიდროსტატიკური წნევის ინტენსიურობა კონტრფორსის ძირში,

$N = \gamma h l$ . სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა. ხოლო  $l$  — კონტრფორსების ღერძებს შორის მანძილი.

გარდა ამისა,  $N_{xy} = 0$ , რადგან სადაწნეო წახნაზე მზებო ძალები არ არის.

თუ სიმპირის გამო უგულებელვყოფთ მოცულობითი ძალის (საკუთარი წონის) გავლენას, მაშინ თხელი ფილის მდგრადობის ცნობილი დიფერენციალური განტოლება<sup>1</sup> კონტრფორსისათვის (ნახ. 9-35) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$D \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = -N \left( \frac{y}{c} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{ay}{ch} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (9-64)$$

რაკი კონტრფორსი-ფილის მდგრადობის (9-64) დიფერენციალური განტოლება უკვე ცნობილია, ამოცანის მიახლოებით გადაწყვეტისათვის გამოყენებულ იქნა ბ. გალიორკინის ვარიაციული მეთოდი. ამასთან მაპროქსიმებული (საკოორდინატო) ფუნქციები შერჩეულ იქნა კონტრფორსი-ფილის კონტურის ხაზების განტოლებათა მიხედვით და მდგრადობის ამოცანის სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით.

ქვევით ჩვენ მოგვყავს კონტრფორსი-ფილის მდგრადობის ამოცანის ამონახსნებო სხვადასხვა სასაზღვრო პირობებისათვის: ეს პირობები თითქმის მთლიანად მოიცავს ყველა ტიპის კონტრფორსული კაშხალის კონტრფორსებს.

1. კონტრფორსი-ფილისათვის, რომლის ფუძე ხისტადაა ჩამაგრებული, სადაწნეო წახნაგი სახსრულად დაყრდნობილი. ხოლო ქვედა წახნაგი თავისუფალია, კრიტიკული ჰიდროსტატიკური წნევა გაიანგარიშება შემდეგი ზოგადი ფორმულით:

$$P_{კრ} = \frac{N_{xy} \cdot c}{2} \cdot \psi_{კრ} = \frac{Dc^2}{2hb^2 \left( 1 + \frac{a}{b} \right)^2} \quad (9-65)$$

სადაც  $\psi_{კრ}$  არის კონტრფორსი-ფილის მინიმალური მდგრადობის კოეფიციენტი გამობურცვაზე, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობანი ფილის

ზომების სხვადასხვა  $\frac{a}{h}$  და  $\frac{b}{h}$  ფარდობებისათვის მიღებულია

$M = 220$  ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანის მეშვეობით; აღნიშნული კოეფიციენტის განსაზღვრის გაადვილების მიზნით შეგვიძლია ვისარგებლოთ 9-36 ან ნახაზზე მოცემული გრაფიკებით:

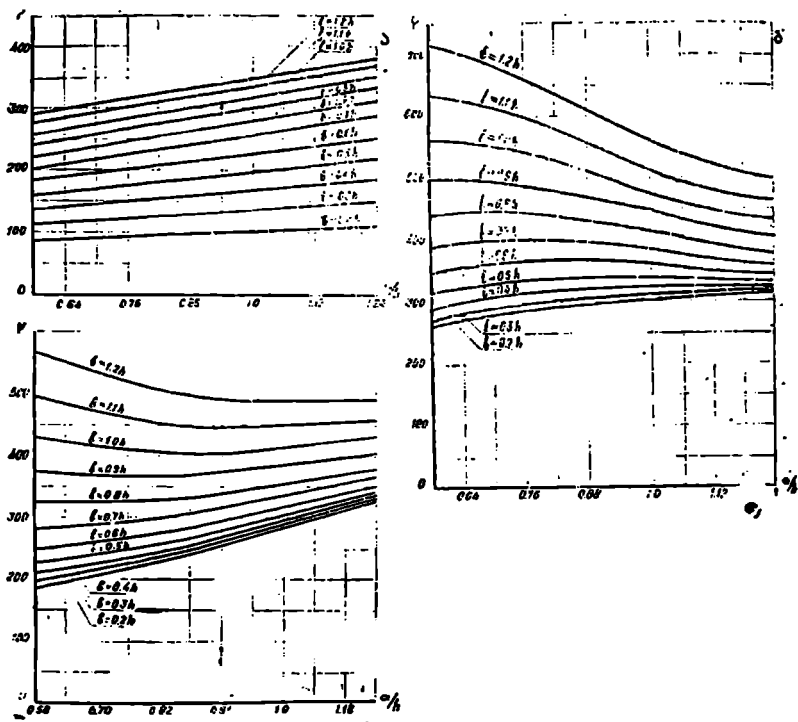
$D$  — კონტრფორსი-ფილის სიხისტე ღუნვაზე (ცილინდრული სიხისტე).

$$D = \frac{Ed^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (9-66)$$

აქ  $E$  და  $\mu$ , შესაბამისად, კონტრფორსი-ფილის მასალის (ბეტონის) დრეჯადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტია;

$d$  — კონტრფორსი-ფილის სისქე.

<sup>1</sup> С. П. Тимошенко. Устойчивость упругих систем, ГИИТ, Т. М., 1955.



ნახ. 9-36. კონტრფორსი-ფილის ზომით მდგრადობის კოეფიციენტის საანგარიშო გრაფიკები: ა-შემთხვევა, როდესაც ფუძე ხისტადაა ჩამაგრებული, სადაწნეო წახნაგი სახსრულად დაურღვეობილი, ხოლო ქვედა წახნაგი არის თავისუფალი; ბ-ფუძე ხისტადაა ჩამაგრებული, ხოლო ზედა და ქვედა წახნაგები სახსრულად დაურღვეობილი; გ-კონტრფორსი-ფილა ხისტადაა ჩამაგრებული მთელი კონტურით.

განხილული სასაზღვრო პირობებით ხასიათდება პირველ რიგში კონტრფორსული კაშხალები ბრტყელად გადახურვით (გაქრილი ფილებით). ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში სხვა კაშხალებიც — მრავალთალოვანი, ცალფა კონტრფორსებიანი მასიურ-კონტრფორსული და სხვ. (ნახ. 9-1). რადგან ამ სასაზღვრო პირობებს აქვს განზოგადებული ხასიათი, ისინი შეიძლება მიზნულ იქნენ კონტრფორსი-ფილის ძირითად სასაზღვრო პირობებად.

9-36 ბ და გ ნახაზებზე წარმოდგენილი გრაფიკები შედგენილია იმ მონაცემების საფუძველზე, რომლებიც მიღებულია კონტრფორსი-ფილის სხვა სასაზღვრო პირობებისათვის. ა კერძოდ ფუძეში ხისტად ჩამაგრებული და ზედა და ქვედა წახნაგებით სახსრულად დაურღვეობილი (ნახ. 9-36 ბ) და მთელი კონტურით ხისტად ჩამაგრებული კონტრფორსი-ფილისათვის (ნახ.

9-36 გ). ორივე ამ შემთხვევაშიც, ცხადია,  $P_{\text{კ}}$  კრიტიკული ჰიდროსტატიკური წნევა განისაზღვრება ზემოთ მოცემული (9-65) ზოგადი ფორმულის გამოყენებით. მხოლოდ ამისათვის საჭიროა წინასწარ განისაზღვროს მასში შემავალი  $\Psi_{\text{თ}}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა შესაბამისი გრაფიკიდან.

ძნელი არ არის დავრწმუნდეთ, რომ (9-65) ფორმულის საშუალებით შეიძლება ადვილად განესაზღვროთ გამობურცვაზე მდგრადობის თვალსაზრისით კონტრფორსების ღერძებს შორის ( $L_{\text{კ}}$ ) კრიტიკული მანძილი (შალი) მოცემული  $h$  და  $d$  დროს ანდა კონტრფორსი-ფილის ( $d_{\text{კ}}$ ) კრიტიკული სისქე მოცემული  $h$  და  $l$  დროს.

რაც შეეხება ცვალებადი სისქის კონტრფორსი-ფილის მდგრადობის ამოცანას, მისი გადაწყვეტა კიდევ უფრო დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული. დღეისათვის მიღებულია ამონახსნი კონტრფორსისათვის, რომლის სისქე თავში ნულის ტოლია, ხოლო ფუძისაკენ იზრდება წრფივი კანონით.

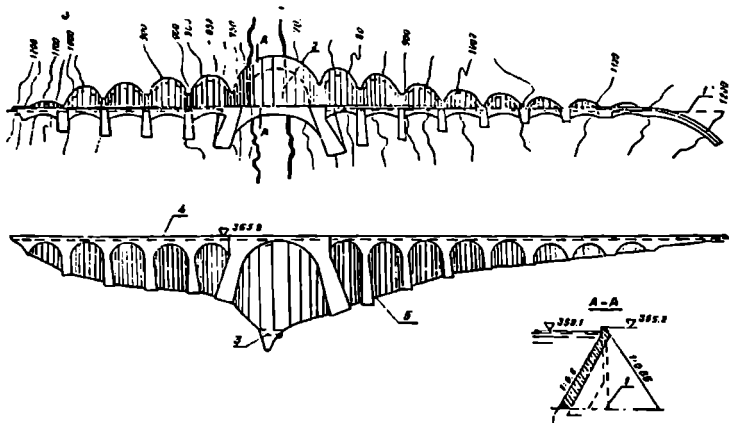
### § 9-7. მრავალთაღოვანი და მრავალჯამათოვანი კაშხალები, მათი კონსტრუქციები და გაანგარიშების საფუძვლები

#### 1. ზოგადი ცნობები

მრავალთაღოვანი ანუ თაღოვან-კონტრფორსული კაშხალები წარმოადგენს ფრიალ ეკონომიურ და ექსპლუატაციაში საიმედო ნაგებობებს, მაგრამ განხორციელებისათვის მოითხოვს განსაკუთრებით კარგ კლდოვან ფუძეებს. ამ ტიპის კაშხალებში კონტრფორსებს შორის მანძილები აიღება გაცილებით უფრო დიდი, ვიდრე ბრტყელი გადახურვის მქონე კაშხალებში. რაც ხელსაყრელია ერთის მხრივ, იმ თვალსაზრისით, რომ მნიშვნელოვნად მცირდება კლდის საშუალოთა მოცულობა, ხოლო, მეორე მხრივ, იქმნება შესაძლებლობა კონტრფორსებს შორის სივრცე გამოყენებულ იქნეს ჰიდროელექტროსადგურის აგრეგატების მოსათავსებლად. ჩვეულებრივ ეს შალები აიღება 18 — 25. ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში 50 — 60 მ-მდე და უფრო მეტიც. მრავალთაღოვანი კაშხალი მანიკუაგან — 5 (ნახ. 9-37), რომლის 13 თაღოვანი შალიდან თითოეულის ზომა შეადგენს 76.2 მ, ხოლო ცთვარი (კალაპოტის) თაღის შალის ზომაა 151.5 მ. მრავალთაღოვან კაშხალებს შორის ამ კაშხალს აქვს რეკორდული სიმაღლე.

კონტრფორსებს შორის ეკონომიურად ხელსაყრელი მანძილის არჩევა წარმოებს სხვადასხვა  $l$  შალის მქონე მრავალთაღოვანი კაშხალების ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიური შედარების საფუძველზე.

ნაგებობის საერთო მდგრადობის გაზრდის მიზნით მრავალთაღოვანი კაშხალების სადაწნეო გადახურვა კეთდება დახრილი თაღებით (ნახ. 9-1 გ და 9-37). კაშხალები ვერტიკალური თაღებით მხოლოდ რამდენიმე განხორციელებულია: მათი მშენებლობის გამოცდილება სადავოს ხდის მათსავე ეკონომიურ მიზანშეწონილობას, რადგან ისინი საჭიროებენ მნიშვნელოვნად უფრო მაკსიმალურ კონტრფორსებს. მაგრამ აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ ვერტიკალური თაღების გამოყენება შეიძლება გახდეს სავსებით მიზანშეწონილი, თუ ვისარგებლებთ ფუძეში კონტრფორსების ჩაანკერების მეთოდით.



ნახ. 9—37. მრავალთალოვანი კაშხალი მანიკუჯანი—5 (ჯანადა):  
 ა—გეგმა. ბ—ხედი ქვედა ბიეფიდან: 1—კაშხალის ღერძი; 2—მთავარი თალი; 3—მდინარის უსკერი; 4—კაშხალის თხემი; 5—კლდის ზედაპირი.

დაბრილღერძიანი თალები იმით განსხვავდება ვერტიკალურისაგან, რომ მათზე დამატებით მოქმედებს: წყლის არათანაბარი წნევა, რომელიც გამოწვეულია წყლის დონის ქვეშ თალის კლიტისა და ქუსლების კვეთების სხვადასხვა ჩაღრმავებით, და თალის საკუთარი წონის მდგენელი, რომელიც მომართულია მისი ღერძის მართობულად. ამასთან საჭიროა აღინიშნოს, რომ მრავალთალოვან კაშხალებში ცალკეული თალების თეორიული მალები მუდმივია და ტოლია კონტრფორსების ღერძებს შორის მანძილისა, მაშასადამე, ამ კაშხალებში საქმე გვაქვს პრაქტიკულად მუდმივრადიუსიან და მუდმივცენტრალურკუთხიან თალებთან, რომლებიც შეიძლება აღებულ იქნეს მათი ოპტიმალური მნიშვნელობით.

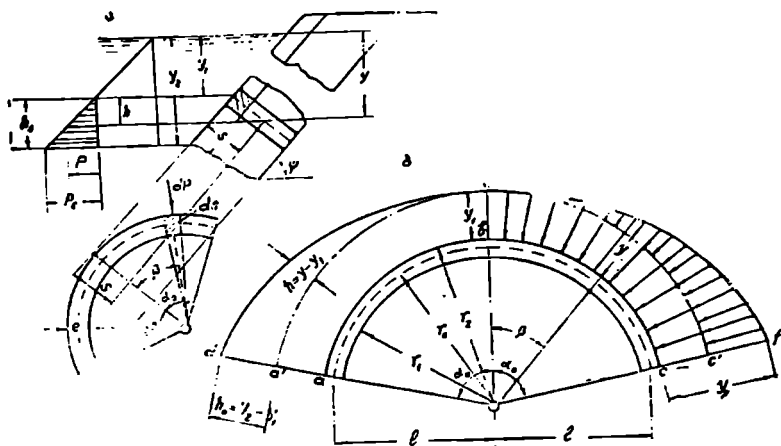
მრავალთალოვან კაშხალებში, როგორც წესი, გამოიყენება წრიული თალები, რომელთა გაანგარიშებას წყლის თანაბარ წნევასა და ტემპერატურულ რყევებზე აწარმოებენ თალოვანი კაშხალების გაანგარიშების ანალოგიურად (იხ. § 8-5). ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ მათ გაანგარიშებას წყლის არათანაბარ წნევასა და საკუთარი წონის მდგენელზე.

## 2. თალების წყლის არათანაბარ წნევაზე გაანგარიშება

მრავალთალოვანი კაშხალების სადაწნეო გადახურვის გაანგარიშებისათვის კაშხალის სიმაღლის ყოველ 10 — 15 მ-ში დაბრილი თალოვანი ზედაპირიდან მისი ღერძის ნორმალური სიბრტყეებით ამოიჭრება 1 გრძ. მ სიგანის თალოვანი რგოლები, რომელთაც განვიხილავენ როგორც დამოუკიდებლად მოქმედავ თალებს. თითოეული თალოვანი რგოლის გაანგარიშება წარმოებს ქვემოთ მოცემული ერთიანი მეთოდოლოგიით.

აღნიშნოთ წყლის სიღრმე ზედა ბიეფის დონიდან ნებისმიერი თალოვანი რგოლის შუა კვეთამდე  $y_1$ -ით — კლიტეში,  $y_2$ -ით ქუსლებში, ხოლო  $y$ -ით — იმ





ნახ. 9—38. სადაწნეო გადახურვიდან საანგარიშო თაღოვანი რგოლის გამოყოფის სქემა: ა—სასანგარიშო თაღის გამოყოფა; ბ—თაღზე მოქმედი წყლის წნევის ეპიურა.

წერტილის თავზე, რომლის მდებარეობა განისაზღვრება სიმეტრიის ღერძის მიმართ  $\beta$  კუთხით დახრილი რადიუსით. მაშინ თაღზე მოქმედი წყლის წნევა შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს  $ade'f'c'ba$  მრუდწირული ეპიურით (ნახ. 9—38). აღნიშნულ ეპიურაზე შეიძლება გამოვეყოთ  $aa'e'c'c'ba$  ნაწილი, რომელიც წარმოადგენს წყლის თანაბარ წნევას  $\gamma y_1$  ინტენსიურობით, და  $a'def'c'e$  ნაწილი— წყლის არათანაბარი წნევა, რომლის ინტენსიურობა ცვალებადობს  $\gamma(h_0 = \gamma(y_2 - y_1))$ -დან (ქუსლებთან) ნულამდე (კლიტეში).

განესაზღვროთ თაღის რომელიმე  $\alpha$  კუთხით დახრილ რადიალურ კვეთში წყლის არათანაბარი წნევით გამოწვეული  $N_0$  ნორმალური ძალა და  $M_0$  მღუნავი მომენტი სტატიკურად რკვევად სისტემაში (ნახ. 9—39).

წყლის წნევა  $\beta$  კუთხით დახრილ რადიალურ კვეთში ტოლია

$$p = \gamma h,$$

სადაც  $h = S \cos \psi = (r_2 - r_2 \cos \beta) \cos \psi = r_2 (1 - \cos \beta) \cos \psi$ .

მაშასადამე,  $p = \gamma r_2 (1 - \cos \beta) \cos \psi$  ანდა თუ მასში  $\gamma \cos \psi$  შევკლით  $\gamma'$ . მაშინ

$$p = \gamma' r_2 (1 - \cos \beta). \quad (9-67)$$

$ds$  ფართობზე მოქმედი ძალვა

$$pds = \gamma' r_2^2 (1 - \cos \beta) d\beta. \quad (9-68)$$

ამ ძალვის პროექცია განსახილველი  $A-A$  კვეთის ნორმალზე (ნახ. 9—39):

$$pds \sin(\alpha - \beta) = \gamma' r_2^2 (1 - \cos \beta) \sin(\alpha - \beta) d\beta.$$

თაღის  $A-A$  კვეთში მოქმედი სრული ნორმალური ძალა  $OA$  ნაწილზე მოქმედი წყლის არათანაბარი წნევისაგან იქნება:

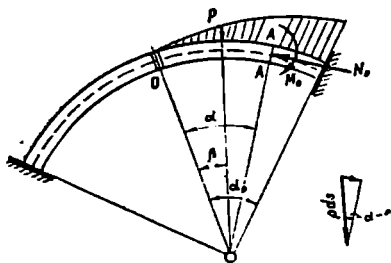
$$N_0 = \int_0^\alpha \gamma' r_2^2 (1 - \cos \beta) \sin(\alpha - \beta) d\beta = \gamma' r_2^2 \left( 1 - \cos \alpha - \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha \right). \quad (9-69)$$

ელემენტარულ  $ds$  ფართობზე მოქმედი არათანაბარი ჰიდროსტატიკური წნევის მომენტი  $A = A$  კვეთის ცენტრის მიმართ:

$$dM_0 = -p ds r_0 \sin(\alpha - \beta) = -\gamma' r_0^2 (1 - \cos \beta) \sin(\alpha - \beta) d\beta,$$

ხოლო მთელ  $OA$  უბანზე მოქმედი დატვირთვისათვის კი გვექნება გამოსახულება:

$$\begin{aligned} M_0 &= -\gamma' r_0^2 \int_0^{\alpha_0} (1 - \cos \beta) \sin(\alpha - \beta) d\beta = \\ &= -\gamma' r_0^2 \left( 1 - \cos \alpha - \frac{1}{2} \alpha \sin \alpha \right) = -N_0 r_0. \end{aligned} \quad (9-70)$$



ნახ. 9-39. წყლის არათანაბარ წნევაზე თალის გაანგარიშების სქემა.

ლებში შეტანისა და სათანადო მოქმედებათა ჩატარების შემდეგ საბოლოოდ ვღებულობთ:

$$M = -\frac{\int_0^{\alpha_0} M_0 ds}{\sin \alpha_0} = \gamma' r_0^2 l \left( 1 + \frac{1}{2} \cos \alpha_0 - \frac{3 \sin \alpha_0}{2 \alpha_0} \right) = \gamma' r_0^2 l K_3, \quad (9-71)$$

სადაც

$$K_3 = 1 + \frac{1}{2} \cos \alpha_0 - \frac{3 \sin \alpha_0}{2 \alpha_0} \quad (9-72)$$

და

$$H = -\frac{\frac{F}{l} \int_0^{\alpha_0} M_0 y ds + \int_0^{\alpha_0} N_0 \cos \alpha ds}{\left( \frac{12K_1}{v^2 \sin^3 \alpha_0} + \frac{K_2}{\sin \alpha_0} \right) l} = \frac{\frac{12}{v^2} \cdot \frac{K_4}{\sin^2 \alpha_0} - K_5}{\frac{12}{v^2} \cdot \frac{K_1}{\sin^2 \alpha_0} + K_2} \gamma' r_0^2. \quad (9-73)$$

ამ გამოსახულებაში

$$K_4 = \frac{9}{8} \sin 2\alpha_0 + \alpha_0 - 3 \frac{\sin^2 \alpha_0}{\alpha_0} - \frac{1}{4} \alpha_0 \cos 2\alpha_0; \quad (9-74)$$

$$K_5 = 2 \sin \alpha_0 - \frac{5}{8} \sin 2\alpha_0 - \alpha_0 + \frac{1}{4} \alpha_0 \cos 2\alpha_0. \quad (9-75)$$

საანგარიშო  $M_x$  მომენტი და  $N_x$  ნორმალური ძალა ნებისმიერი  $A - A$  კვეთში, ცხადია, ტოლი იქნება:

$$M_x = M_0 + M + H \cdot y; \quad (9-76)$$

$$N_x = N_0 + H \cdot \cos \alpha. \quad (9-77)$$

ჩვენავე მომენტი და ნორმალური ძალა თალის კლიტეში მიიღება (9-69), (9-70), (9-71), (9-73), (9-76) და (9-77) ფორმულებში  $\alpha=0$  და  $y=-y_1$  მნიშვნელობათა ჩასმით, იგივე ფაქტორები თალის ქუსლებში კი მიიღება აღნიშნულ ფორმულებში  $\alpha=\alpha_0$  და  $y=y_0$  მნიშვნელობათა შეტანით.

ნორმალური ძაბვები თალის წახნაგებზე განისაზღვრება ფორმულით

$$\sigma = \frac{N_x}{e} \pm \frac{6M_x}{e^2}. \quad (9-78)$$

სადაც  $e$  თალის სისქეა.

ქუსლებში ძაბვათა სწრაფი გაანგარიშების მიზნით შეიძლება ვისარგებლოთ კელენის მიერ შედგენილი გრაფიკებით<sup>1</sup>. აღნიშნული გრაფიკების თანახმად ნორმალური ძაბვები ქუსლებში სადაწნეო წახნაგებზე ყოველთვის უარყოფითია, ე. ი. გამკვიპავი, ხოლო ქვედა წახნაგზე — დადებითი, ე. ი. მკუმშავი. აქედან გამომდინარეობს, რომ წყლის არათანაბარი წნევა აუარესებს თალოვანი გადახურვის მდგომარეობას სადაწნეო წახნაგზე. ხოლო ქვედა წახნაგზე ზრდის წყლის თანაბარი წნევით წარმოშობილ მკუმშავ ძაბვებს.

სადაწნეო წახნაგზე გამკვიპავი ძაბვების შემცირების მიზნით შეიძლება მიემართოს სხვადასხვა ღონისძიებას, კერძოდ სისქის გაზრდას, მალის შემცირებას. ცენტრალური კუთხის შემცირებას, გადახურვის დახრილობის კუთხის გაზრდას და სხვ. ზოგჯერ  $\psi$  კუთხის გაზრდას მიმართავენ არათანაბარ წნევაზე განსაკუთრებით მგრძნობიარე თალოვანი გადახურვის ზედა ნაწილებში, სადაც მისი ღერძი აიღება ვერტიკალური.

### 3. თალების ხაკუთარ წონაზე გაანგარიშება

დახრილი ცილინდრული ზედაპირიდან ამოჭრილი 1,0 მ სიგანის თალოვანი რგოლი გაიანგარიშება მისი საკუთარი წონის იმ მდგენელზე, რომელიც მიმართულია თალის ღერძის ნორმალურად (მეორე მდგენელს აქვს მსახველს მიმართულება და, ცხადია, ანგარიშში არ შეიტანება).

თუ თალის მასალის მოცულობითს წონას აღვნიშნავთ  $\gamma_1$ -ით, ხოლო თალის ღერძის რადიუსს  $r_0$ -ით (ნახ. 9-40), მაშინ მისი  $ds$  ელემენტის წონა ტოლი იქნება:

$$dG = \gamma_1 ds = \gamma_1 e r_0 d\beta;$$

წონის ძალის ის მდგენელი, რომელიც ნორმალურია თალის ღერძისადმი, ტოლია:

$$dP = dG \cos \psi = \gamma_1 e r_0 \cos \psi d\beta.$$

განვსაზღვროთ თალის სიმეტრიის ღერძთან  $\alpha$  კუთხით დახრილ  $A$  კვეთში  $M_0$  მომენტი და  $N_0$  ნორმალური ძალა სტატიკურად რკვევად სისტემაში.

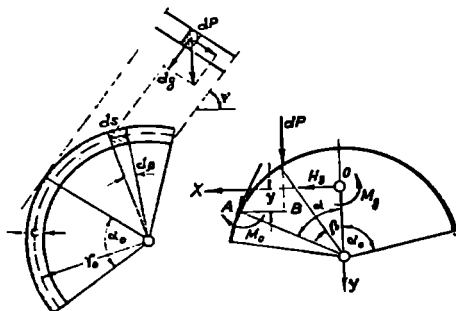
<sup>1</sup> Н. И. Келен, Арочные и контрфорсные плотины, Строиниздат, М., 1938.

საკუთარი წონის  $dP$  მდგენელის მომენტი  $A$  წერტილის მიმართ ტოლი იქნება:

$$dM_0 = -dP \cdot \overline{AB} = -\gamma_1 e r_0^2 \cos \psi (\sin \alpha - \sin \beta) d\beta,$$

ხოლო მომენტი თაღის იმ ნაწილის წონის  $P$  მდგენელისა, რომელიც მოთავსებულია კლიტიდან განსახილველ  $A$  კვეთამდე, ტოლია:

$$M_0 = -\gamma_1 e r_0^2 \cos \psi \int_0^{\alpha} (\sin \alpha - \sin \beta) d\beta = -\gamma_1 e r_0^2 \cos \psi (\alpha \sin \alpha + \cos \alpha - 1); \quad (9-79)$$



ნახ. 9-40. თაღების საკუთარი წონისაგან წარმოშობილი ძაბვების განსჯაროების სქემა.

$dP$  მდგენელისაგან წარმოშობილი ნორმალური ძალა იმავე კვეთში

$$dN_0 = dP \sin \alpha = \gamma_1 e r_0 \cos \psi \sin \alpha d\beta;$$

სრული  $N_0$  ნორმალური ძალა კი ტოლი იქნება:

$$N_0 = \int_0^{\alpha} dN_0 = \gamma_1 e r_0 \cos \psi \sin \alpha \int_0^{\alpha} d\beta = \gamma_1 e r_0 \cos \psi \alpha \sin \alpha. \quad (9-80)$$

თუ ზემოთ აღნიშნულ (8-12) და (8-13) ფორმულებში შევიტანთ  $M_0$  და  $N_0$  მნიშვნელობებს (9-79) და (9-80) გამოსახულებებიდან და მოვახდენთ სათანადო მოქმედებებს, მივიღებთ სტატიკურად ურკვევადი სიდიდეების —  $M_G$  მომენტისა და  $N_G$  განმბრჭენის — საძიებელ მნიშვნელობებს:

$$M_G = \gamma_1 e r_0^2 \cos \psi \left( \frac{2 \sin \alpha_0}{\alpha_0} - \cos \alpha_0 - 1 \right); \quad (9-81)$$

$$H_G = \frac{\frac{12}{e} r_0^2 K_4 - e K_7}{\frac{12 K_4}{\nu^2 \sin^2 \alpha_0} + K_5} \gamma_1 r_0 \cos \psi, \quad (9-82)$$

სადაც  $K_4$  და  $K_5$  განისაზღვრება (9-74) და (9-75) ფორმულებით;

$$K_4 = \frac{1}{2} \alpha_0 \cos 2\alpha_0 + 4 \frac{\sin^2 \alpha_0}{\alpha_0} - \alpha_0 - \frac{7}{4} \sin 2\alpha_0; \quad (9-83)$$

$$K_7 = \frac{1}{4} \sin 2\alpha_0 - \frac{1}{2} \alpha_0 \cos 2\alpha_0. \quad (9-84)$$

აღვარად, საანგარიშო მოქმენტი და ნორმალური ძალა თაღის ნებნიპიერ  $A(x-y)$  კვეთში (ნახ. 9-40) ტოლი იქნება:

$$M_x = M_0 + M_0 + H_c \cdot y; \quad (9-85)$$

$$N_x = N_0 + H_c \cos \alpha. \quad (9-86)$$

თუ (9-85) და (9-86) ფორმულებში ჩავსვამთ ჯერ  $\alpha = \alpha_0$  და  $y = y_0$ , ხოლო შემდეგ  $\alpha = 0$  და  $y = -y_1$ , მივიღებთ მომენტისა და ნორმალური ძალის მნიშვნელობებს სათანადო ქუსლებისა და კლიტის კვეთებში. ნორმალური ძაბვები რადიალურ კვეთებში განისაზღვრება იგივე (9-78) ფორმულით.

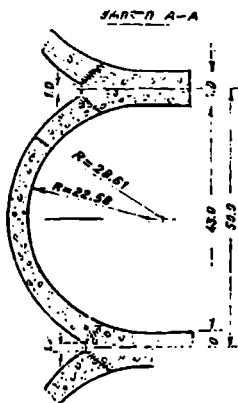
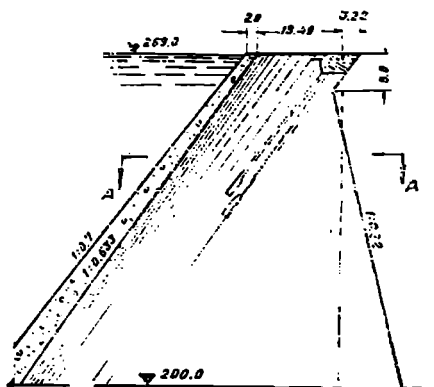
აწალიგი გვიჩვენებს, რომ ნაქიმიმალურ ნორმალურ ძაბვებს ადგილი აქვს ქუსლებში: ამასთან სადაწნეო წახნაგზე ძაბვები, ჩვეულებრივ, მკუმშავია, ხოლო ქვედა წახნაგზე შეიძლება იყოს მკუმშავიც და გამჭიმავიც. აქედან განომდინარეობს, რომ საკუთარი წონით გამოწვეული ძაბვები ნიშნით იმ ძაბვების შებრუნებულია, რომლებიც მიიღებიათ ჰიდროსტატიკური წნევის შედეგად. მაშასადამე, ისინი ხელსაყრელად მოქმედებენ თაღზე, მაგრამ საერთოდ მცირე სიდიდისანი არიან.

#### 4. თაღოვანი გადახურვისა და კონტრფორსების კონსტრუქციები

დახრილ თაღოვან გადახურვას მისი მსახველის ნორმალურ კვეთში აქვს წრიული მოხაზულობა და, ჩვეულებრივ, მუდმივი სისქე. უკანასკნელი ნაკარნახებია საწუშოთა წარმოების გაადვილებისა და მოხერხებულობის თვალსაზრისით. მაგრამ სწორ მოყვანილი გაანგარიშებებით დავრწმუნდით, რომ დახრილი თაღებს შეთხვევაში ქუსლის კვეთები უფრო მეტად არის დაძაბული. ვიდრე კლიტის კვეთი, ამიტომ ქუსლებში ძაბვათა შემცირების მიზნით მიზანშეწონილია თაღის სისქის თანდათანობითი გაზრდა კლიტიდან ქუსლებისაკენ. ბუნებრივია, რომ კაშხალის ფუძისაკენ წყლის წნევის ზრდასთან ერთად თაღოვანი გადახურვის სისქეც შეაბამისად იზრდება. თაღების სისქეს წინასწარ ნიშნავენ საერთო მოსაზრებათა საფუძველზე, მაგალითად, თავში იგი აიღება 0,3 — 0,5, ხოლო ძირში 1,3 — 2 მ-მდე. ძალიან დიდი მალეებისა და დაწნევის შემთხვევაში, ცხადია, თაღების სისქეები მნიშვნელოვნად იზრდება. მაგალითად, მანიკუაგან — 5 მრავალთაღოვანი კაშხალის თაღის სისქე ძირში 26 მ-ის ტოლია. ხოლო თავში 3 მ-ისა (ნახ. 9-37).

თაღოვანი გადახურვები უნდა შესრულდეს მკერძივ, მაქიმიმალურად წყალშეუღწევი ბეტონისაგან, ამასთან სხვადასხვა ნიშნის ძაბვათა მისაღებად მიზანშეწონილია ისინი კომპატურდეს ორფა არმატურით. ჩვეულებრივ არმატურასთან ერთად თაღებში გამოიყენება ხისტი არმატურაც, რომელთაც ამზადებენ ფერამების სახით. გარდა ამისა, მშენებლობის დროს ფერამები გამოიყენება ქარგილების დასაკევებლად. რაბოდანების თხელკედლიანი მრავალთაღოვანი კაშხალი აგებულია დაარმატურებული შპრიც-ბეტონით, ხოლო მალაღმთიანი რაიონის მკაცრ კლიმატურ პირობებში აგებული ეიროტის კაშხალი მთლიანად ბეტონისაა.

უახლეს მრავალთაღოვან კაშხალს აშენებენ მთლიანად ბეტონისაგან არმატურის გამოყენების გარეშე კონტრფორსებს შორის დიდი მალეებით. მაგალითად, დაახლოებით 70 მ სიმაღლის ნებერის კაშხალს ტუნისში (ნახ. 9-41)



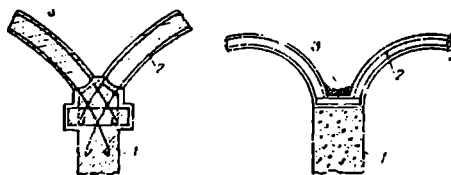
ნახ. 9-41. ნებერის მრავალთალოვანი კაშხალი (ტუნისი).

და 88 მ სიმაღლის გრანვალის კაშხალს საფრანგეთში<sup>1</sup> აქვთ 50 მ სიგრძის მალეები.

მრავალთალოვან კაშხალებში თაღების 2-ში ცენტრალური კუთხე აიღება 160-180° შუალედში. ჩვეულებრივ, თაღები კონტრორსებთან შეერთებულია ხისტად. რასაც ანხორციელებენ თაღების არმატურის კონტრორსებში შეშვებით. მათ არმატურასთან ზიერთებით და შემდეგ ერთად დაბეტონებით. მაგრამ თაღებისა და თეთი კონტრორსების მცირე სისქის გამო მათი საესებით ხისტი შეერთება პრაქტიკულად არ ხერხდება. რაც რამდენადმე ამსუბუქებს თაღების მუშაობას გაანგარიშებით გათვალისწინებულთან შედარებით. ამის მიუხედავად ჩამაგრების ადგილებში სწორად წარმოიშობა ბზარები თაღების სადაწნეო მხარეზე. უმთავრესად ტემპერატურის გავლენის გამო. ბზარების თავიდან ასაცილებლად იხე. ნ. კელენის წინადადებით საჭიროა მეზობელი თაღების ქუსლები მონოლითურად დაეაკეშიროთ ერთმანეთთან განსაკუთრებულ ფილაში და შემდეგ ეს უკანასკნელი თავისუფლად დაეაყრდნოთ კონტრორსზე (ნახ. 9-42).

გადახურვისა და კონტრორსების ასეთი სქემით დაკეშირების დროს კაშხალი ნაკლებად მგრძნობიარეა კონტრორსების დაჯდომაზე, ამასთან კონტრორსები შეიძლება ავაშენოთ თაღებისაგან დამოუკიდებლად. თაღებში მუშა ნაკერებს აქვთებენ ისე, როგორც ბრტყელი გადახურვის მქონე კაშხალების ფილებში.

თაღების წყალშეუღწეობის გაზრდის მიზნით მათ სადაწნეო ზედაპირს ფარავენ ტორკრეტით ან ბიტუმის ფე-



ნახ. 9-42. თაღების ქუსლების შეერთება საყრდენთან: ა-ხისტი; ბ-განსაკუთრებული ფილის მეშვეობით; 1-კონტრორსი; 2-თალოვანი გადახურვა; 3-სფალტი.

<sup>1</sup> იხ. ჟურნალი «Гидротехническое строительство» № 6, 1961.

ნით ანდა ერთდროულად ორივეთი. მექანიკური დაზიანების თავიდან ასაცილებლად ზოგჯერ ბიტუმის ან ასფალტის ფენას ფარავენ ბეტონის ფილებით. საფარანგეთის ერთ-ერთი მრავალთაღოვანი კაშხალი (სელიუნნი), რომელსაც ძალიან თხელი თაღები აქვს (11-16 სმ), დაფარულია ლითონის ეკრანით.

მრავალთაღოვანი და ბრტყელი ფილებით გადახურული კაშხალების კონტრფორსები ძირითადად ერთმანეთის ანალოგიურია, მაგრამ მათ შორის მაინც არის გარკვეული განსხვავება. ეს გამოწვეულია იმით, რომ მრავალთაღოვანი კაშხალების კონტრფორსებს შორის დიდი მაღების არსებობის გამო მათზე მოდის ვაცილებით უფრო დიდი დატვირთვა; მეორე მხრივ, მასზე გავლენას ახდენს აგრეთვე თაღების ჩამაგრების ხასიათი, რაზედაც უკვე ზემოთ გვქონდა საუბარი. აღნიშნული ფაქტორები მრავალთაღოვანი კაშხალების კონტრფორსებს უფრო მასიურს ხდის. ბეტონისა და რკინაბეტონის გარდა, კონტრფორსებისათვის ზოგჯერ გამოიყენება ქვებეტონიც. მოსალოდნელი გამჭიმავი ძაბვების ასათვისებლად კონტრფორსების სადაწნეო წახნაგის ზონა უნდა დაარმატურდეს, თუმცა ზემოთ ხსენებული ბეტონის მრავალთაღოვანი კაშხალების (ქიროტის, გრანვალს, ნებერს და სხვ.) კონტრფორსები არ არის დაარმატურებული.

მთლიანკედლიანი კონტრფორსების სისქე თავში აიღება არანაკლებ  $d_1 = (1,5 - 2)e_1$ , სადაც  $e_1$  თაღის სისქეა თავში; ღრუ კონტრფორსების შემთხვევაში მათი კედლების სისქე თავში აიღება თაღების სისქის ტოლი. კონტრფორსის სისქე ძირში  $d_2 = (0,07 - 0,1)hd_1$ , სადაც  $h$  კონტრფორსის სიმაღლეა მეტრებში.

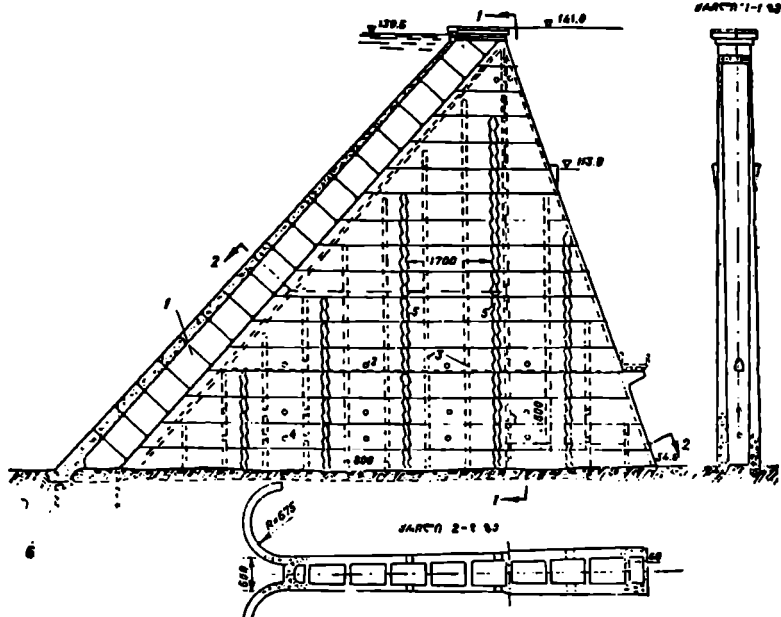
კონტრფორსების წახნაგების დახრის კუთხეებისა და ფუძის სიგანის დაწინააღმდეგარაღობებს ისევე, როგორც ამბურსენის ტიპის კაშხალებში.

გრძივ ღუნვაზე (გამობურცვაზე) მდგრადობის გაზრდის მიზნით, კონტრფორსებს შორის შესაძლებელია მოეწყოს სიხისტის კოჭები; ამ პირობის უზრუნველსაყოფად თანამედროვე მრავალთაღოვან კაშხალებში ზოგჯერ გამოიყენება ღრუ კონტრფორსები (ნახ. 9-43). ასეთი კონტრფორსის კონსტრუქცია იქმნება ერთმანეთისაგან გარკვეული მანძილით დაშორებული ბეტონის ან რკინაბეტონის ორი გვერდითი კედლით და მათი ურთიერთდამაკავშირებელი ვერტიკალური ან დახრილი განივი დიფრაგმებით, ამიტომ მისი პორიზონტალური კვეთის ინერციის მომენტი განივი მიმართულებით გამოდის ბევრად მეტი, ვიდრე იგივე კვეთის ფართობის მქონე მთლიანკედლიანი კონტრფორსის ინერციის მომენტი იმავე მიმართულებით. სწორედ აღნიშნული კონსტრუქციული თავისებურება განაპირობებს ღრუ კონტრფორსების უფრო მეტ საიმედოობას გრძივ ღუნვაზე და საერთოდ გვერდით ზემოქმედებაზე.

ღრუ კონტრფორსის შიგა სივარდილები ზოგჯერ გამოიყენება წყალჩასამებთა მოსათავსებლად. დიდმალიანი კაშხალების მასიური კონტრფორსები შეიძლება გამოიყენონ წყალსამებებზე, ამასთან კონტრფორსებზე მოწყობილ წყალსამებებზე ლარებს შეიძლება ექნეს კონტრფორსის სისქეზე მნიშვნელოვნად უფრო მეტი სიგანე.

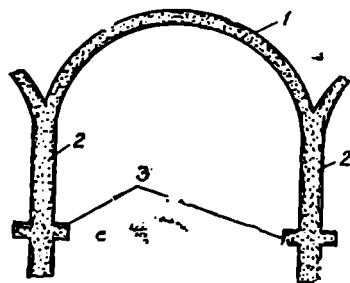
დაბალი ან საშუალო სიმაღლის მრავალთაღოვან კაშხალში კონტრფორსებს შეიძლება მოეწყოს ვერტიკალური ან ქვედა წახნაგის პარალელური სიხისტის წიბოები (ნახ. 9-44).

ა ს ა კ რ ე ბ-მ ო ნ ო ლ ი თ უ რ ი მ რ ა ვ ა ლ თ ა ღ ო ვ ა ნ ი კ ა შ ხ ა ლ ი. მ რ ა ვ ა ლ თ ა ღ ო ვ ა ნ ი კ ა შ ხ ა ლ ის ა ს ე თ ი კ ო ნ ს ტ რ უ ქ ც ი ა დაამუშავა ლ. ვასილი-



ნახ. 9—43. მემანის (ჩინეთი) მრავალთაღოვანი კაშხლის კონსტრუქციის გეგმა და ჰერლები:  
 1—თლის ტემპერატურული ნაყერი, რომელშიც ჩამატებულია სპილენძის ფურცელი; 2—სა-  
 ჰაერო ხერტი; 3—სათვალღებელი ვალურა; 4—სადრეხაო ხერტები; 5—კონსტრუქციის  
 შუკლების ნაყერები; 6—საცემენტაციო ქაბურღილები.

ევმა<sup>1</sup>; მასში კონსტრუქციებთან თაღების ხისტი შეერთება შეცვლილია წყალ-  
 შეუღწვევი ნაყერებით, რაც საშუალებას იძლევა კაშხლის ეს ტიპი გამოყენე-



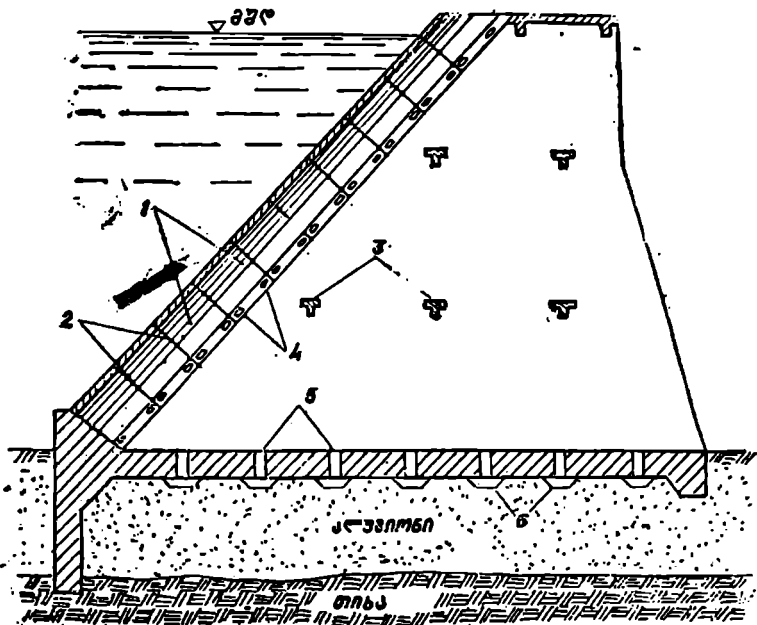
ნახ. 9—44. მრავალთაღოვანი კაშხლის კო-  
 რინოვრტალური კრილი:  
 1—თალი; 2—კონსტრუქციები; 3—სიხისტის  
 კოჭები.

ბულ იქნეს არაკლოვან ფუძეზე  
 (ნახ. 9—45). კაშხლის მეორე თავისე-  
 ბურება იმაში მდგომარეობს, რომ მი-  
 სი საღაწნო გადახურვა წარმოადგენს  
 ასაწყობ კონსტრუქციას და შედგება  
 თაღების ცალკეული სექციებისაგან,  
 რომელთაც ამზადებენ ქარხნული წე-  
 სით.

განმზრჩენის მისაღებად, თლის  
 ყოველ სექციას აქვს შემკვერელი, რაც  
 იძლევა თლის სისქის შემცირების სა-  
 შუალებას; შემკვერლები ამასთანავე  
 ზრდის კაშხლების საიმედობას გვერ-  
 დითი სეისმური ზემოქმედების დროს.

<sup>1</sup> Л. В. Васильев, Новая конструкция многоарочной плотины, «Гидротехническое строительство» №6, 1951.





ნახ. 9-45. ყრუ შრავალთაღოვანი კაშხალი ასაწყობი სადაწნეო გადახურვით:

- 1—თაღების სექციები; 2—წყალშეუღწევი ნაქერები; 3—სიხისტის კოქები; 4—შემკვრელები; 5—სადრენაეო ხერტები; 6—უკუფილტრი.

ისე როგორც არაკლდოვან ფუძეზე აგებულ ბრტყელფილებიან კონტრფორსულ კაშხალში, აქაც — ასაკრებ-მონოლითურ შრავალთაღოვან კაშხალში აწყობენ საძირკვლის ფილას.

აღწერილი კონსტრუქციის ნაკლოვან მხარეს წარმოადგენს შრავალრიცხოვანი ნაქერები, რომლებიც, ფილტრაციის თავიდან აცილების მიზნით, მოითხოვენ გულდასმით ჩამაგრებას.

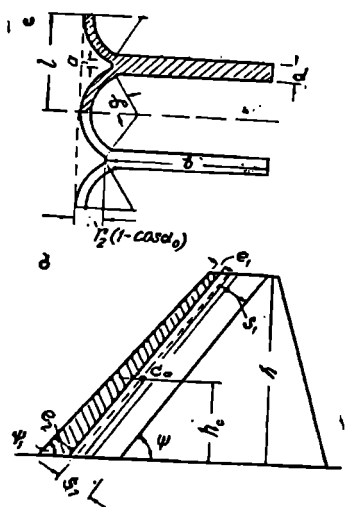
**6. კონტრფორსზე მოქმედი ძალები და სტატაყური განგარიშება**

თუ შრავალთაღოვანი კაშხალის თაღები ხისტადაა დაკავშირებული კონტრფორსებთან, მაშინ თითოეული კონტრფორსი მუშაობს ძვრაზე და არათანაბარ კუშშვავზე. მეზობელი თაღების ნახევარმაღებთან ერთად. ასეთ შემთხვევებში კონტრფორსის პორიზონტალური კვეთების ფართობები განისაზღვრება ფორმულით (ნახ. 9-46):

$$\Omega_i = b_i d_i + \frac{(r_{2i}^2 - r_{1i}^2) \alpha_i}{\sin \psi} \quad (9-87)$$

სადაც პირველი წვერი საკუთრივ კონტრფორსის განივკვეთის ფართობია, ხოლო მეორე — მეზობელი ორი ნახევართაღის კვეთის ფართობი. ფორმულაში მიღებულია აღნიშვნები:

- $b_1$  — კონტრფორსის საანგარიშო კვეთის სიგანე;
- $d_1$  — კონტრფორსის სისქე საანგარიშო კვეთში;
- $r_{21}$  — თაღის გარეთა რადიუსი;
- $r_{11}$  — თაღის შიგა რადიუსი;
- $\alpha_0$  — თაღის ცენტრალური კუთხის ნახევრის რადიანული ზომა;
- $\psi$  — თაღის ღერძის დახრილობის კუთხე პორიზონტთან.



რადგან კონტრფორსის განივკვეთს აქვს რთული მოხაზულობა (ნახ. 9-46ა), მისი სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა და ინერციის მომენტი განისაზღვრება გრაფიკული სტატიკის ხერხებით.

კონტრფორსზე მოქმედი დატვირთვებია მისი საკუთარი წონა, თაღოვანი გადახურვისა და თაღის დახრილ ზედაპირზე (ნაოჭების ჩათვლით) მოქმედი წყლის პრიზმის წონა, აგრეთვე წყლის პორიზონტალური წნევა.

კონტრფორსის საკუთარი წონა და მისი სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა განისაზღვრება ბრტყელი გადახურვის მქონე კაშხალების კონტრფორსების ანალოგიურად.

თაღოვანი გადახურვის წონა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$G_0 = 0,5\gamma_1 h (\omega_1 + \omega_2), \quad (9-88)$$

სადაც  $\gamma_1$  — თაღის მასალის მოცულობითი წონაა;

$h$  — კონტრფორსის სიმაღლე;

ნახ. 9-46. მრავალთაღოვანი კაშხლის კონტრფორსების საანგარიშო სქემები (როდესაც თაღები კონტრფორსებთან შეერთებულია ხისტად).

$\omega_1$  და  $\omega_2$  — შესაბამისად თაღის პორიზონტალური კვეთის ფართობი თავში და ძირში, რომლებიც განისაზღვრებიან (9-87) ფორმულის მეორე წევრით:

$$\omega_1 = \frac{(r_{21}^2 - r_{11}^2)\alpha_0}{\sin \psi}; \quad \omega_2 = \frac{(r_{22}^2 - r_{12}^2)\alpha_0}{\sin \psi}. \quad (9-89)$$

თაღის  $G_0$  წონის მოდების წერტილის განსაზღვრისათვის ჯერ გაავლენ თაღოვანი რგოლების სიმძიმის ცენტრების შემაერთებელ  $c_1 c_2$  ხაზს. ნებისმიერი რგოლური კვეთის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა განისაზღვრება  $s$  სიგრძით:

$$s = \frac{2}{3} \cdot \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{\sin \alpha_0}{\alpha_0}. \quad (9-90)$$

$G_2$  წონის მოდების წერტილი მდებარეობს  $e_1 e_2$  ხაზისა და ფუძიდან  $h_2$  სიმაღლეზე გატარებული პორიზონტალური ხაზის გადაკვეთის წერტილში (ნახ. 9-46 ბ), სადაც  $h_2$  განსაზღვრავს თალის დიამეტრული კვეთის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობას:

$$h_2 = \frac{h}{3} \cdot \frac{2e_1 + e_2}{e_1 + e_2} \quad (9-91)$$

აქ მიღებულია დაშვება იმის შესახებ, რომ, თუ თალის დიამეტრული კვეთი წარმოადგენს ტრაპეციას  $\frac{e_1}{\sin \psi}$  და  $\frac{e_2}{\sin \psi}$  ფუძეებით, მაშინ თალის სიმძიმის ცენტრი იმყოფება იმავე სიმაღლეზე, რა სიმაღლეზეც არის ასეთი ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრი.

წყლის წონა თალის დახრილ ზედაპირზე განისაზღვრება ფორმულით (ნახ. 9-46):

$$W_2 = \frac{\gamma h}{\sin \psi_1} \left[ \frac{hl}{2} \cos \psi_1 + \frac{a+l}{2} r_2 (1 - \cos \alpha_0) - r_2^2 (\alpha_0 - \sin \alpha_0) \right], \quad (9-92)$$

ხოლო წყლის წნევის პორიზონტალური მდგენელი—ჩვეულებრივად.

კონტრაფორსის სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს ძირითადი საექსპლუატაციო შემთხვევისათვის, ე. ი. როდესაც წყალსაცავში წყლის დონე მაქსიმალურია, ხოლო ქვედა ბიეფში მინიმალური. შეიძლება შემოწმდეს აგრეთვე დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევაზე (მხოლოდ საკუთარი წონისა და გადახურვის წონის მოქმედებაზე), მაგრამ ამას კონტრაფორსულ კაშხალებში არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს.

მრავალთაღოვანი კაშხალების კონტრაფორსების სიმტკიცესა და მდგრადობაზე გაანგარიშება წარმოებს ბრტყელი გადახურვის მქონე კაშხალების კონტრაფორსების გაანგარიშების ანალოგიურად, მხოლოდ საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს ზემოაღნიშნული შენიშვნები კონტრაფორსების კონსტრუქციის, კერძოდ, მათი მუშა კვეთების ფართობების შესახებ (სათანადო გაანგარიშებანი იხ. § 9-5 და § 9-6).

## 8. თაღოვანი გადახურვების წყალსაგდებები

მრავალთაღოვან კაშხალებში წყალსაშვის მოწყობა რამდენადმე უფრო რთულია, ვიდრე ამბურსენის ტიპის კაშხალებში, რადგან ძნელია უზრუნველყოთ თაღებთან წყალსაშვები ფილის ჰიდრაულიკურად ხელსაყრელი შეერთება. ამის გამო ასეთი წყალსაშვებები პრაქტიკაში შედარებით იშვიათად გვხვდება.

მრავალთაღოვან კაშხალებში შეიძლება მოეწყოს თავისუფლად ვარდნილი ქაველის პრინციპზე მომუშავე წყალსაშვები, რისთვისაც თაღების ზედა რგოლს უკეთებენ სათანადო მოხაზულობის სათავისს (როგორც თაღოვან კაშხალებში), რომლიდანაც წარმოებს წყლის ჩაშვება ქვედა ბიეფში. წყალსაშვებს აწყობენ სხვანაირადაც, — დახრილი თაღები მის ზედა ნაწილში (თხემთან) გადაჰყავთ პორიზონტალურში და თავებს შორის არსებულ ნაოქებს ავსებენ ბეტონით, რის შედეგად მიიღება პორიზონტალური ბრტყელი ზედაპირი, რომელიც შეას-

რულებს წყალსაშვების ზღურბლის როლს. ასეთი გადაწყვეტის მაგალიც ს წარმოადგენს სკოლტენის კაშხალი იტალიაში.

რადგან თავისუფლად ვარდნილი ჰავლის პრინციპზე მომუშავე წყალსაგდებებში ადგილი აქვს ჩაშვებული ნაკადის ჰავლების კონცენტრაციას, ბუნებრივია, კალაპოტის დაცვის მიზნით, კაშხალის მალეებში ზოეწყოს გამაგრება. მაგალითად, სკოლტენის კაშხალის ქვედა ბიეფში კონტრფორსებს შორის კლდე გამაგრებულია რკინაბეტონის ფილით და ამასთანავე შექმნილია დამაწყნარებელი აუზი 4 მ სიმაღლის წყალსაცემი კედლის მეშვეობით.

მრავალთაღოვან კაშხალებში წყალჩასაშვებებს აწყობენ რკინაბეტონის ან ფოლადის მილსადენების სახით, რომლებსაც ათავსებენ კონტრფორსებს შორის მალეებში. მათ სათავისებს აწყობენ თალის სპეციალურ გასქელებულ ადგილში, ფუძესთან ახლოს; წყალჩასაშვებებისათვის გამოიყენება აგრეთვე ღრუ კონტრფორსების სიღრუეებიც.

## 7. კონტრფორსებისა და თაღების ფუძეები

როკორც იყო აღნიშნული, ნშენებლობისათვის მრავალთაღოვანი კაშხალები მოითხოვს წუნდაუდებელ კლდოვან ფუძეებს, რადგან მათი სტატიკური მუშაობის პირობებით დაუშვებელია კონტრფორსების არათანაბარი დაქდომა. აგებული კაშხალების ფუძეების უმრავლესობა აკმაყოფილებს აღნიშნულ პირობას. უნდა აღვნიშნოთ, რომ უკანასკნელ ხანს მრავალთაღოვან კაშხალებს აშენებენ უფრო სუსტ და დამყოლ ფუძეებზეც. მაგალითისათვის შეიძლება დავახაზოთ 1310 მ სიგრძის ბენი-ბადელის კაშხალი ალყირში (1939 წ.) ფიქლებისა და ქვიშაქვების ფენებიან ფუძეზე და ქიროტის კაშხალი (1950 წ.) — არაერთგვაროვან თიხოვან და ფიქლოვან ფუძეზე.

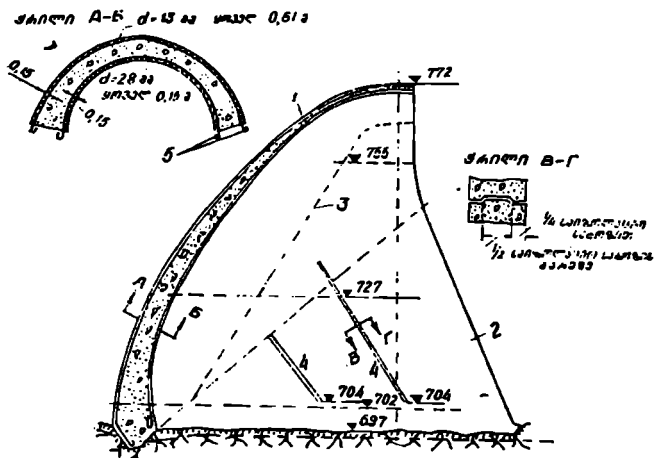
კონტრფორსების მდგრადობის გაზრდისათვის და ძაბვითი მდგომარეობის გასაუმჯობესებლად ამჟამად იყენებენ ჩაანკერებას ფუძეში და სპეციალურ მისაბრჭენებს, რომლებიც იძლევიან ძაბვების რეგულირების საშუალებას. უკანასკნელი მეთოდი გამოყენებულია ცრეგანის კაშხალში ალყირში; აქ კონტრფორსები მიბრჭენილია ბეტონის დაბრილ მასივებზე ფოლადის ფურცლებისაგან დამზადებული ბრტყელი დომკრატებით, რომელთაგან გადაცემული 45000 ტონამდე ძალვა უზრუნველყოფს ამ მეტად მსუბუქი და ეკონომიური კაშხალის ძვრაზე მდგრადობას. ამასთანავე დომკრატის დაბრილი რეაქცია იწვევს კონტრფორსის ძაბვითი მდგრადობის სასარგებლო ცვლილებას.

მრავალთაღოვან კაშხალებში ფილტრაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი ანალოგიურია იმ ღონისძიებებისა, რომლებსაც ატარებენ ბრტყელი გადახურვის მქონე კაშხალებში. აქ, ცხადია, კბილს აკეთებენ თალის კონტურის გასწვრივ. ე. ი. გეკმაში იგი მრუდწრიულია.

## 8. მრავალღუმბათოვანი კაშხალები

მიმდინარე საუკუნის ოციანი წლებიდან პიდროტექნიკური მშენებლობის პრაქტიკაში შემოვიდა კონტრფორსული კაშხალები ორმაგი სიმრუდის სადაწინეო ზედაპირებით, ანუ ეგრეთ წოდებული მრავალღუმბათოვანი კაშხალები. მათი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ აქ სრულად არის გამოყენებული ბეტონის ზიდვის უხარ: კუმშვაზე არა მარტო ერთში, არამედ

სხვადასხვა სიბრტყეშიც. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანი ფაქტორია კონტრფორსებს შორის დიდი მანძილების ალების შესაძლებლობა, რაც ხელსაყრელია პესის ჰიდროაგრეგატების მოსათავსებლად. ამ ტიპის პირველი კაშხლებია კვიკრიკის და ენიოქსის კაშხლები ჩაზნექილი მსახველით და კულიჯისა (აშშ) ამოზნექილი მსახველით.



ნახ. 9-47. მრავალგუმბათოვანი კაშხლის პროფილი: 1—ორმაგი სიმრუდის გადახურვა; 2—კონტრფორსი; 3—ქუსლების ხაზი; 4—ნაყარი; 5—საანკერო არმატურა 1,8 მ სიღრმეზე.

ჩაზნექილი მსახველის მქონე კაშხლებში შემცირებულია მხოლოდ წყლის არათანაბარი წნევის გავლენა; სხვა უპირატესობანი მათ არ გააჩნიათ. ამოზნექილი მსახველის მქონე კაშხლებში მიღწეულია უფრო მნიშვნელოვანი ეფექტი — კონტრფორსებს შორის დიდი მალეები და გუმბათების შედარებით მცირე სისქე. მაგალითად, 9-47 ნახაზზე ნაჩვენებ 76,2 მ სიმაღლის კაშხალში, რომელიც აგებულია აშშ, კონტრფორსებს შორის მანძილი 54,86 მ-ის ტოლია, ამასთან გუმბათების სისქე ცვალებადობს 1,24-დან თავში 6,13 მ-მდე ძირში.

მრავალგუმბათოვანი კაშხლების ნაკლოვანი მხარეებია: მისი ცალკეული ნაწილების (კონტრფორსების) არათანაბარი დაჯდომისა და ტემპერატურის ცვალებადობისადმი მგრძნობელობა, ყალიბებისა და არმატურის ფორმების, აგრეთვე სამუშაოთა წარმოების სირთულე. აღნიშნულმა მიზეზებმა გამოიწვია ერთხანს ამ ტიპის კაშხლებისადმი ყურადღების შენელება, მაგრამ უკანასკნელ პერიოდში, გარსების თეორიის მნიშვნელოვან განვითარებასთან დაკავშირებით, გუმბათოვანმა და მრავალგუმბათოვანმა კაშხლებმა ხელახლა მიიპყრო ჰიდრომშენებელთა ყურადღება და განხორციელება პოვა მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში.

გუმბათოვანი გადახურვის, როგორც ორმაგი სიმრუდის გარსის, სიმტკიცეზე ზუსტი თეორიული გაანგარიშება დიდ სიძნელებთან არის დაკავშირებული; ეს გამოწვეულია როგორც გადახურვის კონსტრუქციის, ისე მოქმედი

დატვირთვების სირთულით. ასეთი გადახურვა, ცხადია, უნდა გაანგარიშდეს ორმაგი სიმაღლის გარსების თეორიის საფუძველზე, მაგრამ, როგორც ცნობილია, გუმბათოვანი კაშხალების გადახურვის ანალიზური გაანგარიშება ჯერ კიდევ არ არის სათანადოდ დამუშავებული. მიახლოებითი გაანგარიშებანი კი შეიძლება ჩატარდეს თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშების ანალოგიურად — პირველი მიახლოებითი გაანგარიშება „სუფთა თალის“ მეთოდით (იხ. § 8-5), ხოლო შემდგომ ეტაპზე გაანგარიშება ურთიერთგადასაკვეთი დისკრეტული ღეროვანი სისტემის საფუძველზე, რომელიც წარმოდგენილი უნდა იქნეს პორიზონტალური თაღებისა და მრუდწირული კონსოლების დიდი რაოდენობით (იხ. § 8-6).

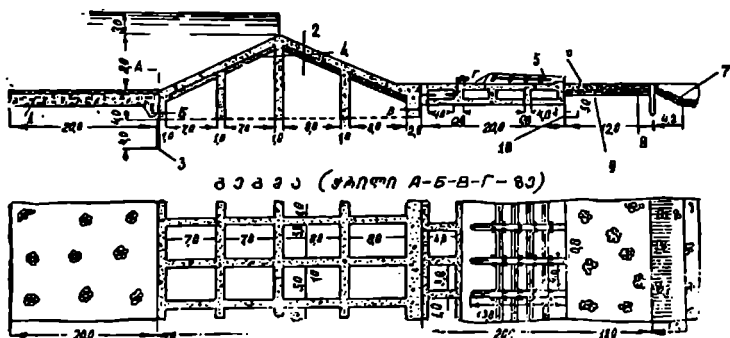
თ ა ვ ი X

**ბეტონისა და რკინაბეტონის უჯრადოვანი, ასაწყობი და ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციის კაშხალები**

**§ 10-1. უჯრადოვანი კაშხალები**

საბჭოთა კავშირის ჰიდრომშენებლობის პრაქტიკაში გვხვდება კაშხალების მრავალი ახალი ტიპი, რომლებიც განხორციელდნენ არაკლდოვან ფუძეებზე. მათ რიცხვს შეიძლება მივაკუთვნოთ ა. სენკოვის სისტემის უჯრადოვანი კონსტრუქციის კაშხალი დაბალი დაწნევებისათვის. იგი წარმოადგენს ზემოდან ბეტონის წყალსაშვები ფილით გადახურულ გრძივი და განივი კედლების სისტემას, რომლის უძირო უჯრადები (კეები) ივსება ადგილობრივი გრუნტით (ნახ. 10-1).

**გრძივი კედლი**



ბ ე ბ ა (ჭაბლი A-B-Г-82)

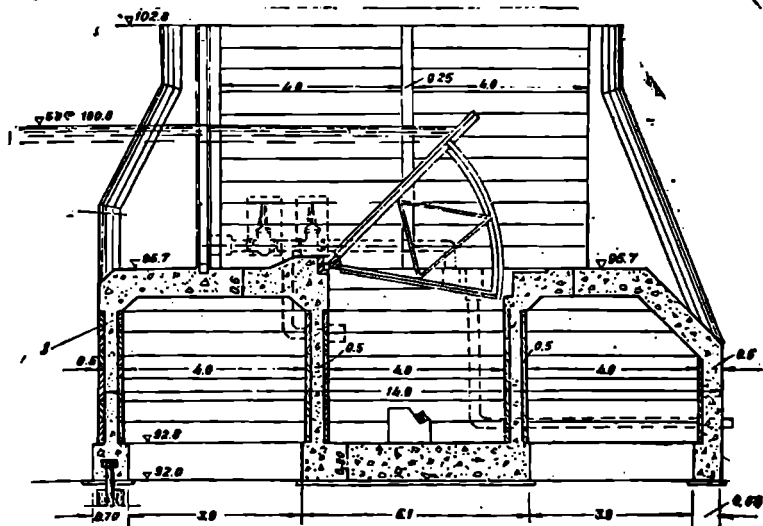
ნახ. 10-1. ა. სენკოვის სისტემის უჯრადოვანი კაშხალი: 1—თიხის ძირული; 2—ადგილობრივი გრუნტის ჩანაყარი; 3—18 სმ სისქის ძელური ნარანდი; 4—ლორღის საგები 0,2 მ სისქისა; 5—სენკოვის სისტემის ჩამქრობი; 6—ლორღის ფენა 0,35 მ სისქისა; 7—წარეცხვის რეგულატორი; 8—მსხვილი ქვიშის ფენა 0,25 მ სისქისა; 9—საშუალო სიმსხოს ქვიშის ფენა 0,25 მ სისქისა; 10—ფიცრული ნარანდი.

უჯრედოვანი კაშხალის ზღურბლზე გადადინებული წყლის სიღრმის შესაბამისად მისი ხარჯის კოეფიციენტი შეიძლება იცვლებოდეს  $m=0,42-0,37$  შუალედში. უჯრედების ზომების — სიგანისა და სიღრმის თანაფარდობა ისეთია, რომ ა. სენკოვის სისტემის კაშხალის ქვეშ მოძრავი ფილტრაციული ნაკადის პიეზომეტრიული წნევის ხაზი შეიძლება საკმარისი სიზუსტით აიგოს წრფივი კონტურული ფილტრაციის მეთოდის ან გრაფიკული ხეჩხით აგებული ჰიდროდინამიკური ბადის გამოყენებით იმ დაშვების საფუძველზე, რომ ქების ფუძეთა ხაზი წყალუფონვადია. ამ ტიპის კაშხალებზე ჩატარებული დაკვირვებანი საეცებით ადასტურებენ აღნიშნულ მოსაზრებას.

ა. სენკოვის სისტემის კაშხალი იძლევა ბეტონის მნიშვნელოვან ეკონომიას, მაგრამ მისი აგების დროს აღინიშნება სამშენებლო სამუშაოთა ერთგვარი გართულება. მიუხედავად ამისა ამ ტიპის კაშხალის ღირებულება შეიძლება 20—30%-ით უფრო იაფი გამოვიდეს, ვიდრე იმავე გასწორში აგებული მასიური კაშხალისა. ა. სენკოვის სისტემის კაშხალის სტრუქტურული გაანგარიშების მეთოდის და მუშავებული აქვს პროფ. პ. პაპკოვიჩს<sup>1</sup>.

კაშხალის განხილული ტიპი რეკომენდებულია 10 მ-მდე დაწნევებისათვის, მაგრამ, მისი ავტორის აზრით, იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს უფრო დიდი დაწნევების პირობებშიც. საბჭოთა კავშირში განხორციელებულია ა. სენკოვის სისტემის რამდენიმე კაშხალი.

მცირე (5 — 6 მ-მდე) დაწნევებისათვის უჯრედოვანი კაშხალის სხვანაირი ტიპი დაამუშავა ინჟ. ტ. ვარხოტოვა „გეპროსელექტროში“. ამ ტიპის კაშხალის ტანი (ნახ. 10-2) შედგება რკინაბეტონის გრძივი და განივი კედლებისა-

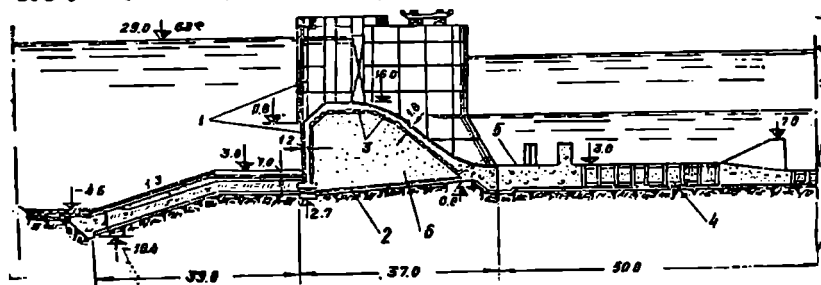


ნახ. 10-2. უჯრედოვანი კაშხალი „გეპროსელექტროს“ პროექტით: 1—მონოლითური ბეტონი; 2 — ბურჯის მონოლითური ნაწილი.

<sup>1</sup> П. Ф. Папкович, Статический расчёт бетонного каркаса плотин системы Сенкова, Госстройиздат, М. 1939.

გან, რომელთა შორის უჯრედებს ავსებენ მდინარისეული გრუნტით; ერთ გრძივ სექციაში გრუნტი არ არის ჩაყრილი, რადგან იგი ასრულებს სექტორული საყრდენის ჩასაშვებ საწინეო კამერის როლს. უჯრედების კედლებს აკეთებენ 7 სმ სისქის წინასწარ დამზადებული რკინაბეტონის ასაწყობი ფილებისაგან; უკანასკნელთ აქვთ გამოშვერილი არმატურები, რომელთაც გადაკვეთის კვანძებში ადუღებენ; ფილებს შორის ასხამენ მონოლითურ ბეტონს. ამ ტიპის რიგი კაშხალებისა აგებულია უკრაინაში.

არაკლდოვანი ფუძეებისათვის უჯრედოვანი კაშხალების სხვა ტიპები დამუშავებულ იქნა „პიდროპროექტიში“; ერთ-ერთი მათგანი (დაახლოებით 15 მ დაწინევისათვის) წარმოდგენილია 10-3 ნახაზზე. ამ კაშხალში სადაწნეო და შუალედური, აგრეთვე სანაპირო ბურჯების კედლები დაპროექტებულია არმოპანელის ბლოკებიანი, წყალსაშვები წახნაგი — არმოპანელის მზიდი კონსტრუქციებისაგან, რომლებზედაც ისხმება მონოლითური ბეტონი.



ნახ. 10-3. ასაკრებ-მონოლითური კაშხალი არაკლდოვან ფუძეზე (პიდროპროექტის პროექტი): 1—არმოპანელის ბლოკები; 2—ანკერული ფილა; 3—არმოპანელის მზიდავი ელემენტები; 4—წყალსაცემი და რისხერმა ასაკრები ელემენტებისა; 5—მონოლითური ბეტონი; 6—ქვიშით ამოვსება.

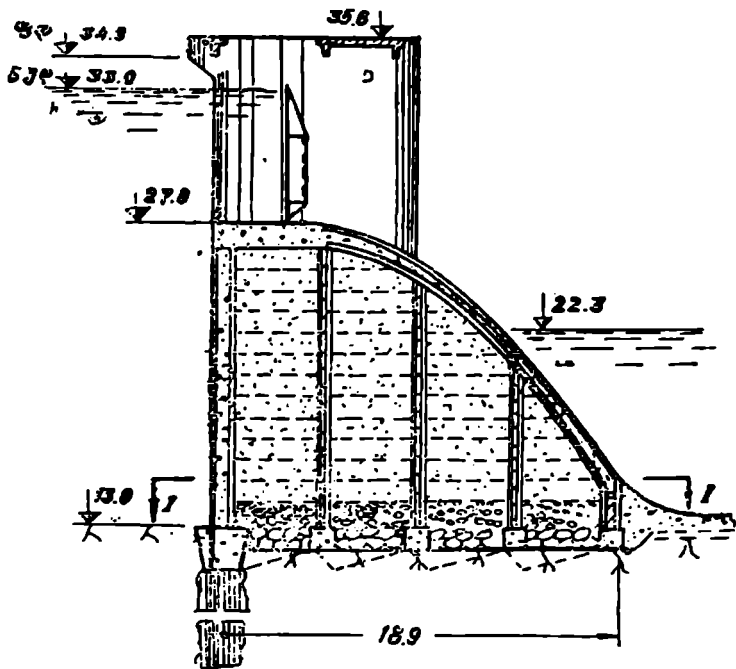
კაშხალის ანალოგიური კონსტრუქციები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კლდოვან ფუძეებზეც, სადაც გამოირიცხულია ძირულის მოწყობის აუცილებლობა, შემსუბუქებულია ქვედა ბიუჯის გამაგრება და შევობებულია წყალსაშვების პროფილი (ნახ. 10-4).

მასიურ-გრავიტაციულ კაშხალებთან შედარებით ასაწყობ-მონოლითურ კაშხალებში ბეტონის მოცულობა შემცირებულია თითქმის 2,5-ჯერ და უფრო მეტჯერ, ხოლო მშენებლობის ღირებულება 15 — 25%-ით; ნაკრებობა (ასაწყობი რკინაბეტონის მოცულობის ფარდობა ბეტონის მთელ მოცულობასთან) შეადგენს 15 — 18%; მცირდება სამუშაოთა შრომატევადობა, განსაკუთრებით ნაგებობის ქვაბულში, ასევე მცირდება კაშხალის აგების ვადები.

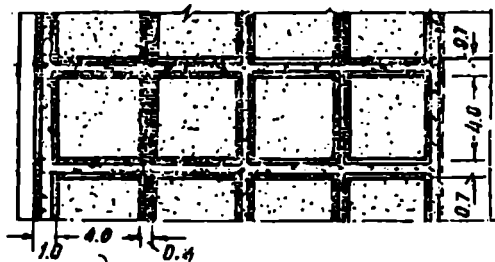
#### § 10-2. ასაწყობი ელემენტების გამოყენება. კაშხალების ასაწყობი კონსტრუქციები

კაშხალების მშენებლობის დროს სხვადასხვა კონსტრუქციისათვის ასაწყობი ელემენტების გამოყენებით შეიძლება მივალწიოთ ღირებულების არსებით ეკონომიას და ამასთანავე სამუშაოთა წარმოების ვადების მნიშვნელოვან შემცირებას.



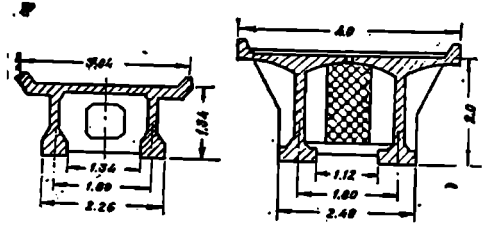
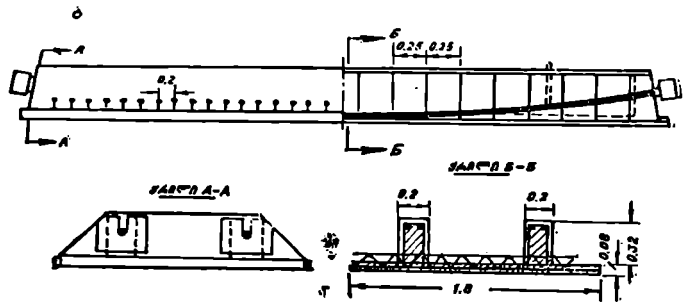
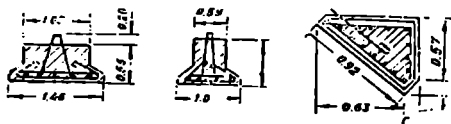


ბაილი I-I



ნახ. 10-4. წყალსაშვები უჩრდლოანი კაშხალი კლოიან ფუძეზე (ვაიროსელექტროს პროექტი).

გარდა ფილა-გარსებისა და არმოპანელებისა, რომლებითაც შეცვლილია ყალიბები, კაშხალებში გამოიყენება წინასწარდაბებული ან დაუძაბავი ტესებრი კვეთის მზიდი ასაწყობი ელემენტები. ეს ელემენტები ერთდროულად ასრულებენ ყალიბებისა და მასზე დასასხმელი მონოლითური ბეტონის მუშა ნაწილების მოვალეობას, მათი ტიპები ნაჩვენებია 10-5 და 10-6 ნახაზებზე. ამ ელემენტებს იყენებენ წყალსაშვები ფილების, სიღრმული წყალსაგდებების



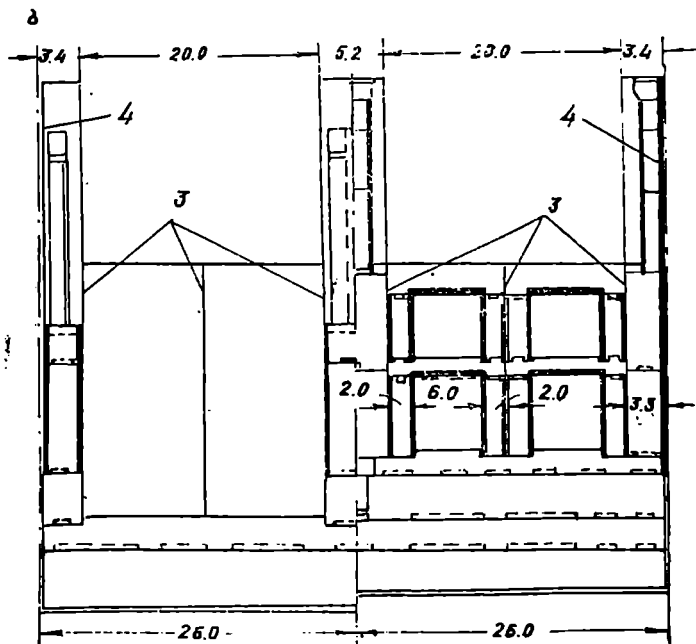
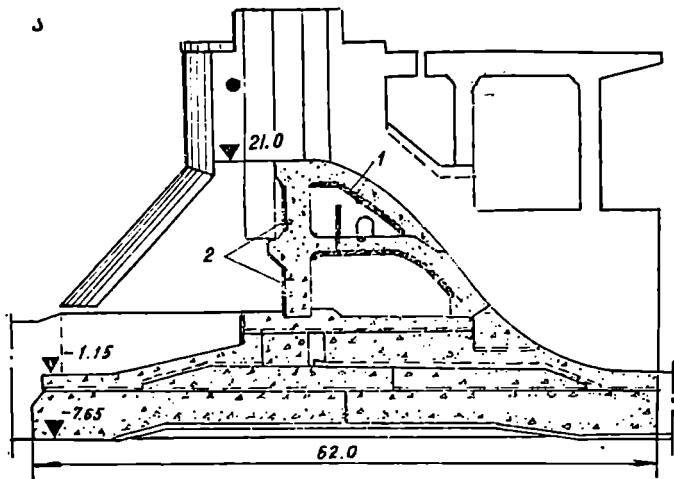
ნახ. 10-5. კაშხალებში გამოყენებული შიდი ასაწყობი ელემენტები: ა, ბ — კოქები; გ — წინასწარდაბული კოქი; დ — ხიდის მალის ნაშენი.

ხვრეტებისა და გალერეების გადახურვების მოსაწყობად, ზარადის კოქებად და სხვა., აგრეთვე ძირულის, რისბერმის გასამაგრებლად და ა. შ.

წინასწარდაბული რკინაბეტონისაგან კაშხალებზე აკეთებენ ხიდებს, კრანქეშა კოქებს, ესტაკადებს, ხიმინჯებს, აგრეთვე ჰიდროკვანძებში ასაგებ სხვა სატრანსპორტო და სამრეწველო ნაგებობათა კონსტრუქციებს.

ასაწყობ-მონოლითურისაგან განსხვავებით ასაწყობ კონსტრუქციებში ანაკრებობა ძალიან მაღალია, იგი აღწევს 60 — 80%, რაც ისეთი კონსტრუქციების დამუშავებით ზღბა შესაძლებელი, რომლებიც პასუხობენ ასაწყობ ელემენტებად კაშხალის დანაწევრების მოთხოვნილებას. ჭკრჭკრობით განხორციელებულია ერთი ასაწყობი მრავალთაღოვანი კაშხალი ალჟირში და საცდელი კაშხალი მდ. სტეპნოი ზაიზე (სსრკ), აგრეთვე დამუშავებულია მთელი რიგი პროექტებისა.

ძირითადად ასაწყობი კონსტრუქციის კაშხალები შეიძლება დაეყოს უჭრედოვან (რომელთა უჭრედებს ავსებენ გრუნტით), კონტრფორსულ და კონსოლურ კაშხალებად. გრავიტაციული კაშხალების აგება ბეტონის ასაწყობი მასივებისაგან არახელსაყრელია, რადგან ბეტონის ეკონომია არ მიიღება,



ნახ. 10-6. ვოლგოგრადის პიროცენის კაშხალი: ა — განივი კრილი; ბ — მარცხენა ნაწილი — ხელი ქვედა ბიეფიდან, მარჯვნივ — გრძივი კრილი; 1 — გადახურებისა და სილრუების კელეპის ასაწყობი კოჭები; 2 — ფილაგარსები; 3 — ტემპერატურული ნაკერები; 4 — დაჯლომის ნაკერები.



ერთებულია ბეტონის სოგმანებითა და ცემენტაციის საშუალებით. კონტრ-ფორსები, რომელთა სისქვა 2,5 მ, აგრეთვე მოწყობილია ასაწყობი ბლოკებისაგან; უკანასკნელთ აქვთ ჩამოქნილწიბობებიანი პარალელეპიპედის ფორმა, ისინი დალაგებულია რკინაბეტონის 1,75×1,4×0,2 მ ზომის ფილა-გარსებით აწყობილ კედელ-წახნაგებს შორის. თაღების ქუსლები აწყობილია განსაკუთრებული ტიპის ღრუ ბლოკებისაგან; ქვედა თაღები დამაგრებულია ფუძის ფილაზე განსაკუთრებული ბუნიკით. კაშხალის წყალსაშვები ნაწილი ადგილზევეა დაბეტონებული უშუალოდ კონტრფორსებზე (მონოლითური ბეტონი). ასაწყობი ელემენტების მონტაჟის დროს გამოყენებული იყო ანკერებითა და ტრანსებით შეერთება და აშვე კრანები 7 ტ ტვირთამწეობით.

ამ მერტი საინტერესო მაგალითმა გვიჩვენა ასაწყობი კონსტრუქციის კაშხალის მთელი რიგი უპირატესობანი: ბეტონის მაღალი ხარისხი, რომელიც არ არის დამოკიდებული ატმოსფერულ პირობებზე, შეკლებაზე და სხვ., ყალიბების საჭიროების უქონლობა, გადახურვის სრული წყალშეუღწევობა, მშენებლობის ვადებისა და შრომის დანახარჯების შემცირება და სხვ.

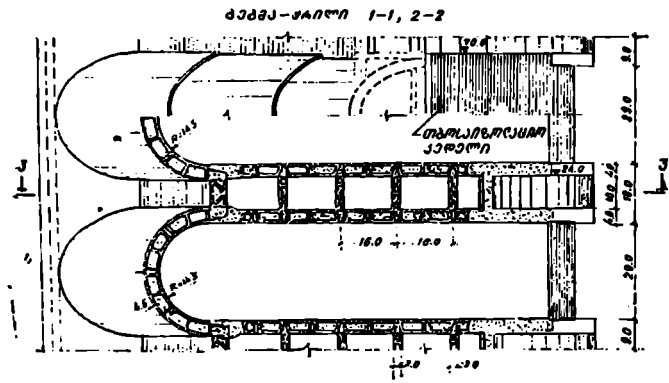
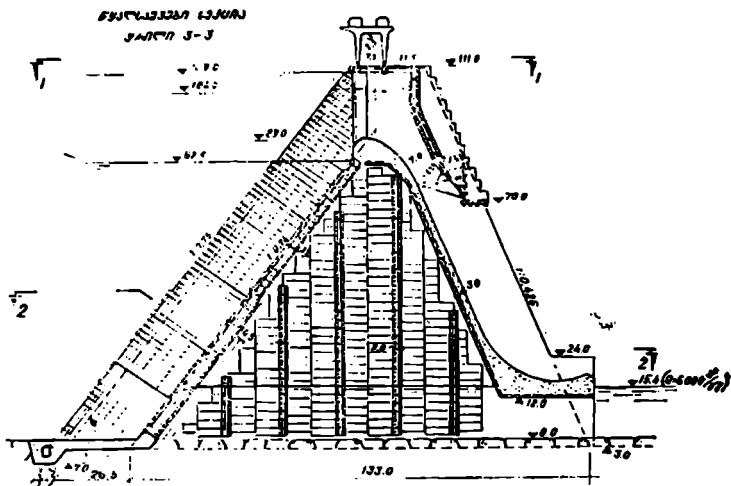
ძალიან საინტერესოა აგრეთვე ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციის მრავალთაღოვანი კაშხალის პროექტი, რომელიც დაამუშავა ს. უუქის სახ. „ჭიდროპროექტის“ ლენინგრადის განყოფილებამ. ამ პროექტში როგორც თაღოვანი გადახურვები, ისე ღრუ კონტრფორსები თითქმის მთლიანად შედგენილია ასაწყობი ელემენტებისაგან (ნახ. 10-8).

მეორე ტიპის კაშხალის მაგალითის სახით შეიძლება მივუთითოთ იმ კაშხალის პროექტზე, რომელიც აწყობილია სხვადასხვა ტიპის კოლოფა მრავალსიღრუიანი ბლოკებით. დინების განივად დალაგებული ამგვარი ბლოკებისაგან აკეთებენ ფლუტბეტის ფილებს, სადაწნეო წყალსაშვებ კედელს და ნეხევარბურჯების კედლებს<sup>1</sup>. საძირკვლის ფილის სიხისტის გასაზრდელად ბლოკები უნდა მოიჭიმოს კონის არმატურით, რომელიც გადის სიღრუებში დინების მიმართულებით. ასევე ნახევარბურჯების კედლები უნდა მოიჭიმოს ვერტიკალური კონის არმატურით. კონების იზოლაციას ახდენენ რეზინის ან პლასტმასის გარსით. ბლოკების წყალშეუღწევობის უზრუნველსაყოფად გამოყენებულია ცემენტაცია. ამ პროექტში ბლოკების წონა საკმარისად მნიშვნელოვანია (40-დან 100 ტ-მდე), კონსტრუქციის ანაკრებობა აღწევს 100%-მდე.

ჭიდროპროექტში დამუშავებულია შუალედური ბურჯების, აგრეთვე სადაწნეო გადახურვების ვარიანტები ვარცლისებური ტიპის ბლოკებისაგან. ასეთი კონსტრუქციები ეკონომიურია, ადვილია მათი გამონოლითება და საკმარისად ხისტი. ეს და ასაწყობი ელემენტების სხვა ტიპები გამოყენებულია მდ. სტეპნოი ზანის ზემოხსენებულ საცდელ კაშხალზე.

კონსტრუქციის ასაწყობი კაშხალები გეგმარდება ასაწყობი ელემენტებისაგან, რომლებიც დამაგრებულია ფუძის გრუნტში. საინტერესოა წინადადება იმის შესახებ, რომ წყალსაშვები კაშხალი შესრულდეს ასაწყობი მილოვანი ხიმიწებებისაგან, რომელთაც უშვებენ 20—30 მ სიღრმეზე, რაც საკმარისია წყლის დაწვევის შესაკავებლად. ხიმიწების ზედი მონოლითდება რგოლური წყალსაშვები სათავისის სახით. ხიმიწებს, რომელთა დიამეტრია 1—3 მ, ერთმანეთთან აერთებენ სოგმანებიანი კლიტით, რომელთაც ავსებენ ბეტონით. ასეთ კედლებში შეიძლება მოეწყოს ფსკერული გამრეცხებიც; ჩამ-

<sup>1</sup> М. М. Фришья, Гидротехнические сооружения, М., 1962 г.



ნახ. 10-8. ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციის შრავალთაღოვანი კაშხალი (პირო-პროექტის ლენინგრადის ვანყოფილების პროექტი):

ქრობები არ მოითხოვს წყალსაცემის განსაკუთრებულ გამაგრებას, რადგან ხიშინჯები მნიშვნელოვნად არის ჩაღრმავებული. ასეთი კონსტრუქციის ანაკრებობა შალაია, ნაგებობის შუენებლობა შესაძლებელია ზღუდარებისა და მდინარის გადაღების გარეშე.

დამუშავებულია აგრეთვე ასაწყობი წყალსაშვები კაშხალის სხვა ტიპი (ა. ბერეზინსკის წინადადება), რომელშიც ბურჯები და სადაწნო კედელი კედება ხიშინჯი-გარსებისაგან, რომელთაც საჭირო სიღრმეზე უშვებენ კლდოვან ან არაკლდოვან გრუნტში, ზოლო წყალსაშვები ფილა — მონოლითური ბეტონისაგან, რომელსაც ასხამენ ასაწყობ მზიდ ტესებრ ფილებზე.

ამჟამად დამუშავებულია ასაწყობი კონსტრუქციის კაშხალების, საყრდენი კედლებისა და უფრო რთული ნაგებობების (შაგალითად, პიროლექტრო-

სადგურების შენობების) მრავალი პროექტი, რომელთა განხორციელება მომავლის საქმეა.

ასაწყობი კონსტრუქციების მაღალი ეკონომიური მაჩვენებლების მისაღებად საჭიროა მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდეს მათი დამზადების ტექნოლოგია, მინიმუმამდე შემცირდეს ტიპური ასაწყობი ელემენტების რაოდენობა ერთ ნაგებობაში, გამარტივდეს მათი ფორმები, გამოყენებულ იქნეს ბეტონის წინასწარი დაძაბვა. დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს საიშედო, მტკიცე, წყალშეუღწევ და მცირე შრომატევად პირაპირების მიღებას, აგრეთვე ასაწყობი კონსტრუქციების გაანგარიშებას დინამიკურ დატვირთვაზე, რომელიც წარმოიქმნება ვარდნილი ნაკადების პულსაციით, ტალღების მოქმედებით, მიწისძვრის შედეგად და სხვ.

**მიწის, ძვის, ქვა-მიწისა და სხვა ტიპის  
კაშხალები**

თ ა 3 0 X I

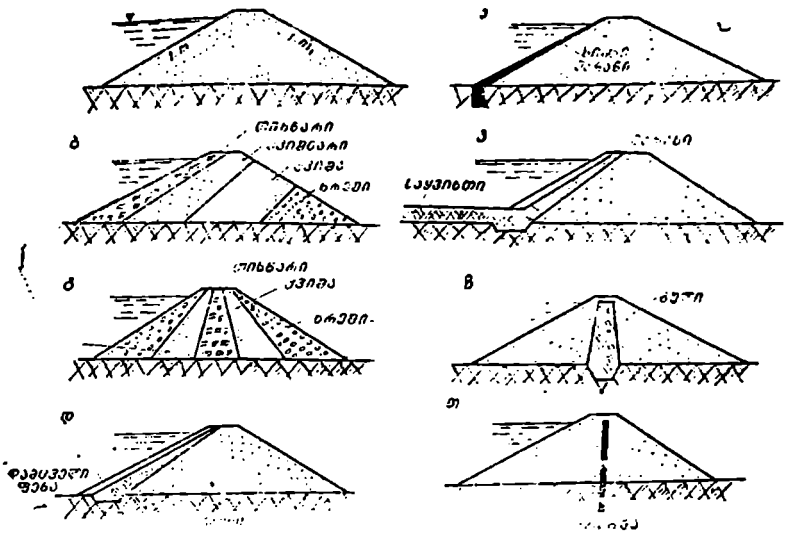
**მიწის კაშხალები**

**§ 11-1. ზოგადი ცნობები. მიწის კაშხალების კლასიფიკაცია**

მიწის კაშხალები წარმოადგენს შემტორავ ნაგებობათა ყველაზე ძველ სახეობას, რომელთაც აგებდნენ მორწყვის მიზნებისათვის მსოფლიოს უძველეს ქვეყნებში ჯერ კიდევ 1000 წლის წინათ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე. მაგრამ ამ კაშხალების საინჟინრო დაპროექტების თეორიული საფუძვლები დაშუშავდა მხოლოდ უკანასკნელ წლებში შედარებით ისეთი ახალი დისციპლინების ბაზაზე, როგორცაა, მაგალითად, გრუნტების მექანიკა და წყლის ფილტრაცია ფოროვან არეებში.

მიწის კაშხალებიდან ამჟამად მსოფლიოში ყველაზე მაღალია ოროვილის ნაყარი კაშხალი კალიფორნიაში (აშშ), რომლის მშენებლობა დამთავრდა 1967 წ. მისი სიმაღლე შეადგენს 235 მ, სიგრძე თხემის გასწვრივ 2080 მ, ხოლო საერთო მოცულობა 61,6 მლნ. მ<sup>3</sup>. კაშხალის მიერ შექმნილია კომპლექსური დანიშნულების წყალსაცავი 4,3 მლრდ. მ<sup>3</sup> ტევადობით. სიმაღლის მიხედვით შემდეგი ადგილები უკავიათ ტრინიტის (კალიფორნია) 164 მ (1962 წ.) და კრემასტას (საბერძნეთი) 163 მ (1965 წ.) სიმაღლის ნაყარი მიწის კაშხალებს. ეს უკანასკნელი ამჟამად ყველაზე მაღალი მიწის კაშხალია ევროპაში. სსრ კავშირში მიწის კაშხალებს შორის ყველაზე მაღალია სიონის მოტექნილი კაშხალი საქართველოში, რომლის სიმაღლე შეადგენს 84,8 მ. იგი აგებულია მდ. იორის ხეობაში და ქმნის 325 მლნ. მ<sup>3</sup> საერთო მოცულობის წყალსაცავს, აქედან სასარგებლო მოცულობა შეადგენს 300 მლნ. მ<sup>3</sup> (რეგულირების პრიზმის სიმაღლე 50 მ), რაც უზრუნველყოფს მდ. იორის ჩანადენის სრულ რეგულირებას და მისი საშუალებით 80 ათასი ჰ. ფართობის მორწყვას და 158 მლნ. კვტ ელექტროენერჯის მიღებას სიონისა და ქვემოთ მდებარე სამგორის ჰიდროელექტროსადგურებზე. აღსანიშნავია აგრეთვე მინგეჩაურის მონალექი მიწის კაშხალი, რომელიც აგებულია აზერბაიჯანში მდ. მტკვარზე. მისი აგების წლებში (1950 — 1954 წ წ.) იგი იყო მსოფლიოში ყველაზე მაღალი ზრეშოვან-კენჭნარ გრუნტებისაგან მონალექი მიწის კაშხალი სეისმურ რაიონში. კაშხალის მაქსიმალური სიმაღლე კალაპოტურ ნაწილში შეადგენს 80 მ, მოცულობა 15,6 მლნ. მ<sup>3</sup>, სიგრძე თხემის გასწვრივ 1550 მ. მის მიერ შექმნილი მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავის საერთო მოცულობა 16 მლრდ. მ<sup>3</sup>-ის ტოლია; აქედან სასარგებლო მოცულობა შეადგენს 7,5 მლრდ. მ<sup>3</sup>. მინგეჩაურის ჰიდროკვანძი კომპლექსური დანიშნულებისაა და ერთდროულად ემსახურება ირიგაციის, ენერგეტიკის, წყლის ტრანსპორტის მიზნებს და წყალდიდობასთან ბრძოლის ღონისძიებებს.





ნახ. 11-1. მიწის კაშხალების ძირითადი ტიპები.

განასხვავებენ მიწის კაშხალებს შემდეგ ძირითად ტიპებს:

1. ერთგვაროვანი გრუნტის კაშხალებს: ქვიშისაგან, ქვიშნარის, თიხნარისა და ა. შ. (ნახ. 11-1 ა).

2. კაშხალებს არაერთგვაროვანი, ე. ი. სხვადასხვა გრუნტისაგან: თიხნარისა და ქვიშნარისაგან ანდა თიხისა, ქვიშნარისა და ქვიშნარისაგან, რომელთაც, ჩვეულებრივ, ისეთნაირად ანლაგებენ კაშხალის ტანში, რომ მისი წყალშელწევალობა იზრდებოდეს ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისაკენ (ნახ. 11-1 ბ); ზოგჯერ კი ყველაზე უფრო წყალშეუღწევ გრუნტს ათავსებენ კაშხალის პროფილის ცენტრალურ ნაწილში (ნახ. 11-1 გ).

3. კაშხალებს გარე მცირეწყალშეუღწეადი ან წყალშეუღწევი ზღუდით:

ა) პლასტიკური ეკრანით, რომელიც კეთდება, მაგალითად, თიხისაგან ან თიხნარისაგან (ნახ. 11-1 დ) ან

ბ) ხისტი ეკრანის სახით; უქანასკნელი კეთდება, მაგალითად, ბეტონისაგან, რკინაბეტონისა, ლითონისა ან ხისაგან (ნახ. 11-1 ე); თუმცა უნდა შევნიშნოთ, რომ ამ ბოლო ხანებში ხისტი ეკრანების გამოყენებას მიწის კაშხალებში ერიდებიან. ზოგიერთ შემთხვევაში ეკრანის წინ აწყობენ ძირულს (ნახ. 11-1 ვ).

4. კაშხალებს შიგა მცირეწყალშეუღწეადი ან წყალშეუღწევი ზღუდით:

ა) პლასტიკური გულით, თიხისაგან, თიხნარისაგან და ა. შ. (ნახ. 11-1 ზ),

ბ) ხისტი დიფრაგმის სახით, რომელიც კეთდება ბეტონისაგან, რკინაბეტონისაგან და ა. შ. (ნახ. 11-1 თ).

მიწის კაშხალის ამა თუ იმ ტიპის არჩევა წარმოებს იმის მიხედვით, თუ რა მასალები მოიპოვება ადგილზე, როგორია ფუძის გეოლოგიური აგებულება და ჰიდროკვანძის საექსპლუატაციო და ეკონომიური პირობები. არსებითი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე სამუშაოთა წარმოების ხერხს.

აგების ხერხის მიხედვით მიწის კაშხალები იყოფა შემდეგ ტიპებად:

ა) ნაყარი კაშხალები, რომელთა აგება წარმოებს გრუნტის მშრალი დაყრით და მისი შემდგომი გამკვრივებით (დატკეპვით);

ბ) მონალექი კაშხალები, რომელთა გრუნტი ჰიდრომექანიზაციის მეტოღობით მუშავდება კარიერში და პულპის სახით გადაიტანება ადგილზე, სადაც იგი ილექება და თანდათანობით წარმოქმნის კაშხალის ტანს;

გ) ნახევრად მონალექი კაშხალები, რომელთა ასაგებად გრუნტს ამუშავებენ კარიერებში, გადააქვთ კაშხალის მშენებლობის ადგილზე და ყრიან მის გვერდებზე (გარე პრიზმებად). შუა ნაწილის (გულის) ჩაწყობას აწარმოებენ წყლის დახმარებით.

ზოგჯერ გამოიყენება მიწის კაშხალის აგების ეგრეთ წოდებული „სველი ხერხი“, რომლის დროს მშრალ (თიხნაროვან, ლიოსისებრ, მორენისებრ) გრუნტს ყრიან პატარა გუბურებში, რომელთაც ქმნიან მშენებარე კაშხალის თხემზე გრუნტის მოზვინვით და მიღებულ ქარტებში წყლის ჩასხმით. წყალში მოხვედრილი თიხოვანი გრუნტის დაღობის შედეგად იგი სათანადოდ გამკვრივდება.

მიწის კაშხალის ასაგებად ზოგჯერ იყენებენ მიმართული აფეთქებების ხერხს, რომლის დროს კაშხალი წარმოიქმნება აფეთქებების შედეგად ნაპირებიდან გრუნტის მასობრივი ამოვლებით.

ჰიდრაულიკური თვალსაზრისით მიწის კაშხალები წარმოადგენს ყრუ კაშხალებს, ე. ი. ისინი არ ატარებენ წყალს ტანზე გადადინებით. აუცილებლობის შემთხვევაში მათზე შეიძლება გადაეატაროთ გადასაგდები ხარჭების ნაწილი, მაგრამ ამისათვის საჭიროა კაშხალის წყალსაგდები უბანი დაიფაროს სპეციალური კონსტრუქციის სამოსით (მოქნილი ღარებით).

მიწის კაშხალების დიდ ღირსებად უნდა ჩაითვალოს მათი აგების შესაძლებლობა პრაქტიკულად თითქმის ყველანაირ ფუძეებზე, გარდა ძლიერ გათხევადებული ლამოვანი ან ღრმა ტორფოვანი გრუნტებისა, ანდა ისეთი გრუნტებისა, რომლებიც ხასიათდებიან უკიდურესად განსხვავებული მექანიკური თვისებებით.

## § 11-2. მიწის კაშხალის ტანის შეერთება ფუძესთან და ნაპირებთან

მიწის კაშხალის ტანის დაკავშირება ფუძესთან შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა ხერხით; დაკავშირების სქემის არჩევა დამოკიდებულია ფუძის წყალშეუღწევი ფენის ანუ წყალსაკავი სიღრმით მდებარეობაზე. აქ უნდა განვიხილოთ შემდეგი შემთხვევები:

1) წყალსაკავი მოთავსებულია ზედაპირზე, ამასთან იგი წარმოქმნილია თიხით ან კლდით;

2) წყალსაკავი მოთავსებულია მისაღწევ სიღრმეზე და წარმოქმნილია აგრეთვე თიხით ან კლდით;

3) წყალსაკავი მოთავსებულია მიუღწეველ სიღრმეზე.

ყველა ამ შემთხვევაში, ცხადია, კაშხალის ტანის დაკავშირება ფუძესთან უნდა მოხდეს შესაბამისი სქემით. ბუნებრივია, რომ დაკავშირების სქემის არჩევა დამოკიდებულია აგრეთვე თვით კაშხალის ტანის კონსტრუქციებზე.

როდესაც მიწის ზედაპირზე მოთავსებული წყალსაკავი თიხოვანია, მაშინ ერთგვაროვანი კაშხალის შემთხვევაში კმაყოფილდებიან მიწის ზედაპირიდან მცენარეული ფენის მოცილებით და შესაბამისი კბილების (კლიტეების) მოწყობით, ხოლო თუ ზედაპირზე მოთავსებული წყალსაკავი კლდოვანია, მაშინ მოკლე კბილის ქვეშ აწყობენ ცემენტაციურ ფარდას.

თუ მიწის კაშხალს აქვს წყალშეუღწევი ნაწილი — ეკრანი, გული ან დიფრაგმა და ამასთანავე წყალსაკავი მოთავსებულია მისაღწევი სიღრმეზე, მაშინ, ცხადია, კაშხალის ტანის წყალშეუღწევი ნაწილი საიმედოდ უნდა დაუკავშირდეს წყალსაკავს. ასეთი დაკავშირების ყველა შესაძლო სახეობანი ნაჩვენებია 11-2 ნახაზზე (ნახ. 11-2 ა, ბ, გ, დ, ე, ვ, ზ, თ).

წყალსაკავის ძალიან ღრმად მოთავსების შემთხვევაში, როდესაც იგი პრაქტიკულად მიუღწეველ სიღრმეზეა, შეიძლება მოეწყოს ძირული, რომელიც წარმოადგენს ეკრანის ან კაშხალის სხვა წყალშეუღწევადი ნაწილის (გულის) გაგრძელებას (ნახ. 11-2 ი). ამავ შემთხვევაში შეიძლება მივმართოთ „კიდული“ კბილების ან „კიდული“ ნარანდული კედლების გამოყენებას (ნახ. 11-2 კ).

რაგორც წესი, კაშხალის ქვეშ გრუნტის ზედაპირულ მცენარეულ ფენას აცილებენ, ხოლო შემდეგ აწარმოებენ ნაპირების დახრილი ფერდობების მოშანდაკებას. შეიძლება მივეუთოთ ასეთი მოშანდაკების ორ სხვადასხვა ვარიანტზე: საფეხურებითა (ნახ. 11-3 ა) და დახრილი სიბრტყეებით მოშანდაკება (ნახ. 11-3 ბ). საფეხურების (ნახ. 11-3 ა) ძ სიმაღლე არ უნდა იყოს დიდი, წინააღმდეგ შემთხვევაში დაჯდომების სხვაობა კაშხალის მეზობელ უბნებზე მიიღება მნიშვნელოვანი სიდიდისა, რაც დაუშვებელია. ამ ფერდობებს აკეთებენ რამდენადმე დახრილს; ამ ფერდობების მოხაზულობა გეგმაში უნდა იყოს ტეხილი.

უფრო რაციონალურადაა მიჩნეული ნაპირთან მიერთების ის ვარიანტი, რომელიც ნაჩვენებია 11-3 ბ ნახაზზე.

ნაპირის მოშანდაკება წარმოებს არა ერთბაშად მთელ სიმაღლეზე, არამედ თანდათანობით კაშხალის სიმაღლის ზრდასთან ერთად.

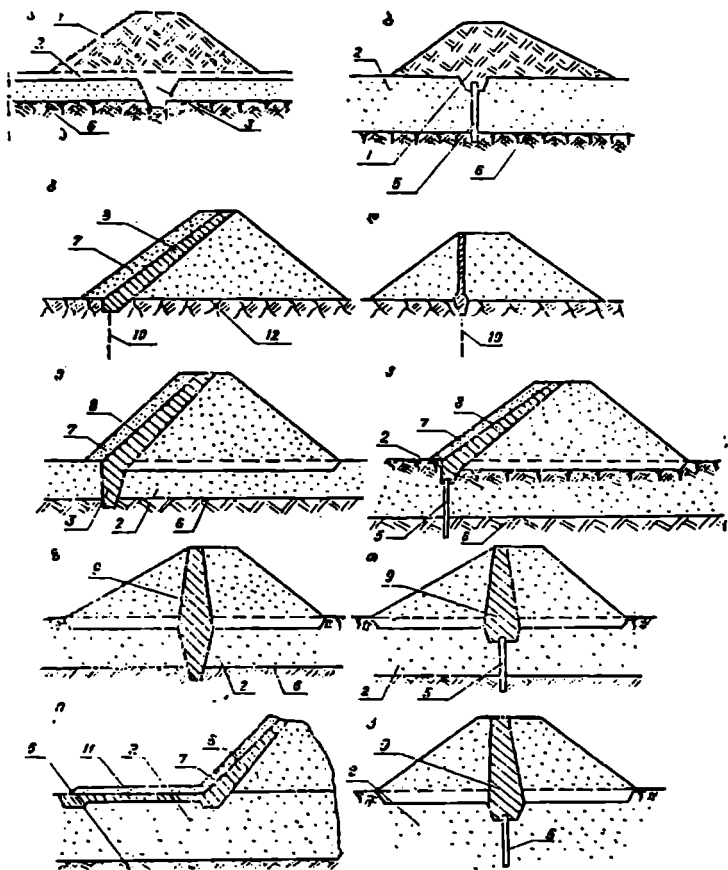
თუ ნაპირები კლდოვანია და ამასთანავე მისი ზედაპირი ბზაროვანი (რასაც ჩვეულებრივ კიდევაც აქვს ადგილი), მაშინ აღნიშნულ ზედაპირს ხშირად აქვს უსწორო (ოღრო-ხოღრო) რელიეფი. ამასთან დაკავშირებით კაშხალის ტანის გრუნტის დაჯდომის შემდეგ კლდის ზედაპირის გასწვრივ ყოველთვის შეიძლება ველოდოთ შეუქრსული ფილტრაციის საშიში სასველელების გაჩენას. ასეთ შემთხვევაში კლდის ზედაპირთან დაყრილი გრუნტის შეუღლების გასაუმჯობესებლად შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი ორი ღონისძიებიდან ერთ-ერთით:

1) მოეწყოს ბეტონის ერთი, ორი ან რამდენიმე კბილი (ნახ. 11-4), იმ ანგარიშით, რომ  $\Sigma l \approx L_0$ ;

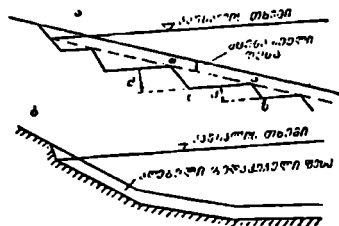
2) გრუნტის დაყრამდე კლდის ზედაპირი დაიფაროს ეგრეთ წოდებული შპრიცბეტონის ფენით, რომელიც გაათანასწორებს კლდის გამონაშვებებს<sup>1</sup>.

თუ კლდის აღნიშნული უსწორმასწორო ზედაპირი მოქცეულია წყლის ქვეშ, მაშინ მასზე გრუნტის მოყრის შემდეგ ყამირისა და კლდის შეუღლების

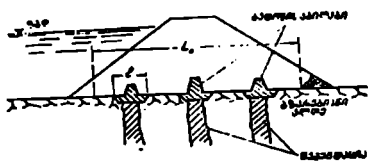
<sup>1</sup> შპრიცბეტონი მიიღება ამა თუ იმ ზედაპირზე ბეტონის ისეთი ნარევის მინარცებით, რომელიც შეიცავს საკმარისად მსხვილ შემაკვებელს.



ნახ. 11-2. მიწის კაშხალის ტანის შეუღლება ფუძესთან: 1 — კაშხალის ტანი; 2 — წყალშედწევი გრუნტი; 3, 4 — კაშხალის კბილი (ვლიტე); 5 — ნარანდი; 6 — შკერიფი გრუნტი; 7 — დამცევი ფენა; 8 — პლასტიკური ეკრანი; 9 — პლასტიკური გული; 10 — ცემენტაციური ფარდა; 11 — ჰირული; 12 — კლდოვანი ფუძე.



ნახ. 11-3. მიწის კაშხალის შეუღლება ნაპირებთან: ა — საფეხურებით შეუღლება; ბ — დახრილი სიბრტყეებით შეუღლება.



ნახ. 11-4. ბზაროვან კლდოვან ნაპირთან შეუღლება.

„ნაკერები“ ზოგჯერ საპიროა გამკვრივდეს ამა თუ იმ მატამონირებელი ნარე-  
ვით (ცემენტაციით, ცხელი ბიტუმიზაციით, თიხიზაციით, ზოლო წვრილმანა  
ბზარიანობის დროს სილიკატიზაციითა და ცივი ბიტუმიზაციით).

#### § 11-8. მიწის კაშხალუბის მუშაობის პირობები

გრუნტი, რომლისაგანაც წარმოქმნილია კაშხალი, ყოველთვის ცოტად თუ  
ბევრად წყალშედწვევადია, ამიტომ კაშხალის ტანში იქმნება ფილტრაციული  
ნაკადი (ნახ. 11-5). ნახაზზე ნაჩვენებ  $AB$  დეპრესიის მრუდს, ჩვეულებრივ,  
თვლიან ფილტრაციული ნაკადის ყველაზე ზედა ფენის წირად.

წყლის კაპილარული აწევის შედეგად კაშხალის ტანში წარმოიშობა მენის-  
კების  $ACDB$  ზედაპირი, ამასთან ეს  $ACDB$  ზონა (ნახაზზე დამტრიახულია)  
გაჭერებულა კაპილარული წყლით. კაპილარული წყალი თავისი ფიზიკური  
თვისებებით არაფრით არ განსხვავდება ჩვეულებრივი (გრაეიტაციული) წყლი-  
საგან. დაწნევათა სხვაობის მოქმედების შედეგად კაპილარულ ზონაში წყალი  
ისევე მოძრაობს, როგორც  $AB$  მრუდის ქვემოთ მოთავსებულ არეში. როგორც  
ჰიდრავლიკის კურსიდანაა ცნობილი, კაპილარული ზონა ხასიათდება ვაკუუმის  
არსებობით.

თუ მხედველობაში მივიღებთ აღნიშნულს, მაშინ ყველაზე ზედა დენის  
წირად უნდა ჩათვალოს  $ACDB$  ხაზი. რ. ჩუგაევის<sup>1</sup> განსაზღვრის თანახმად,  
როგორც ჩანს, წყლის შესაბამისი ნაწილაკი ჯერ იწვევა მალა, გვილის რა  $AC$   
ხაზს, ხოლო შემდეგ განაგრძობს მოძრაობას  $CDB$  ხაზის გასწვრივ და, მაშა-  
სადამე, ეშვება ქვემოთ. რაც შეეხება  $AB$  ხაზს, იგი წარმოადგენს ატმოს-  
ფერული წნევის ხაზს. დენის წირები (რომლებიც 11-5 ნახაზზე ის-  
რებიანაა ნაჩვენები) ქვეთს  $AB$  მრუდს.

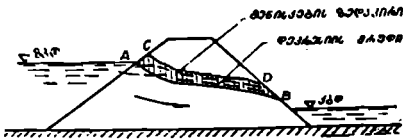
მენისკების  $CD$  ზედაპირის მალა გრუნტის ფორები ნაწილობრივ შევ-  
სებულაა ჰაერით, ნაწილობრივ კი — ეგრეთ წოდებული აფსკური წყლით;  
აფსკური წყლის რაოდენობა ზემოთქენ მცირდება.

მიწის კაშხალების ფილტრაციული გაანგარიშების დროს კაპილარულ და  
აფსკურ წყლებს, ჩვეულებრივ, უგულებელყოფენ. მაგრამ კაშხალის ტანის  
დაგეგმარების დროს ასეთ წყლის არსებობა ფორებში ყოველთვის უნდა იქ-  
ნეს გათვალისწინებულა.

კაპილარული აწევის მაქსიმალური სიმაღლე, რომელიც გრუნტის ფორე-  
ბის ზომებზეა დამოკიდებული, შეიძლება იყოს სხვადასხვა: მაგალითად;  
წერილქეიშიანი გრუნტებისათვის 0,5 — 1,0 მ-მდე, ხოლო თიხოვანი გრუნტე-  
ბისათვის მნიშვნელოვნად უფრო მეტი.

მიწის კაშხალის მუშაობის გაანალიზებით ვრწმუნდებით, რომ მისი გრუნ-  
ტის ჩონჩხი იმყოფება ფილტრაციული ნაკადის მუდმივი ზემოქმედების ქვეშ.  
ამიტომ თუ კაშხალის აგების დროს გრუნტი არასაკმარისად იქნა გამკვრივებუ-  
ლი, მაშინ კაშხალის ტანში შეიძლება გაჩნდეს ფილტრაციის შეყურსული სას-  
ვლელები, რასაც, ჩვეულებრივ, თან სდევს კაშხალის დანგრევა (გარეცხვა).  
მიწის კაშხალი შეიძლება დაინგრეს აგრეთვე მის თხემზე წყლის გადატარების  
მიზეზით (თუ თხემის ნიშნული დადგენილია არასწორად) ანდა ფილტრაციული  
ძალების მოქმედების ქვეშ არსებული ფერდობების ჩამოშეწყვრების (როცა  
ფერდობები არასაკმარისად დამრეცია) და რიგი სხვა მიზეზების გამო, რომლე-  
ბიც სპეციფიკურაა კაშხალის ტანის მუშაობისათვის.

<sup>1</sup> Р. Р. Чугаев, Плотины из местного материала, Часть первая, ЛПИ им. М. И. Ка-  
линина, Л., 1968.



ნახ. ნახ. 11-5. მიწის კაშხალის ტანის წყლით გაჯერების სქემა.



ნახ. 11-6. დამყარებული ფილტრაციული ნაკადი.

სტატისტიკური ცნობების თანახმად მიწის კაშხალების ავარიის უმრავლესობა გამოწვეულია ფილტრაციულ ზემოქმედებათა შედეგად, ამიტომ მათში ფილტრაციული წყლების მოძრაობის შესწავლა და მის საფუძველზე საიმედო კონსტრუქციულ ღონისძიებათა გათვალისწინება ერთ-ერთი მთავარი საკითხია გეგმარების დროს.

ყველა ეს გარემოება გვიკარნახებს, რომ მიწის კაშხალში ვხედავდეთ ისეთ ნაგებობას, რომელიც პრინციპულად განსხვავდება მიწის სხვა ნაგებობებისაგან, როგორც, მაგალითად, რკინიგზის ჯებირებისაგან (ყრილებსაგან) და სხვ.

ზემოთ აღნიშნულთან დაკავშირებით უნდა გავითვალისწინოთ, რომ კაშხალის ტანში დასაწყობი 1 მ<sup>3</sup> გრუნტის ღირებულება ყოველთვის მნიშვნელოვნად უფრო მაღალია, ვიდრე ისეთი მიწის ნაგებობის 1 მ<sup>3</sup> მოყრილი გრუნტის ღირებულება, რომელიც არ აკავებს წყლის დაწნევას.

ფილტრაციული ნაკადების ძირითადი სახეობანი მიწის კაშხალის ტანში. მიწის კაშხალის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს ვხვდებით წყლის ფილტრაციის სხვადასხვა სახეობას. ერთმანეთისაგან განსხვავებულ ეგრეთ წოდებულ დასაშვებ და არადასაშვებ ფილტრაციულ ნაკადებს. პირველნი არ არიან საშიში სათანადო ზომების მიღების შემთხვევაში, ხოლო მეორენი ყოველთვის საშიშია ნაგებობისათვის.

ფილტრაციის დასაშვებ სახეობებს მიეკუთვნება:

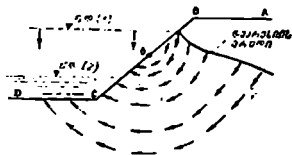
1. დამყარებული ფილტრაციული ნაკადები, რომლებიც განისაზღვრებიან მოცემული (დროში) უცვლელი სასაზღვრო პირობებით (ნახ. 11-6).

2. არადამყარებული ფილტრაციული ნაკადები, რომლებიც მიიღებიან ფოროვანი სივრცის (დროში) უცვლელი მოცულობისა და ფილტრაციული არის (დროში) ცვალებადი სასაზღვრო პირობების შემთხვევაში. ასეთი ნაკადები წარმოიშობა, მაგალითად, მიწის კაშხალის ტანის ზედა სოლში წყალსაცავში წყლის ღონის სწრაფი დაწვეის დროს, როდესაც წყალი იწყებს გამოდინებას გრუნტის ფორებიდან ბიეფში (ნახ. 11-7).

3. არადამყარებული ფილტრაციული ნაკადები ფოროვანი სივრცის (დროში) ცვალებადი მოცულობის შემთხვევაში. კაშხალის ან მისი ფუძის ფოროვანი სივრცის ცვლილება შეიძლება განპირობებული იყოს ერთ-ერთი შემდეგი ორი მიზეზისაგან:

ა) ამა თუ იმ დატვირთვის შედეგად თიხოვანი გრუნტის შეკუმშვით. ასეთი მოვლენის მაგალითის სახით შეიძლება მოვიყვანოთ შემთხვევა, როდესაც კაშხალის მშენებლობა წარმოებს წყლით გაჯერებულ კუმშვად თიხოვან გრუნტზე; ცხადია, დროის გავლის შემდეგ კაშხალის ფუძის გრუნტის ფორებიდან წყალი გამოიწურება და ფოროვანი სივრცის მოცულობა შემცირდება. გრუნტიდან წყლის გამოწურვის მეორე მაგალითს წარმოადგენს ბიეფში წყლის დო-

ნის დაწვევის შედეგად დეპრესიის მრუდის დაწვევა მიწის კაშხალის ტანში. ასეთ პირობებში კაშხალის გრუნტის გარკვეული მოცულობა უკვე აღარ არის შეტივტივებულ მდგომარეობაში და იგი მიმდებარე;



ნახ. 11-7. არადამყარებული ფილტრაციული ნაკადი (წყლის დონის სწრაფი დაწვევის შემთხვევა ზედა ბიფეში).

ბ) გაფხვიერებული ქვიშოვანი გრუნტის გამკვრივებით რაიმე დინამიკური დატვირთვის მოქმედების შედეგად მისი სტრუქტურის აშლის შემდეგ. გრუნტების მექანიკის კურსიდან ცნობილია, რომ ასეთი (წყლით ნაჭერი) გრუნტის სტრუქტურის აშლის შემდეგ იგი რალაც ზომით თხევადდება, ხოლო შემდეგ თანდათანობით მკვრივდება.

ფილტრაციის დაუშვებელ (საშიშ) სახეობას მიეკუთვნება შეყურსული ფილტრაცია, რომელიც შეიძლება გაჩნდეს კაშხალის სამუშაოთა წარმოების დამთავრებისთანავე მისი არასწორად და უხარისხოდ შესრულების შედეგად, აგრეთვე ნაგებობის პროექტში დაშვებული შეცდომების ანდა ადგილობრივი პირობების გაუთვალისწინებლობის გამო. შეყურსული ფილტრაციის სავალეები შეიძლება გაჩნდეს აგრეთვე კაშხალის ექსპლუატაციის პროცესში მიწის მაყების და მათი მომიჯნავე ბეტონის ნაგებობის ამა თუ იმ სახის დეფორმაციის შედეგად.

საშიშ ფილტრაციის წარმოშობის საილუსტრაციოდ შეიძლება მოვიყვანოთ შემდეგი მაგალითები:

1. კაშხალის ტანში მოთავსებული წყალჩასაშვების ბეტონის მილის არასწორად დაპროექტებული გარეგანი მოხაზულობა;

2. მიწის ყრილთან მომიჯნავე ბეტონის გრძივი კედლის არასწორად დაპროექტებული შიგა წახნაგი;

3. კაშხალის არასწორად დაპროექტებული ღია წყალჩასაშვები, კერძოდ, როდესაც ასეთი ნაგებობა თავსდება ნაყარ გრუნტზე და მას გააჩნია ხიმიჩის ფუძე ჩარჩო (როსტვერკი); ბუნებრივია, რომ ნაგებობის ქვეშ გრუნტის დაჭდომის შემდეგ უშუალოდ საძირკვლის ნაწილში იხსნება ფილტრაციული სავალი.

საშიშ შეყურსულ ფილტრაციულ ნაკადების წარმოშობას შეიძლება ხელი შეუწყოს ნაყარი გრუნტის არასაკმარისმა და არაგულდასმითმა გამკვრივებამ (განსაკუთრებით იმ ბეტონის კედლებთან, რომლებსაც ეკვრის ნაყარი), აგრეთვე მრავალმა სხვა მიზეზმა, მაგალითად, კაშხალის ფერდობებზე ამოსული ხეების ძირების ლაობამ, მიწის მღრნელი ცხოველების სასველეებმა, გრუნტის მოყრის დროს მასში მოზვედრილი ყინულის გადნობამ და ა. შ. გარდა აღნიშნულისა, შეყურსული ფილტრაციის წარმოშობის მიზეზი შეიძლება გახდეს ფუძის არათანაბარი დაჭდომა.

ამგვარად, მიწის კაშხალის დაპროექტებისა და მშენებლობის მთავარ ამოცანას უნდა წარმოადგენდეს ისეთი პირობების მიღწევა, რომლის დროს გამორიცხული იქნება შეყურსული ფილტრაციული ნაკადების წარმოშობა როგორც კაშხალის ტანში, ისე მის ფუძეში.

1. ზოგადი შენიშვნები

მიწის კაშხალებში ფილტრაციული წყლების მოძრაობის ამოცანების შესწავლას მრავალი გამოკვლევა მიეძღვნა. ამ საქმეში განსაკუთრებული დიდი წვლილი მიუძღვით საბჭოთა მეცნიერებს ნ. პავლოვსის, ე. ზამარინს, ა. უგინჩუსს, კ. მიხაილოვს, პ. პოლუბარინოვა-კოჩინას, რ. ჩუგაევს და სხვ.

ზოგადად წყლის ფილტრაციის ამოცანა მიწის კაშხალში წარმოადგენს სივრცულ ამოცანას, რომელიც ჯერ კიდევ არ არის გადაწყვეტილი. დიდი სიგრძის კაშხალის შემთხვევაში ამ ამოცანას განიხილავენ როგორც ბრტყელს.

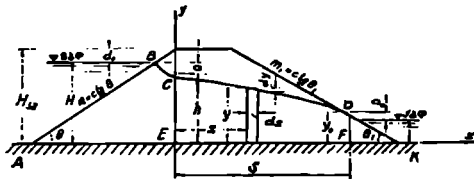
დამუშავებულია ამოცანის ამოხსნის ორი ზოგადი მეთოდი: ჰიდრაულიკური და ჰიდრომექანიკური. პრაქტიკულად ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი შემთხვევები, როგორც წესი, გადაწყვეტილია ჰიდრაულიკური მეთოდით. ჰიდრომექანიკური მეთოდი, რომელიც ემყარება უფრო მცირე რაოდენობის დაშვებებს და ამასთანავე მკაცრ მათემატიკურ აპარატს, დამუშავებულია მარტივი ჰიდრომექანიკური სქემებისათვის. რთული სქემების შემთხვევაში მისი გამოყენება მათემატიკური ხასიათის დიდ სიმძნელებებს აწყდება.

ქვემოთ ჩვენ მოგვყავს მიწის კაშხალებში წყლის ფილტრაციის ზოგიერთი ძირითადი ამოცანის ამოხსნის ჰიდრაულიკური მეთოდები, რომლებიც ემყარებიან დაშვებას მიწის კაშხალის ტანის გრუნტისა და ფუძის ერთგვაროვნების შესახებ.

2. ტრაპეციოდალური ფორმის ერთგვაროვანი მიწის  
კაშხალი წყალშეუღწევ ფუძეზე

ქვემოთ მოცემული გაანგარიშების მეთოდი დაამუშავა აკად. ნ. პავლოვსკიმ. ის ემყარება იმ დაშვებას, რომ ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობა დამყარებულია, ემორჩილება დარსის კანონს და წარმოებს სიბრტყეში.

გაანგარიშების დროს ფილტრაციის არე იყოფა სამ ნაწილად (ნახ. 11-8): *ABCE* ზედა სოლი, *DFK* ქვედა სოლი და *ECDF* შუა ნაწილი.



ნახ. 11-8. წყალშეუღწევ ფუძეზე აგებული ერთგვაროვანი მიწის კაშხალის ფილტრაციაზე გაანგარიშების სქემა.

ზედა სოლის საზღვრებში (ნახ. 11-9) ელემენტარული მრუდწირული ჰაველის მოძრაობა პირობით იცელება *ab* პორიზონტალური სწორხაზოვანი ჰაველის მოძრაობით. დარსის კანონის გამოყენებით ინტეგრების შემდეგ ფილტრაციული ხარჯისათვის ვღებულობთ ფორმულას

$$q = \frac{ka}{m} \ln \frac{d_0 + a + h}{d_0 + a} = \frac{ka}{m} \ln \frac{H_{0,2}}{H_{1,2} - h} \quad (11-1)$$



სადაც  $k$  არის კაშხალის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

$m$  — ზედა ფერდოს ქანობის კოეფიციენტი.  
 დანარჩენი აღნიშვნები ნაჩვენებია 11-8 ნახაზზე.

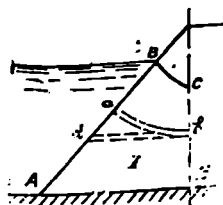
ქვედა სოლისათვის, ისე როგორც ზედა სოლისათვის, დაშვებულია, რომ საანგარიშო ქაელები პორიზონტალურია და მის საფუძველზე მასში გამავალი სრული ფილტრაციული ხარჯი, როდესაც  $h_0 = 0$  (ნახ. 11-10 ა), განისაზღვრება თორმულით

$$q = \frac{ka_0}{m_1}, \quad (11-2)$$

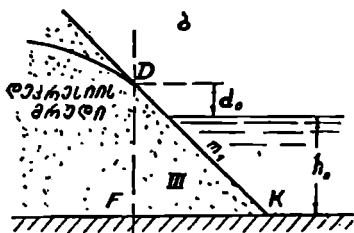
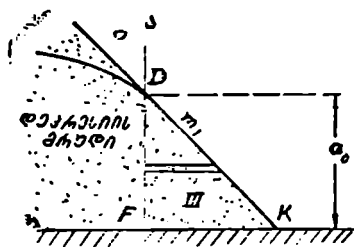
სადაც  $k$  არის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

$m_1$  — ქვედა ფერდოს ქანობის კოეფიციენტი;

$a_0$  — ქვედა ფერდოზე გამოსული დეპრესიის მრუდის ამოსოლვის  $D$  წერტილის სიმაღლე ქვედა ბიჟის დონიდან (განსახილველ შემთხვევაში კაშხალის ფუძიდან).



ნახ. 11-9. კაშხალის ზედა სოლი.



ნახ. 11-10. კაშხალის ქვედა სოლი.

როდესაც  $h_0 > 0$  (ნახ. 11-10 ბ),

$$q = \frac{ka_0}{m_1} \left( 1 + \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right). \quad (11-3)$$

შუა ნაწილისათვის დაშვებულია ისეთი დეპრესიის მრუდი, რომელიც ანალოგიურია გრუნტის წყლების არათანაბარი მოძრაობის შემთხვევისა საგები ფენის ნულოვანი ქანობის დროს (ნახ. 11-8).

დეპრესიის მრუდის განტოლებას აქვს სახე:

$$\frac{2q}{k} x = h^2 - y^2, \quad (11-4)$$

სადაც  $q$  ფილტრაციის ხარჯია, რომელიც განისაზღვრება (11-2) და (11-3) განტოლებებით, დანარჩენი აღნიშვნები 11-8 ნახაზის შესაბამისია.

მიღებული (11-1) — (11-3) ფორმულები შეიცავს  $h$ ,  $a_0$ ,  $s$  და  $q$  ოთხ უცნობ სიდიდეს. მათი განსაზღვრისათვის გვაკლია მეოთხე განტოლება, რომელიც მიიღება გეომეტრიული პირობებიდან. ამოცანის სრული ამოხსნისათვის სა-

პირაა გადაწყდეს ფილტრაციულ განტოლებათა შემდეგი სისტემა: როდესაც  $h_0 > 0$ ,

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{k(H_{\text{ავ}} - d_0 - h)}{m} \ln \frac{H_{\text{ავ}}}{H_{\text{ავ}} - h}; \\ q &= \frac{k[h^2 - (a_0 + h_0)^2]}{2S}; \\ q &= \frac{ka_0}{m_1} \left[ 1 + \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right]; \\ S &= b + m_1[H_{\text{ავ}} - (a_0 + h_0)]. \end{aligned} \right\} \quad (11-5)$$

როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არ არის ( $h_0 = 0$ ) (11-5) ფილტრაციულ განტოლებათა სისტემა მარტივდება.

მიღებულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა წარმოებს შემდეგი მიმდევრობით: ერთმანეთს უტოლებენ მერვე და მესამე განტოლებებს:

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

საიდანაც

$$h = \sqrt{\frac{2a_0 S}{m_1} \left( 1 + \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right) + (a_0 + h_0)^2} = D.$$

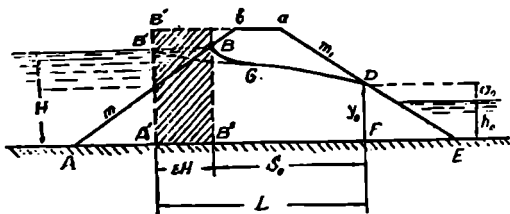
თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ  $S$ -ის მნიშვნელობას (11-5) სისტემის მეოთხე განტოლებიდან, ხოლო შემდეგ  $h = D$  მნიშვნელობას ჩავსვათ სისტემის პირველ განტოლებაში და უკანასკნელს გავუტოლებთ მესამე განტოლებას, გვექნება

$$\frac{H_{\text{ავ}} - d_0 - D}{m} \ln \frac{H_{\text{ავ}}}{H_{\text{ავ}} - D} = \frac{a_0}{m_1} \left( 1 + \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right).$$

მიღებული განტოლება შეიცავს მხოლოდ ერთ  $a_0$  უცნობს, რომლის განსაზღვრა შეიძლება შერჩევით ან გრაფიკულად. თუ ამ განტოლების მარცხენა და მარჯვენა მხარეებს აღვნიშნავთ შესაბამისად  $F_1(a_0)$  და  $F_2(a_0)$  და  $a_0$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ავაგებთ  $F_1(a_0)$  და  $F_2(a_0)$  მრუდებს, მაშინ ამ მრუდების გადაკვეთის წერტილის აბსცისამ უნდა განსაზღვროს  $a_0$ -ის საძიებელი მნიშვნელობა. გვეცოდინება რა  $a_0$ , განვსაზღვრავთ  $S$ , ხოლო შემდეგ  $h$  და  $q$ . უკანასკნელი ორი სიდიდის განსაზღვრის შემდეგ (11-4) განტოლების გამოყენებით აგებენ დეპრესიის მრუდის  $CD$  უბანს. რაც შეეხება ზედა სოლის  $BC$  უბანს, ის იგება მდოვრე მრუდის სახით, რომელიც იწყება  $B$  წერტილიდან ფერდოს მართობულად და  $C$  წერტილში მდოვრედ უერთდება  $CD$  მრუდს.

გაანგარიშების გამარტივებულ სეკი. მიწის კაშხლის ფილტრაციული გაანგარიშების გასამარტივებლად მრავალმა ავტორმა (ე. ზამარინმა და სხვ.) წამოაყენა წინადადება იმის შესახებ, რომ კაშხლის  $AbcE$  ნამდვილი პროფილი შეიცვალოს პირობითი  $A'b'cE$  პროფილით, რომელსაც აქვს  $A'b'$  ვერტიკალური „ფერდო“ (ნახ. 11-11).

$eH$  მანძილი  $B$  წყლის კიდესა და პირობითი პროფილის  $A'b'$  ვერტიკალურ ფერდოს შორის არჩეული უნდა იქნეს ისეთი, რომლის დროს პირობითი პროფილის  $q$  ფილტრაციული ხარჯი დაახლოებით ტოლი გამოვიდეს ნამდვი-



ნახ. 11-11. დეპრესიის მრუდის აგება გამარტივებული ხერხით.

ლი პროფილის  $q$  ფილტრაციული ხარჯისა, ხოლო დეპრესიის მრუდი მის მნიშვნელოვან სიგრძეზე დაემთხვეს კაშხალის ნამდვილი პროფილის შესაბამის დეპრესიის მრუდს (ნახ. 11-11).

ს. ნუმეროვის გამოკვლევებიდან გამომდინარე,  $e$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც აკმაყოფილებს აღნიშნულ პირობებს, მოთავსებულია შუალედში 0,355-დან 0,410-მდე და დამოკიდებულია ზედა ფერდოს ქანობის  $m$  კოეფიციენტზე (ჩვეულებრივ იგი ტოლია 2—6).

მხოლოდ წყალშეუღწევ ფუძეზე აგებული კაშხალისათვის  $e$  კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს გ. მიხაილოვის ფორმულით, რომელიც მიღებულია არსებული ჰიდრომექანიკური ამონახსნებისა და ცდების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე:

$$e = \frac{m}{1+2m}. \quad (11-6)$$

იმავე კოეფიციენტისათვის რ. ჩუგაევი გეთავაზობს ფორმულას

$$e = \frac{0,44}{1 + \frac{1}{2m}} \approx 0,40, \quad (11-7)$$

რომელიც გამოსადეგია წყალშეუღწევ ფუძეზე აგებული კაშხალებისათვისაც.

ამგვარად, ასეთი მიდგომით კაშხალის ზედა სოლი და შუა ნაწილი განიხილება როგორც ერთი უბანი, რომლის ფილტრაციული ხარჯი განისაზღვრება დიუპიუის ფორმულით

$$q = \frac{k[H^2 - (a_0 + h_0)^2]}{2(eH + S_0)}. \quad (11-8)$$

მიღებული (11-8) და (11-5) განტოლებათა სისტემის შესამე განტოლების ერთობლივი ამოხსნით ადვილად განისაზღვრება საძიებელი  $a_0$  და  $q$  უცნობი სიდიდენი.

განსაზღვრული გვექნება რა ეს სიდიდენი, პირობითი კაშხალის დეპრესიის  $B'D$  მრუდს ვაგებთ დიუპიუის (11-4) განტოლების გამოყენებით, რომელსაც ვაღავეწერთ შემდეგი სახით:

$$y = \sqrt{H^2 - \frac{2q}{k} x}. \quad (11-9)$$

ამ განტოლებაში, მივცემთ რა  $x$  სხვადასხვა მნიშვნელობას, შეგვიძლია განვსაზღვროთ  $y$ -ის შესაბამისი მნიშვნელობანი და შედეგად წერტილების მიხედვით ავაგოთ დებრესიის  $B'D$  მრუდი.

(11-9) განტოლებაში  $q$  მაგვირად შეგვიძლია ჩავსვათ მისი (11-8) გამოსახულება. მაშინ დებრესიის მრუდის განტოლებას მივიღებთ შემდეგი სახით:

$$y = \sqrt{H^2 - (H^2 - y_0^2) \frac{x}{L}}, \quad (11-10)$$

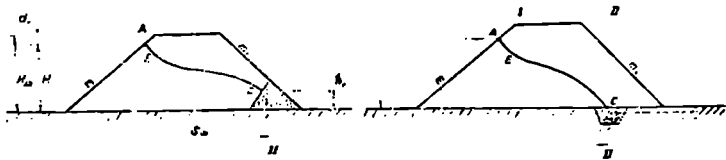
სადაც  $L = \epsilon H + S_0$  (ნახ. 11-11).

აგებული გვექნება რა პირობითი პროფილისათვის დებრესიის  $B'D$  მრუდი, შემდეგ მის მცირე  $B'C$  უბანს ვცვლით თვალზომით გავლებულ  $BC$  მრუდით; ამ მრუდს  $B$  წერტილში უნდა ჰქონდეს ფერდოს ხაზისადმი ნორმალურად მიმართული მხები. ამით კი მთავრდება წყალშეუღწევ ფუძეზე აგებული მიწის კაშხალის ფილტრაციული გაანგარიშება.

(11-10) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ერთგვაროვანი კაშხალის შემთხვევაში მოცემული  $H$  და  $y_0$  დროს დებრესიის მრუდი საერთოდ არ არის დამოკიდებული გრუნტის  $k$  ფილტრაციის კოეფიციენტზე. ფილტრაციის  $k$  კოეფიციენტზე დამოკიდებულია მხოლოდ  $q$  ზარჯის სიდიდე, რომელიც მისი პირდაპირპროპორციულია.

### 8. მიწის კაშხალი დრენაჟით

დრენაჟის მოწყობა კაშხალის ქვედა ფერდობთან დაბლა სწევს დებრესიის მრუდს და ამით თავიდან გვაცილებს მის ამოსოლვას ქვედა ფერდობზე (ნახ. 11-12). დებრესიის მრუდი შედგება ორი —  $AE$  და  $EC$  უბნისაგან.



ნახ. 11-12. დებრესიის მრუდის გამოსვლა დრენაჟში: ა — კაშხალი სადრენაჟო პრიზმით; ბ — კაშხალი სადრენაჟო მილით.

6. პავლოვსკის მიხედვით, ყველაზე ზოგად შემთხვევაში, როდესაც  $h_0 > 0$ , ფილტრაციულ განტოლებათა (11-5) სისტემა მარტივდება და დებულობს სახეს (ნახ. 11-12 ა):

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{k(H_{\text{ავ}} - d_0 - h)}{m} \ln \frac{H_{\text{ავ}}}{H_{\text{ავ}} - h}; \\ q &= \frac{h^2 - h_0^2}{2S_m}, \end{aligned} \right\} \quad (11-11)$$

სადაც  $h$  არის დებრესიის მრუდის სიმაღლე I — I გამყოფ კვეთში;

$h_0$  — წყლის დონის სიმაღლე დრენაჟში, რომელიც ტოლია წყლის სიღრმისა ქვედა ბიეფში;

$S_{\text{გ}}$  — მანძილი I — I გამყოფი ზაზიდან დრენაჟამდე.

თუ (11-11) სისტემის განტოლებათა მარჯვენა მხარეებს ერთმანეთს გავუტოლობთ, მაშინ ამ ტოლობიდან ვღებულობთ:

$$h = \sqrt{\frac{2S_{\text{გ}}}{m} (H_{\text{კვ}} - d_0 - h) \ln \frac{H_{\text{კვ}}}{H_{\text{კვ}} - h}} + h_0^2 = \sqrt{F}, \quad (11-12)$$

სადაც

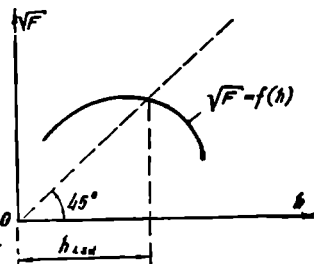
$$F = \frac{2S_{\text{გ}}}{m} (H_{\text{კვ}} - d_0 - h) \ln \frac{H_{\text{კვ}}}{H_{\text{კვ}} - h} + h_0^2 = f(h). \quad (11-13)$$

$h$  სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს გრაფიკული ხერხით, სახელდობრ:  $h$  სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის განსაზღვრავენ შესაბამის  $\sqrt{F}$  სიდიდეს და აგებენ  $\sqrt{F} = f(h)$  გრაფიკს (ნახ. 11-13), მაგრამ რადგან  $h = \sqrt{F}$ , ამიტომ საძიებელი სიდიდე უნდა იმყოფებოდეს აგრეთვე კოორდინატთა სათავეზე გამავალ  $45^\circ$  კუთხით დახრილ სხივზე, მაშასადამე,  $h_{\text{კვ}}$  განისაზღვრება  $\sqrt{F} = f(h)$  გრაფიკთან სხივის გადაკვეთის წერტილის აბსცისით. განვსაზღვრავთ რა ამ გზით  $h$  სიდიდეს, შემდეგ (11-11) სისტემის მეორე განტოლებით განისაზღვრება  $q$  ხარჯი.

$S_{\text{გ}}$  უბანზე დეპრესიის მრუდის აგება წარმოებს დიუპიუის (11-4) ფორმულით

$$y^2 = h^2 - \frac{2q}{k} x.$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც ქვედა ბიეფში წყალი არ არის, ე. ი.  $h_0 = 0$ , ამოცანის ამოხსნის მსგეულობა რჩება იგივე. მხოლოდ  $h$  უნდა განისაზღვროს ფორმულით



ნახ. 11-13.  $h$  სიდიდის განსაზღვრა გრაფიკული ხერხით.

$$h = \sqrt{\frac{2S_{\text{გ}}}{m} (H_{\text{კვ}} - d_0 - h) \ln \frac{H_{\text{კვ}}}{H_{\text{კვ}} - h}} = \sqrt{F}. \quad (11-14)$$

#### 4. გულიანი (ან დიაფრაგმანი) მიწის კაშხალი წყალშეუღწევ ფუძეზე

როდესაც მიწის კაშხალის ტანში მოწყობილია გული (ან დიაფრაგმა), რომლის გრუნტის  $k_0$  ფილტრაციის კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად უფრო მცირეა, ვიდრე კაშხალის ტანის გრუნტის  $k$  ფილტრაციის კოეფიციენტი, მაშინ ზემოთ მიღებულ (11-5) და (11-11) განტოლებათა სისტემებში შეაკვთ შესწორებანი.

დეპრესიის მრუდი  $BC$ ,  $CE$  და  $MD$  უბნებზე იგება დაახლოებით იმ პრინციპების მიხედვით, რომლებზედაც ზემოთ გვექონდა საუბარი (ნახ. 11-14). ფილტრაციული ზარჯი ტრაპეციოდალური კვეთის გულში, რომელიც გაანგარიშების დროს იცვლება იმავე ფართობის მქონე  $\delta$  სისქის სწორკუთხოვან

ევეთად, განისაზღვრება ისე, როგორც ერთგვაროვანი მიწის კაშხალის შუა ნაწილში. კერძოდ, ამისათვის იყენებენ დიუპიუის განტოლებას:

$$q = \frac{k_0}{2\delta} (h_0^2 - h_2^2). \quad (11-15)$$

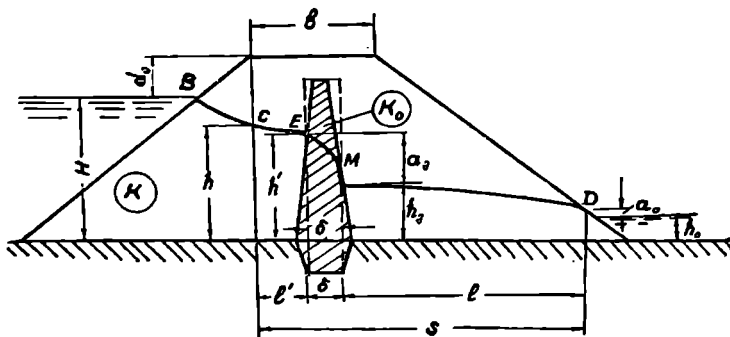
ამგვარად, გულიანი მიწის კაშხალის ფილტრაციული გაანგარიშებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ერთგვაროვანი მიწის კაშხალისათვის გამოყვანილი ფილტრაციულ განტოლებათა (11-5) სისტემა, მხოლოდ საჭიროა მასში მეორე განტოლება შეიცვალოს შემდეგი სამი განტოლებით:

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{k}{2l'} (h^2 - h_2^2); \\ q &= \frac{k_0}{2\delta} (h_1^2 - h_2^2); \\ q &= \frac{k}{2l} [h_2^2 - (a_0 + h_0)^2]. \end{aligned} \right\} \quad (11-16)$$

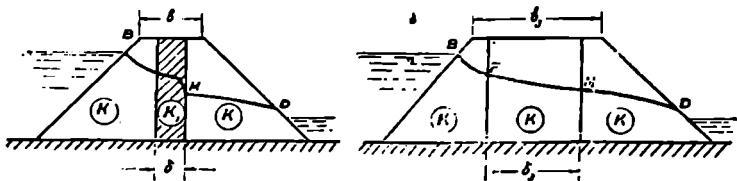
როგორც ვხედავთ, ერთგვაროვანი კაშხალისაგან განსხვავებით, გულიანი მიწის კაშხალის ფილტრაციული ამოცანის ამოხსნა რამდენადმე უფრო გართულებულია, რადგან ამ შემთხვევაში ოთხის ნაცვლად უნდა ამოიხსნას ექვს-განტოლებიანი სისტემა.

გულში დებრესიის მრუდის აგების დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ გულის ქვედა წახნაგზე დებრესიის მრუდი ამოისოლება  $M$  წერტილის ზემოთ (ნახ. 11-14).

გ ა ა ნ გ ა რ ი შ ე ბ ი ს. ვ ი რ ტ უ ა ლ უ რ ი ხ ე რ ზ ი. გულიანი მიწის კაშხალის ფილტრაციის ამოცანის ამოხსნა შეიძლება მნიშვნელოვნად გამარტივდეს აკად. ნ. პავლოვსკის მიერ შემოღებული „ფილტრაციის ვირტუალური სიგრძის“ ცნების გამოყენებით. ამ შემთხვევაში დებრესიის მრუდის ასაგებად და ფილტრაციული ზარჯის განსასაზღვრელად კაშხალის გულის გრუნტს ცვლიან კაშხალის ძირითადი მასის შესაბამისი ფილტრაციის კოეფიციენტის მქონე გრუნტით. ასეთი შეცვლა დაკავშირებულია ანგარიშში გულის ნამდვილი სისქის ნაცვლად ისეთი სისქის შემოტანასთან, რომლის დროს მიიღება იგი-



ნახ. 11-14. ფილტრაცია გულიანი მიწის კაშხალში.



ნახ. 11-15. გულიანი მიწის კაშხალში ვირტუალური მეთოდით ფილტრაციის გაანგარიშების სქემა.

ვე კარგეები, რაც გულის ნამდვილი ფილტრაციის კოეფიციენტის დროს. გულის აღნიშნული ახალი სისქე  $n$ . პავლოვსკის მიერ წოდებულია ფილტრაციული ნაკადის ვირტუალური სიგრძედ, ანუ გულის ვირტუალური სისქედ. გულის ნამდვილი სისქის ნაცელად ვირტუალური სისქის შემოტანის შემდეგ ვლებულობთ ერთგვაროვან მიწის კაშხალს რამდენადმე გაფართოებული პროფილით (ნახ. 11-15 ბ), რომლის გაანგარიშება წარმოებს ზემოთ აღწერილი მეთოდებით. ავაგებთ რა დეპრესიის მრუდს ერთგვაროვანი კაშხალის ახალი პროფილისათვის, შემდეგ ვირტუალურ სიგრძეს უკანვე ვცვლით გულის სისქით და, მაშასადამე, სუფთად, გრაფიკულად ვლებულობთ მოცემული გულიანი მიწის კაშხალის ნამდვილ დეპრესიის მრუდს.

გულის ვირტუალური სისქე განისაზღვრება ფორმულით:

$$n_{\text{ვ.}} = \psi \delta = \frac{k}{k_0} \delta, \quad (11-17)$$

სადაც  $\delta$  არის გულის საშუალო სისქე (როდესაც  $\psi = 10 - 20$ ,  $\delta$  სიდიდე შეიძლება აღებულ იქნეს  $(0,8 - 1) H$  ტოლი, ხოლო, როდესაც  $\psi = 50 - 60$ , მიზანშეწონილია  $\delta = (0,1 - 0,2) H$ );

$k$  — კაშხალის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

$k_0$  — გულის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი.

ნამდვილი გულის ფიქტიური (ვირტუალური) გულით შეცვლის შემდეგ მიღებული საანგარიშო ერთგვაროვანი მიწის კაშხალის თხემის სიგანე

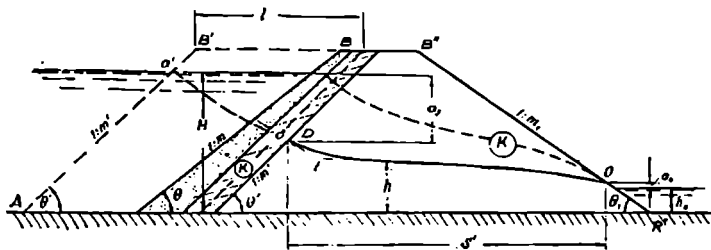
$$b_{\text{ვ.}} = b + (n_{\text{ვ.}} - n), \quad (11-18)$$

სადაც  $b$  არის ნამდვილი კაშხალის თხემის სიგანე (ნახ. 11-15 ა).

პრაქტიკულად გულიანი კაშხალის დეპრესიის მრუდის ასაგებად შემდეგნაირად ვიქცევით: უკუვაგდებთ დეპრესიის მრუდის  $FM$  უბანს (ნახ. 11-15 ბ) და კაშხალის ზედა და ქვედა სოლებს ვძრავთ ერთმანეთისაკენ ისე, რომ მათ შორის მანძილი ხელახლა გახდეს  $\delta$ . რაც შეეხება აგებული დეპრესიის მრუდის  $BCF$  და  $MD$  უბნებს, აგრეთვე მიღებულ ფილტრაციულ ზარჯს, მათ უცვლელად ვტოვებთ.

### 5. ეკრანიანი კაშხალი წყალშეუღწევ ფუძეზე

გულიანი კაშხალის ანალოგიურად ეკრანიანი კაშხალის ფილტრაციული გაანგარიშების დროს  $n$ . პავლოვსკის შემოაქვს ეკრანის გასაშუალოებული სისქე  $\delta$ , რომელსაც გულისხმობს მუდმივად მთელ სიმაღლეზე.



ნახ. 11-16. ფილტრაცია ეკრანიან კაშხალში.

ამ ამოცანის ამოხსნას ნ. პავლოვსკი იძლევა ორ ვარიანტში: 1) ფილტრაციულ განტოლებათა უშუალო შედგენით, რომლის დროს გაითვალისწინება ეკრანისა და კაშხალის ტანის გრუნტების სხვადასხვა ფილტრაციის კოეფიციენტი, და 2) „ვირტუალური ხერხის“ გამოყენებით, რომლის დროს ეკრანიანი კაშხალი იცვლება ერთგვაროვანი „ეკვივალენტური კაშხალით“. გაანგარიშების პირველ ხერხში განისაზღვრება დეპრესიის მრუდის ვარდნის  $a_{\text{გარ}}$  სიდიდე ეკრანში<sup>1</sup> (ნახ. 11-16), შემდეგი უბნებისათვის კი გამოიყენება ერთგვაროვანი კაშხალის ფილტრაციის ამოცანის ზემოთ მოყვანილი ამონახსნები.

მეორე ხერხით გაანგარიშების დროს ნამდვილი ეკრანი, რომლის ფილტრაციის კოეფიციენტი  $k_0$  და სისქე  $\delta$ , იცვლება ფიქტიური (ვირტუალური) ეკრანით, რომელსაც აქვს კაშხალის ტანის ფილტრაციის  $k$  კოეფიციენტი. ეკრანის ფილტრაციის კოეფიციენტის ასეთ შეცვლასთან ერთად ეკრანის  $AB$  წახნაგი გადაგვაქვს თავის თავის პარალელურად  $A'B'$  მდებარეობაში, რომელიც განისაზღვრება ზომით

$$l = \delta \frac{k}{k_0} \sin \theta^1. \quad (11-19)$$

პილებული ერთგვაროვანი პროფილი  $A'B'B''A''$  გაანგარიშება ისე, როგორც ერთგვაროვანი მიწის კაშხალი (იხ. ამ პარაგრაფის 2 პ), ე. ი. განვსაზღვრავთ ფილტრაციის  $q$  ხარჯს და ავაგებთ დეპრესიის საძიებელ  $DC$  მრუდს (ნახ. 11-16).

#### § 11-5. წაღწევისათვის ფილტრაციის განგარიშების მეთოდები

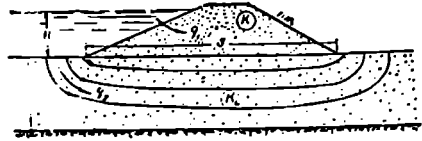
##### 1. ერთგვაროვანი მიწის კაშხალი

მიწის კაშხალებს თითქმის წყალშედწევად ფუძეებზე უფრო ხშირად აგებენ, ვიდრე შეუღწევად ფუძეებზე მიუხედავად იმისა, რომ ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობა პირველ შემთხვევაში უფრო ნაკლებად არის შესწავლილი. რადგან წყალშედწევად ფუძეებზე მშენებარე მიწის კაშხალების პრაქტიკულად გავრცელებული სქემებისათვის ზუსტი ჰიდრომექანიკური ამონახსნები ჯერ

<sup>1</sup> Н. Н. Павловский, О Фильтрации воды через земляные плотны, ВАСХИНИЛ, Институт гидротехники и мелиорации, 1931.



კიდევ არ არის საკმარისი სისრულით მიღებული, მათი ფილტრაციული ამოცანების ამოსახსნელად საკმარისად ფართოდ გამოიყენება მიახლოებითი ჰიდრაულიკური მეთოდები.



ნახ. 11-17. კაშხალში და მის ფუძეში წყლის ფილტრაციის საანგარიშო სქემა.

განვიხილოთ ერთგვაროვანი უდრენაყო მიწის კაშხალი და დავუშვათ, რომ მისი ტანისა და ფუძის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტებს აქვთ სხვადასხვა მნიშვნელობა (ნახ. 11-17).

ნ. პავლოვსკის მიხედვით კაშხალის ტანსა და მის ფუძეში გამავალი  $q$  ხვედრითი ფილტრაციული ხარჯი განისაზღვრება როგორც ჯამი:

$$q = q_1 + q_2, \quad (11-20)$$

სადაც  $q_1$  არის კაშხალის ტანში გამავალი ფილტრაციული ხარჯი, რომელიც განისაზღვრება იმ დაშვების საფუძველზე, რომ ფუძე წყალშეუღწევია:

$q_2$  — კაშხალის ფუძეში გამავალი ხარჯი, რომელიც მიიღება კაშხალის ტანის წყალშეუღწევობის დაშვების საფუძველზე.

(11-20) ჯამში შემავალი  $q_1$  ხარჯი განისაზღვრება ფილტრაციულ განტოლებათა (11-5) სისტემის გამოყენებით, ხოლო  $q_2$  ხარჯი შეიძლება განისაზღვროს უფრო მარტივი დამოკიდებულებების გამოყენებით, რომელიც გულისხმობს, რომ ფუძეში ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობა წარმოებს ისე, როგორც  $T$  სიმაღლის მილში (ნახ. 11-17):

$$q_2 = \alpha \omega = k_1 / T = k_1 \frac{HT}{nS}, \quad (11-21)$$

სადაც  $T$  არის წყალშეღწევადი ფუძის სიღრმე;

$H$  — დაწნევა კაშხალის წინ;

$S$  — კაშხალის სიგანე ფუძეში (ფილტრაციის გზის სიგრძე);

$n$  — ფილტრაციის გზის სიგრძის შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც აიღება  $\frac{S}{T}$  ფარდობის მიხედვით ჰიდრომექანიკური ამონახსნების საფუძველზე შედგენილი ცხრილიდან (ცხრ. 11-1).

ცხრილი 11-1

$\frac{S}{T}$	20	5	4	3	2	1
$n$	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

ეს ხერხი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დრენაჟიანი კაშხალებისათვისაც.

უფრო ზუსტად, მაგრამ მაინც მიახლოებით, ეს ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს ა. მხითარაიანის ან პ. შანკინის ამონახსნების გამოყენებით.

ამ შემთხვევაში, როდესაც კაშხალისა და ფუძის ფილტრაციის კოეფიციენტები ერთნაირია, ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრებად შეიძლება გამოვიყენოთ ა. ვოშინინის მიერ შედგენილი გრაფიკი<sup>1</sup>, თუმცა მიახლოებით ეს ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს ზემოთ აღწერილი ხერხით, ე. ი. (11-20) და (11-21) გამოსახულებათა გამოყენებით.

## 2. მიწის კაშხალი ეკრანითა და ძირულით

ღიდი სისქის წყალშელწვევადი ფუძის შემთხვევაში ერთდროულად აწყობენ წყალშეუღწევ ეკრანსა და ძირულს, ასეთ შემთხვევაში ფილტრაციის საანგარიშოდ შეიძლება ვისარგებლოთ პროფ. ე. ზამარინის მიერ დამუშავებული მიახლოებითი მეთოდით, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: ძირულისა და კაშხალის  $mh$  სიგრძის ნაწილის ფარგლებში  $q$  ფილტრაციული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით (ნახ. 11-18)

$$q = \sigma a = k_1 I a = k_1 \frac{(H-h)T}{n(S_{\text{პრ}} + mh)}, \quad (11-22)$$

სადაც  $k_1$  — ფუძის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

$n$  — ფილტრაციული გზის შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 11-1 ცხრილიდან  $\frac{S_{\text{პრ}} + mh + S}{T}$  ფარდობის მიხედვით;

$S_{\text{პრ}}$  — ძირულის სიგრძე.

კაშხალის დანარჩენი ნაწილისათვის კი ფილტრაციული ნაკადის იგივე ხარჯი დაიწერება ასე:

$$q = \frac{h-h_0}{S_0} \left( k \frac{h+h_0}{2} + k_1 T \right), \quad (11-23)$$

სადაც  $k$  კაშხალის ტანის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი.

დამყარებული მოძრაობისათვის (11-22) და (11-23) განტოლებათა მარჯვენა ნაწილები შეიძლება ერთმანეთს გავუტოლოთ, მაშინ მივიღებთ შემდეგი სახის საანგარიშო განტოლებას:

$$q = \frac{k_1(H-h)T}{n(S_{\text{პრ}} + mh)} = \frac{h-h_0}{S_0} \left( k \frac{h+h_0}{2} + k_1 T \right). \quad (11-24)$$

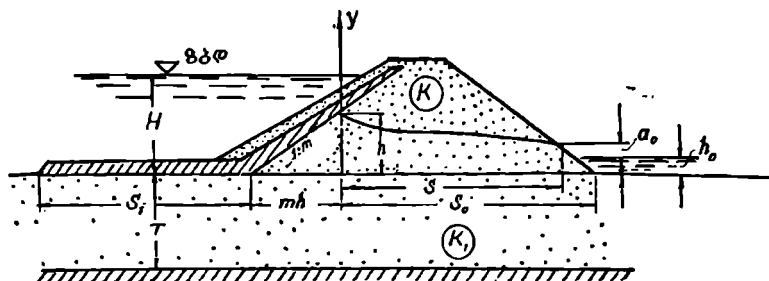
ამ განტოლებით შერჩევის წესით განსაზღვრავენ ფილტრაციული ნაკადის  $h$  სიღრმეს ეკრანის უკან. შემდგომი ანგარიში დაიყვანება  $h$  დაწინების მქონე ერთგვაროვანი კაშხალის ანგარიშზე.

განსახილველ შემთხვევაში დეპრესიის მრუდის ასაგებად გამოვიყენებთ ფორმულას

$$y^2 = h^2 \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{h_0}{h} \right)^2 \right] \frac{x}{S} \right\}. \quad (11-25)$$

ზემოთ მოცემული (11-24) განტოლება ძალაში რჩება იმ შემთხვევაშიც, როდესაც კაშხალში გათვალისწინებულია ამა თუ იმ ტიპის დრენაჟი და ამასთანავე  $h_0 > 0$ .

<sup>1</sup> А. П. Вошинин, Упрощенный метод фильтрационных расчетов земляных плотин, журн. «Гидротехническое строительство» № 8, 1957г.



ნახ. 11-18. ეკრანიანი და ძირულიანი კაშხალის ფილტრაციული განაგარიშების სქემა.

პრაქტიკული გამოცდილება ადასტურებს, რომ ეფექტურია ძირულის სიგრძე აღებულ იქნეს  $S_{აჰ} = (3-5)H$  ფარგლებში.

მოქმედ სამშენებლო ნორმებსა და წესებში მოყვანილია მიწის კაშხალების მრავალი სხვადასხვა სქემა და მათი შესაბამისი საანგარიშო დამოკიდებულებანი, რომლებიც რეკომენდებულია დაგეგმარებაში გამოსაყენებლად<sup>1</sup>.

### 3. მიწის კაშხალი ეკრანითა და კბილით

ფილტრაციული ამოცანა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც წყალშელწევადი ეკრანი ბოლოვდება წყალსაკავამდე დასული წყალშელწევადი კბილით (ნახ. 11-19), განხილული აქვს უგინჩუსს, რომელიც ეკრანისათვის იყენებს ნ. პავლოვსკის ფორმულას, ხოლო კბილისა და კაშხალისათვის დიუპიუსის განტოლებას.

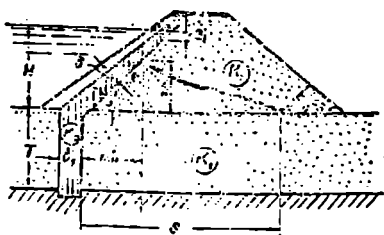
თუ ეკრანსა და კბილში გაშვალ ხარჯს კაშხალის დანარჩენ ნაწილში გაშვალ ხარჯს გავუტოლებთ, მივიღებთ:

$$q = \frac{k_0(H^2 - Z_0^2 - h^2)}{2\delta \sin \theta'} + \frac{k_0(H-h)}{\delta_1} T = \frac{k_1}{2(S-mh)} [(T+h)^2 - T^2]. \quad (11-26)$$

ამ განტოლებიდან  $h$  საძიებელი სიდიდე შეიძლება ამოიხსნას შერჩევით. ეკრანისა და კბილის შემდეგ კაშხალისა და ფუძის უზანზე ვანგარიშება ჩატარდება მრვეულებრივი წესით, როგორც წყალშელწევად ფუძეზე აგებულ ერთგვაროვან ან დრენაჟიან კაშხალში.

### 4. მიწის კაშხალის ფილტრაციული ამოცანის ამოხსნა ფილტრაციული ბაღის გამოყენებით

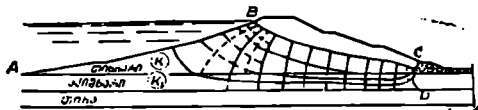
კაშხალის ტანში და მის ფუძეში წყლის ფილტრაციის ანალიზისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰიდროდინამიკური ბაღის აგების ზერხი.



ნახ. 11-19. ეკრანიანი და კბილიანი კაშხალის ფილტრაციული განაგარიშების სქემა.

<sup>1</sup> СНиП II-И. 4-73. Плотины из грунтовых материалов, Нормы проектирования, Госстройиздат, 1974.

როგორც ცნობილია (იხ. § 4-1), გრაფიკული წესით ფილტრაციული ბადის აგება დამყარებულია ბადის ხაზების — დენის წირებისა და ეკვიპოტენციალების იმ თვისებაზე, რომ ისინი წარმოადგენენ მდოვრე მოხაზულობის ურთიერთორთოგონალურ მრუდებს.



ნახ. 11-20. ფილტრაციული ბადის აგება მიწის კაშხალის საშხალის მიხედვით.

კაშხალის ნახაზზე პირველ დენის წირად მიიღება დეპრესიის მრუდი, ხოლო უკანასკნელს წარმოადგენს ფუძის წყალშეუღწევი ფენის ზედაპირის ხაზი (ნახ. 11-20). ეკვიპოტენციალების სასაზღვრო ხაზებია ზედა ფერდოს  $AB$  ხაზი და ქვედა ფერდოს შესაბამისი ხაზი, რომელიც შემოსაზღვრავს ფილტრაციული ნაკადის გამოსვლის ზონას, ანდა დრენაჟის შემთხვევაში მასში შემავალი ნაკადის შემოსაზღვრელი  $CD$  ხაზი.

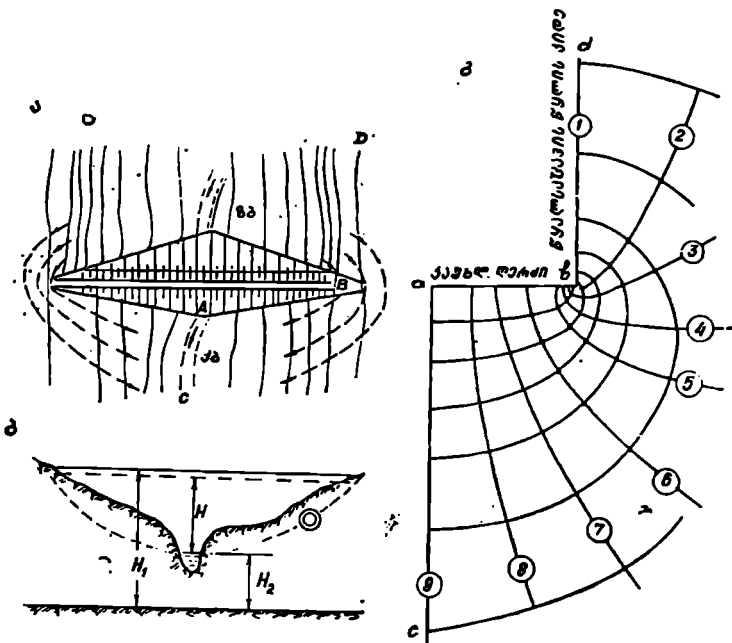
დეპრესიის მრუდი შეიძლება ავადგომ ზემოთ განხილული ერთ-ერთი მეთოდის გამოყენებით საანგარიშო სქემის შესაბამისად, ანდა მიახლოებით. უკანასკნელ შემთხვევაში დაწვევის  $H - h_0$  სიმაღლე იყოფა  $n$  ნაწილად და დაყოფის წერტილებიდან ატარებენ პორიზონტალურ ხაზებს; მათი გადაკვეთის წერტილები შესაბამის ეკვიპოტენციალებთან (რომელთაც წინასწარ ხელით აგებენ), ცხადია, მოგვეცემს საძიებელი დეპრესიის მრუდის წერტილებს. ამას აღწევენ ბადის თანდათანობითი დაზუსტების გზით. აგებული ბადის საშუალებით ადვილად განისაზღვრება ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობის ყველა ელემენტი.

#### § 11-6. ფილტრაციის ნაპირაგზის მიწის კაშხალის შემოვლით

მიწის კაშხალების დაგეგმარების დროს, გარდა იმ ფილტრაციისა, რომელიც წარმოებს კაშხალის ტანსა და ფუძეში, საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს წყლის ფილტრაცია კაშხალის შემოვლით.

ნატურული გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში წარმოებს კაშხალის მხრების გაჯერება, რასაც თან სდევს დეპრესიული ზედაპირის შესაძინევი აწევა. ქვედა ბიეფისაყენ ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობის დროს შეიძლება იგი ამოისოლოს ფერდობებზე, გამოიწვიოს მათი სუფოზია, მეწყერები და კაშხალის ქვედა ფერდოსათვის და მასთან მდებარე ნაგებობებისათვის შექმნას საშიში მდგომარეობა.

როდესაც კაშხალის ქვეშ და ნაპირებში განლაგებულია ერთგვაროვანი გრუნტის მძლავრი ფენა, მაშინ ე. ზამარინის წინადადების თანახმად კაშხალის გარსმდენი ფილტრაციული ნაკადისათვის უნდა აიგოს ჰიდროდინამიკური ბადე (ნახ. 11-21). ბადის საშუალებით განსაზღვრავენ ფილტრაციის ხარჯს და გრუნტის წყლების დონეთა მდებარეობას ქვედა ბიეფის ცალკეულ განივკვეთებში, აგრეთვე აგებენ დეპრესიის მრუდებს. თუ დეპრესიის მრუდები ამოისოლება ფერდობებზე, მაშინ ფერდობების ძირში უნდა მოეწყოს დრენაჟი.



ნახ. 11-21. წყლის ფილტრაცია მიწის კაშხლის შემოვლით: ა — მიწის კაშხლის გეგმა; ბ — გასწორის პროფილი; გ — კაშხლის გარსმდენი გრუნტის წყლების ნაკადის ჰიდროდინამიკური ბაღე.

ზოგჯერ, თუ მოსახერხებელია, ფერდობის დრენაჟს უერთებენ კაშხლის დრენაჟს.

ჰიდროდინამიკური ბაღის ერთი ლენტის ხარჯი

$$q = k \Delta H T_{\text{საგ}} = k \frac{H}{n} T_{\text{საგ}}, \quad (11-27)$$

სადაც  $k$  არის ფერდობის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი:

$H$  — ზედა და ქვედა ბიეფების წყლის დონეთა სხვაობა;

$n$  — ბაღის წნევის სარტყლების რიცხვი;

$T_{\text{საგ}}$  — წყალშელწვევადი ფენის საშუალო სისქე.

ე. ზამარინის მოსაზრებით ეს ჰიდროდინამიკური ბაღე მიუღებელია მცირე სისქის წყალშელწვევადი ფენისათვის, რომ ამ შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური ბაღე გადაყვანილი უნდა იქნეს ჰიდროიზოპიფსების ბაღეში შემდეგი დამოკიდებულების მიხედვით<sup>1</sup>:

$$* h^2_{n-1} - h^2_n = \frac{H_1^2 - H_2^2}{n} = \Delta (H^2), \quad (11-28)$$

<sup>1</sup> Е. А. Замарин, В. В. Фандеев, Гидротехнические сооружения, М., 1965.

სადაც  $H_n$  არის ჰიდროიზოპიფსის ნიშნული, რომელიც ჰიდროდინამიკურ ბადეში ემთხვევა იმავე რიგითი ნომრის ტოლ დაწნევათა ხაზს;

$H_1$  და  $H_2$  — გრუნტის წყლების დონის საწყისი და ბოლო ნიშნულები, ე. ი. კაშხალის წინ და ტალღეებში, კაშხალის უკან (ნახ. 11-21 ბ).

წყლის კიდესთან ახლოს, კაშხალთან (11-21 გ ნახაზზე  $b$  წერტილი) ბადის უჯრედები მცირე ზომისაა, მაშასადამე აქ გრუნტის წყლების მოძრაობა უფრო ინტენსიურია. აქედან გამომდინარე მიზანშეწონილია ეს უბანი დაიფაროს ძირულით, რაც ხელს შეუწყობს დეკარესის მრუდის დაწევას და ფილტრაციული ხარჯის მცირედით შემცირებას.

ჰიდროიზოპიფსების ბადის ერთი ლენტის ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით

$$q = 0,5 k \Delta (H^2). \quad (11-29)$$

### § 11-7. მიწის კაშხალაღის ფილტრაციული სიმტკიცის განაბარიშვა

გრუნტის უნარს — წინაღობა გაუწიოს ფილტრაციის საშიშ დეფორმაციებს, უწოდებენ გრუნტის ფილტრაციულ სიმტკიცეს.

განასხვავებენ ფილტრაციული სიმტკიცის ორ პრინციპულად განსხვავებულ სახეობას:

1) ნორმალურ ფილტრაციულ სიმტკიცეს, რომელიც შეიძლება დაირღვეს ნაგებობის განივი პროფილის ყველაზე უფრო სუსტ ადგილებში, — ქვედა ბიფეში ფილტრაციული ნაკადის გამოსვლის არეში, სადაც შეიძლება მოხდეს გრუნტის ფილტრაციული ამობურცვა ან გარეგანი სუფოზია, წვრილმარცვლოვანი და მსხვილმარცვლოვანი გრუნტების კონტაქტზე ფუძეში და თვით მიწის კაშხალის ტანში და ა. შ.

2) შემთხვევით („კაზუალურ“) ფილტრაციულ სიმტკიცეს, რომელიც შეიძლება დაირღვეს ნაგებობის გრძივი პროფილის ამა თუ იმ ადგილში. ასეთი სიმტკიცის დარღვევის მაგალითს წარმოადგენს ნაგებობის ცალკეულ ადგილებში შეყურსული ფილტრაციის შემთხვევითი სავალბების გაჩენა, რომელიც შეიძლება განპირობებული იყოს ნაგებობის გაუთვალისწინებელი არათანაბარი დაჭდომით, გრუნტის გაუთვალისწინებელი არაერთგვაროვნებით გამოწვეული შინაგანი სუფოზიით, სამშენებლო სამუშაოთა უხარისხო წარმოებით და ა. შ.

უნდა ვიფიქროთ, რომ დროთა განმავლობაში საძიებო და სამშენებლო სამუშაოთა წარმოების მეთოდების გაუმჯობესების კვალობაზე მიწის მშენებარე სადაწნეო ნაგებობის შემთხვევითი ფილტრაციული სიმტკიცე გაიზრდება, მაგრამ ამჟამად ამ სიმტკიცის დარღვევის შესაძლებლობას არ შეიძლება ანგარიში არ გაეწიოს.

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ ნორმალური ფილტრაციული სიმტკიცე შეიძლება ფილტრაციის ძალიან მოკლე გზების დროსაც კი უზრუნველყოთ. ამიტომ მიწის ნაგებობათა პროექტებში, როგორც წესი, ამ გზების სიგრძე უნდა დადგინდეს გრუნტის შემთხვევითი ფილტრაციული სიმტკიცის დაურღვევლობის პირობიდან გამომდინარე.

1. შემთხვევითი ფილტრაციული სიმტკიცის გაანგარიშება.

ვთქვათ, საჭიროა შემოწმდეს მიწის კაშხალის შემთხვევითი ფილტრაციული სიმტკიცე (ნახ. 11-22). აღვნიშნოთ მასში  $I$ -ით რაღაც საშუალო მანძილი ზედა ბიეფიდან ღრენაქამდე ან ქვედა ბიეფამდე (თუ ღრენაქი არ გვაქვს).

იმისათვის, რომ არ დაეუშვათ კაშხალის ტანის ან მისი ფუძის შემთხვევითი ფილტრაციული სიმტკიცის დარღვევა,  $I$  სიგრძე უნდა დავნიშნოთ ისეთი, რომ დაკმაყოფილდეს პირობა

$$I_2 \leq (I_2)_a \quad (11-30)$$

სადაც  $I_2$  არის პიეზომეტრული ქანობი (გრადიენტი), რომელიც აკონტროლებს შემთხვევით ფილტრაციულ სიმტკიცეს და ტოლია ფილტრაციის მთელი განსაზღვრული არის რომელიღაც საშუალო ქანობისა (გრადიენტისა);  $(I_2)_a$  —  $I$  დასაშვები მნიშვნელობა.

შემთხვევითი ფილტრაციული სიმტკიცის (11-30) ფორმულით გაანგარიშების დროს კაშხალის ტანი და მისი ფუძე უნდა განვიხილოთ ცალ-ცალკე (11-22 ნახაზზე მთელი ფილტრაციული არე  $AB$  ხაზით გაყოფილია ორ ნაწილად).

$I_2$  განსაზღვრა კაშხალის ტანისათვის. 1. ერთგვაროვანი კაშხალისათვის, რომლის ღრენაქი წარმოდგენილია ქვეყრილი პრიზმის ან მილის სახით (ნახ. 11-23 ა, ბ),  $I_2$  სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$I_2 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{Z}{L + 0,4 H} \quad (11-31)$$

სადაც  $\alpha$  არის დეპრესიის  $MN$  წრფის დახრის კუთხე პორიზონტთან;

$Z$  — დაწნევა კაშხალზე;

$H$  — წყლის სიღრმე ზედა ბიეფში;

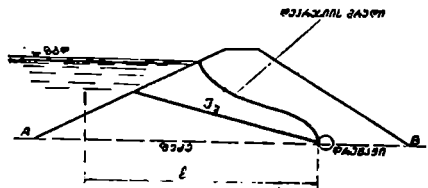
$L$  — პორიზონტალური მანძილი ზედა ბიეფის წყლის კიდესა და ღრენაქის მარცხენა განაპირა წერტილის შორის.

მიყენილი ღრენაქის შემთხვევაში (ნახ. 11-23 გ) ანდა მაშინ, როდესაც კაშხალი უღრენაქოა,  $I_2$  სიდიდეს ვპოულობთ ფორმულით

$$I_2 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{Z}{L_1 + 0,4 H + 0,4 h_0} \quad (11-32)$$

სადაც  $L_1$  არის პორიზონტალური მანძილი ზედა და ქვედა ბიეფის წყლის კიდევებს შორის;

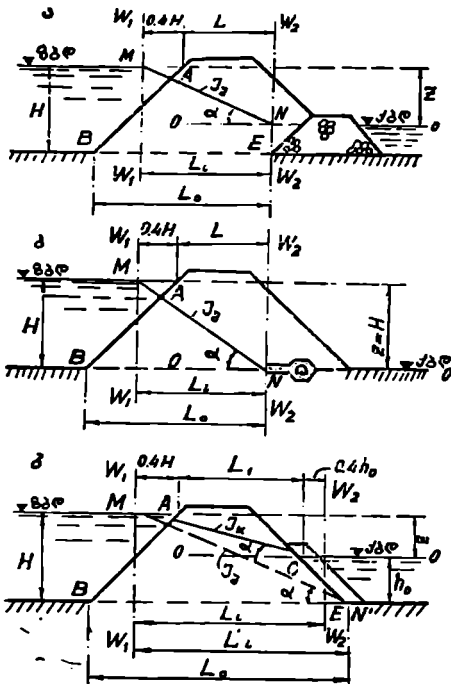
$h_0$  — წყლის სიღრმე ქვედა ბიეფში; როდესაც  $h_0 = 0$ , „დეპრესიის წრფე“ ლებულობს  $MN'$  წრფის სახეს (ნახ. 11-23 გ).



ნახ. 11-22. შემთხვევითი (კაშხალური) ფილტრაციული სიმტკიცის მაკონტროლებელი გრადიენტის დადგენის სქემა.

2. ეკრანის ან გულის კაშხალის შემთხვევაში  $I_0$  კეპოლობთ ფორმულით

$$I_0 = \frac{Z'}{\delta} \quad (11-33)$$



ნახ. 11-23. ფილტრაციული გრადიენტის განსაზღვრა ერთგვაროვანი კაშხალისათვის სხვადასხვა შემთხვევებში.

როდესაც გვაქვს ისეთი ღრენაჲი, რომელიც განსხვავდება მიფენილისაგან, (11-34) ფორმულაში  $L_0$  სიღიდე უნდა ჩავთვალოთ 11-23 ა, ბ ნახაზზე ნაჩვენები  $BE$  ხაზის სიგრძედ.

2. ძირულიანი ან კბილიანი მიწის კაშხალის შემთხვევაში (ნახ. 11-1)  $I_0$  სიღიდე უნდა განისაზღვროს იმავე (11-34) ფორმულით, მაგრამ ამისათვის საჭიროა  $L_0$  ზომა ვადიდდეს სიღიდით, რომელიც ეტოლება ან ძირულის სიგრძეს, ან კბილის ორმაგ სიღრმეს.

2. დასაშვები მაკონტროლებელი პიეზომეტრული ქანობების (გრადიენტების) განსაზღვრა

კაშხალის ტანისა და ფუძის გრუნტებისათვის ( $I_0$ ) დასაშვები გრადიენტების სიღიდე, რომელიც რ. ჩუგაევა დაადგინა უკვე აგებული და ექსპლუა-

სადაც  $\delta$  გულის ან ეკრანის საშუალო სისქეა;

$Z'$  — დაწნევა გულზე ან ეკრანზე, რომელიც განისაზღვრება შესაბამისი ფილტრაციული გაანგარიშების შედეგად; როდესაც ქვედა ბიფეში წყალი არ არის, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ  $Z' = H$ .

$I_0$  განსაზღვრა კაშხალის ფუძისათვის. 1. მიფენილი ღრენაჲის მქონე კაშხალისათვის, რომელსაც არ აქვს კბილი და ძირული (ნახ. 11-23 გ),

$$I_0 = \frac{Z}{L_0 + 0,88 T_{ანგ}}, \quad (11-34)$$

სადაც  $L_0$  არის კაშხალის ტანის სივანე ძირში;

$T_{ანგ}$  — საანგარიშო წყალსაკეცის ჩაღრმავება, რომლის სიღიდე ხშირად შეიძლება ავილოთ  $0,5 L_0$ -ის ტოლი.



ტაციაში არსებული კაშხალების მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე, მოცემულია 11-2 და 11-3 ცხრილებში.

ცხრილი 11-2

(1ა) ღა სასაშუალო პიეზომეტრული ქანობები  
კაშხალის ტანის გრუნტისათვის

გრუნტი, რომლითაც წარმოქმნილია კაშხალის ტანი	ნაგებობის კლასი კაპიტალურობის მიხედვით			
	I	II	III	IV-V
თიხაბეტონი და თიხა თიხნარი	1,00	1,10	1,20	1,30
საშუალო სიმსხოს ქვიშა	0,70	0,75	0,85	0,90
ქვიშნარი	0,50	0,55	0,60	0,65
წერილი ქვიშა	0,40	0,45	0,50	0,55
წერილი ქვიშა	0,35	0,40	0,45	0,50

ცხრილი 11-3

(1ა) II ღა სასაშუალო პიეზომეტრული ქანობები  
კაშხალის ფუძის გრუნტისათვის

ფუძის გრუნტი	ნაგებობის კლასი კაპიტალურობის მიხედვით			
	I	II	III	IV-V
მკერძი თიხა	0,52	0,57	0,62	0,68
მსვილი ქვიშა, ბრეში	0,33	0,36	0,40	0,43
თიხნარი	0,26	0,29	0,31	0,34
საშუალო სიმსხოს ქვიშა	0,20	0,22	0,24	0,26
წერილი ქვიშა	0,16	0,18	0,19	0,21

რაც შეეხება (1ა) სიდიდეს ეკრანებისა და გულეებისათვის, ე. ი. ნაგებობის იმ ნაწილებისათვის, რომლებიც სრულდება განსაკუთრებული გულდასმით, მისი მნიშვნელობა შეიძლება აღებულ იქნეს (1ა) = 10 — 12 ტოლი.

### 3. მიწის ფერდობების ადგილობრივი (ნორმალური) ფილტრაციული სიმტკიცის გაანგარიშება

ზოგიერთ, შედარებით უფრო იშვიათ, შემთხვევაში კაშხალის ქვედა სოლის დრენაჟს არ აკეთებენ. ამ შემთხვევაში ანდა მაშინ, როდესაც მოხდება ქვედა სოლის დრენაჟის სრული კოლმატაცია, დეპრესიის მრუდი ამოისოლება ქვედა ფერდობზე (ნახ. 11-24). ამასთანავე  $A$  ზონაში ფილტრაციული ნაკადის პიეზომეტრული ქანობები მიიღება შედარებით უფრო დიდი. უდიდესი პიეზომეტრული ქანობი იქნება  $a$  წერტილში, სადაც დეპრესიის მრუდი უნდა იყოს ფერდოს მხები. ამ მაქსიმალური ქანობის სიდიდე

$$I_a = \frac{dh}{ds} = \sin \theta_1, \quad (11-35)$$

სადაც  $dh$  არის დაწნევის კარგვა დენის წირის შესაბამის  $ds$  სიგრძეზე;

$\theta$  — ქვედა ფერდოს დახრის კუთხე პორიზონტთან.

ფილტრაციული ძალების მოქმედებით ფერდოს  $A$  ზონაში შეიძლება მოხდეს გრუნტის ადგილობრივი ფილტრაციული ამობურცვა.



А ზონაში არსებული გრუნტის მცირე მოცულობის მდგრადობის გაანგარიშება პირველად ჩამოაყალიბა მ. კნორემ, რომელმაც განიხილა შეუქმედელი გრუნტი.

ამ გაანგარიშების თანახმად, განიხილება  $\alpha$  წერტილში შეყურსული გრუნტის ერთეული მოცულობის წონასწორობა (ნახ. 11-25). ამ მოცულობაზე მოქმედებს შემდეგი ძალები:

ნახ. 11-24. კაშხალის ქვედა ფერდოზე დეპრესიის შრუდის ამოსოღვის და გრუნტის ადგილობრივი ფილტრაციული ამობურცვის საერთო სქემა.

- 1) შეტივტივებული გრუნტის მოცულობითი წონა,  $\gamma_{\text{ჰაზ}}$ ;
- 2) ხვედრითი ფილტრაციული ძალა,

$$W_{\text{ფ}} = \gamma f_{\text{ფ}} = \gamma \sin \theta_1, \quad (11-36)$$

სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა.

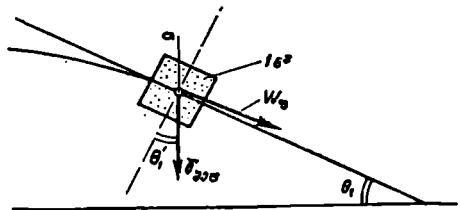
დავშალოთ  $\gamma_{\text{ჰაზ}}$  ორი მიმართულებით: ა) ფერდოს გასწვრივ მდგენელი ტოლია

$$\gamma_{\text{ჰაზ}} \sin \theta_1,$$

ბ) ფერდოს ნორმალის მიმართულებით კი —

$$\gamma_{\text{ჰაზ}} \cos \theta_1.$$

ცხადია, ძალა, რომელიც გრუნტის ამ ერთეულ მოცულობას ძრავს ფერდოს გასწვრივ, ტოლი იქნება



ნახ. 11-25. კაშხალის ქვედა ფერდოს გრუნტის ადგილობრივ ფილტრაციულ გამობურცვაზე გაანგარიშების სქემა.

$$\gamma \sin \theta_1 + \gamma_{\text{ჰაზ}} \sin \theta_1 = (\gamma + \gamma_{\text{ჰაზ}}) \sin \theta_1, \quad (11-37)$$

ხოლო ძალა, რომელიც აკავებს გრუნტის აღნიშნულ მოცულობას (ხაზუნის ძალა ზღვრული წონასწორობის მომენტში), იქნება

$$f \gamma_{\text{ჰაზ}} \cos \theta_1, \quad (11-38)$$

სადაც  $f = \text{tg } \varphi$  (აქ  $\varphi$  არის გრუნტის შიგა ხაზუნის კუთხე).

გრუნტის განსახილველი ერთეული მოცულობის ზღვრული წონასწორობის მომენტში ადგილი ექნება (11-37) და (11-38) გამოსახულებათა ტოლობას

$$(\gamma + \gamma_{\text{ჰაზ}}) \sin \theta_1 = f \gamma_{\text{ჰაზ}} \cos \theta_1; \quad (11-39)$$

აქედან

$$\frac{\cos \theta_1}{\sin \theta_1} = c \text{tg } \theta_1 = m_{1, \text{ჰაზ}} = \frac{\gamma + \gamma_{\text{ჰაზ}}}{f \gamma_{\text{ჰაზ}}} \approx \frac{2}{f} = \frac{2}{\text{tg } \varphi}, \quad (11-40)$$

სადაც  $m_{1, \text{ჰაზ}}$  არის ფერდოს ქანობის კოეფიციენტის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროს გრუნტის განხილული ერთეული მოცულობა იმყოფება ზღვრული წონასწორობის ძღვოპარეობაში.

ადვილად შეიძლება დავრწმუნდეთ შემდეგში:

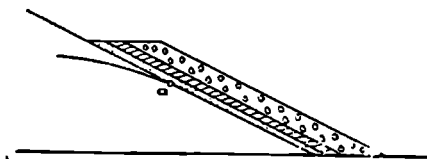
$$1) \text{ თუ } m_{1, \text{ჰაზ}} < \frac{2}{\text{tg } \varphi}, \quad (11-41)$$

მაშინ გრუნტის განხილული ერთეული მოცულობა უნდა ჩამოცოცდეს ფერ-  
ლოზე, ე. ი.  $\alpha$  წერტილში მოხდება ადგილობრივი ამობურცვა;

2) თუკი

$$m_{1,2} > \frac{2}{\epsilon \varphi}, \quad (11-42)$$

მაშინ ფერლოს  $A$  ზონაში (ნახ. 11-25) გრუნტი შეიძლება ჩაითვალოს მდგრად მდგომარეობაში.



ნახ. 11-26. ქვედა ფერლოზე ფილტრაციული ნაკადის ამოსოფლის ზონის გამაგრება მსხვილმარცვლოვანი გრუნტის მიტეირთვით.

როდესაც ადგილი აქვს (11-41) უტოლობას, მაშინ  $\alpha$  წერტილში გრუნტის მდგრადობის გაზრდის მიზნით საჭიროა მიღებულ იქნეს შესაბამისი ზომები — გაეზარდოს ქვედა ფერლოს დამრეცობა (შევაამციროს  $\theta_1$  კუთხე). ანდა ფერლოს ზედაპირი დავფაროთ მსხვილმარცვლოვანი წყალშედწევალი გრუნტით უკუფილტრის ფენაზე (ნახ. 11-26).

#### § 11-8. მიწის კაშხალეების ფარდობის მდგრადობაზე გაანგარიშება

ბუნებრივია, რომ მიწის კაშხალეები ხასიათდება ძალიან დიდი წონით და ამიტომ ისინი ძერაზე მდგრადობის შემოწმებას არ საჭიროებენ. არამდგრადი შეიძლება აღმოჩნდეს კაშხალის ფერდოვები, რის შედეგად მოსალოდნელია მათი ჩამონგრევა.

კულონის თვალსაზრისის თანახმად, როდესაც არ მოქმედებს ფილტრაციული ძალები, ფხვიერი (დაუკავშირებელი) გრუნტის ნაყარის მდგრადი ფერლო წარმოადგენს სიბრტყეს, რომელიც პორიზონტთან დახრილია გრუნტის  $\varphi$  შიგა ხახუნის კუთხის ტოლი  $\theta$  კუთხით. ყოველგვარი ფერლო, რომლის დახრილობის კუთხე  $\theta > \varphi$ , წარმოადგენს არამდგრადს და, პირიქით, თუ მისი დახრილობის კუთხე  $\theta < \varphi$  — იგი მდგრადია.

არსებობს ორი სხვადასხვა თეორია, რომელთა საფუძველზე მუშავდება მიწის კაშხალეების ფერდოვების მდგრადობაზე გაანგარიშების სხვადასხვა ხერხი: „ზღვრული წონასწორობის თეორია“, რომლის თანახმად, ჩამონგრევის ნაკვეთურის ყველა წერტილში არსებობს ზღვრული ძაბვითი მდგომარეობა და თეორია, რომელიც ეფუძნება გრუნტის გამყარებული ჩამონგრევის ნაკვეთურის მოდელის გამოყენებას.

მეორე თეორია, თავის მხრივ, კიდევ მოიცავს ორ მეთოდს:

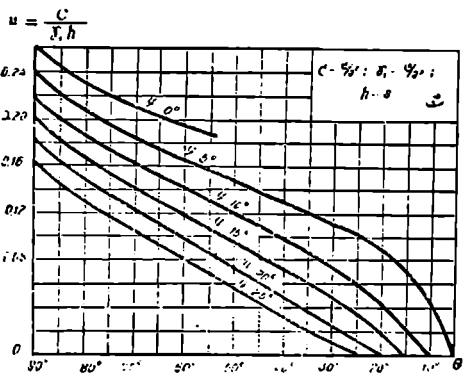
1) ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირების მეთოდი, რომლის თანახმად ძვრის ზედაპირი წარმოდგენილია წრის რკალის სახით;

2) ძვრის ბრტყელი ზედაპირების მეთოდი, რომელიც ემყარება იმ დაშვებას, რომ ძვრის ზედაპირი შექმნილია ერთი, ორი ან რამდენიმე სიბრტყით.

საპროექტო პრაქტიკაში მიწის კაშხალების ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშებას უფრო ხშირად აწარმოებენ მეორე თეორიით, რომელიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებულ იქნეს პირობების მთელი მრავალფეროვნება, აპასთან ერთად დაშვებულია, რომ ფერდობების ჩამონგრევის ზედაპირები წარმოადგენენ წრიულცილინდრულს.

ერთგვაროვანი მიწის კაშხალების ფერდობების მიახლოებითი გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს ვოლბემ-ს საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მიერ რეკომენდებული გრაფიკის გამოყენებით (ნახ. 11-27).

გვეცოდინება რა ფერდოს გრუნტის მახასიათებლები, —  $\gamma$  მოცულობითი წონა,  $\varphi$  მიახლოებითი წონა,  $\theta$  მიახლოებითი წონა,  $c$  ხვედრითი შეჭიდულობა და ფერდოს  $h$  სიმაღლე. შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს მდგრადი ფერდოს  $\theta$  კუთხე. წინასწარი გაანგარიშებებისათვის  $\varphi$  და  $c$  მნიშვნელობა შეიძლება აღებული იქნეს 11-4 ცხრილიდან.



ნახ. 11-27. ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშებულ გრაფიკი.

ცხრილი 11-4

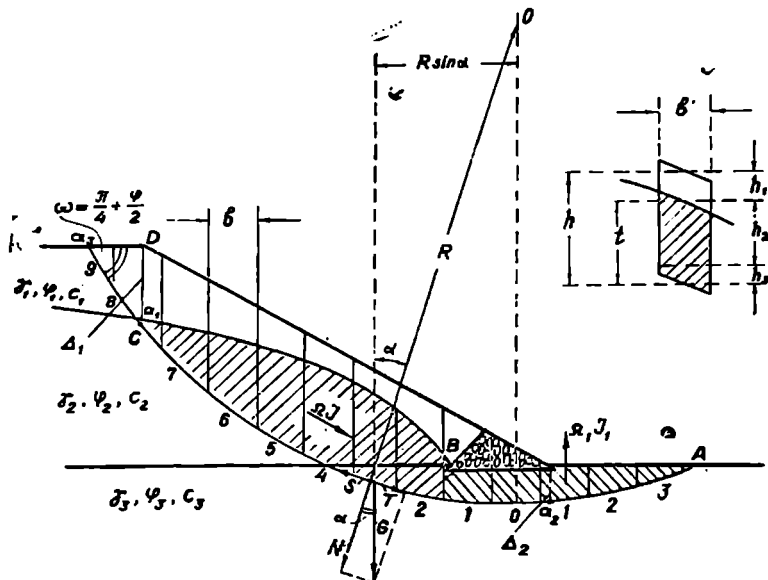
გრუნტები	$\varphi_0$ ბუნებრივი ტენიანობის დროს	$\varphi_0$ წყლით გაჯერების დროს	$c$ , ტ/მ <sup>2</sup>
თიხოვანი	40—45°	12—18°	9—10
თიხნაროვანი	35—40°	19—25°	2—5
ქვიშოვანი	30—35°	20—27°	0—0,5

ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირების მეთოდით არაერთგვაროვანი ფერდოს მდგრადობის შემოწმებისათვის იყენებენ წრიულცილინდრული ზედაპირების ზოგად მეთოდს, რომლის მიხედვითაც დაშვებულია, რომ ძალთა მოქმედების შედეგად კაშხალში და მის ფუძეში შეიძლება წარმოიშვას ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირი და მასზე მოხდეს ფერდოს გრუნტის მასის ჩამონგრევა და ფუძის გრუნტის ამოზურცვა.

გაანგარიშების დროს განიხილება კაშხალის 1 მ სიგრძის უბანი და დასაწყისში რომელიღაც  $O$  წერტილიდან  $R$  რადიუსით მოიხზება

\* ქვიშოვანი და თიხოვანი გრუნტებისათვის  $\varphi$  და  $c$  მნიშვნელობებს აღვნიშნავთ СНИП II-B 3-62 თავის მიითებამათა და СНИП II-И, 4-62 2 ცხრილის თანახმად.

ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირი. რადიუსის სიდიდე აიღება დაახლოებით  $R=(4-8)H$ -ის ფარგლებში, სადაც  $H$  წყლის შეტბორვის სიმაღლეა. ცხადია, სახიფათო წრიულცილინდრული ზედაპირის ღერძის (ცენტრის) მდებარეობა უნდა დადგინდეს რამდენიმე განმეორებითი აგებისა და სათანადო გაანგარიშების ჩატარების საფუძველზე. უფრო სწრაფი მიახლოებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ი. სიმაკოვის<sup>1</sup> ხერხით, რომელიც მან დაამუშავა პროფესორ ვ. სოკოლოვსკის თეორიის საფუძველზე<sup>2</sup>. ამისათვის ფერდოს გარდატეხის წერტილებიდან (ნახ. 11-28) გადაზომავენ  $\Delta_1 \approx (0,3-0,5)H$  და  $\Delta_2 \approx 0,5\Delta_1$  ვერტიკალურ მონაკვეთებს; შემდეგ პირველი მონაკვეთის ბოლო  $a_1$  წერტილზე ავლებენ წრფეს, რომელმაც თხემთან უნდა შეადგინოს  $\omega = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$  კუთხე, და პოულობენ  $a_2$  წერტილს; მიღებულ სამ ( $a_1$ ,  $a_2$  და  $a_3$ ) წერტილზე ატარებენ წრეხაზის რკალს, რომლითაც შემოისაზღვრება ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირი. ამის შემდეგ ჩამონგრევის ნაკვეთურს ჰყოფენ თანატოლ  $b$  სიგანის ( $b=0,1R$ ) ვერტიკალურ სვეტებად, ამასთან ნულოვან სვეტს ათავსებენ  $O$  წერტილზე გამავალი ვერტიკალის ქვეშ, დანარჩენ სვეტებს ნომრავენ რიგითი ნომრით მარცხნივ და მარჯვნივ. სვეტის არჩეული  $b=0,1R$  სიგანის დროს მიიღება, რომ  $\sin \alpha_1=0,1$ ,  $\sin \alpha_2=0,2$ ,  $\sin \alpha_3=0,3$ , ე. ი. სინუსი ტოლია ათზე გაყოფილი სვეტის რიგითი ნომრისა, ზოლო  $\cos \alpha_1$ ,  $\cos \alpha_2$ ,  $\cos \alpha_3$  და ა. შ. უანსაზღვრავენ ჩვეულებრივად ( $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$ ).



ნახ. 11-28. წრიულცილინდრული ზედაპირების ზოგადი მეთოდით მიწის კაშხალის ფერდოს მდგრადობის სანგარიშო სქემა.

<sup>1</sup> И. М. Симаков, Способ нахождения опасной кривой скольжения при расчете устойчивости откосов, «Гидротехническое строительство» № 8, 1952.

<sup>2</sup> В. В. Соколовский, Статика сплывшей среды, М.-Л., 1954.

განვიხილოთ ფერდოს ჩამონგრევის ნაკვეთურის რომელიმე სვეტის წონასწორობა. იგი იმყოფება საკუთარი წონის, გრუნტის გვერდითი წნევებისა და ფილტრაციული წნევის მოქმედების ქვეშ. გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მიიღება გრუნტის გვერდითი წნევები და ხახუნის ძალები გამოყოფილ სვეტსა და გვერდით სვეტებს შორის. გადავიტანოთ სვეტის  $G$  წონის ძალა მისი მოქმედების ხაზის გასწვრივ ძვრის წრიული მრუდის გადაკვეთამდე და დავშალოთ ორ მდგენელად:  $N = G \cos \alpha$  — ნორმალურ და  $T = G \sin \alpha$  — მხებ მდგენელებად. ცხადია,  $T$  ძალა გამოიწვევს გამოყოფილი სვეტის ძვრას მრუდზე, მაგრამ მას წინააღმდეგობებს გაუწევს  $S = N \operatorname{tg} \varphi = G \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi$  — ხახუნისა

და  $C = \frac{cb}{\cos \alpha}$  — შეკიდულობის ძალები (ფ ლებულობს  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  ან  $\varphi_3$  მნიშვნელო-

ბას იმის შესაბამისად, თუ რომელ ზონაშია მოქცეული განსახილველი სვეტი; ასევე სათანადო მნიშვნელობებს ლებულობს  $c$  ზევიდრითი შეკიდულობა). გამოყოფილი სვეტის ძვრას იწვევს აგრეთვე  $W = \gamma a I$  ფილტრაციული წნევა, სადაც  $\gamma$  წყლის მოცულობითი წონაა,  $a$  — სვეტის იმ ნაწილის ფართობი, რომელიც წყალშია მოთავსებული, ხოლო  $I$  — დებრესიის მრუდის ქანობი.

სვეტის მდგრადობის კოეფიციენტი ძვრაზე მიიღება  $C$  და  $S$  დამპერი ძალების მომენტების ჯამის შეფარდებით  $T$  და  $W$  მძკრელი ძალების მომენტების ჯამთან ( $N$  ძალის მომენტი ნულის ტოლია, რადგან მისი მოქმედების ხაზი გადის  $O$  მომენტთა ცენტრზე). შემოღებული აღნიშვნების საფუძველზე მთელი ჩამონგრევის ნაკვეთურისათვის ძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტს ექნება მნიშვნელობა

$$K_b = \frac{SR + CR}{TR + W \cdot r + W_1 \cdot r_1} = \frac{S + C}{T + W \frac{r}{R} + W_1 \frac{r_1}{R}} =$$

$$= \frac{\Sigma G \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \sum \frac{cb}{\cos \alpha}}{\Sigma G \sin \alpha + \gamma \Omega I \frac{r}{R} + \gamma \Omega_1 I_1 \frac{r_1}{R}}, \quad (11-43)$$

სადაც  $r$  და  $r_1$  არიან, შესაბამისად,  $\Omega$  და  $\Omega_1$  ფართობების სიმძიმის ცენტრებში მოღებული ფილტრაციული წნევის ძალების მხრები  $O$  წერტილის მიმართ;  $\Omega$  — დებრესიის მრუდის ქვემოთ მოთავსებული ნაკვეთურის სრული ფართობი დრენაჟამდე;  $\Omega_1$  — ნაკვეთურის ფართობი დრენაჟის დასაწყისიდან ძვრის მრუდის ბოლომდე. თანახმად 11-28 ნახაზისა, გამოყოფილი სვეტის წონა:

$$G = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3) = \gamma_{\text{საშ}} h_b,$$

სადაც  $\gamma_{\text{საშ}}$  არის გრუნტის დაყვანილი მოცულობითი წონა;

$$\gamma_{\text{საშ}} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3}.$$

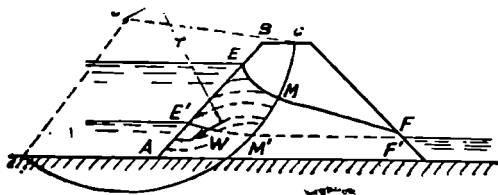
ჩამონგრევის ნაკვეთურის სვეტებისათვის შემოღებული ნუმერაციის თანახმად, (11-43) ფორმულაში ვერტიკალის მარცხნივ მდებარე კუთხეებისათვის აიღება პლუს ნიშანი, ხოლო მის მარჯვნივ მდებარე კუთხეებისათვის მინუს ნიშანი.

პირველი  $K_{43}$  გამოთვლის შემდეგ ვერტიკალებზე გადაზომავენ  $\Delta_1$  და  $\Delta_2$  სხვა მნიშვნელობებს და იმავე წესით მოხაზავენ სათანადო მრუდს პირველი მრუდის ზევით ან ქვევით იმისდა მიხედვით, თუ  $K_{43}$  რა მნიშვნელობა იყო მიღებული პირველად. ამგვარ აგებას იგეორებენ რამდენიმეჯერ და თითოეული შემთხვევისათვის განსაზღვრულ  $K_{43}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობას წერენ სათანადო სიმრუდის ცენტრში. 5 — 6 წერტილის დატანის შემდეგ, ცხადია, შეიძლება გავატაროთ მდგრადობის კოეფიციენტთა იზოხაზები.

ბუნებრივია, რომ  $K_{43}$  მიღებული მნიშვნელობებიდან მხოლოდ მინიმალური წარმოადგენს შივის კაშხალის ფერდოს მდგრადობის ნამდვილ საზომს. აღნიშნული  $K_{43}$ -ის უნდა მოთავსდეს 1,3 — 1,5 ფარგლებში.

ძვრის სახიფათო ზედაპირის დადგენის დაჩქარებისათვის მიზანშეწონილია (11-43) ფორმულაში  $W$  ფილტრაციული წნევა გათვალისწინებულ იქნეს მას შემდეგ, როდესაც ეს ზედაპირი უკვე დადგენილია.

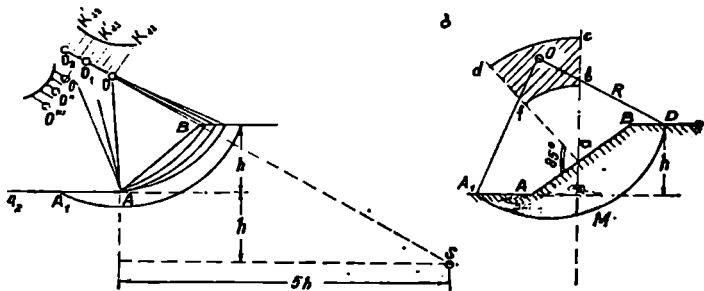
უნდა გვახსოვდეს, რომ ჩამონგრევის ნაკვეთურის სექტებში ფილტრაციულ წნევებს სხვადასხვა მიმართულება აქვს დენის წირების მხებების მიმართულებათა შესაბამისად. აქედან გამომდინარე დრენაჟის ქვემოთ მდებარე უბნებისათვის ისინი მიმართულია ზემოთ.



ნახ. 11-29. ზედა ფერდოს მდგრადობის საანგარიშო სქემა წყალსაცავის სწრაფი დაცლის შემთხვევის გათვალისწინებით.

მდგრადობაზე გაანგარიშება საჭიროა ჩატარდეს აგრეთვე ზედა ფერდოსათვის წყალსაცავის სწრაფი დაცლის შემთხვევის გათვალისწინებით. ეს შემთხვევა საშიშია, რადგან ფილტრაციული დენები მიმართულია ფერდოსაკენ და ქმნის ჰიდროდინამიკურ წნევას, რომლის მომენტი ზრდის ფერდოს გრუნტის ნაკვეთურის წრიულცილინდრულ ზედაპირზე ძვრის შესაძლებლობას (ნახ. 11-29).

ძვრის საშიში წრიულცილინდრული ზედაპირის დადგენის დასაჩქარებლად, გარდა ი. სიმკაცრის წინადადებისა, შეიძლება ვისარგებლოთ სხვა. უფრო ადრინდელი მითითებებითაც. იმ შემთხვევაში, როდესაც ძვრის მრუდები იწყება ფერდოს ძირიდან (მტკიცე საფუძვლის შემთხვევა), მაშინ ჩამონგრევის ყველაზე უფრო მოსალოდნელი წრიულცილინდრული ზედაპირის ცენტრი მდებარეობს ხაზზე, რომელიც ვადის კაშხალის თხემის  $B$  წარბასა და  $S$  წერტილზე; ამ წერტილის კოორდინატები განისაზღვრება  $h$  ჩაღრმავებით და ფერდოს ძირიდან დაახლოებით  $5h$ -ის ტოლი პორიზონტალური მანძილით (ნახ. 11-30 ა). თუ აღნიშნულ ხაზზე ავიღებთ რიგ  $O, O_1, O_2 \dots$  ცენტრებს და მათ შესაბამის წრიულცილინდრული მრუდებისათვის გამოვთვლით  $K_{43}, K_{43}', K_{43}'' \dots$  კოეფიციენტებს, მაშინ მდგრადობის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა ( $K_{43-მინ}$ ) შეიძლება განისაზღვროს გრაფიკულად ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 25. 6. მოწონელიც



ნახ. 11-30. ფერდოს ძვრის ვეილაზე საშიში წრიულცილინდრული ზედაპირების დადგენის ხერხები.

ბია 11-30 ა ნახაზზე. თუ ამის შემდეგ  $O''$  წერტილზე, რომლისათვისაც  $K_{\alpha}$  პინიშნავია. აღმართავთ ცენტრების ხაზის ნორმალს და მასზე ავიღებთ რამდენიმე  $O', O'', O'''$  ცენტრს, მაშინ ანალოგიური წესით შეგვიძლია მოვძებნოთ  $K_{\alpha}$ -ის მნიშვნელობა.

ცხადია, მაგავსი აგება შემდეგ უნდა გავიმეოროთ იმ ძვრის მრუდებისათვის, რომლებიც იწყებიან  $A_1, A_2$  და ა. შ. წერტილებიდან. ფუძის ზედაპირზე ძვრის მრუდები, ჩვეულებრივ, არ გამოდის ფერდოს  $A$  ძირიდან  $2h$  საზღვრებს გარეთ, ასევე არ ჩადის ფუძის ზედაპირიდან დაახლოებით ამავე სიღრმეზე უფრო ღრმად.

როდესაც ფერდოს გრუნტს გააჩნია ხახუნისა და შეჭიდულობის უნარი, მაშინ ვ. ფანდევების წინადადების თანახმად მისი მდგრადობის გაანგარიშებისათვის ძვრის საშიში მრუდის ცენტრი უნდა ვეძიოთ  $b|f|c$  მრუდწირულ სწორკუთხედში. აღნიშნული სწორკუთხედის ასაგებად ფერდოს შუა  $a$  წერტილიდან (ნახ. 11-30 ბ) აღმართავენ  $ac$  ვერტიკალს, შემდეგ იმავე  $a$  წერტილიდან გაჰყავთ ფერდოსადმი  $85^\circ$ -ით დახრილი  $ad$  ხაზი.  $a$  წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან,  $ab$  და  $ac$  რადიუსებით შემოხაზავენ წრეხაზებს; ამ რადიუსების მნიშვნელობანი აიღება  $ab:h$  და  $ac:h$  ფარდობათა მიხედვით 11-5 ცხრილიდან. როდესაც ფერდოს კოეფიციენტი აქვს რომელიმე შუალედური მნიშვნელობა, მაშინ  $ab:h$  და  $ac:h$  ფარდობათა მნიშვნელობებს განსაზღვრავენ ინტერპოლაციით.

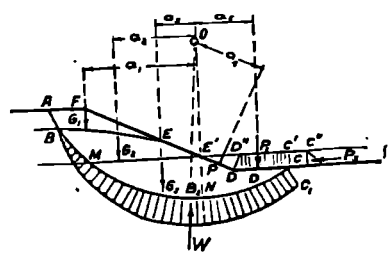
ცხრილი 11-5						
ფერდობი	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6
$ab:h$	0,75	0,75	1,0	1,5	2,2	3,0
$ac:h$	1,5	1,75	2,3	3,75	4,8	5,5

ავირჩევთ რა მრუდწირულ სწორკუთხედში ნებისმიერ  $O$  წერტილს. მისგან როგორც ცენტრიდან  $R=OA_1=OM=OD$  რადიუსით შემოხაზავთ წრეხაზის რკალს, რომელმაც უნდა შემოფარგლოს ზემოთ დაახლოებით კაშხალის თხემის ნახევარი, ხოლო ქვემოთ ფუძის ნაწილი. შემდეგ ფერდოს ჩამონგრევის  $A_1ABDMA_1$  ნაკვეთური დაიყოფა სვეტებად და ჩატარდება მისი მდგრადობის კოეფიციენტის გაანგარიშება ჩვეულებრივი წესით.



როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული,  $K_{აა,აფ}$  განსაზღვრის ოპერაცია მოიხზოვს მრუდების დიდ რაოდენობას და დიდ დროს. ზეგამ სწრაფად  $K_{აა,აფ}$  კოეფიციენტის დასადგენად კმაყოფილდებიან ფარდობითი მინიმუმით. რომელიც მიიღება 10—12 მრუდის აგებით და სათანადო გაანგარიშების ჩატარების შედეგად. სამაგიეროდ გაანგარიშების დროს უნდა გავითვალისწინოთ შესაბამისი მარაგის კოეფიციენტი.

წონითი წნევის ხერხი. ამ ხერხში, რომელიც რ. ჩუგაევმა დაამუშავა, ფერდოს ჩამონგრევის გრუნტის ნაკვეთური განიხილება როგორც გამყარებული სხეული. ამასთანავე დაშვებულია, რომ ელემენტარული ნორმალური ძალების  $N$  ალგებრული ჯამის სიდიდე ტოლია გარეგანი (მოცულობითი) ძალისა, ე. ი. გრუნტის  $G$  წონის ძალისა.



ნახ. 11-31. წონითი წნევის ხერხით გაანგარიშების სქემა (რ. ჩუგაევის მიხედვით)

განსახილველი ჩამონგრევის ნაკვეთურის ზღვრული წონასწორობის განტოლებას ექნება სახე:

$$\sum G \sin \alpha = \sum G t g \varphi + cL, \quad (11-44)$$

სადაც  $c$  წინანდებურად გრუნტის ხვედრითი შექილულობა;

$L$  — ჩამონგრევის ნაკვეთურის რკალის სიგრძე.

ჩამონგრევის  $BMNC$  ზედაპირზე მოქმედი ჰიდროდინამიკური წნევის ძალები გამოისახება  $BMNCC_1B$  წნევის ეპიურით, რომლის ორდინატები ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირის ნორმალურია (ნახ. 11-31). აღნიშნული წნევის ძალების  $W$  ტოლქმედი ვადის ძვრის წრეხაზის  $O$  ცენტრზე და, მასთანადავით, მისი მომენტი ამ ცენტრის მიმართ ნულის ტოლია.

თუ ქვედა ბიეფში წყალია, მაშინ ფერდოს  $E'D$  ზედაპირზე იმოქმედებს  $P_1$  ჰიდროსტატიკური წნევის ძალა, რომელიც გამოისახება  $E'DD''$  ეპიურით, აგრეთვე  $DD''C'CD$  ეპიურით გამოისახული  $P_2$  ჰიდროსტატიკური წნევა—ჰორიზონტალურ  $DC$  ზედაპირზე. თუ აქტიური ძალების მომენტს გამოვაყლებთ  $MC''NM$  მოცულობაში წყლის წონის ძალის მომენტს (ეს მომენტი  $O$  ცენტრის მიმართ ნულის ტოლია), მაშინ რ. ჩუგაევის მიხედვით აქტიური ძალების მომენტი საბოლოო სახით შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$M_{აა} = G_1 a_1 + G_2 a_2 + G_{ააფ} a_3 - P_1 a_4 - P_2 a_5, \quad (11-45)$$

სადაც  $G_1$  არის ჩამონგრევის ნაკვეთურის გრუნტის იმ ნაწილის წონა, რომელიც მოთავსებულია დეპრესიის მრუდის ზემოთ ( $AFEB$  მოცულობაში);

$G_2$  — ნაჭერი გრუნტის წონა იმ ზონაში, რომელიც შემოსაზღვრულია დეპრესიის მრუდით, ძვრის მრუდის მონაკვეთით და ქვედა ბიეფის წყლის დონის ხაზის გაგრძელებით ( $BEE'MB$  მოცულობაში);

$G_{ააფ}$  — შეწონილი გრუნტის წონა იმ ზონაში, რომელიც შემოსაზღვრუ-

ლია  $ME'$  დონით და ძვრის მრუდით ( $ME'DCNM$  მოცულობაში);  
 $a_1, a_2, \dots, a_5$  — შესაბამისი ძალები.

დაშვებული ძალების მომენტი, ანუ, როგორც მას  $R$ . ჩუგაევი უწოდებს, პასიური მომენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_{პა} = (G'_{ფ} + G_1) |g| \cdot R + cLR, \quad (11-46)$$

სადაც  $G'_{ფ}$  არის წონა შეწონილი გრუნტისა, რომელიც მოთავსებულია დეპრესიის მრუდსა და ძვრის წრიულ მრუდს შორის.

ფერდოს მდგრადობის კოეფიციენტი ძვრაზე, ცხადია, ტოლი იქნება შემდეგი ფარდობისა<sup>1</sup>:

$$K_{ფ} = \frac{M_{პა}}{M_{პა0}} = \frac{(G'_{ფ} + G_1) |g| \cdot R + cLR}{G_1 a_1 + G_2 a_2 + G_3 a_3 - P_1 a_4 - P_2 a_5} \quad (11-47)$$

ანდა თუ მხედველობაში მივიღებთ 11-28 ნახაზზე ნაჩვენებ აღნიშვნებს:

$$K_{ფ} = R \frac{b[\Sigma[(h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_{2,ფ} + h_3 \gamma_{3,ფ}) \epsilon]] |g| \phi_5 + c_6 \Sigma(\mu l)}{b \Sigma[(h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_{2,ფ} + h_3 \gamma_{3,ფ}) x] - P_1 a_4 - P_2 a_5} \quad (11-48)$$

სადაც  $\epsilon = \frac{\phi_i}{\phi_0}$  ( $\phi_0$  — ფუძის გრუნტის შიგა ხახუნის კოეფიციენტი,  $\phi_i = \phi_a$ );

$\mu = \frac{c_i}{c_0}$  ( $c_0$  — ფუძის გრუნტის ხვედრითი შევიცულობა,  $c_i = c_a$ );

$l$  — ნაკვეთურის თითოეული სვეტის ფუძის რკალის სიგრძე;

$x$  — განსახილველი სვეტის წონის ძალის მხარი  $O$  ცენტრის მიმართ.

მიღებულ (11-48) ფორმულაში შემავალი შეწონილი და წყლით ნაჭერი გრუნტების მოცულობითი წონები შესაბამისად განისაზღვრება შემდეგ გამოსახულებათა მიხედვით:

$$\gamma_{ფ} = \gamma_{ფ0} - (1-n)\gamma; \quad (11-49)$$

$$\gamma_{ფ} = \gamma_{ფ0} + n\gamma, \quad (11-50)$$

რომლებშიც  $\gamma_{ფ0}$  არის აბსოლუტურად მშრალი გრუნტის მოცულობითი წონა;

$\gamma$  — წყლის მოცულობითი წონა;

$n$  — გრუნტის მოცულობითი ფორიანობა, ე. ი. გრუნტის ფორების მოცულობის ფარდობა გრუნტის მთელ მოცულობასთან.

სეისმური ძალების გათვალისწინება. თუ მშენებლობის პუნქტის (მიკრორაიონის) სეისმურობა განისაზღვრება 7 — 9 ბალით, მაშინ მოქმედი საშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად<sup>2</sup> მიწის კაშხალის ფერდოს მდგრადობის გაანგარიშების დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჩამონგრევის ნაკვეთურზე, რომელიც ქვემოდან შემოსაზღვრულია მოცემული ძვრის წრიულცილინდრული ზედაპირით, მოქმედებს დამატებითი, პორიზონტალურად (ფერდოს გარეთ) მიმართული მოცულობითი სეისმური ძალები, რომელთა ინტენსიურობა ტოლია

$$\gamma_{სე} = 1,5 K_{სე} \gamma, \quad (11-51)$$

<sup>1</sup> Указания по расчету устойчивости земляных откосов, Издание второе, Изд. «Энгин» Л. 1971.

<sup>2</sup> см. СНиП II-A, 12-68.

სადაც  $\gamma_{\text{საბ}}$  — არის ხვედრითი სეისმური ძალა (სეისმური ძალა, რომელიც მოქმედებს ჩამონგრევის ნაკვეთურის გრუნტის ყოველ ერთეულ მოცულობაზე);

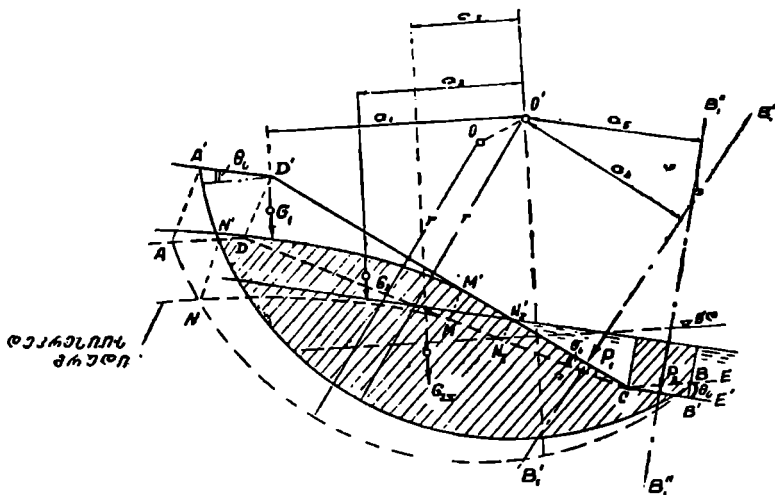
$\gamma$  — გრუნტის ან წყლის ერთეული მოცულობის წონა;

$K_{\text{საბ}}$  — სეისმურობის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე აღებული უნდა იქნეს 3-1 ცხრილიდან საანგარიშო სეისმურობის შესაბამისად: ზსენებული სამშენებლო ნორმების მიხედვით საანგარიშო სეისმურობის დადგენა წარმოებს 'შენებლობის პუნქტის ბალებში' იკამოსახულ სეისმურობაზე დამოკიდებულებით.

ფერდოს ჩამონგრევის ნაკვეთურზე მოქმედი სეისმური ძალები შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს ე. წ. ფერდოს მობრუნების ხერხის გამოყენებით, რომლის თანახმად მოცემული DC ფერდო ჩამონგრევის AB რკალთან და დეპრესიის მრუდთან ერთად უნდა მობრუნდეს C წერტილის მიმართ  $\theta_{\text{საბ}}$  სეისმური კუთხით; აღნიშნული კუთხე განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებებიდან:

$$\lg \theta_{\text{საბ}} = 1,5 K_{\text{საბ}} \quad (11-52)$$

ამის შედეგად ჩამონგრევის ABCD ნამდვილი ნაკვეთურის ნაცვლად (11-32 ნახაზზე იგი პუნქტირითაა ნაჩვენები) ვლბულობთ  $A'B'C'D'$  ფიქტიური ჩამონგრევის ნაკვეთურს. იგი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც ისეთი ნაკვეთური, რომელზედაც არ მოქმედებს სეისმური ძალები.



ნახ. 11-32. წყლით ნაჭერი ფერდოს მდგრადობის საანგარიშო სქემა სეისმური ძალების მოქმედების დროს.

ამგვარად, მიწის კაშხალის ფერდოს მდგრადობაზე გაანგარიშების დროს სეისმური ძალების გასათვალისწინებლად შემდეგნაირად უნდა მოვიქცეთ (ნახ. 11—32):

1. ჰიდროსტატიკის ჩვეულებრივი წესების გამოყენებით განვსაზღვრავთ ფერდოს ჩამონგრევის ნაკვეთურზე მოქმედ  $P_1$  და  $P_2$  ჰიდროსტატიკური წნევის ძალების სიდიდეს და მათი მოქმედების  $B'_1-B'_1$  და  $B''_1=B''_1=x$  ხაზებს;

2. (11—52) ფორმულით გამოთვლით მსაი სეისმურ კუთხეს;

3. მოცემულ  $ADCBE$  ფერდოს ვაბრუნებთ  $C$  წერტილის მიმართ  $\theta_{საი}$  კუთხით; ამასთან ერთად  $\theta_{საი}$  კუთხით ვაბრუნებთ აგრეთვე მოცემულ ძვრის რკალს. დებრესიის მრუდს და  $P_1$  და  $P_2$  ჰიდროსტატიკურ წნევების მოქმედების  $B'_1-B'_1$  და  $B''_1-B''_1$  ხაზებს.

4. მობრუნების შედეგად მიღებული  $A'D'CB'A'$  ფიქტიური ჩამონგრევის ნაკვეთურისათვის განვსაზღვრავთ ძვრაზე მდგრადობის  $K_{საი}$  კოეფიციენტს იმ დაშვების საფუძველზე, რომ სეისმური ძალები არ არსებობს. მის განსასაზღვრავად გამოვიყენებთ (11—47) ან (11—48) ფორმულას.

თავისთავად ცხადია, რომ ფიქტიური ნაკვეთურისათვის (11—47) ფორმულით განსაზღვრული მდგრადობის მარჯვის კოეფიციენტი უნდა ჩაეთვალოს სეისმური ძალების მოქმედების ქვეშ არსებულ  $ABCD$  ნამდვილი ჩამონგრევის ნაკვეთურის ძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტად.

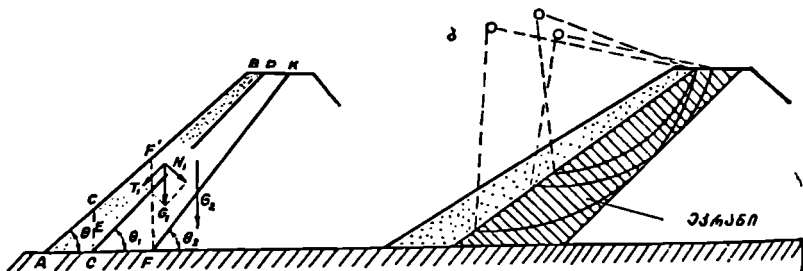
#### § 11-ი. მიწის კაშხალის ეკრანის, დამცველი ფენისა და გულის გაანგარიშება მდგრადობაზე

##### 1. დამცველი ფენისა და ეკრანის გაანგარიშება

მიწის კაშხალის ეკრანს ჩვეულებრივ ფარავენ ფოროვანი მასალის დამცველი ფენით, რომელიც შეიძლება დაცოდეს ეკრანის სიბრტყეზე. ამიტომ ეკრანის მდგრადობის შემოწმებისას საჭიროა პირველ ყოვლისა შემოწმდეს მისი დამცველი ფენის მდგრადობა, ხოლო შემდეგ ეკრანისა დამცველ ფენასთან ერთად. გაანგარიშების დროს განიხილება ეკრანის 1 გრძ. მ.

თუ აღნიშნავთ დამცველი ფენის წონას  $G_1$ , მაშინ მისი მდგენელი, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს დამცველი ფენის ჩამოცობა ეკრანის სიბრტყეზე, ტოლი იქნება  $T_1 = G_1 \sin \theta_1$ . მაგრამ ჩამოცობას წინააღობას გაუწევს  $S_1 = N_1 \cdot \text{tg} \varphi = G_1 \cos \theta_1 \cdot \text{tg} \varphi$  ხაზუნის ძალა და პრიზმის  $E$  უქუწუნევა  $CC'$  კვეთში (ნახ. 11-33 ა). ყველა აღნიშნული ძალის პორიზონტალურ ღერძზე დაგეგმილებით ვღებულობთ წონასწორობის განტოლებას:

$$E \cos \theta + G_1 \cos^2 \theta_1 \cdot \text{tg} \varphi - G_1 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1 = 0, \quad (11-53)$$



ნახ. 11-33. ეკრანის მდგრადობის საანგარიშო სქემა.

$$E = G_1 (\lg \theta_1 - \lg \varphi) \frac{\cos^2 \theta_1}{\cos \delta}. \quad (11-54)$$

აქ  $\delta$  არის კუთხე, რომელსაც  $E$  ძალის მიმართულება ადგენს პორიზონტთან.

მიღებული (11—54) განტოლება გამოსახავს პრიზმის  $E$  უკუწნევის (რეაქციის) ზიდიდეს, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ შეკადრეს დამცველი ფენის ჩამოცოცება. პრიზმის ფაქტიური უკუწნევა, ანუ ეგრეთ წოდებული  $E_{\text{ა.ა}}$  პასიური უკუწნევა, შეიძლება განისაზღვროს პონსელეს ან კულმანის მიხედვით. მდგრადობისათვის აუცილებელია, რომ  $E_{\text{ა.ა}} > E$ , ამასთან

$$K_{\text{ა.ა}} = \frac{E_{\text{ა.ა}}}{E} \geq 1,2 \div 1,5.$$

ანალოგიურად უნდა ჩატარდეს ეკრანის შემოწმება მდგრადობაზე (ძვრაზე); ამისათვის საკმარისია (11—54) ფორმულაში  $G_1$  შეიცვალოს  $G_2$  წონის ძალით, რომელიც ითვალისწინებს ეკრანისა და დამცველი ფენის ჭაპურ წონას  $FF'$  კვეთის ზემოთ, ხოლო  $\theta_1$  კუთხე —  $\theta_2$ -თი. მაშინ  $AFF'$  პრიზმის  $E$  რეაქცია ტოლი იქნება:

$$E = G_2 (\lg \theta_2 - \lg \varphi) \frac{\cos^2 \theta_2}{\cos \delta}. \quad (11-55)$$

როგორც დამცველი ფენის, ისე ერთდროულად ეკრანისა და დამცველი ფენის მდგრადობაზე გაანგარიშების დროს უნდა შემოწმდეს წყალსაცავის სწრაფი დაცლის შემთხვევა, როდესაც დამცველი ფენის წონა დაწეული დონის ზემოთ უნდა განისაზღვროს ნაჭერ (და არა შეწონილ) მდგომარეობაში. ეს შემთხვევა, ცხადია, ყველაზე უფრო საშიშია.

უნდა შევნიშნოთ, რომ მდგრადობის მარაგის მიზნით შეიძლება მხედველობაში არ იქნეს მიღებული პრიზმის რეაქცია (უკუწნევა) როგორც პირველ, ისე მეორე შემთხვევაში. მაშინ (11—54) და (11—55) გამოსახულებანი მიიღებენ შემდეგ გამარტივებულ სახეს:

$$\lg \theta_1 \leq \lg \varphi; \quad \lg \theta_2 \leq \lg \varphi.$$

მაშასადამე, ძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტებისათვის ელებულობთ გამოსახულებებს:

$$K_{\text{ა.ა}} = \frac{\lg \varphi}{\lg \theta_1}; \quad K_{\text{ა.ა}} = \frac{\lg \varphi}{\lg \theta_2}. \quad (11-56)$$

სადაც  $\varphi$  არის ეკრანის გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხე.

დიდი სისქის გრუნტის ეკრანის მდგრადობას ამოწმებენ აგრეთვე წრიულ-ცილინდრული ზედაპირების მეთოდით: ეს ზედაპირები გაქყავთ ეკრანის შიგნით და შესაბამის მდგრადობის კოეფიციენტებს განსაზღვრავენ ჩვეულებრივი წესით (ნახ. 11-33 ბ). ყველაზე უფრო საშიშ შემთხვევად მიჩნეულია წყალსაცავის სწრაფი დაცლა, როდესაც ეკრანის მძვრელ ძალებს ემატება წყალსაცავისაკენ მიმართული ფილტრაციული წნევა კაშხალის ტანის მხრიდან.

## 2. გულისა და დიაფრაგმის გაანგარიშება

მიწის კაშხალის გული სტატიკურ ანგარიშს არ მოითხოვს, რადგან ის მოქცეულია ორივე მხრიდან ტოლი დატვირთვების პირობებში და ამასთანავე პლასტიკურობის გამო ადვილად ეგუება ამ დატვირთვებს. საშიშია მხოლოდ მონალექი კაშხალის გული დალექვის დამთავრების პროცესში, როდესაც კაშხალისა და გულის განივი ზომების შემცირებასთან ერთად ჩქარდება მისი სიმაღლეში ჰატება. ამ პროცესში გულის ნაჭერი და არასაკმარისად გამკვრივებულ ნაწილის წნევას წინალობას უწევს მნიშვნელოვნად შემცირებული მოცულობის გვერდითი პრიზმები, ამიტომ საიჟედლობის გარანტიის უზრუნველსაყოფად საჭიროა ისინი შემოწმდნენ მდგრადობაზე (ძვრაზე რომელიც სიბრტყით). ეს გაანგარიშება შეიძლება მოქმედოს სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად, ამ მიზნით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ის ხერხი, რომელიც დაამუშავეს მ. გრიშინმა და ბ. ფედოროვმა<sup>1</sup>.

ხისტ დიაფრაგმას, რომელსაც აკეთებენ ბეტონისაგან, რკინაბეტონისა ან ლითონისაგან, აუცილებლად სჭირდება სიმტკიცეზე შემოწმება. მაგრამ ასეთი გაანგარიშება დაკავშირებულია საკმარისად დიდ სიძნელეებთან, რაც ელინდება გრუნტის რეაქციისა და მიზი წინალობის განსაზღვრაში. ჩვეულებრივ, დიაფრაგმა განიხილება როგორც ფუძეში ხისტად ჩამაგრებული, თუ ის კლდოვანია, ან ფუძეში პორიზონტალური სრიალა (ან სახარული) ნაკერის მქონე. მოქმედ. საქმეებლო ნორმებისა და წესების თანახმად, ხისტი დიაფრაგმა შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც დრეკად ფუძეზე მოთავსებული კოჭი.

### § 11-10. მიწის კაშხალის დაჯდოვა

ისეთი მიწის კაშხალების აგების დროს, რომელთა ფუძეებში განლაგებულია კუმშვადი გრუნტები, უნდა გაანგარიშდეს კაშხალის დაჯდომის სიდიდე და ხანგრძლივობა. ნაყარი მიწის კაშხალების დაჯდომა წარმოადგენს ორი სახის — საკუთრივ კაშხალის ტანისა და მიზი ფუძის — დაჯდომების ჯამს.

თუ კაშხალს ავაგებთ ისე, რომ გაკვრივების შედეგად გრუნტი მიადწევს საპროექტო მოცულობით წონას, მაშინ კაშხალის ტანმა არ უნდა განიცადოს დაჯდომა. მაგრამ დაჯდომა შეიძლება მოხდეს კაშხალის წონით ფუძის გრუნტების გაკვრივების შედეგად.

თუ გრუნტის ფენა თანაბრად იკუმშება და ამასთანავე გამორიცხულია მისი გვერდითი გაფართოების შესაძლებლობა, მაშინ  $S$  სრული დაჯდომა შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს როგორც გრუნტის კუმშვადი ფენის  $T_1$  საწყის და  $T_2$  საბოლოო სიმაღლეთა სხვაობა:

$$S = T_1 - T_2. \quad (11-57)$$

ცხადია, რაც უფრო დიდია ფორიანობა, მით მეტი იქნება დაჯდომა, ამიტომ დაჯდომის სიდიდე შეიძლება დადგინდეს იქნეს ფუძის გრუნტის კომპრესიულობის მრუდით  $\epsilon$  ფორიანობის კოეფიციენტის შესაბამისად.

თუ მივიჩნევთ, რომ  $n$  არის ფორიანობა (ე. ი. ფორების მოცულობა გრუნტის ერთეულ მოცულობაში), ხოლო  $m$  — გრუნტის ნაწილაკების (ჩონ-

<sup>1</sup> М. М. Гришин, Гидротехнические сооружения, т. I, Строймат., М., 1947.

ჩისს) მოცულობა გრუნტის ერთეულ მოცულობაში, მაშინ შეგვიძლია დაწვე-  
როთ შეზღვევი დამოკიდებულებანი:

$$n+m=1; \quad n=1-m; \quad m=1-n.$$

ფორიანობის  $e$  კოეფიციენტს, როველიც ტოლია  $\frac{n}{m}$  ფარდობასა, ექნება  
სახე:

$$e = \frac{n}{m} = \frac{n}{1-n} = \frac{1-m}{m}. \quad (11-58)$$

როდესაც კუმშვადი ფენის  $T$  სისქე ცნობილია, მაშინ დაჯდომის სიდიდე  
შეიძლება განისაზღვროს იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ დაჯდომის დროს  
გრუნტის ჩონჩხის მოცულობა მუდმივი რჩება, ხოლო დაჯდომა წარმოებს  
ფორმების მოცულობის შემცირების შედეგად. მაშასადამე, შეგვიძლია დაწვე-  
როთ:

$$\frac{FT_1}{1+\epsilon_1} = \frac{FT_2}{1+\epsilon_2} \quad \text{ანდა} \quad T_2 = T_1 \frac{1+\epsilon_2}{1+\epsilon_1}, \quad (11-59)$$

სადაც  $F$  არის გრუნტის ფენის ფართობი.

თუ  $T_2$  მნიშვნელობას ჩავსვამთ (11-57) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$S = T_1 - T_1 \frac{1+\epsilon_2}{1+\epsilon_1} = T_1 \left( 1 - \frac{1+\epsilon_2}{1+\epsilon_1} \right)$$

ანდა გარდაქმნის შეზღვევ საბოლოო სახით:

$$S = T_1 \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{1 + \epsilon_1}. \quad (11-60)$$

მიღებულ (11-60) ფორმულას შეიძლება სხვა სახეც მივცეთ. ამისათვის

$\epsilon_1 - \epsilon_2$  შევცვალოთ  $\frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{P_2 - P_1} = \lg \alpha = a$  წევით, სადაც  $a$ -ს ეწოდება კუმშვა-  
დობის კოეფიციენტი. აქედან  $\epsilon_1 - \epsilon_2 = a(P_2 - P_1)$ ; თუ ჩავსვამთ ამ გამოსახე-  
ლებას (11-60) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$S = T_1 a \frac{P_2 - P_1}{1 + \epsilon_1}. \quad (11-61)$$

სადაც  $P_1$  არის ფუძის გრუნტის დატვირთვა კაშხალის აგებამდე, კგ/სმ<sup>2</sup>;

$P_2$  — გრუნტის დატვირთვა კაშხალის აგების შემდეგ, კგ/სმ<sup>2</sup>.

ეს ფორმულები მაშინ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დაჯდომის გასაანგა-  
რიშებლად, თუ კუმშვადი ფენის სისქე არ აღემატება კაშხალის ფუძის სიგანის  
ნახევარს.

დროის მიხედვით კაშხალის ფუძის დაჯდომის სიდიდე შეიძლება გავიანგა-  
რიშოთ ფორმულით<sup>1</sup>

$$S_t = S \left( 1 - \frac{0.8}{e^{2t}} \right). \quad (11-62)$$

სადაც  $e = 2,718$  არის ნატურალური ლოგარითმის ფუძე;

$$A = 2500 \frac{k(1+\epsilon_1)}{aT^2};$$

<sup>1</sup> Н. А. Цытолиц, Механика грунтов, Госстройиздат, 1963.

*k* — ფილტრაციის კოეფიციენტი, სმ/წელიწ.;

*a* — კუმშვადობის (ანუ გამკვრივების) კოეფიციენტი;

*T* — გრუნტის კუმშვადი ფენის სისქე, სმ;

*l* — დრო წლებში, რომელიც აითვლება გრუნტის დატვირთვის დაწყებიდან;

*S<sub>z</sub>* — დაჯდომა *l* წლის გავლის შემდეგ, სმ;

*S* — სრული დაჯდომა, სმ.

მოქმედ სამშენებლო ნორმებსა და წესებში მოყვანილია ერთგვაროვანი, გულიანი და ეკრანიანი კაშხალების დაჯდომის გასაანგარიშებელი სანიმუშო სქემები, აგრეთვე ფორმულები, რომლებიც რეკომენდებულია დაპროექტებაში გამოსაყენებლად.

## § 11-11. ნაჰარი მიწის კაშხალავის კონსტრუქციების კონსტრუქციები და აგების ხარხაზი

### 1. კაშხალების მშენებლობისათვის გამოსაყენებელი მასალები

მიწის კაშხალის ტანის შესაქმნელად გამოსადეგია თითქმის ყოველგვარი ქვიშოვანი და თიხოვანი გრუნტები, გარდა ისეთი გრუნტებისა, რომლებიც შეიცავენ წყალში ხსნად მარილების ჩანართებს (2—5%-მდე წონის მიხედვით) — ქლორიდებს, სულფატებს და სხვ; ანდა ისეთი მიწის ზედა მცენარეული ფენა, რომელიც შეიცავს ორგანულ ჩანართებს (4—8%-ზე უფრო მეტს წონის მიხედვით), რადგან ამ ორგანული ჩანართების ლაბის შედეგად კაშხალის ტანში შეიძლება გაიხსნას შეყურსული ფილტრაციის საეალები.

რამდენადმე საშიშ გრუნტებადაა მიჩნეული:

1) ნაყარი „სუფოზიური“ გრუნტები, რომლებიც ხასიათდებიან სხვადასხვაპარცლოვნების η კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობით; წყლის ფილტრაციის დროს ამ გრუნტებში შეიძლება წარმოიშვას საშიში შიგა სუფოზია;

2) ისეთი თიხოვანი გრუნტები, რომელთაც ზამთარში აქვთ ბურცვისაყენ მიდრეკილება და ამასთანავე დატვირთვის სწრაფი მოდების დროს მნიშვნელოვნად კარგავენ თავიანთ სიმტკიცეს.

მიუხედავად აღნიშნული უარყოფითი მხარეებისა, ეს გრუნტები მაინც საკმარისად ფართოდ გამოიყენება კაშხალების მშენებლობისათვის. ამასთანავე ნაყარი სუფოზიური გრუნტების გამოყენებისას აგებენ წყალშეუღწევე ეკრანიან ან გულიან კაშხალს, ხოლო თიხოვანი გრუნტების შემთხვევაში მათ ფარავენ შესაბამისი სისქის ქვიშაიანი ან კენჭნარი გრუნტების ფენებით, რათა თავიდან იქნეს აცილებული გაყინვა; გარდა ამისა, ასეთი გრუნტებისაგან შესრულებულ ფერდოებს აკეთებენ შედარებით მცირედ დახრილს.

კაშხალის ასაგებად იდეალურ გრუნტად უნდა მივიჩნიოთ ისეთი გრუნტი, რომლის ჩონჩხი შექმნილია მსხვილი ნაწილაკებით, ხოლო ფორები შევსებულია თიხით. ცხადია, ასეთი გრუნტი ხასიათდება დიდი შიგა ხახუნის კუთხით და მცირე ფილტრაციის კოეფიციენტით. მაგრამ ასეთი გრუნტის ხელოვნური გზით მიღება ძვირი ჯდება.

როგორც წესი, კაშხალის მშენებლობისათვის არჩევენ ისეთ გრუნტს, რომელიც საკმარისი რაოდენობით მოიპოვება მშენებლობის ადგილთან ახლო მდებარე კარიერებში და ეს კარიერები განლაგებულია ამ ადგილზე რამდენადმე მაღლა. ამასთანავე ყურადღებას აქცევენ:



- 1) დანიშნული გრუნტის სიმტკიცის მახასიათებლებს, ფ და c;
- 2) გრუნტის წყალშეუღწევობას, ე. ი. K ფილტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობას;
- 3) გრუნტის გამკვრივების უნარიანობას;
- 4) გრუნტის სუფოზიურ თვისებებს და ა. შ.

უკანასკნელ დროს საზღვარგარეთ ზოგჯერ კაშხალში დასაწყობ გრუნტის ხარისხს ხელოვნურად აუმჯობესებენ: აჰდიდრებენ მას ამა თუ იმ ფრაქციით ანდა ცრიან არასასურველ ფრაქციას; მშენებლობის დასაჩქარებლად ზოგჯერ თიხოვან ფრაქციას ხელოვნურად აშრობენ.

სხვადასხვა შედგენადობის გრუნტებისაგან კაშხალის ტანის წარმოქმნის დროს უნდა მივისწრაფოდეთ იმისაკენ, რომ ფილტრაციული ნაკადის დინების მიმართულებით ფილტრაციის კოეფიციენტი იზრდებოდეს, რათა რაც შეიძლება დაბალი მდებარეობა მიიღოს დეპრესიის მრუდმა (ამ წესიდან გამონაკლისს წარმოადგენს გულიანი კაშხალის ზედა სოლი).

როდესაც კაშხალი გეგმარდება სხვადასხვა გრუნტისაგან ანდა ისეთი გრუნტისაგან, რომლის მექანიკური მახასიათებლები განსხვავდება ფუძის გრუნტის მახასიათებლებისაგან, მაშინ საჭიროა ჩატარდეს სხვადასხვა გრუნტის კონტაქტების გულდასმითი ანალიზი, რათა მის საფუძველზე თავიდან ავიცილოთ ერთი გრუნტის ნაწილაკების მეორე გრუნტის ფორებში ჩაბნევის ან ჩარეცხვის საშიშროება. ცხადია, ამისათვის საჭიროა ასეთ კონტაქტებში მოეწყოს შესაბამისი უკუფილტრები („გარდაჰეალი ფენები“) ანდა უარი ვთქვათ ამა თუ იმ გრუნტის გამოყენებაზე.

## 2. კაშხალის ტანის ვანიკვეთის ძირითადი ზომები

როგორც წესი, კაშხალის დაგეგმარების დროს ზედა ბიფის ნშმ და კშმ მოცემულია. თუ კაშხალი მცირე სიმაღლისაა, მაშინ მისი ფერდობების  $m_1$  და  $m_2$  კოეფიციენტებს ნიშნავენ პრაქტიკის მონაცემების საფუძველზე. ამასთანავე მხედველობაში მიიღება, რომ, ჩვეულებრივ, მიწის კაშხალის ფერდოს კოეფიციენტი თავსდება  $m = ctg\theta = 2-4$  ფარგლებში; იშვიათად გვხვდება შემთხვევები, როდესაც  $m = 1,5-1,75$  და  $m = 4,5-6,0$  და მეტს. საკმარისად მაღალი კაშხალების შემთხვევაში წინასწარ დანიშნული ფერდობი მოწმდება სტატიკური გაანგარიშებით, როგორც ეს იყო განმარტებული ზემოთ (იხ. § 11-8, 11-9).

მაღალი მიწის კაშხალების შემთხვევაში ზოგჯერ იყენებენ ტეხილი მოხაზულობის ფერდობს, რომელთა დამრეცობა ქვემოთკენ იზრდება; ასეთი გადაწყვეტა ერთგვარ ეკონომიას იძლევა კაშხალის მოცულობაში.

ფერდობზე, კერძოდ ფერდობების ქანობის გარდატეხის ადგილებში, კაშხალის სიმაღლის ყოველ 7—15 მ-ში აწყობენ ჰორიზონტალურ ბაქნებს ანუ ე. წ. ბ ე რ მ ე ს. ბერმების მოწყობა ქვედა ფერდობზე განპირობებულია შემდეგი მოსაზრებებით:

- 1) იმის სურვილით, რომ განხორციელდეს ფერდოს მონერხებული ზედა-მხედველობა და რემონტი;
- 2) ფერდობზე საყალი გზის მოწყობის მიზნით (ზოგიერთ შემთხვევაში);

3) ფერდოს საშუალო ქანობის შემცირებისა და კაშხალის ფუძის სიგანის გაზრდის მიზნით (იზრდება ფილტრაციის გზა და ამავე დროს უმჯობესდება ფერდოს მდგრადობა):

4) წვიმის წყლის ჩაღინების დროს ფერდოს გარეცხვის თავიდან აცილების მიზნით; ამათ აღწევნ ბერძების ზედაპირზე მოწყობილ განსაკუთრებული კიუვეტებით, რომელთაც ფერდოზე ჩაღინებული წვიმის წყალი გაყავთ გვერდზე.

ბერძების სიგანე ინიშნება 1—2 მ და ზოგჯერ უფრო მეტის ტოლი.

კაშხალის თხემის ძირითადი დანიშნულებაა მიმოსვლა; მისი სიგანის დასადგენად სარგებლობენ გზებისა და ხიდების დაგეგმარებისათვის არსებული ნორმატიული დოკუმენტებით. როდესაც კაშხალზე არ ეწყობა სავალი გზა, მაშინ მისი თხემის სიგანე აიღება არანაკლებ 3—6 მ ტოლი.

კაშხალის თხემის შემადგენელი წყალსაცავის ყველაზე მაღალი პორიზონტიდან საქირთა განისაზღვროს ფორმულით

$$d = \Delta h + a + h_a, \quad (11-63)$$

სადაც  $\Delta h$  არის ქარის დაწვევით გამოწვეული წყლის დონის აწევის სიდიდე კაშხალის თხემთან; ხშირ შემთხვევაში (არც თუ ძალიან დიდი წყალსაცავებისათვის) ეს სიდიდე სიპციკრის გამო მხედველობაში არ არის მისაღები; ზოგჯერ კი ადგილობრივი პირობების შესაბამისად  $\Delta h$  აიღება 0,5—1,0 მ-ის ტოლი;

$a$  — მარაგი, რომელიც ინიშნება ნაგებობის კლასის მიხედვით (აიღება არანაკლებ 0,5 მ);

$h_a$  — ფერდოზე ქარის ტალღის მიგორვის სიმაღლე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$h_a = 2 \frac{2h_a}{m} K_s^3 \sqrt{\frac{2L_a}{2h_a}}, \quad (11-64)$$

აქ  $m$  კაშხალის ზედა ფერდოს კოეფიციენტი;

$2L_a$  — ტალღის სიგრძე ( $L_a$  — ტალღის ნახევარსიგრძე);

$2h_a$  — ტალღის სიმაღლე ( $h_a$  — ტალღის ნახევარსიმაღლე);

$K_s$  — სიმქისის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა აიღება ფერდოს საფარის ტიპის მიხედვით: ბეტონის გლუვი საფარისათვის  $K_s = 1,0$ , ბეტონის ფილების შემთხვევაში  $K_s = 0,9$ , ქვაფენილისათვის  $K_s = 0,75$ — $0,80$ , ქვის ნაყარისათვის  $K_s = 0,50$ — $0,65$ .

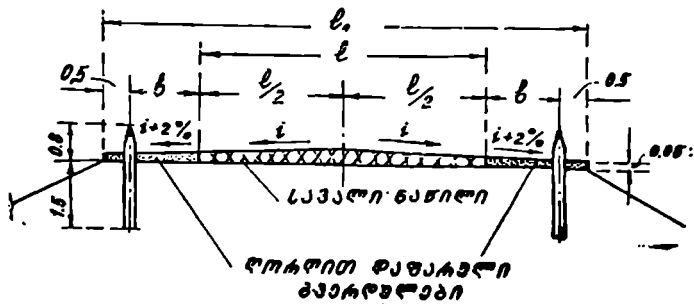
(11—64) ფორმულაში  $2L_a/2h_a$  ფარდობა აიღება 10—15 ტოლი, ხოლო  $2h_a$  ტალღის სიმაღლე გამოითვლება ცნობილი ფორმულით (იხ. თავი III):

$$2h_a = 0,1 W_{10} \sqrt{D \frac{2h_a}{2L_a}}, \quad (11-65)$$

სადაც  $W_{10}$  ქარის სიჩქარეა წყლის ზედაპირიდან 10 მ სიმაღლეზე, მ/წმ;

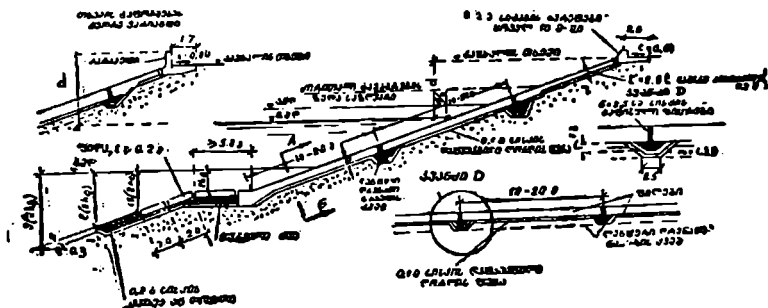
$D$  — ეგრეთ წოდებული ტალღის გაქანების სიგრძე, ე. ი. მანძილი კაშხალიდან მოპირდაპირე ნაპირამდე [(11-65) ფორმულით უნდა ვისარგებლოთ, როდესაც  $D < 100$  კმ].

(11—63) ფორმულით განსაზღვრულ  $d$  სიდიდეს ამრგვალებენ და გამოსახავენ 0,5—1,0 მ სიზუსტით; ხშირად  $d$  საბოლოო მნიშვნელობა მიიღება 2,0—4,0 მ ტოლი (საკმარისად მაღალი კაშხალებისათვის).



ნახ. 11-34. კაშხლის თხემის კონსტრუქციული ვარიანტების ერთ-ერთი სქემა ავტოგზის მოწყობის შემთხვევაში.

კაშხლის თხემს კონსტრუქციულად აფორმებენ მასზე მოსაწყობი გზის ტიპის შესაბამისად. გზის საველი ვაკისი კიდეებში, ჩვეულებრივ, აწყობენ გვერდულებს ქვეითად მოსიარულეთათვის. თხემის კიდეებში ზოგჯერ აწყობენ გადაღობვას მოაჯირის ან მიწაში ჩასობილი ბოძების სახით (ნახ. 11-34). ტალღების თქაფვისაგან თხემის დაცვის სიზნით ზოგ შემთხვევაში ზედა მხრიდან აწყობენ 0,8—1,2 მ სიმაღლის მთლიან ან გამჟოლკედლიან პარაპეტს (ნახ. 11-35); ასეთი გადაწყვეტის დროს შესაძლებელია თხემის ნიშნულის რამდენადღე დაწევა.



ნახ. 11-35. ბეტონის ფილებით დაფარული ფერდოს ერთ-ერთი კონსტრუქცია.

კაშხალების ფერდობების დაფარვას ანუ გამაგრებას აწარმოებენ მაშინ, როდესაც მოსალოდნელია მოხდეს: ფერდოს გარეცხვა ბიეფში წარმოშობილი ლელვის ან დინების მოქმედებით; ფერდოს რღვევა ყინულის მოქმედებით; ფერდოს გარეცხვა კაშხლის ტანიდან (გრუნტის ფორებიდან) გამომდინარე ფილტრაციული ნაკადით ბიეფში წყლის დონის დაწევის დროს; ქვედა ფერდოს ჩარეცხვა წვიმის წყლების ჩაღინების დროს; ქვედა ფერდოს ზედაპირის დაშლა ქარის ზემოქმედებით; ფერდოზე ისეთი მცენარეულის წამოზრდა, რომელსაც აქვს ძლიერ განვითარებული ფესვების სისტემა; კაშხლის დანგრევა მიწის-მთხრელი ცხოველების საველებით; თიხოვანი გრუნტის ბურცვა ზამთრის პე-

როდში ან მისი შეკლება ზაფხულში, როდესაც გადაქეტშრობის გამო ფერ-  
დოს წყალზედა ნაწილის გრუნტში შეიძლება გაჩნდეს ბზარები.

ფერდოს საფარის ტიპის დადგენა წარმოებს ჩამოთვლილი ფაქტორებისა  
და ფერდოზე მათი მოქმედების ინტენსიურობის გათვალისწინებით. ზედა ფერ-  
დოსათვის იყენებენ საფარის (გამაგრების) შემდეგ სახეობებს:

1. რკინაბეტონის ან ბეტონის (დაარმატურებულ) ფილებს,  
რომლებიც იყოფიან ასაწყობ და მონოლითურ ფილებად. მონოლითური ფილა  
საჭიროა გაიჭრას ტემპერატურულ-დაჭდომის ნაკერებით. პირაპირები მეზობელ  
ფილებს შორის შეიძლება იყოს ღია (წყალშეღწევადი) ან დახურული.

ხშირად ფერდოზე ერთ რიგში დალაგებულ ფილებს ერთმანეთთან აკავ-  
შირებენ არმატურით. ამასთან ფილების პირაპირები მიიღება მოქნილი ან  
ხისტი.

ფილების ქვეშ აწყობენ ან დრენაჟის მთლიან ფენას (რომელიც დაცულია  
უკუფილტრით), ანდა უკუფილტრიან „ლენტურ“ დრენაჟს, რომელსაც ათავსე-  
ბენ მხოლოდ ფილების პირაპირების ფარგლებში.

ამჟამად ყველაზე გავრცელებულია დრენაჟის მთლიან ფენაზე მოთავსე-  
ბული საფარი, რომელიც წარმოიქმნება გეგმაში დიდი ზომის (10×10 ან  
20×20 მ) ბეტონის მონოლითური დაარმატურებული ფილებით. როდესაც  
ტალღის სიმაღლე  $2h_0 = 3-5$  მ-ია და ფერდოს კოეფიციენტი  $m = 3-4$ , მაშინ  
ასეთი ფილების სისქე აღწევს 0,45—0,50 მ-ს. მონოლითური ფილები უმცი-  
რესი სისქე შეიძლება იყოს 0,15 მ-ის ტოლი. ასაწყობ ფილებს (რომელთაც  
ერთმანეთთან აკავშირებენ სახსრულად) აკეთებენ 10—20 სმ სისქისას, ხოლო  
გეგმაში მათ აქვთ ზომები 1,5×1,5-დან 5×5 მ-მდე.

როდესაც მთლიანი დრენაჟის ფენაზე მოთავსებულ ფილებში არ არის  
გათვალისწინებული ფილტრაციული ხერხები, მაშინ მათთვის შეიძლება შე-  
იქმნას მუშაობის არახელსაყრელი პირობები. საქმე ის არის, რომ წყალსაცავში  
წყლის პორიზონტის სწრაფი დაწვევის დროს დრენაჟის ფენაში წყლის დონე  
შეიძლება აღმოჩნდეს უფრო მაღლა, ვიდრე ბიეფში და წარმოშობილი ეარდნი-  
ლით განპირობებული წნევის მოქმედების შედეგად ფილები შეიძლება ჩამო-  
ინგრეს.

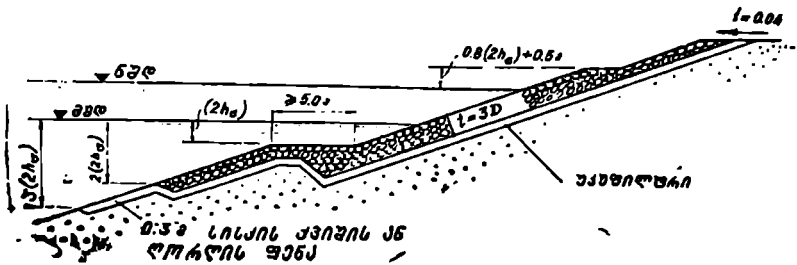
2. ქვაყრილი. ეს ყრილი კეთდება (2,5—3)  $D$  სისქის ფენის სახით,  
სადაც  $D$  არის ქვის დიამეტრი, რომელიც ინიშნება. ტალღის სიმაღლესა და  
ფერდოს დახრილობის მიხედვით:

$$D = eh_0,$$

სადაც  $e = 0,25-0,40$ ; აქ  $e$ -ის დიდი მნიშვნელობანი შეესაბამება დიდი სიმაღ-  
ლის ტალღებსა და მნიშვნელოვნად დახრილ ფერდოებს ( $m \approx 2,0$ ), ხოლო მცი-  
რე მნიშვნელობანი — უფრო მცირე სიმაღლის ტალღებს და უფრო დამრეც  
ფერდოებს ( $m \approx 5,0$ ).

ნაყარი თავსდება უკუფილტრით დაცულ ხრეშის ან ღორღის ფენაზე. მა-  
გალითისათვის 11-36 ნახაზზე ნაჩვენებია ქვაყრილით ფერდოს გამაგრების ერთ-  
ერთი ვარიანტი.

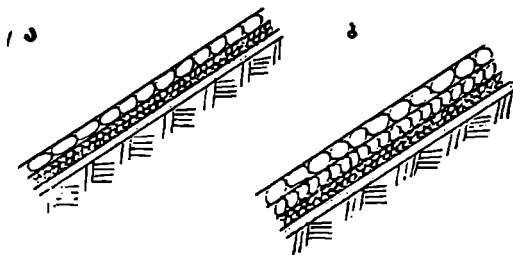
3. ქვაფენილი. ეს გამაგრება კეთდება  $D = 0,25-0,30$  მ ზომის ქვით,  
რომელიც ლაგდება 0,2—0,3 მ სისქის ხრეშის ან ღორღის ფენაზე. ქვაფენილი  
შეიძლება იყოს ერთფენიანი (ნახ. 11-37 ა) და ორფენიანი (ნახ. 11-37 ბ). ამჟა-  
მად ქვაფენილის გამოყენებას ერიდებიან, რადგან მოკირწყელის სამუშაოებს



ნახ. 11-36. ფერღოს გამაგრება ქვაყრილით.

არ უხერხდება შექანიზაცია და, მაშასადამე, მოითხოვება კვალიფიცირებული მუშახელის გამოყენება.

4. გ რ უ ნ ტ ც ე მ ე ნ ტ ი ს ს ა ფ ა რ ი. ამჟამად საზღვარგარეთ დაიწყეს გრუნტცემენტის (სრულდება გრუნტის, ცემენტისა და წყლისაგან) და ასფალტ-



ნახ. 11-37. ფერღოს გამაგრება ქვაფენილით.

ბეტონის საფარის გამოყენება იმ რაიონებში, სადაც არ მოიპოვება შესაფერისი ქვის მასალა. გრუნტცემენტის საფარს აგებენ 0,15 მ სისქის ფენებად ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 11-38 ნახაზზე და ამკვრივებენ საგორავებით. ცხადია, გაყინვის შემთხვევაში ასეთი საფარი შეიძლება დაზიანდეს.

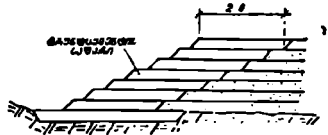
ქვედა ფერღოს გამაგრება. ქვედა ფერღოსათვის გამოიყენება შემდეგი სახის საფარები:

1) ხრეშის ან ლორღის 0,10 — 0,15 მ სისქის გამკვრივებული ფენა;

2) ბელტებით ამოვებული 0,2 — 0,3 მ სისქის ფენა;

3) მცენარეული მიწის 0,20—0,25 მ სისქის ფენა, რომელზედაც თესავენ სპეციალურ ბალახს.

თუ კაშხალის ტანში მოთავსებულია თიხოვანი გრუნტი, რომელსაც აქვს ბურცვისადმი მიდრეკილება, მაშინ მისი საფარის სისქე უნდა იზრდებოდეს ჩაყინვის სიღრმის ზრდის შესაბამისად.



ნახ. 11-38. ფერღოს გამაგრება გრუნტ-ცემენტის საფარით.

## 8. ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობანი

(ეკრანი, გული, დიაფრაგმა და ძირული)

ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობებს მიწის კაშხალის ტანში ყოველთვის არ აწყობენ. იგი კეთდება მხოლოდ გარკვეული მიზნით, კერძოდ:

1) ფილტრაციული ხარჯის შესამცირებლად, თუმცა ხშირად ამ გარემოებას არა აქვს არსებითი მნიშვნელობა აღნიშნული ხარჯის სიმციროს გამო;

2) ფილტრაციული ნაკადის პიეზომეტრული ქანობის შესამცირებლად კაშხალის ტანში, რათა ამით გაეზარდოთ მისი ფილტრაციული სიმტკიცე (ნორმალური და კაზუალური):

3) დეპრესიის მრუდის დასაწევად კაშხალის ქვედა ნაწილში, რათა ამით გაეზარდოთ კაშხალის ქვედა ფერდოს მდგრადობა, აგრეთვე თავიდან ავიცილოთ გრუნტის ბურცვა ზამთარში კაშხალის ქვედა სოლის არეში.

ზოგ შემთხვევაში ეკრანის, გულის ან დიაფრაგმის გამოყენებას კარნახობს ფუძის გეოლოგიური აგებულება, აგრეთვე იმის სურვილი, რომ კაშხალის მიწის ნაწილი უკეთესად დაეუკავშიროთ მისი ბეტონის ნაწილს.

როდესაც კაშხალის ასაგებად გათვალისწინებული გრუნტი სუფოზიურია ანდა კაშხალის ტანში გვაქვს სხეადასხვა გრუნტის საშიში კონტაქტები, მაშინ საჭიროა მთლიანად გადაიკვეთოს წყლის ფილტრაცია კაშხალის ტანში ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობებით.

პ ლ ა ს ტ ი კ უ რ ი ე კ რ ა ნ ი დ ა ძ ი რ უ ლ ი. ეკრანებსა და ძირულებს ჩვეულებრივ აკეთებენ თიხის, თიხნარის ან თიხაბეტონისაგან.

ეკრანის სისქე თავში აიღება  $\delta = 0,8-1,0$  მ ტოლი; ფუძისაკენ იგი თანდათანობით იზრდება და ძირში აღწევს სიღიღეს  $\delta \geq \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{12}\right) H$ , სადა  $H$  კაშხალზე მოქმედი დაწნევაა (ნახ. 11-39).

ეკრანის თხემის შემადლება ზედა ბიეფში წყლის ყველაზე მაღალი ჰორიზონტიდან აიღება  $\delta_0 = 0,5-0,8$  მ.

ეკრანი უერთდება ფუძეს კბილით, რომლის სიღრმე დამოკიდებულია ფუძის ხარისხზე.

ეკრანი, კერძოდ მისი თხემი, უნდა დაიფაროს დამცველი ფენით, რომელიც სრულდება ქვიშოვანი ან ხრეშოვანი მასალისაგან. ამ ფენის სისქე ინიშნება შოკემული რაიონისათვის დამახასიათებელი გრუნტის ჩაყინვის სიღრმის გათვალისწინებით (მაგრამ ტოლი არანაკლებ  $1,0$  მ-ისა).

ზოგჯერ, ქვიშოვანი ფუძის შემთხვევაში, ეკრანს უკეთებენ ძირულს. ძირული აუმჯობესებს ფილტრაციის პირობებს კაშხალის ქვიშოვან ფუძეში, აგრეთვე ამცირებს ეკრანზე მოქმედ უკუწნევის სიღიღეს, რომელიც წარმოიშობა ბიეფში წყლის დონის დაწევის შემდეგ. ძირულის სიგრძე უნდა დაინიშნოს კაშხალის ფუძის კაზუალური სიმტკიცის გაანგარიშების საფუძველზე. ჩვეულებრივ, მას იღებენ შემდეგ საზღვრებში:

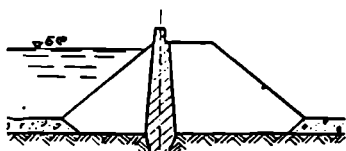
$$L_{\text{ძირ}} = (1,5-3,0) H.$$

ძირულის სისქე ინიშნება იმ ანგარიშით, რომ მის ტანში ვერტიკალური ფილტრაციული ნაკადის პიეზომეტრული ქანობი (გრადიენტი) არ აღემატებოდეს  $5-10$ . თიხის ძირულის მინიშალური კონსტრუქციული სისქე აიღება არანაკლებ  $0,5$  მ-ისა.

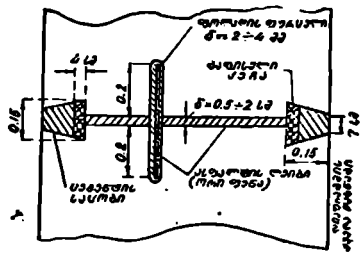


მასალა და ამასთანავე კაშხალის ფუძე კლდოვანია. ასეთი ფუძის შემთხვევაში გამოირიცხებულია დიაფრაგმის დაჯდომა და მით გამოწვეული დეფორმაციები. ბეტონის დიაფრაგმის სისქე თავში აიღება 0,5—1,0 მ, ხოლო ძირში  $\left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{10}\right) h$ -ის ტოლი ან უფრო ნაკლები. რეკომენდებულია დიაფრაგმა მოთავსდეს თხემის შუბლზე გამავალ სიბრტყეში (ნახ. 11-41).

ტემპერატურული ბზარების წარმოშობის თავიდან აცილების მიზნით დიაფრაგმებში აკეთებენ ვერტიკალურ ტემპერატურულ ნაკერებს სათანადო გამკვრივებით (ნახ. 11-42). ნაკერებს შორის მანძილები საშუალოდ აიღება 15—20 მ-ის ტოლი. დი-



ნახ. 11-41. კაშხალის ტანში დიაფრაგმის მოწყობის სქემა.



ნახ. 11-42. დიაფრაგმის ვერტიკალური ტემპერატურული ნაკერის მოწყობის სქემა.

აფრაგმის კედელში გაუონილი წყლის შეკრების მიზნით ზოგჯერ მასში აწყობენ ვერტიკალურ ქებს ანუ საწრეტებს, საიდანაც წყალი ჩაედინება შემკრებ გალერეაში, ხოლო იქიდან გაედინება ქვედა ბიეფში.

რაც შეეხება რკინაბეტონის დიაფრაგმებს, ისინი უფრო ნაკლებად არის გავრცელებული, ვიდრე ბეტონის ან არმირებული ბეტონის დიაფრაგმები.

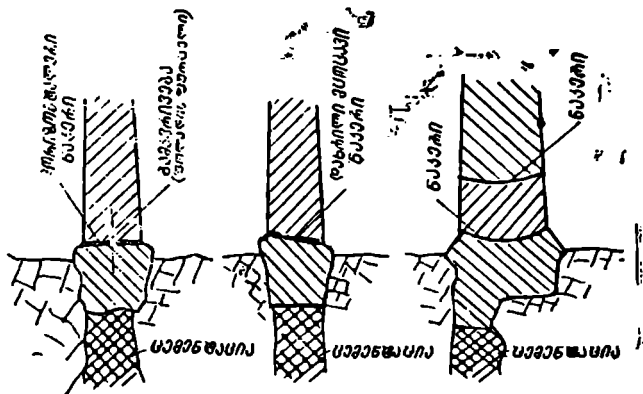
სტატიკური გაანგარიშების დროს ბეტონისა და რკინაბეტონის ხისტი დიაფრაგმები განიხილება როგორც კლდოვან ფუძეში ხისტად ჩამაგრებული კონსოლური კოჭები. დიაფრაგმაზე (ნახ. 11—41) მარცხნიდან მოქმედებს გრუნტის ფორების გამჭვრებელი წყლის ჰიდროსტატიკური წნევა და კაშხალის ზედა სოლის შეწონილი გრუნტის აქტიური წნევა. აღნიშნული ძალები მიიღება დიაფრაგმის მარჯვნივ მოთავსებული გრუნტის პასიური უკუწნევით და თვით დიაფრაგმით.

დიაფრაგმების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის ლიტერატურაში გვხვდება მიახლოებითი ხერხები, რომლებიც ითვალისწინებენ ჩამოთვლილ ძალებს (პ. ევლოკიმოვის ხერხი და სხვ.)

დიაფრაგმის მუშაობის შესამსუბუქებლად, ამჟამად, როგორც წესი, მას საძირკვილიდან გამოყოფენ დეფორმაციული ნაკერი. ამ ნაკერს კონსტრუქციულად აფორმებენ სხვადასხვანაირად (ნახ. 11-43). არსებობს წინადადებები, რომელთა თანახმად დიაფრაგმის მთელ სიმაღლეზე აწყობენ პორიზონტალურ ნაკერებს სათანადო გამკვრივებით. ცხადია, ასეთი დიაფრაგმები გამოდის მოქნილი და ისინი სტატიკურად არ მუშაობენ; ასრულებენ მხოლოდ ფილტრაციის საწინააღმდეგო ზღუდის როლს.

წყალშეუღწეობის გაზრდის მიზნით ბეტონის დიაფრაგმის სადაწნეო წახნაგს ფარავენ ტოკრკრეტით ან ბიტუმით. თუ გავითვალისწინებთ დიაფრაგმაში





ნახ. 11-43. დიაფრაგმის საძირკვლის დეფორმაციული ნაკერების სქემები.

ბზარების წარმოშობის შესაძლებლობას, მიზანშეწონილი იქნება მისი სადაწნეო წახნაგის მხარეზე დაიწყოს თიხის ან თიხნარის თხელი ფენა. მიზანშეწონილია აგრეთვე დიაფრაგმის ქვედა წახნაგთან მოეწყოს ვერტიკალური სადრენაჟო ფენა.

პრაქტიკაში გვხვდება ლითონისა (ფოლადის ნარანდების ან ფურცლოვანი ფოლადის გამოყენებით) და ხის ნარანდების გამოყენების შემთხვევებიც, მაგრამ შედარებით იშვიათად.

#### 4. მიწის კაშხალების დრენაჟები

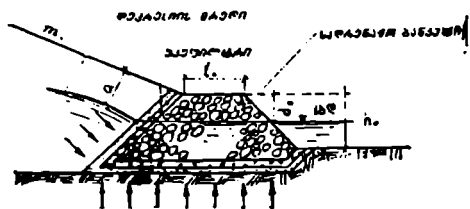
მიწის კაშხალებისათვის დრენაჟი ფრიად მნიშვნელოვან და აუცილებელ ღონისძიებას წარმოადგენს. ამ კაშხალებში გამოიყენება შემდეგი სახის დრენაჟები: ა) კაშხალის ტანის დრენაჟი, ბ) ფერდოს დრენაჟი და გ) ფუძის დრენაჟი.

კაშხალის ტანის დრენაჟის დანიშნულებაა დეპრესიის მრუდის დაწევა და ფილტრაციული წყლის ორგანიზებული გაყვანა ქვედა ბიეფში. ვინაიდან დრენაჟი ამოკლებს ფილტრაციის გზას, შეიძლება ამ გარემოებამ გამოიწვიოს კაშხალის ტანის გრუნტის ნაწილაკების გამოტანა (სუფოზია). ამ მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით დრენაჟის ზედაპირს აუცილებლად ფარავენ უკუფილტრის ფენებით.

განასხვავებენ კაშხალის ტანის ქვედა სოლის საპი ძირითადი ტიპის დრენაჟს:

პირველი ტიპის დრენაჟს წარმოადგენს ეგრეთ წოდებული „სადრენაჟო ბანკეტი“ ანუ სადრენაჟო პრიზმა (ნახ. 11-44). სადრენაჟო ბანკეტის სიგანე თავში ინიშნება კონსტრუქციულ მოსაზრებათა საფუძველზე, მაგალითად  $b_0 = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}\right) h_0$ , სადაც  $h_0$  ბანკეტის სიმაღლეა;  $b_0$  სიდიდე არ უნდა იყოს 1,0 მ-ზე ნაკლები.

ბანკეტის შიგა ფერდოს ნიშნავენ ისეთს, რომ არ მოხდეს მასზე მოთავსებული უკუფილტრის ჩამოცოცება სამშენებლო სამუშაოთა წარმოების პრო-



ნახ. 11-44. სადრენაჟო ბანკეტის მოწყობის სქემა.

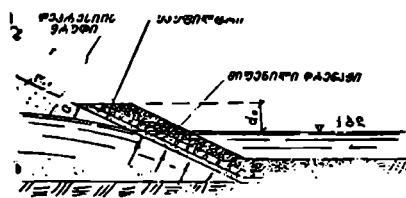
იმ შემთხვევაში, როდესაც კაშხალი იგება კლდოვან ან მსხვილმარცვლოვან ქვიშოვან ფუძეზე, სადრენაჟო ბანკეტის ქვეშ არ უნდა მოეწყოს უკუფილტრის პორიზონტალური ფენები. კაშხალის ქვედა ფერდოზე ჩამოდიანებული წვიმის წყლისაგან ბანკეტის ფოროვანი სივრცის დალამების თავიდან აცილების მიზნით ზოგჯერ ბანკეტის თხემს ზემოდან ფარავენ უკუფილტრის პორიზონტალური ფენებით.

ბანკეტი უნდა დაგეგმარდეს ისე, რომ ფერდოს ზედაპირიდან დებრესიის მრუდი ჩაღრმავებული იყოს ისეთ  $a$  სიმაღლეზე, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას

$$a \geq h_{\text{ფ}} + h_{\text{კაშ}},$$

სადაც  $h_{\text{ფ}}$  არის ადგილობრივი პირობებისათვის დამახასიათებელი გრუნტის ჩაყინვის სიღრმე, ხოლო  $h_{\text{კაშ}}$  — მოცემული გრუნტის კაპილარული აწვევის სიმაღლე. თიხოვანი გრუნტებისათვის, რომელთაც აქვთ ბურცვისაღმი მიდრეკილება, ამ პირობის დაცვა აუცილებელია.

დრენაჟის მეორე ტიპი, ეგრეთ წოდებული „მიფენილი დრენაჟი“, ნაჩვენებია 11-45 ნახაზზე. აქ  $a$  და  $d_0$  ზომები აიღება ისეთივე, როგორც სადრენაჟო ბანკეტისათვის. სადრენაჟო ფენის სისქე ინიშნება კონსტრუქციულ მოსაზრებათა შესაბამისად (ან გაანგარიშების საფუძველზე), მაგრამ იგი უნდა იყოს არაუმცირეს (2,5 — 3,0)  $D$ -სა, სადაც  $D$  არის იმ ფრაქციის საშუალო დიამეტრი, რომლითაც წარმოქმნილია მოცემული ფენა.



ნახ. 11-45. მიფენილი დრენაჟის სქემა.

ფილტრაციული გაანგარიშებების დროს წნევის კარვებს დრენაჟში სიმცირის გამო უჯულებელყოფენ, ამიტომ დრენაჟის ფარგლებში ფილტრაციული წყლის ზედაპირი პორიზონტალურად არის მიჩნეული (ნახ. 11-44 და 11-45).

მესამე ტიპის დრენაჟს წარმოადგენს „მილოვანი დრენაჟი“ (ნახ. 11-46). ამ დრენაჟის შესაქმნელად გამოიყენება თიხის, ბეტონის ან რკინაბეტონის მილები.

იმ  $w-w$  ვერტიკალის მდებარეობა, რომელზედაც თავსდება მილოვანი დრენაჟი, დადგენილი უნდა იქნეს  $a \geq h_{\text{ფ}} + h_{\text{კაშ}}$  პირობის მიხედვით.

ფერლოს  $m'$  კოეფიციენტი (ნახ. 11-46) აიღება ისეთი, რომ ღრენაჟის მოწყობის დროს მასზე დაყრილი უქუფილტრის ფენები არ ჩამოცოცდეს.

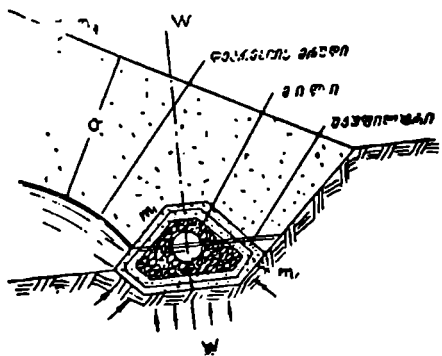
სადრენაჟო მილის დიამეტრი შეიძლება დადგენილი იქნეს ჰიდრაულიკური გაანგარიშებით, რისთვისაც საჭიროა წინასწარ გაანგარიშდეს კაშხლის ტანში გამავალი ფილტრაციული ხარჯი. გვეცოდინება რა მილის ხარჯი და მისი მოთავსების ქანობი, შეიძლება განისაზღვროს შევსების სიღრმე. ეს სიღრმე უნდა იყოს მილის სიმაღლეზე ცოტაოდენ მცირე. სასურველია, რომ  $v$  სიჩქარე მილში თავსდებოდეს შუალედში

$$0,25 \text{ მ/წმ} < v < 1 \text{ მ/წმ}.$$

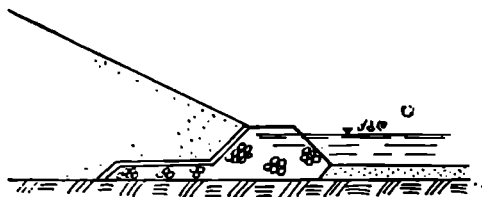
სადრენაჟო მილის დიამეტრი აიღება არა უმცირეს 20 სმ-ისა.

ღრენაჟის კომბინირებული ტიპები. აღწერილი სამი ძირითადი ტიპის ღრენაჟის გარდა საჭიროა კიდევ განვასხვავოთ ამ ძირითადი ტიპების კომბინაციები. მათგან შეიძლება დავასახელოთ სადრენაჟო ბანკეტისა და მიფენილი ღრენაჟის, სადრენაჟო ბანკეტისა და მილოვანი ღრენაჟის კომბინაციები, აგრეთვე სადრენაჟო ბანკეტისა და ეგრეთ წოდებული სადრენაჟო ლეიზის („ბრტყელი ღრენაჟის“) კომბინაცია (ნახ. 11-47).

ღრენაჟის ჩამოთვლილი ტიპების გამოყენების არეები. კაშხალში, რომელიც გადალობავს მდინარის კალაპოტს, განასხვავებენ ორ უბანს: 1) კალაპოტის უბანს; აქ ქვედა ბიეფში წყალია და 2) ნარწყულ-

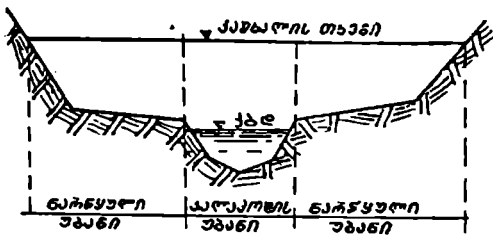


ნახ. 11-46. მილოვანი ღრენაჟის სქემა.



ნახ. 11-47. კომბინირებული ღრენაჟი.

უბანს, სადაც ბიეფში წყალი არ არის (ნახ. 11-48). თუ ამას მხედველობაში მივიღებთ, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ბანკეტის ტიპის ღრენაჟი გამოყენებული უნდა იქნეს კაშხალის კალაპოტურ ნაწილში. როდესაც სადრენაჟო ბანკეტის სიმაღლე დიდი გამოდის, მაშინ ზოგჯერ სადრენაჟო ბანკეტიდან გადადიან ან მიფენილი ღრენაჟეზე, ანდა ბანკეტისა და მიფენილი ღრენაჟის კომბინაციაზე. ყველა ამ შემთხვევაში სადრენაჟო მოწყობილობის თხემი უნდა შემალდეს. ქვედა ბიეფის წყლის ყველაზე მაღალი დონიდან. წინააღმდეგ შემთხვევაში



ნახ. 11-18. მდინარის ხეობის განივკვეთი.

რაც შეეხება მილოვან ღრენაეს, იგი შეიძლება მოეწყოს მდინარის მხოლოდ ნარწყულ უბანზე. კალაპოტის უბანზე მისი მოწყობა დაუშვებელია, რადგან იგი ვერ შეძლებს მთელი ფილტრაციული ხარჯის დაქვრას.

წყლის გაყვანა ღრენაეიდან ქვედა ბიეფში. საღრენაეო ბანკეტის ან მიფენილი ღრენაეს შემთხვევაში ფილტრაციული წყალი უშუალოდ გადის ქვედა ბიეფში, ამასთან აქ ფილტრაციული ხარჯის სიდიდის გაზომვა შეუძლებელია.

რაც შეეხება მილოვან ღრენაეს, მას აწყობენ გეგმაში დანიშნულ გარკვეულ ტრასაზე ისეთი ქანობით, რომელიც უზრუნველყოფს მილში წყლის მოძრაობის საჭირო სიჩქარეს. საღრენაეო მილის სიგრძეზე აკეთებენ სათვალერებელ ქებს (მაგალითად, ყოველ 50—200 მ-ში). ამ ქებში ზოგჯერ აწყობენ ვარდნილებს, რაც შეიძლება ნაქარნახები იყოს. მდინარის ხეობის ტოპოგრაფიული პირობებით. ქებიდან წყალი გაიყვანება გარეთ (ქვედა ბიეფში) განსაკუთრებული განივი მილებით (გამყვანებით). ასეთი გამყვანები ქვედა ბიეფში ერთიანდება ერთი კოლექტორით, რომელიც მასში წყლის გაყინვის თავიდან აცილების მიზნით დახურულია. კოლექტორიდან წყალი ვარდება მდინარეში, ამასთანავე ზამთრის პერიოდში ასეთი გადაგდება უნდა განხორციელდეს ყინულის ფენის ქვეშ (თუ ასეთი ფენის გაჩენა მოსალოდნელია).

ცალკეულ გამყვანებზე და კოლექტორის შესართავში საჭიროა დაიდგას გამზომი წყალსაშვები, რათა კონტროლი დავაწესოთ ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეზე.

თუ კაშხალის ამა თუ იმ უბანზე ფილტრაციულმა ხარჯმა მატება იწყოს დროში (ზედა ბიეფის ღონის მუდმივი ნიშნულის დროს), მაშინ უნდა დავასკვნათ, რომ ამ ადგილში წარმოებს საშიში სუფოზია და მას უნდა ვებრძოლოთ.

თუ გათვალისწინებული არ იქნება კაშხალის ტანში მფილტრაციე წყლის ორგანიზებული გაყვანის ღონისძიებანი, მაშინ ნარწყულის ფარგლებში მოხდება ქვედა ბიეფის დაქობება, რაც დაუშვებელია.

კაშხალის ფერდოს ღრენაეი. ფერდოს ღრენაეის დანიშნულებაა ატომსფერული წყლების სწრაფი და ორგანიზებული გაყვანა ფერდოს ზედაპირიდან. იგი წარმოადგენს ბერმებზე მოწყობილ თხრილებს ან ფერდოზე მოწყობილ ზოლებს, რომლებსაც ავსებენ ხრეშით, ღორღით ან ქვით. გარდა ამისა, ფერდოს ძირში და ნაპირებში გაითვალისწინება შემკრები თხრილები. თხინარაიანი ფერდოების შემთხვევაში ღრენაეს აწყობენ მილებით, რომლებსაც ალაგებენ ფერდოს ზედაპირთან ახლოს.

ღრენაეის ჩამოთვლილი ტიპები, თუ მათი მოწყობისათვის საჭირო მასალის ღირებულება დიდი არ არის, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მდინარის ნარწყულ უბანებზეც.

ღრენაეის ჩამოთვლილი ტიპები, თუ მათი მოწყობისათვის საჭირო მასალის ღირებულება დიდი არ არის, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მდინარის ნარწყულ უბანებზეც.

კაშხალის ფუძის დრენაჟი. როდესაც მიწის კაშხალს აგებენ წყლით გაჯერებულ თიხოვან ფუძეზე, მაშინ შენებადი კაშხალის წონის მოქმედებით მისგან გამოიწურება წყალი. ამ წყლის გაყვანა კი სასურველია ფუძის მდგრადობის გაზრდის თვალსაზრისით. ამ შემთხვევაში კაშხალის ქვედა სოლის ფუძის მთელ არეს, ან ამ არის ნაწილს ფარავენ პორიზონტალური საწრეტების ქსელით ან მთლიანი დრენაჟის ფენით, რომელიც უერთდება კაშხალის ქვედა სოლის დრენაჟს.

კუმშვადი თიხოვანი ფუძიდან წყლის გაყვანის გაადვილების მიზნით ზოგჯერ მასში აწყობენ ვერტიკალურ ქვიშოვან დრენებს ქვიშით ავსებული ბურღილი კების სახით. ცხადია, აღნიშნული დრენაჟი დაკული უნდა იქნეს უკუფილტრებით.

თუ კაშხალის ფუძე ზემოდან დაფარულია თიხის შედარებით თხელი ფენით და ამ ფენას აქვს ქვიშის ქვეგებული, მაშინ თიხოვანი ფენის ამობურცვის თავიდან აცილების მიზნით ქვედა ბიეფში აკეთებენ ვერტიკალურ სადრენაჟო კებს.

### 5. ნაყარი კაშხალების ხამუშაოთა წარმოების თავისებურებანი და აგების ხერხები<sup>1</sup>

ბუნებრივია, რომ მიწის კაშხალის ტანი კარგად უნდა გამკვრივდეს, რათა ექსპლუატაციის პროცესში არ განიცადოს დიდი დაჯდომა. ასეთი გამკვრივება საპიროა აგრეთვე კაშხალის მდგრადობისა და მცირე წყალშელწევადობის უზრუნველსაყოფად. გამკვრივების საზომად მიჩნეულია გრუნტის მოცულობითი წონა ან მისი ფორიანობა, რომელთა დადგენა პროექტში წარმოებს გრუნტის კომპრესიულობის თვისებებისა და ყრილის სიმაღლის მიხედვით. რადგან კაშხალის სხვადასხვა ნაწილში დატვირთვები განსხვავებულია, გრუნტის გამკვრივების ხარისხიც უნდა იყოს მათი შესაბამისი (ე. ი. სხვადასხვა). კაშხალის ზედა ნაწილში გრუნტი იქნება მცირე დატვირთვის ქვეშ, ხოლო ქვედა ნაწილში — დიდი დატვირთვის ქვეშ, მაშასადამე, ზედა ნაწილთან შედარებით კაშხალის ქვედა ნაწილში გრუნტის გამკვრივების ხარისხი უნდა იყოს მაღალი. თიხოვანი გრუნტის სიმკვრივე იზრდება გრუნტის ჩონჩხის კუმშვის, ხოლო ქვიშოვანი გრუნტისა — მისი სტრუქტურის ცვლილების ხარჯზე (გრუნტის ნაწილაკების „გადაფუთვით“).

კაშხალის ტანში გრუნტის გამკვრივებას დიდი მნიშვნელობა აქვს მისი მშენებლობისათვის სახსრებისა და დროის დანახარჯების თვალსაზრისითაც.

გამკვრივების საპირო ხარისხი უნდა დაინიშნოს იმ მექანიზმების გამკვრივების უნარიანობის გათვალისწინებით, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მშენებლობაზე.

განასხვავებენ გრუნტების მექანიზმებული გამკვრივების შემდეგ ხერხებს:

- 1) ტ კ ე ნ ა — გლუვი, კოტებიანი (მუშტა) და პნევმატიკური საგორავებით, სატრანსპორტო საშუალებებით, მიწისმთხრელ-სატრანსპორტო მანქანებით;
- 2) ბ ე კ ნ ა — მექანიკური საბეკნებით, კიდული ფილებით, მბეკნავი მანქანებით;
- 3) ვ ი ბ რ ი რ ე ბ ა — ვიბრატორული ფილებით, სიდრმული ვიბრატორებით;
- 4) კ ო მ ბ ი ნ ი რ ე ბ უ ლ ი ხ ე რ ხ ე ბ ი — გამკვრივება ვიბროსაგორავებით, სკრეპერ-საგორავებით და სხვ.

<sup>1</sup> უფრო ვრცლად ეს საკითხები შექლება ჰიდროტექნიკურ სამუშაოთა წარმოების კურსში.

ჩვეულებრივ, გასამკვრივებელი გრუნტის ფენის სისქე ინიშნება 15—30-დან 50—60 სმ-მდე. თიხოვანი გრუნტის შემთხვევაში ფენის სისქე აიღება უფრო მცირე, კერძოდ, 8—10 სმ.

გრუნტის გამკვრივების ხარისხზე მოქმედებს მრავალი ფაქტორი; მათგან მნიშვნელოვანია გასამკვრივებელი გრუნტის ტენიანობა. ეგრეთ წოდებული ოპტიმალური ტენიანობის დროს გრუნტი კარგად მკვრივდება. ამ ტენიანობის დადგენა წარმოებს გრუნტის გამკვრივების ხარისხსა და მის ტენიანობას შორის დამოკიდებულების მრუდების მეშვეობით.

იზისათვის, რომ გამოარკვიონ გამკვრივების ყველაზე უფრო რაციონალური ხერხი, აწარმოებენ საცდელ გამკვრივებას უშუალოდ სამშენებლო მოედანზე. ამასთან ერთად ადგენენ გრუნტის ოპტიმალურ ტენიანობას, გრუნტის გასამკვრივებელი ფენის რაციონალურ სისქეს, ერთ ადგილზე საგორავის გავლათა რიცხვს (ჯერ მოცემული საპროექტო მნიშვნელობის მისაღწევად) და სხვ.

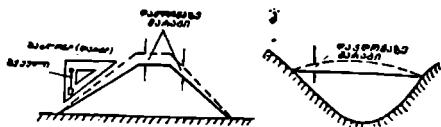
კაშხალს აგებენ ფენებად. ჰორიზონტალურ ფენებს გეგმაში ყოფენ ცალკეულ ქარტებად და თითოეულ ასეთ ქარტაზე მიმდევრობით ასრულებენ შემდეგ ძირითად სამუშაოებს: გრუნტის დაყრას, გრუნტის მოსწორებას (მომანდაკებას) და მის დამატებით დატენიანებას (თუკი ასეთი მოითხოვება), დატენიანებული გრუნტის დგომას გარკვეული დროის განმავლობაში, რათა მიღებულ იქნეს მისი თანაბარი დატენიანება მთელ მოცულობაში, გრუნტის გამკვრივებას.

გრუნტის მოსწორებულ ფენას ტექნიკან საგორავით კაშხალის ღერძის გასწვრივ. ხშირად გრუნტს ტექნიკან ჯერ მსუბუქი საგორავებით ან მუხლუხა ტრაქტორებით, ხოლო შემდეგ უკვე მძიმე საგორავებით. მომდევნო ფენის დაყრის წინ მის ქვევით მდებარე ფენის ზედაპირს აფხევიერებენ.

გრუნტის გამკვრივების ხარისხს აკონტროლებენ სპეციალური საველე ლაბორატორიები. შენებადი კაშხალის ტანიდან იღებენ გრუნტის ნიმუშებს განსაკუთრებული სისტემით. ამ ნიმუშების გამოკვლევის შედეგად ადგენენ: გრუნტის მოცულობითს წონას, ფორიანობას, ძვრაზე წინალობას, ფილტრაციის კოეფიციენტს და ა. შ. გრუნტის ხარისხს აკონტროლებენ აგრეთვე კარიერებშიც.

ბუნებრივია, რომ ექსპლუატაციის პროცესში მოსალოდნელია კაშხალის საერთო დაჯდომა, რომელიც შეიცავს ორი სახის: თვით კაშხალის ტანისა და ფუძის დაჯდომებს.

ფუძის დაჯდომის სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია ფუძის გრუნტის ხასიათსა და შენებადი კაშხალის სიმაღლეზე (მამასადამე, მის წონაზე), განისაზღვრება „გრუნტების მექანიკის“ კურსის მეთოდებით (იხ. § 11-11).



ნახ. 11-49. დაჯდომაზე მარავის გათვალისწინება მიწის კაშხალში.

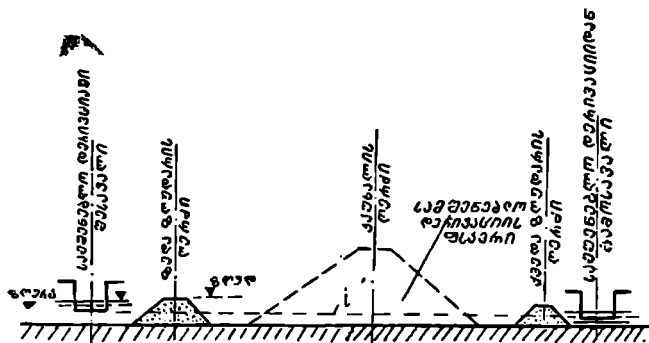
თვით კაშხალის ტანის დაჯდომის სიდიდე დამოკიდებულია პროექტით გათვალისწინებული გრუნტის სიმკვრივის ხარისხზე და გრუნტის გამკვრივების სამუშაოთა წარმოების სიბეჭითზე. თუ ყველა პირობა დაკულია, შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ უმნიშვნელო დაჯდომა.

იმასთან დაკავშირებით, რომ კაშხალის ტანის დაჯდომის სიდიდე პროპორციულია მისი სიმაღლისა, ხოლო გრძივი პროფილის სხვადასხვა ადგილში კაშხალის სიმაღლე სხვადასხვაა, დაჯდომაზე მარაგი კაშხალის სხვადასხვა ნაწილში უნდა ავიღოთ სხვადასხვა (ნახ. 11-49 ა, ბ). მოყვანილ სქემებზე მთლიანი ხაზებით ნაჩვენებია კაშხალის საპროექტო გეომეტრიული, ხოლო პუნქტირით — მისი საწყისი ფორმა. როგორც ვხედავთ, მოსალოდნელ დაჯდომასთან დაკავშირებით კაშხალის ფერდობები უნდა გაკეთდეს რამდენადმე უფრო დაქანებული, ვიდრე ეს პროექტითაა გათვალისწინებული.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ გრუნტის დაჯდომა განსაკუთრებით საშიშია ზამთარში, როდესაც გრუნტი ზემოდან იყინება. ასეთ პირობებში ზოგჯერ დაჯდომის გამო შიგა გაუყინავი გრუნტი შეიძლება მოწყდეს გარე გაყინულ გრუნტს, რის შედეგადაც გაჩნდეს დიდი ზომის ფილტრაციული სავალი.

ნაყარი მიწის კაშხალის მშენებლობისათვის საჭიროა ამა თუ იმ ხერხით მდინარე გადაგდებულ იქნეს ქვედა ბიეფში და, მასასადამე, მშენებლობა ვაწარმოოთ მშრალ ქვაბულში, რომელიც ზედა და ქვედა ბიეფების მხრიდან შემოზღუდული იქნება ზღუდარებით (ნახ. 11-50).

გადასაგდები ანუ ეგრეთ წოდებული „სამშენებლო ხარჯის“ ( $Q_{საშ}$ ) დადგენა წარმოებს მოქმედი სამშენებლო ნორმებისა და ტექნიკური პირობების შესაბამისად<sup>1</sup>.



ნახ. 11-50. კაშხალის მშენებლობის დროს მდინარის წყლის გადაგდების ძირითადი სქემა.

როდესაც  $Q_{საშ}$  ძალიან მცირეა, საკითხი წყდება შედარებით მარტივად. ამ შემთხვევაში შესაძლოა დავეკაუოფილდეთ მხოლოდ ერთი ზედა ზღუდარით, თუ კაშხალის დაყრას ვაწარმოებთ სწრაფი ტემპით და ზღუდარით შექმნილი წყალსაცავის ავსებამდე მის თხემს ავწევთ საკმარის სიმაღლეზე; ამასთანავე,

<sup>1</sup> იხ. СНиП II-И, 7—65.

თუ შემდგომშიც მისი აწევა უფრო სწრაფად იწარმოებს, ვიდრე წყლის ღონის აწევა ზედა ბიფეში.

ზოგ შემთხვევაში შესაძლებელია მშენებლობის ადგილზე გავიყვანოთ სიფონის პრინციპზე მომუშავე მილსადენი და  $Q_{სფ}$  ხარჯის ნაწილი ამ მილსადენით გადავაგდოთ ქვედა ბიფეში.

შედარებით იშვიათად გვხვდება შემთხვევები, როდესაც  $Q_{სფ}$  შეიძლება ჩავთვალოთ ნულის ტოლად და მას ანგარიში არ გავუწიოთ. ასეთ შემთხვევებს მიეკუთვნება მშრალ ხეივანებში ზაფხულის ერთ სეზონში შენებადი კაშხალები,



ნახ. 11-51. განივი ზღუდარების ხერხით წყლის გადაგდების სქემა.

სადაც წყალი ჩნდება მხოლოდ გაზაფხულზე; აგრეთვე კაშხალები. რომლებიც მშრალ ხეივანებში ქმნიან ეგრეთ წოდებულ დერივაციულ წყალსაცავებს.

კაშხალის მშენებლობის დროს წყლის დიდი ხარჯების გასატარებლად ხშირად იყენებენ განივი ზღუდარების ხერხს. ამ ხერხის თანახმად იქცევიან შემდეგნაირად:

თავდაპირველად ნაპირში აწყობენ სპეციალურ სამშენებლო დერივაციულ არხს ან გვირაბს (ნახ. 11-51). ამის შემდეგ წყლის დაბალი ღონის დროს აგებენ ზედა ზღუდარს და მდინარის წყალს მიმართავენ აღნიშნულ სამშენებლო დერივაციაში (იხ. აგრეთვე ნახ. 11-50).

მშენებლობის დროს წყლის გადაგდების დაგეგმარებისას ისმება შემდეგი საკითხები: 1) ზღუდარის თხემის ნიშნულის ( $\nabla_{ზღუდარის}$ ), 2) სამშენებლო დერივაციის შესავალი ზღურბლის ნიშნულის ( $\nabla'_{ზღ}$ ) და 3) სამშენებლო დერივაციის (არხის ან გვირაბის) განივკვეთის ზომების შესახებ.

ამ საკითხების გადაწყვეტის დროს თვლიან, რომ  $\nabla'_{ზღ}$  სამშენებლო დერივაციის გამოსავალი ზღურბლის ნიშნული და  $L$  დერივაციის სიგრძე მოცემული სიდიდეებია ( $\nabla'_{ზღ}$  აიღება ქვედა ბიფეში მდინარის ფსკერის ნიშნულის მიხედვით,  $L$ -ის მნიშვნელობა დადგინდება მას შემდეგ, რაც მშენებლობის გეგმაზე დანიშნული იქნება დერივაციის ღერძი).

აღნიშნული საკითხები წყდება ეკონომიურ მოსაზრებათა საფუძველზე. ასე, მაგალითად, ზღუდარის თხემის ნიშნულის ( $\nabla_{ზღუდარის}$ ) გადიდებით ჩვენ ეზრდით ზღუდარის სიმაღლეს და, მაშასადამე, მის ღირებულებას, მაგრამ ამასთანავე ჩვენ შეგვიძლია გავზარდოთ წყლის სამშენებლო ღონისა ( $\nabla_{სფ}$ ) და სამშენებლო დერივაციის შესავალი ზღურბლის ( $\nabla'_{ზღ}$ ) ნიშნულები, რის

შედეგად სამშენებლო დერივაციის ქანობი ( $i = \frac{\nabla'_{ზღ} - \nabla_{ზღ}}{L}$ ) გაიზრდება.

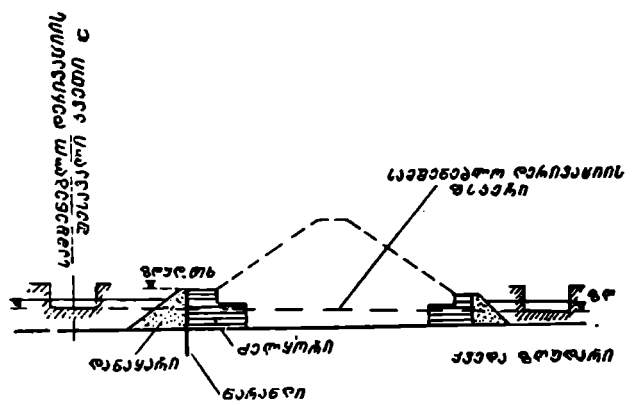
დიდი ქანობის დროს კი წყლის სიჩქარე სამშენებლო დერივაციაში იზრდება და ამის შედეგად მცირდება დერივაციის განივკვეთი. აქედან გამომდინარეობს, რომ  $\nabla'_{ზღ}$  და  $L$ -ის მოცემული მნიშვნელობის დროს ზღუდარის ღირებულების გაზრდით თვით სამშენებლო დერივაციის ღირებულება მცირდება. ზღუდარის უხელსაყრელესი სიმაღლე მიიღება მაშინ, როდესაც ზღუდარსა და დერივაციაზე მოსული ერთდროული დანახარჯების ჯამი ( $S_{ზღუდარის} + S_{დერივაცია}$ ) მიაღწევს მინი-



მუშ. ცხადია, ( $\Delta$  ზღვა-მ) საშუალო აიღება ( $S_{\text{ზღვა}} + S_{\text{გაბ}} = f(\nabla$  ზღვა-მ) დამოკიდებულიების გრაფიკიდან.

ზღუდარების მოწყობის დროს ისმება კითხვა იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა განვალაგოთ ისინი კაშხალის ტანის მიმართ. განარჩევენ ორ ვარიანტს:

- ა) ზღუდარები განლაგებულია კაშხალის ტანის გარეთ (ნახ. 11-50);
- ბ) ზღუდარები ჩართულია კაშხალის ტანში (ნახ. 11-52).



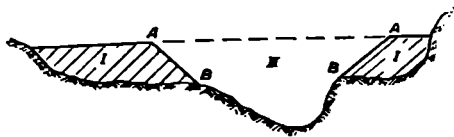
ნახ. 11-52. წყლის გადავლება კაშხალის ტანში ჩართული ზღუდარების გამოყენებით.

ამ უკანასკნელ შემთხვევაში, ცხადია, მცირდება კაშხალის სამუშაოთა მოცულობა, მაგრამ, მეორე მხრივ, რამდენადმე სუსტდება კაშხალის პროფილის ფილტრაციული სიმტკიცე. იქმნება ისეთი პირობები, რომლებიც არ იძლევიან ეკრანის მოწყობის საშუალებას: გარდა ამისა, ქვედა ზღუდარი აძნელებს კაშხალის ქვედა სოლის დრენაჟის მოწყობას.

მშენებლობის ადგილის ზღუდარებით შემოზღუდვის შემდეგ საჭიროა მოვანდინოთ სამშენებლო ქვაბულის დაშრობა წყალქვეყის ორგანიზებით; ეს ღონისძიება კი მოითხოვს ტუმბოების დადგმას და ელექტროენერჯის მიყვანას.

ზოგჯერ მიზანშეწონილია კაშხალი ავაგოთ ნაწილ-ნაწილ; ასეთი მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში პირველ რიგში კაშხალით მშრალად გადაღობავენ ნარწყულს (ნახ. 11-53, I), ხოლო მეორე რიგში ამოჰყავთ კაშხალის კალაპოტში მდებარე ნაწილი (ნახ. 11-53, II). სამუშაოთა წარმოების ასეთი მეთოდის ერთგვარი ნაკლოვანი მხარე იმაში მდგომარეობს, რომ მიიღება საშიში AB ნაკერები, რომელთა გასწვრივ შეიძლება გაიხსნას შეუყურსელი ფილტრაციის საელები. ამ მოვლენის თავიდან აცილების მიზნით, კაშხალის კალაპოტში მოთავსებული ნაწილის დაყრის წინ AB ზედაპირის რაიონში გრუნტს აფხვიერებენ, ამასთანავე შემდგომში აქ ითვალისწინებენ გრუნტის განსაკუთრებით გულდასმით გამკვრივებას.

ცალკეულ შემთხვევებში  $Q_{\text{გაბ}}$  გასატარებლად იყენებენ წყალჩანასაშვებებს (ზოგჯერ ჯერ კიდევ დაუმთავრებელს), რომელთაც აგებენ მოცემულ მიწის კაშხალთან.



ნახ. 11-53. კაშხალის ნაწილ-ნაწილ მშენებლობის სქემა.

სშირად მიწის კაშხალს აგებენ ბეტონის კაშხალთან ერთად. ამ შემთხვევაში სამშენებლო ხარჯების გატარების საკითხები წყდება კაშხალის ბეტონის ნაწილის დაგეგმარების დროს.

§ 11-12. მონალექი, ნახევრად მონალექი და სვალი ხარხით  
შენახადი მიწის კაშხალები

1. მონალექი მიწის კაშხალები

მონალექი მიწის კაშხალები იგება პიდრომექანიზაციის მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს სამი სხვადასხვა პროცესის მექანიზაციას:

1) გრუნტის დაპუშაევებას კარიერებში ეგრეთ წოდებული პიდრომონიტორების (განსაკუთრებული ბრანსპოიტების) მეშვეობით;

2) გრუნტის ტრანსპორტირებას კარიერებიდან კაშხალის ტანში ამა თუ იმ კონსისტენციის პიდრონარევის (პულპის) სახით, რომელიც შეიძლება გადაადგილდეს სადაწნეო მილსადენებში ან თვითდენით ღია ლარებში;

3) გრუნტის ჩაწყობას კაშხალის ტანში.

პირველი ორი საკითხი საკმარისად დაწვრილებით შეისწავლება „მიწის საპუშაოთა წარმოების“ კურსში, ამიტომ აქ ყურადღებას გვაქმნის მხოლოდ კაშხალის ტანში გრუნტის ჩაწყობის საკითხებზე, აგრეთვე მონალექი კაშხალების არსებულ ტიპებზე. ამასთან ერთად მხედველობაში მიიღება, რომ ამ კაშხალების ძირითადი ზომები და მთავარი კონსტრუქციული ელემენტები, ჩვეულებრივ, ისეთივეა, როგორც ნაყარი მიწის კაშხალებისა.

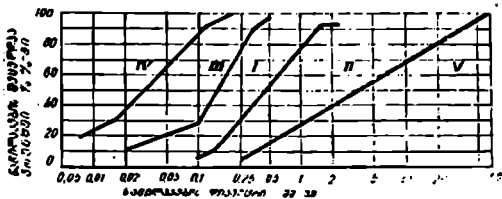
უმრავლეს შემთხვევებში კაშხალების მოლექვისათვის გამოიყენება ქვიშოვანი გრუნტები. მაგრამ არის ცალკეული მაგალითები, როდესაც მოლექვისათვის გამოყენებულ იქნა ქვიშა-ხრეშოვანი, თიხოვანი და ლოსისებრი გრუნტები.

მსხვილხრეშოვანი გრუნტების გამოყენება დაკავშირებულია მათი დაპუშაევების სიძნელეებთან, წნევის კარგვებთან პიდროტრანსპორტის დროს და მილსადენების ცვეთის გადიდებასთან. გარდა ამისა, გრუნტის მსხვილმა ჩანართებმა შეიძლება გამოიწვიოს მოლექვის დროს გამოყენებული ტუმბოების დაზიანება.

თიხოვანი და თიხნარიანი გრუნტების გამოყენებაც აგრეთვე დაკავშირებულია მათი დაპუშაევების სიძნელეებთან და, გარდა ამისა, მოლექვის შემდეგ მათი გაუწყლოებისათვის რთული ღონისძიებების ჩატარების აუცილებლობასთან.

მოლექვისათვის გამოსაყენებელი გრუნტის დადგენისათვის სარგებლობენ სათანადო გრაფიკით (ნახ. 11-54), რომელიც აღებულია მოქმედი სამშენებლო ნორმებიდან და წესებიდან<sup>1</sup>. გრაფიკის არც ცალკეული მრუდებით დაყოფილია ხუთ ზონად. ის გრუნტები, რომელთა მექანიკური ანალიზის მრუდები

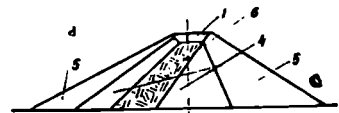
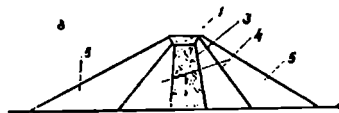
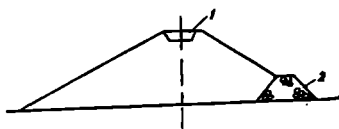
<sup>1</sup> СНиП II-И, 4—73.



ნახ. 11-54. გრუნტების მექანიკური ანალიზის მრუდები.

თავსდება I და II ზონაში, ყველაზე უფრო გამოსადეგია მოლეკულისათვის, ხოლო გრუნტები, რომელთა მექანიკური ანალიზის მრუდები თავსდება, III, IV და V ზონებში, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მოლეკულისათვის მხოლოდ შესაბამისი ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთების შემთხვევაში.

მონალექი კაშხალების ტიპები. კარიერის გრუნტების მექანიკურ შედგენილობასა და მოლეკულის არჩეულ ხერხზე დამოკიდებულებით შეიძლება ავადგოთ ერთგვაროვანი (ნახ. 11-55 ა), გულიანი (ნახ. 11-55 ბ) და ეკრანიანი (ნახ. 11-55 გ) კაშხალები. ეკრანიანი მონალექი კაშხალი მხოლოდ იმით განსხვავდება გულიანი მონალექი კაშხალისაგან, რომ პირველის მცირეწყალშელწვეადი ზღუდე რამდენადმე დახრილია და გადაწეულია ზედა ბიეფის მხარეზე.



ნახ. 11-55. მონალექი მიწის კაშხალების ტიპები: 1 — ნაყარი ნაწილი; 2 — ბანკეტი; 3 — გული; 4 — გარდამავალი ზონები; 5 — გვერდითი პრიზმი; 6 — ეკრანი.

გულიანი კაშხალის ასაგებად რეკომენდებულია სხვადასხვაპარცლოვანი ხრეშოვანი ქვიშების გამოყენება, რომლებშიც 0,005 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის მქონე ნაწილაკების შეცულობა არ უნდა აღემატებოდეს 5%. გულის ზომების დადგენა წარმოებს კარიერის გრუნტში წვრილი ნაწილაკების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით.

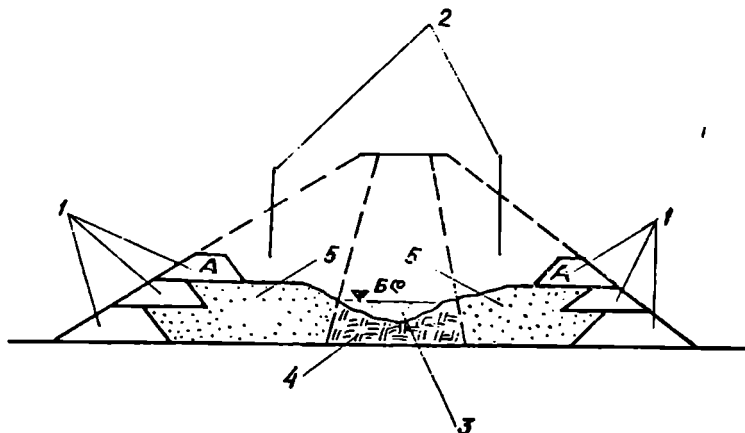
შეიძლება ერთმანეთისაგან განვასხვავოთ ჩვეულებრივი, თიხოვანი გრუნტებით შექმნილი და „დამქლევებული“ გულები, რომლებიც იქმნება წვრილქვიშოვანი და მტვრისებრი ნაწილაკებით. თიხოვან გულთან შედარებით დამქლევებულ გულს აქვს რამდენადმე უფრო დიდი წყალშელწვეადობის უნარი. ამასთან ერთად ასეთ გულს აქვს რიგი უპირატესობები: მოლეკულის შემდეგ სწრაფად გამკვრივების უნარი, მოლეკულის უფრო ინტენსიურად (დაჩქარებული ტემპით) წარმოების შესაძლებლობა და სხვ.

გულის მოცულობა ზოგჯერ შეადგენს კაშხალის მთელი მოცულობის 20—30%.

გრუნტის მოლეკულის ხერხები. კაშხალის ტანში ჩაშვებული

ჰიდრონარევის განდინების პროცესში მისგან ცვივდება და ილექება შეწონილი გრუნტის ჭერ მსხვილი ფრაქცია, ხოლო შემდეგ წვრილი. ამასთან დაკავშირებით მოლექვის დროს წარმოებს ჰიდრონარევი შემავალი გრუნტის ნაწილაკების კლასიფიკაცია ფრაქციების მიხედვით: ჩაშვების ადგილთან ახლოს ილექება მსხვილი ფრაქციები, ხოლო მისგან დაშორებით — წვრილი. ჰიდრონარევის ჩაშვების მართვით და პულნაგამტარების გამშვები ხერცტების გადაადგილებით ჩვენ შეგვიძლია კაშხალის ტანში მივალწიოთ გრუნტის ფრაქციების ნებისმიერ განაწილებას.

გულიანი კაშხალის შესაქმნელად გამოიყენება ეგრეთ წოდებული ორმხრივი დალექვის სქემა (ნახ. 11-56), რომლის დროს ჰიდრონარევის აგდებენ კაშხალის პროფილის კიდეებში. გადაგდებული ჰიდრონარევი პლავით ჩადინდება პროფილის ცენტრისაკენ, სადაც იქმნება ტბორ-სალექარი, რომლის ფსკერზე ილექება გულის წარმოქმნილი გრუნტის უწვრილესი ნაწილაკები.



ნახ. 11-56. გულიანი მიწის კაშხალის ორმხრივი დალექვის სქემა: 1—შემოზინვის ჭები-რები; 2 — ჰიდრონარევის გადაგდების ადგილი; 3 — ტბორ-სალექარი; 4 — გული; 5 — პლავი.

გრუნტიდან განთავისუფლებული დაწდომილი წყალი ტბორ-სალექარიდან გაიყვანება კაშხალის ტანში მოწყობილი განსაკუთრებული საგდები ჰებისა და სპეციალურად მოთავსებული გამყვანი მილების მეშვეობით, აგრეთვე მექანიკური გადაქაჩვით ან სიფონების გამოყენებით.

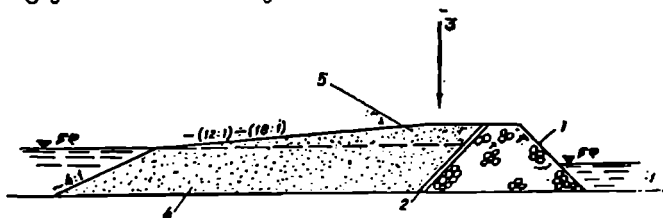
თუ გულიანი კაშხალი ილექება მეტისმეტად ჩქარა და წყალი ვერ ასწრებს გულიდან გამოწურვას, მაშინ გულის მასალაც ვერ ასწრებს გამყვრივებას და იგი არსებითად რჩება ეგრეთ წოდებული მძიმე სითხის სახით. ამ მძიმე სითხის წნევით შეიძლება მოხდეს კაშხალის გვერდითი პრიზმების ძვრა<sup>1</sup>. იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ ავარია, საჭიროა სამუშაოთა წარმოების პროცესში კაშხალის გულის სიმკვრივეზე დავაწესოთ მუდმივი კონტროლი. ამასთანავე

<sup>1</sup> ამ შემთხვევაში გვერდითი პრიზმების მდგრადობა შეიძლება შემოწმდეს მ. გრიშინისა და ბ. ფეოლორის ზემოთ მითითებული მეთოდით.

საქიროების შემთხვევაში შეიძლება შევამციროთ კაშხალის მოლექვის ტემპი, რათა გულს მიეცეს საკმარისად გაჰკვრივების საშუალება.

იზისათვის, რომ ჰიდრონარევი არ გადინდეს მოსალექი კაშხალის პროფილის გარეთ, ამ პროფილის კიდეებში აწყობენ შემოზვინვის *A* ჭებირებს ანუ დამბებს (ნახ. 11-56). ჭებირებს აკეთებენ ბულდოზერების მეშვეობით ადრე მოლექილი გრუნტის საკმარისად მსხვილი ფრაქციის გამოყენებით.

ერთმანეთისაგან განარჩევენ წყალქვეშა და წყალზე და მოლექვას. გამოცდილება გვიჩვენება, რომ იმ გრუნტის თავისუფალი ფერდობები, რომლის მოლექვა წყალში წარმოებს, მიიღება უფრო ციკაბო, მაგალითად, 4:1; ხოლო თავისუფალი ფერდობები გრუნტისა, რომელიც მიიღება წყალზე და მოლექვის დროს, წარმოადგენს ძალიან დამრეცს, მაგალითად (12:1)—(18:1), როგორც ეს ჩანს 11-57 ნახაზზე.



ნახ. 11-57. თავისუფალი ფერდობის წარმოქმნა წყალქვეშა და წყალზე და მოლექვის დროს: 1 — ბანკეტი; 2 — უკუფილტრი; 3 — ჰიდრონარევის გადაგდების ადგილი; 4 — წყალქვეშა მონალქი; 5 — წყალზე და მონალქი.

წყალქვეშა მოლექვის დროს მიიღება ძალიან ფხვიერი ქვიშოვანი გრუნტი (მცირე მოცულობითი წონითა და დიდი მოცულობითი ფორიანობით); წყალზე და მოლექვის შემთხვევაში კი, პირიქით, — საკმარისად მკვრივი ქვიშოვანი გრუნტი. წყალქვეშა მოლექვის დროს, ცხადია, გულის წარმოქმნა შეუძლებელია.

ერთმანეთისაგან განარჩევენ მოლექვის სამ ძირითად ხერხს: ესტაკადურს, უესტაკადოს და დაბალსაყრდენულს.

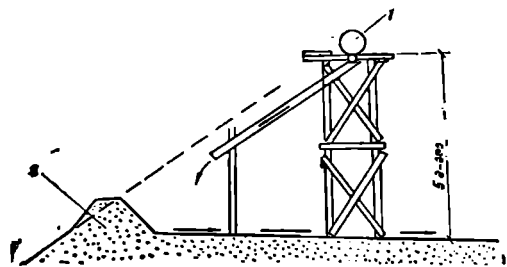
ესტაკადური ხერხი ყველაზე ძველია. აქ განმანაწილებელი მილსადენები ან ღია დარები ეწყობა 5 მ-მდე სიმაღლის ესტაკადებზე (ნახ. 11-58). გრუნტის მოსალექი ფენის სისქე განისაზღვრება ესტაკადის სიმაღლით. ფენის მოლექვის შემდეგ მის ზედაპირზე აგებენ ახალ ესტაკადს და ა. შ. ცხადია, რომ გამოყენებული ესტაკადის დგარები გრუნტში რჩება მიღვლილი; მას აცილებენ და შემდგომში იყენებენ პორიზირებულ და დაბრილ ელემენტებს.

ესტაკადური ხერხი ფართოდ გამოიყენებოდა ადრე, მაგრამ უესტაკადო ხერხის შემოღებამ მას რამდენადმე დაუკარგა მნიშვნელობა. ესტაკადური ხერხის ძირითადი ნაკლია — ხე-ტყის მასალის დიდი ხარჯი.

ამჟამად ყველაზე უფრო გავრცელებულია უესტაკადო ხერხი. აქ განმანაწილებელი მილსადენები, რომლებითაც ჰიდრონარევი მიეწოდება, ლაგდება უშუალოდ მოლექილ გრუნტზე, ამასთანავე ჰიდრონარევის გამოშვება (გადაგდება) წარმოებს შეყურსულად მილსადენის ბოლოდან.

მოლექვის დროს ჯერ აწარმოებენ მილსადენების წაზრდას მისი მონიშნული ტრასის გასწვრივ, რის შედეგად, ცხადია, ჰიდრონარევის გადაგდების

წერტილი თანდათანობით გადაადგილდება მისი დინების მიმართულებით. შესაბამისი ბოლო წერტილის მიღწევის შემდეგ მილსადენს თანდათან ამოკლებენ,



ნახ. 11-58. ესტაკადური მოლექვის ხერხი: 1 — მილსადენი; 2 — შემოზენივის ყეობი.

ამგვარად, უესტაკადო ხერხით მოლექვის დროს ჰიდრონარევის შეყურსული გადავლების წერტილი ასრულებს, როგორც აღნიშნავენ, „მაქოსებურ მოძრაობას“.

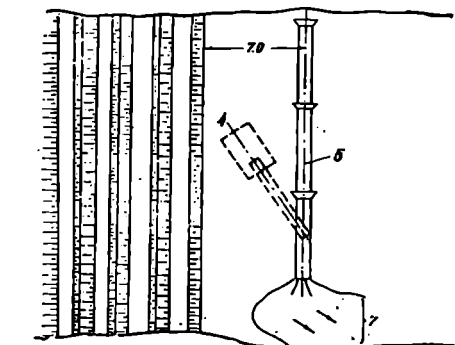
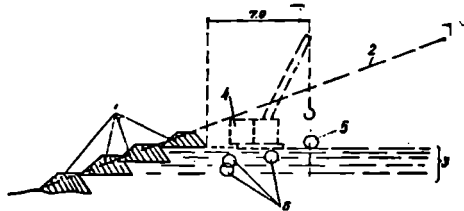
ამ ხერხის გამოყენების დროს სარგებლობენ ამწეთი. იგი უნდა იმყოფებოდეს მილსადენის ბოლო წვერთან, რათა ასწიოს იგი დაახლოებით მოსალექი ფენის სისქის ტოლ სიმაღლეზე. სწორედ მილსადენის ამ სიმაღლიდან, რომელიც ამწეთი უზრუნველყოფილი, წარმოებს გრუნტის მოლექვა.

მონალექი ფენები მცირე სისქისაა: მილსადენის წაზრდის პროცესში ეს სისქე ტოლია 0,6 — 0,7, ხოლო დამოკლები-სას — 0,2 — 0,3 მ-სა.

უესტაკადო ხერხით მოლექვის საერთო სქემა ნაჩვენებია 11-59 ანაზღზე. ამ ხერხის ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ ზოგიერთი გრუნტის მოლექვის დროს (მაგალითად, თიხოვანი გრუნტის) ამწეს გადაადგილება ახლად მოლექილ გრუნტზე ძველდება გრუნტის არასაკმარისი ზიდვის უნარის გამო; კერძოდ, ზედაპირზე ჩნდება ტალახი, რომელიც აძნელებს მუშაობას.

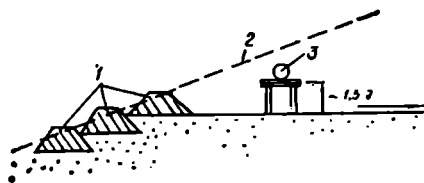
დაბალსაყრდენული ხერხის გამოყენების დროს ჰიდრონარევის განმანაწილებელ მილსა-

ე. ი. ხსნიან მისგან ცალკეულ წვერებს; ამ შემთხვევაში ჰიდრონარევის გადავლების წერტილი გადაადგილდება დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით. ერთი ციკლის დამთავრებისთანავე, ცხადია, ხელახლა იწყებენ განმანაწილებელი მილსადენის წაზრდას, ხოლო შემდეგ მის დამოკლებას და ა. შ.

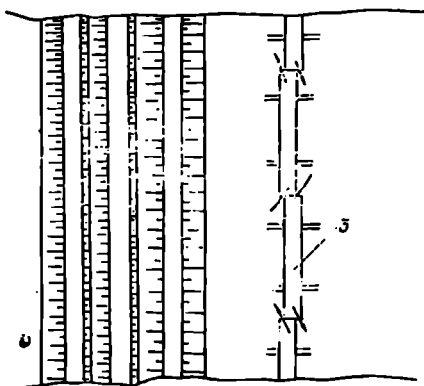


ნახ. 11-59. უესტაკადო მოლექვის ხერხი: 1 — შემოზენივის ყეობი; 2 — ფერლო, 3 — მონალექი ფენები; 4 — ამწე; 5 — მილსადენი; 6 — მილსადენის ადგილმდებარეობანი; 7 — ჰიდრონარევის მოძრაობა.

დენს ათავსებენ დაბალ- (1,5 მ სიმაღლის) ინვენტარულ საყრდენებზე. ამასთანავე ჰიდრონარევი კაშხალში შედის ან მილსადენის ბოლოდან (თავმოყრილად). ანდა მისი წვერების პირაპირებიდან (განწერტებულიად). ამ ხერხის გამოყენების დროს მონალექი ფენის სისქე აღწევს 1.0—1,2 მ-ს. კაშხალისათვის დაგეგმარებული პროფილის მისაღებად აქაც აწყობენ შემოზენივის ჯებირებს (ნახ. 11-60).



მიწის კაშხალის მოლექვის სქემები. განასხვავებენ მიწის კაშხალის მოლექვის რამდენიმე სქემას: ორმხრივს, ერთმხრივს. პიონერულ-ტორსულსა და მონაიკურს.



ორმხრივი მოლექვის სქემა გამოიყენება ნაგებობის წყალზედა ნაწილის მოსალექად. ამ სქემის თანახმად (ნახ. 11-56) კაშხალის მოლექვა შეიძლება ვაწარმოოთ ნებისმიერი ხერხებით: ესტაკადურით, უესტაკადურად და დაბალსაყრდენულით.

ნახ. 11-60. დაბალსაყრდენული მოლექვის ხერხი: 1 — შემოზენივის ჯებირები; 2 — ფერდო; 3 — მილსადენი.

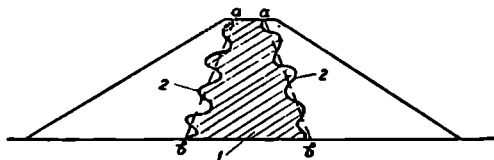
იმისდა მიხედვით, თუ რა ხასიათის კარიერის გრუნტი გამოიყენება მოსალექად. ამ სქემით შეგვიძლია მივიღოთ როგორც ერთგვაროვანი, ისე გულიანი (ან ეკრანიანი) კაშხალი.

წყალზედა მოლექვის სქემით გულიანი (ან ეკრანიანი) კაშხალი მიიღება მაშინ, როდესაც გრუნტის ნაირმარცვლოვნების კოეფიციენტი მეტია 3,0-ზე და ამასთანავე მოლექვის პროცესში წარმოიქმნება ტბორ-სალექარი. თუ გრუნტის ნაირმარცვლოვნების კოეფიციენტი ნაკლებია 3,0-ზე, მაშინ ტბორ-სალექარის წარმოქმნის შემთხვევაშიც კი გულის შექმნა არ ხერხდება: თავისი წყალშელწვეადობით კაშხალის ცენტრალურ ნაწილში მოლექილი გრუნტი მცირედით იქნება განსხვავებული კაშხალის გვერდითი პრიზმების გრუნტისაგან.

იმისათვის, რომ კაშხალის ცენტრალურ ნაწილში წარმოქმნილი გული გვერდებიდან შემოისაზღვროს შესაბამისი სიბრტყეებით (იხ. 11-61 ნახაზზე პუნქტით ნაჩვენები მხ სიბრტყეები), საჭიროა მისი მოლექვის პროცესში მკაცრად დავცენტროთ ტბორ-სალექარის ადგილმდებარეობა. მაგრამ ეს პრაქტიკულად არ ხერხდება, რადგან მოსალექი კაშხალის ზედის ამალღებასთან ერთად ტბორ-სალექარი შეიძლება გადაადგილდეს რაღაც სიდიდით ხან მარჯვნივ, ხან მარცხნივ. აღნიშნულთან დაკავშირებით გულის გვერდითი წახნაგები ღებულობს

ხერხის ფორმას (ნახ. 11-61). გულის არეში გასოლილი ქვიშოვანი გრუნტის ზედნეტად დიდი „ენები“ დაუშვებელია.

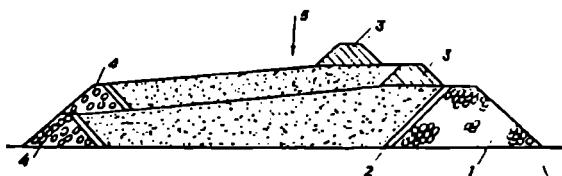
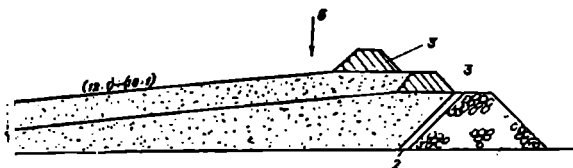
ერთმხრივი მოლექვის სქემის შემთხვევაში ჰიდრონარევის აგებენ კაშხალის პროფილის ერთი ქვედა მხრიდან (ნახ. 11-62), ამასთანავე,



ნახ. 11-61. გულის მოლექვის დროს წარმოქმნილი „ენები“:

1 -- გული, 2 -- ენები.

ისე როგორც წინა სქემის შემთხვევაში, კაშხალის მოლექვა შეიძლება ვაწარმოოთ ესტაკადური, უესტაკადო და დაბალსაყრდენული ხერხებით. მოლექვის ამ სქემის შემთხვევაში შემოზინვის ჭებირების მეშვეობით პროფილში მოდის მხოლოდ კაშხალის ქვედა ფერდო (ნახ. 11-62 ა); ზედა ფერდო, რომელიც შემოსაზღვრავს მოლექვილ გრუნტს, გაჰდის ძალიან დაჰრეცი. თუმცა, ზოგ შემთხვევაში ერთმხრივი დალექვის დროს ჰიდრონარევის განდინების შესაზღუდავად ზედა ბიფშიც აწყობენ შესაბამის ზედა ბანკეტს ან რიგ ზედა ბანკეტებს სხვადასხვა ნიშნულზე (ნახ. 11-62 ბ).



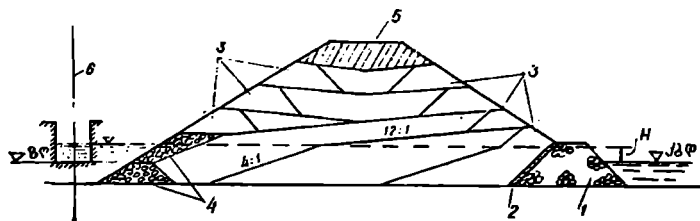
ნახ. 11-62. კაშხალის ერთმხრივი დალექვის სქემა: 1 — ბანკეტი; 2 — უკუფილტრები; 3 — შემოზინვის ჭებირები; 4 — ზედა ბანკეტი; 5 — ჰიდრონარევის გადაგდება.

ერთმხრივი მოლექვის სქემა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნაგებობის როგორც წყალქვეშა, ისე წყალზედა მოლექვის დროს. უკანასკნელ შემთხვევაში სამუშაოები შეიძლება ვაწარმოოთ ტბორ-სალექარით ან მის გარეშე.

უკანასკნელ დროს კაშხალების მშენებლობისათვის ძალიან ხშირად მდინარეებს გადაღობავენ უშუალოდ მოძრავ წყალში ქვაყრილით შესრულებული



ბანკეტი. ბანკეტის წარმოქმნის შემდეგ ჩვეულებრივ აგებენ ჰიწის მოლექილ კაშხალს, რომელიც თითქოსდა ეყრდნობა აღნიშნულ ბანკეტს. ასეთი მოლექილი კაშხალის მშენებლობას აწარმოებენ უზღუდარებოდ შემდეგი მიმდევრობით (ნახ. 11-63):



ნახ. 11-63. მონალექი კაშხალის აგება მიმდინარე წყალში: 1 — ბანკეტი; 2 — უკუფილტრი; 3 — შემოზენივის ქვირთები; 4 — კონტრბანკეტები; 5 — ნაყარი გრუნტი; 6 — სამშენებლო ღერიფაისის შესავალი ხერტის ღერძი.

1) ქვაყრილის ბანკეტის ზედა ფერდოს ფარავენ უკუფილტრით (ქვიშოვანი ფუძის შემთხვევაში უკუფილტრი უნდა მოეწყოს ბანკეტის ფუძეშიც), რის შედეგად ბანკეტის წინ მყარდება წყნარი დინება;

2) ერთმხრივი მოლექვის მეშვეობით (ზედა ბანკეტების გამოყენებით ან მათ გარეშე) ამოჰყავთ კაშხალის წყალქვეშა ნაწილი (ახდენენ წყალქვეშა მოლექვას);

3) კაშხალის მოლექილი ნაწილის წყლიდან ამოსვლის შემდეგ, როგორც წესი, გადადიან ორმხრივ მოლექვაზე;

4) კაშხალის ყველაზე ზედა ნაწილს აგებენ მოყრის წესით, რადგან პროფილის სივანის შემცირების გამო მოლექვის გაგრძელება შეუძლებელი ხდება (ძნელდება შესაბამისი მოწყობილობის მოთავსება).

ამგვარ მოლექილ კაშხალებს აგებენ საკმარისად ერთნაირმარცვლოვანი ქვიშებისაგან, ამასთანავე ისინი მიიღება დაახლოებით ერთგვაროვანი;  $H$  ვარდნილის სიდიდე, რომლის დროს ქვაყრილი ბანკეტი შეიერთება, ჩვეულებრივ, ტოლია 0,5—2,0 მ. ასეთი კაშხალის აგების დაწყებამდე საჭიროა წინასწარ გაეფიქნათ სამშენებლო არხი ან გვირაბი, რათა ვაწარმოთ წყლის გადაგდება ზედა ბიეფიდან ქვედაში.

უნდა გაეთვალისწინოთ, რომ წყალქვეშა მოლექვის დროს შეიძლება მივიღოთ ქვიშის მეტად ფხვიერი ნალექი, ამიტომ დინამიკური დატვირთვების პირობებში კაშხალის მოსალოდნელი დანგრევის თავიდან აცილების მიზნით წყალქვეშა მოლექილი ქვიშა უნდა გამკვიოდეს (ვიბრირებით და ა. შ.).

„მოზაიკური“ მოლექვის სქემა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მაშინ, როდესაც კაშხალის აგება გათვალისწინებულია შედარებით ერთგვაროვანი (ერთმარცვლოვანი) ქვიშოვანი გრუნტებით. ამ სქემის დროს მოლექვა წარმოებს რიგი მილსადენების მეშვეობით, რომელთა განივი განმანაწილებელი მილები განლაგებულია შახმატურად. ამ წესით მოლექვისას არ წარმოიშობა ტბორ-სალექარი, რაც ზრდის მოლექვის წარმატებას.

ტორსული მოლექვის სქემის გამოყენების შემთხვევაში სამუშაო შეიძლება ვაწარმოთ კაშხალის ღერძის პარალელურად განლაგებული რამდენიმე პულვატარით (პიდრონარევი ვარდება პულვატარების ტორსე-

ბიდან) ერთბაშად კაშხალის მთელ სიგანეზე და ამასთანავე შეიძლება მივადწოთ მოლექვის ზალალ ტემპს. ასე, მაგალითად, ვ. ლენინის სახელობის ვოლესკის ჰეს-ის კაშხალის კალაპოტური ნაწილის მოლექვის დროს საშუალო ინტენსიურობამ მიაღწია 1,1 მ/დღე-ღამ, ხოლო მოლექვის მოცულობამ საშუალოდ 201 ათას მ<sup>3</sup>/დღე-ღამეში (მაქსიმალური კი იყო 277 ათასი მ<sup>3</sup>/დღე-ღამეში). ეს ხერხი უმთავრესად გამოიყენება წყალქვეშა მოლექვისათვის.

მონალექი და ნაყარი მიწის კაშხალების შედარება გვიჩვენებს, რომ მონალექ კაშხალებს აქვს შემდეგი უპირატესობა: 1) მშენებლობის დიდი სიჩქარე; 2) უზღუდარებოდ აგების შესაძლებლობა; 3) ნაკლები დამოკიდებულება კლიმატურ პირობებზე (მოლექვა შეიძლება ვაწარმოოთ წვიმიან ამინდშიც და ზამთარშიც); 4) მასალის კარგი განაწილება კაშხალის ტანში.

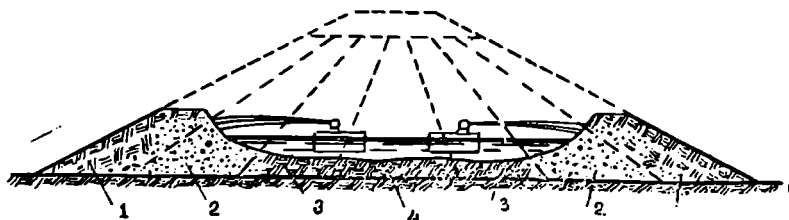
მონალექი კაშხალების ნაკლოვანი მხარეებია: 1) სამუშაოთა სირთულე; 2) დიდი მომთხოვნელობა კარიერის გრუნტის შედგენილობისადმი; 3) მოთხოვნილება სპეციალურ მოწყობილობებზე; 4) გულის მასალით კაშხალის გვერდითი პრიზმების გარღვევის საშიშროება; წყალქვეშა მოლექილი ქვიშოვანი გრუნტის გათხევადების საშიშროება; 5) წყლის დიდ რაოდენობაზე მოთხოვნილება მშენებლობის პერიოდში (გრუნტის გახსნისა და ტრანსპორტისათვის); 6) დიდი მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე.

დაპროექტების დროს მოლექილი კაშხალის ვარიანტი ეკონომიურად უნდა შედარდეს ნაყარ კაშხალთან. მთელ რიგ შემთხვევებში მოლექილი კაშხალის ღირებულება შეიძლება უფრო ნაკლები აღმოჩნდეს, ვიდრე ნაყარი კაშხალისა.

## 2. ნახევრად მოლექილი კაშხალები

ნახევრად მოლექილი კაშხალების ასაგებად გრუნტი მუშავდება კარიერებში და მიიტანება კაშხალის ტანში ისევე, როგორც ნაყარი კაშხალების შემთხვევაში. გრუნტი იყრება კაშხალის გვერდითი პრიზმების ფარგლებში და შემდეგ აქვე ჩაირეცხება ჰიდრომონიტორებით. ამის შედეგად კაშხალის შუა ნაწილის ფარგლებში წარმოიქმნება ტბორ-სალექარი, ისე როგორც გულიანი მონალექი კაშხალის აგების დროს.

როგორც ვხედავთ, ამ ხერხით მშენებლობის დროს გათვალისწინებულია მხოლოდ ერთი პროცესის ჰიდრომექანიზაცია— გრუნტის ჩაწყობა კაშხალის ტანში. აგების ასეთი ხერხის გამოყენების დროს კაშხალის პროფილში გრუნტი განლაგდება ფრაქციებად, ისე როგორც ეს ნაჩვენებია 11-64 ნახაზზე.



ნახ. 11-64. ნახევრად მოლექილი კაშხალის აგების სქემა: 1 — კარიერის გამკრივებელი მიწიერ წყალშელწვეადი გრუნტი; 2 — გამორეცხილი მსხვილმარცვლოვანი წყალშელწვეადი გრუნტი; 3 — მიწიერ წყალშელწვეადი წვრილმარცვლოვანი გრუნტი.

### 8. გრუნტის წყალში ჩაყრით შენებადი მიწის კაშხალები

მიწის კაშხალებს, რომელთაც აგებენ ეგრეთ წოდებული სველი ხერხით (გრუნტის წყალში ჩაყრით), ძველთაგან აშენებდნენ შუა აზიაში, სადაც ამ მიზნით იყენებდნენ ლიოსურ გრუნტებს. უკანასკნელ დროს ეს ხერხი საქმარისად ფართოდ გამოიყენება არამარტო ლიოსური გრუნტებით კაშხალების მშენებლობის დროს, არამედ აგრეთვე თიხნარით მათი მშენებლობის დროსაც. მიწის კაშხალების აგების სველი ხერხი გამოყენებულ იქნა ნივა ჰეს III-ის, ნივა ჰეს I-ის, კნიავევუბსკის, ირიკლინსკის, ირკუტსკის ჰეს-ებზე და სხვა მშენებლობაზე.

ეს ხერხი შემდეგში მდგომარეობს: ჯერ საერთო — „მშრალი“ წესით აწყობენ მცირე სიმაღლის (2—4 მ) ჯებირებს, რომლებიც ქმნიან ეგრეთ წოდებულ ქარტებს (გეგმაში სწორკუთხოვან ტბორ-წყალსაცავებს). ქარტის შემავსებელი წყლის სიღრმე აიღება 2—4 მ-ის ტოლი. ამ ქარტაში (წყალში) ყრიან გრუნტს პიონერული ხერხით, მაგალითად, თვითმცლელებიდან შემოზეინვის ჯებირების მთელ სიმაღლეზე (ნახ. 11-65).



ნახ. 11-65. მიწის კაშხლის აგება გრუნტის წყალში ჩაყრით (სველი ხერხით): 1—შეპოზინვის ჯებირები; 2—ტბორი; 3—წყალში ჩაყრილი გრუნტი; 4—შეზობელი ქარტა; 5—ჩამოსაშვები მილი; h—გრუნტის მოყრილი ფენის სიმაღლე

წყალში მოხვედრილი შექიღული გრუნტის კოშტები მასში ღებება და იშლება. დასაწყისში გრუნტს ამკვრივებენ იმავე სატრანსპორტო საშუალებებით, რომლებითაც იგი მიიზიდება ქარტაში. შემდგომში გამკვრივება ხდება გრუნტის საკუთარი წონის მოქმედებით.

მიწის კაშხალის აგების ამ ხერხს აქვს მთელი რიგი უპირატესობანი. კერძოდ, იგი საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად გავზარდოს საშენებლო სეზონი წვიმიან ამინდებში და სუსხის დროს საკუთარ წარმოების ხარჯზე.

### თავი XII

### ქვის, ქვა-მიწის და სხვა ტიპის კაშხალები

#### § 12-1. ქვის კაშხალის კლასიფიკაცია

ქვის კაშხალებს მსხვილპარცელოვანი მასალისაგან, უპირატესად კენჭნარისაგან, ჯერ კიდევ XVI—XVII საუკუნეებში აგებდნენ. XIX ს. კი გამოჩნდა კაშხალები კარიერში მოპოვებული ქვის ნაყარისაგან. ამჟამად ამ ტიპის კაშხალების სიმაღლე 100 მ-ზე მეტს აღწევს. ამ სახის ერთ-ერთ ყველაზე მაღალ კაშხალს წარმოადგენს მიბოროს (იაპონია) კაშხალი, რომლის სიმაღლე დაახლოებით 130 მ-ია. სსრ კავშირში ქვაყრილობაგან აგებულ კაშხალებს შორის ყველაზე მაღალია ურტო-ტოკოის კაშხალი (დაახლოებით 60 მ).

კაშხალის ეს ტიპი შეიძლება იყოს ფრიად ეკონომიური მაშინ, როდესაც სამუშაოების აღვილზე მოიპოვება შესაფერისი ქვა, ხოლო მშენებლობის რაიონი დაშორებულია გზების არსებული კომუნიკაციებიდან.

აჩუბობა განსახილველი კაშხალების რამდენიმე კლასიფიკაცია.

პირველი კლასიფიკაცია — ტანის კონსტრუქციის მიხედვით განასხვავებენ შენდევნაირ კაშხალებს:

1) ნაყარს. რომელთაც აგებენ ქვის ან წვრილმანი ქვის მასალის (ლორღის, კენქის და ა. შ.) დაყრით;

2) ქვის მშრალი წყობით (ე. ი. უხსნაროდ), რომლის დროს გაითვალისწინება ნაკერების გადაბმა, დალორღვა და ა. შ.;

3) ნახევრად ნაყარს, როდესაც კაშხალის ნაწილი სრულდება ქვაყრილისაგან, ხოლო დანარჩენი ნაწილი ქვის მშრალი წყობით;

4) ქვა-ვიწის. როდესაც კაშხალის ნაწილი სრულდება ქვაყრილისაგან, ხოლო დანარჩენი ნაწილი ჩვეულებრივი გრუნტისაგან (ქვიშისაგან, თიხნარისაგან და ა. შ.).

მეორე კლასიფიკაცია — წყალშეუღწევი მოწყობილობის ტიპის მიხედვით განასხვავებენ კაშხალებს:

1) გულიანს (თიხისაგან, თიხნარისაგან და ა. შ.);

2) ღიაფრაგვიანს („ხისტ გულიანს“);

3) ხისტ ეკრანიანს;

4) პლასტიკურ ეკრანიანს.

მესამე კლასიფიკაცია — ჰიდროკვანძის გავლით წყლის გატარების ხერხის მიხედვით განასხვავებენ კაშხალებს:

1) ყრუს; აქ წყლის გატარება წარმოებს კაშხალის გარეთ მოწყობილი ხერტებით;

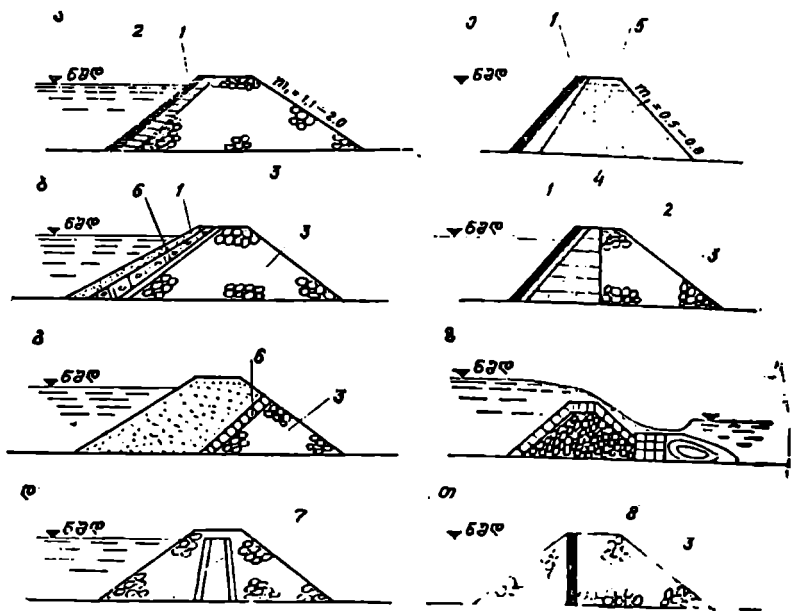
2) წყალსაშვებს, როდესაც კაშხალის თხემზე გათვალისწინებულია წყლის გადაღიწება (თხელი ფენით); კაშხალის ეს ტიპი ამჟამად ძალიან იშვიათად გამოიყენება.

მაგალითისათვის 12-1 ნახაზზე ნაჩვენებია ჩამოთვლილი კაშხალების რამდენიმე სქემა, რომელთაგან ამჟამად საკმაოდ ხშირად იყენებენ პირველ ოთხ სქემას (ა, ბ, გ, დ).

ყრუ კაშხალების თხემის სიგანე, აგრეთვე მათი შემალლება ზედა ბიეფის მაქსიმალური დონიდან ინიშნება მიწის კაშხალების ანალოგიურად. ქვაყრილი კაშხალების, განსაკუთრებით კი მშრალი წყობის ქვის კაშხალების ფერდობები ინიშნება ჰენიშენლოვნად უფრო დაქანებული, ვიდრე მიწის კაშხალების ფერდობები. მაგალითად, ზედა ფერდოს კოეფიციენტს აქვს შემდეგი მნიშვნელობანი: ქვაყრილ კაშხალებში  $m=1,0-1,3$ ; მშრალი წყობის კაშხალებში  $m=0,5-0,8$ ; ქვედა ფერდოს კოეფიციენტი: ქვაყრილ კაშხალებში  $m_1=1,1-2,0$ ; მშრალი წყობის კაშხალებში  $m_1=0,5-0,8$ .

### § 12-2. ქვის კაშხალები მშრალი წყობით

მშრალი წყობის ქვის კაშხალების ასაგებად საჭიროა შედარებით წესიერი ფორმის ქვა, რომლის სიგანის შეფარდება სისქესთან უნდა იყოს ტოლი არანაკლებ 2-სა, ხოლო სიგრძისა სისქესთან არაუმეტეს 3-4. ქვის მინიმალური სისქე შეიძლება იყოს 0,20 მ. ასეთი ქვებისაგან წყობა სრულდება ხელით ან



ნახ. 12-1. ქვაყრილი, ნახევრად ქვაყრილი, ქვა-შინისა და შშრალი წყობის კაშხალების ტიპები: 1—ეკრანი; 2—ეკრანქვეშა შშრალი წყობა; 3—ქვაყრილი; 4—ეკრანქვეშა წყობა ხსნარზე; 5—შშრალი წყობა; 6—უკუფილტრი; 7—გული; 8—ლიაფრაგმა.

მსხვილი ქვების შემთხვევაში აშწეებით. ნაკერების ურთიერთგადადამის გათვალისწინებით. შშრალი წყობა შეიძლება ვაწარმოოთ აგრეთვე უწყსო ფორმის ქვაყორის გამოყენებითაც. ასეთ კაშხალებში სიცარიელებს ავსებენ ლორლით: დატოვებულ სიცარიელეთა მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს 20—30%.

შშრალი წყობის კაშხალებში ტანის შუა ნაწილი შეიძლება შესრულდეს შედარებით წვრილი ქვისაგან, ფერდობებზე კი უნდა დაიწყოს ყველაზე მსხვილი და მძიმე ქვები.

ასეთი კაშხალები ხასიათდება ეკონომიური პროფილით, ამიტომ მათი მშენებლობისათვის მოითხოვება ქვის შედარებით მცირე რაოდენობა. იმისათვის, რომ კაშხალმა თანაბრად გადასცეს დატვირთვა ფუძეს, უკანასკნელის სიგანეს არჩევენ სამკუთხოვან პროფილში ყველა ძალთა ტოლქმედის ფუძის კვეთის ცენტრში გავლის პირობიდან (როგორც საცხე, ისე დაცილილი წყალსაცავის შემთხვევაში). ამ პირობიდან გამომდინარე, ზედა ფერდოს დახრილობის კუთხე ვერტიკალთან აიღება  $35^\circ$ , ხოლო ფერდოს კოეფიციენტი  $m = \text{tg} \alpha = 0,7$ . მაგრამ მიმოსვლისათვის თხემის მოწყობით პროფილი ღებულობს ტრაპეციოდალურ ფორმას, რომელიც წარმოშობს ტოლქმედის რაღაც ექსცენტრისიტეტს ფუძის ცენტრის მიმართ; ამის თავიდან ასაცილებლად ქვედა ფერდოს აკეთებენ უფრო დაშრეტს, 1:1-მდე ქანობით, ანდა ტოვებენ იგივე ქანობს 1:0,7,

მავრამ ღერდოს უწყობენ ბერმას. პრაქტიკულად მშრალი წყობის კაშხალებში ზედა და ქვედა ფერდობების კოეფიციენტები აიღება თითქმის თანატოლი, სიღრმით 0.5—0.8 ფარგლებში (ნახ. 12-1 ე).

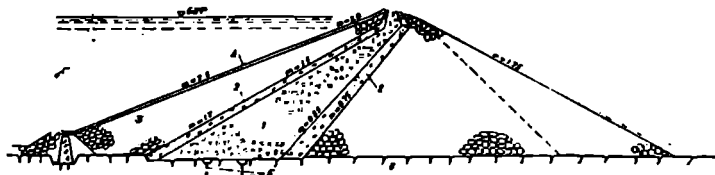
მშრალი წყობის ქვის კაშხალების ასაგებად მოითხოვება კვალიფიცირებული მუშახელის გამოყენება, რადგან ქვის მშრალ წყობას ისე არ უხერხდება მექანიზაცია, როგორც ქვყარილს. მშრალი წყობა ზედმიწევნით კარგად უნდა შესრულდეს ფერდობზე, ამასთანავე წყობის რიგები სასურველია განლაგდეს მათ შორის მუშაობის სტრუქტურის მუშაობის თვალსაზრისით უმჯობესია წყობის ფენები იყოს ჩაზნექილი ფორმის. წყალშეუღწეობის უზრუნველსაყოფად მშრალი წყობის კაშხალებს უკეთდება ხისტი ეკრანი (ბეტონის, რკინაბეტონის ან ფოლადის). იგი ეფინება ეკრანქვეშა წყობაზე, რომელიც, ჩვეულებრივ, სრულდება ხსნარზე: ეკრანქვეშა წყობაში გაითვალისწინება საწრეტების სისტემა, რომელიც შეკრებილ ფილტრაციულ წყალს აწეწის პორიზირებულ გალანტებზე (პორტრანებს), საიდანაც იგი გაიყვანება ქვედა ბიეფში. ამ ტიპის კაშხალების მშენებლობისათვის მოითხოვება კარგი კლდოვანი ფუძეები. თუმცა პრაქტიკაში გვხვდება სხვა შემთხვევებიც. მაგალითად, ტეპუქს-ტეპეის კაშხალი მექანიკაში აგებულია არადამაკმაყოფილებელ ფუძეზე (ბაზალტის ლავეებზე და ტუფებზე), რისთვისაც მას მოუწყვეს საძირკვლის ფილა ცემენტის ხსნარზე.

#### § 12-2. მშრალი და ნახევრად მშრალი კაშხალები

ქვყარილი და ნახევრად ქვყარილი კაშხალები, განსაკუთრებით კი ქვყარილი კაშხალები, წარმოადგენს შემტობრავ ნაგებობათა საკმაოდ გავრცელებულ სახეობებს, რომელთაც აგებენ მიშოსვლის გზებიდან დაშორებულ მდინარეთა სამთო უბნებზე. ქვყარილი კაშხალის ტანის დიდი ნაწილი იგება ქვის ნაყარით (ნახ. 12-1 ა, ბ), ხოლო ნახევრად ქვყარილი კაშხალის ტანის თითქმის მთელი ზედა ნახევარი — მშრალი წყობით, ქვედა ნახევარი — ქვყარილით (ნახ. 12-1 ე). ორივე აღნიშნული ტიპის კაშხალის განიკვეთი წარმოადგენს ტრაპეციას, რომლის ფერდობების დახრილობა დამოკიდებულია ქვის დაწყობის ხასიათზე და იცვლება 1:0,5-დან 1:2-მდე ფარგლებში.

ქვყარილი და ნახევრად ქვყარილი კაშხალები ხასიათდება დიდი ფორიანობით. ამიტომ წყალშეუღწეობის უზრუნველსაყოფად მათში აწყობენ სპეციალურ ზღუდეებს — ეკრანის, დიაფრაგმის ან გულის სახით (ნახ. 12-1 ა, ბ, დ, ე, თ და 12-2).

ქვყარილი კაშხალის ფერდოს დახრა ინიშნება ნაყარის ბუნებრივი დახრილობის კუთხის მიხედვით. ყოველგვარი ფერდო, რომლის დახრილობის კუთხე



ნახ. 12-2. მიშორის (იპონია) ქვყარილი კაშხალი პლატისტოკური ეკრანით: 1—ეკრანი თიხისა და გრანიტის წერილმანის ნარევისაგან; 2—ფილტრი; 3—მთის მასის ნაყარი; 4—გამაგრება მსხვილი ქვით; 5—ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა; 6—ეკრანი პორტრანით და გრანიტისებრი პორტრანები.

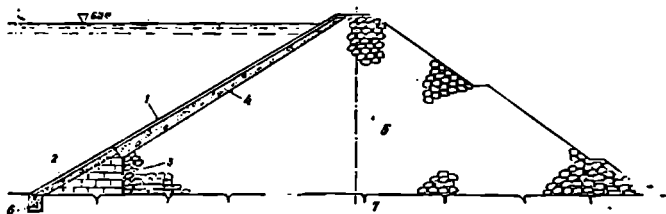
ნაკლებია ნაყარის ბუნებრივი ქანობის კუთხეზე, იქნება მდგრადი, თუ ფუძე საკმაოდ მტკიცეა. ქვაყრილის ბუნებრივი ქანობის კუთხე დამოკიდებულია ქვის ზომებზე, ფორმასა და დაყრის ხერხზე. ქვაყრილი კაშხალის მშენებლობის ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ბუნებრივი ქანობის კუთხე უნდა განისაზღვროს ცდით სამშენებლო მოედანზე და მის შესაბამისად დაინიშნოს კაშხალის ფერდოს ქანობი. წინასწარი დაპროექტების დროს ქანობების დასანიშნავად შეიძლება ვისარგებლოთ პრაქტიკის მონაცემებით (იხ. ნახ. 12-1) ან მათ საფუძველზე შედგენილი გრაფიკებით.

ქვაყრილი კაშხალის ზედა ფერდო შეიძლება შესრულდეს ცვლადი ქანობითაც ისე, რომ წარმოიშვას ჩაზნექილი ხაზი, ქვედა ფერდო კი საშუალო და მაღალი დაწინევის კაშხალებში კეთდება ბერკეტით.

ქვაყრილი და ნახევრად ქვაყრილი კაშხალების თხემის სიგანე ინიშნება მიწის კაშხალების ანალოგიურად: მიაი მინიმალური ზომა აიღება კაშხალის სიმაღლის შესაბამისად. თხემის შექმნა ნშდ-დან ინიშნება წყალსაცავში წყლის მოსალოდნელი დეღის დროს წარმოშობილი ტალღის სიმაღლის ტოლი.

ქვაყრილი, ნახევრად ქვაყრილი და მშრალი წყობის კაშხალები უფრო ნაკლებ პრეტენზიულია ფუძეებისადმი, ვიდრე მასიურ-გრავიტიკული კაშხალები, მაგრამ უფრო მეტი, ვიდრე მიწის კაშხალები. ქვაყრილი კაშხალებისათვის გამოსადეგია კლდოვანი ფუძეების ყოველნაირი სახეობა, ხოლო არაკლდოვანი ფუძეებიდან — ხრეშოვანი გრუნტები (განსაზღვრულ სიმაღლეთა შემთხვევაში), აგრეთვე ფუძეები მსხვილპარცლოვანი ქვიშებით, თიხებით და მკვრივი თიხნარებით. რაც შეეხება წვირლ ქვიშებს, სუსტ თიხებსა და თიხნარებს, ლამიან და ტორფიან გრუნტებს, ისინი გამოუსადეგარი არიან ქვაყრილი და წით უფრო ნახევრად ქვაყრილი და მშრალი წყობის კაშხალების ფუძეებად.

არაკლდოვანი ფუძეების შემთხვევაში ქვის დაყრის დაწყებამდე აუცილებელია ფუძეზე დაიგოს საკმარისი სისქის გარდაპავალი (დამცველი) ფენა ღორღის, კენჭის ან წვრილი ქვისაგან. ასეთი ფენის დანიშნულებაა ფუძის გრუნტის დაცვა დაყრის პროცესში მოსალოდნელი დაზიანებისაგან: მასში მასალა განლაგებული უნდა იქნეს უუფილტრის წესით.



ნახ. 12-3. ურტო-ტოკოს (სსრკ) ქვაყრილი კაშხალი რკინაბეტონის მოქნილი ეკრანით: 1 — 0,40 მ სისქის რკინაბეტონის მოქნილი ეკრანი; 2 — 0,50 მ სისქის რკინაბეტონის ხისტ ეკრანი; 3 — მშრალი წყობა მსხვილი ქვისაგან; 4 — ხრეშის საგები; 5 — ქვაყრილი; 6 — ბეტონის კბილი; 7 — პორფირები.

კაშხალის ქვედა ფერდოს უკან არაკლდოვანი ფუძის გრუნტის მოსალოდნელი ამობურცვის თავიდან აცილების მიზნით იგი უნდა შემოწმდეს სიმტკიცე-

ზე. ნორმალური ძაბვების გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს არაცენტრალური კუმშვის ფორმულით

$$\sigma = \frac{\Sigma N}{F} \left( 1 \pm 6 \frac{e}{b} \right). \quad (12-1)$$

სადაც  $\Sigma N$  არის კაშხალის 1 ვრძ. მ-ზე მოქმედი ვერტიკალური ძალების ჯამი;  
 $F$  — კაშხალის საძირკვლის ფართობი ( $F = b \cdot 1$ );  
 $e$  — ტოლქმედის ექსცენტრისიტეტი.

$$e = \frac{\Sigma M}{\Sigma N}.$$

აქ  $\Sigma M$  კაშხალზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამია ფუძის კვეთის ცენტრის მიმართ.

ფუძის სიმტკიცის (მდგრადობის) უზრუნველსაყოფად დატული უნდა იქნეს პირობა  $\sigma \leq [\sigma]$ , სადაც  $[\sigma]$  ფუძის გრუნტზე დასაშვები ნორმალური ძაბვაა, რომელიც აიღება სათანადო ცხრილიდან ან დადგინდება ექსპერიმენტულად უშუალოდ მშენებლობის ადგილზე.

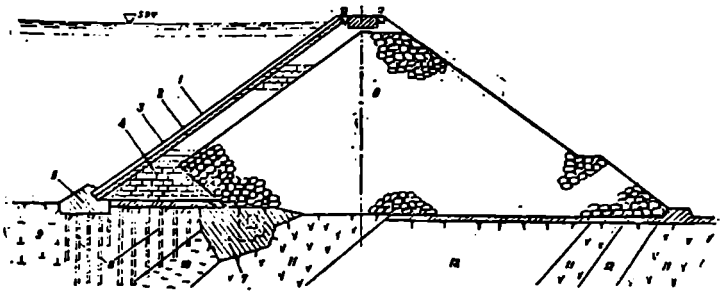
ძვრაზე მდგრადობა შეიძლება შემოწმდეს იმ საერთო მეთოდებით, რომელთაც ჩვენ გავეცანით გრავიტაციული კაშხალების შესწავლის დროს. არასაიმედო მდგრადობის შემთხვევაში ფუძის მდგრადობა შეიძლება გავზარდოთ კაშხალისათვის უფრო დამრეცი ქვედა ფერდობის მოწყობით ან ფერდოს უკან (ქვედა ბიფეში) მონგრეული გრუნტის დაყრით (მიტვირთვით). კაშხალის ტანის ქვაყრილიდან ფილტრაციული წყლის გაყვანის მიზნით მიტვირთვაში უნდა გავითვალისწინოთ საწრეტები.

ქვაყრილი კაშხალების აგების დროს ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოებას, რომ ისინი, მიწის კაშხალების ანალოგიურად, ფუძით გამოწვეული დაჯდომის გარდა ჯდება საკუთარი ტანით, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს ეკრანის მუშაობაზე. კაშხალის ტანის დაჯდომა ხდება ორი მიზეზით: საკუთარი წონისა (ძირითადად მშენებლობის პერიოდში) და ეკრანზე წყლის წნევის მოქმედებითა (ზედა ბიფეის აქების შემდეგ).

კაშხალების დაჯდომაზე დაკვირვებანი გვიჩვენებს, რომ ფარდობითი დაჯდომები მცირდება მამინ, როდესაც გამოყენებულია ქვის დიდი სიმაღლიდან (25—45 მ) ვადმოყრის წესი. ვადმოყრის სიმაღლის დადგენა წარმოებს ქვის სიმტკიცის მიხედვით. ხშირ შემთხვევაში ამ სიმაღლეს უშუალოდ სამშენებლო მოედანზე აღგენენ. გარდა ამისა, მიზანშეწონილია ნაყარის მორწყვა და მშენებლობის ზომიერი ტემპი.

ქვაყრილი და სხვა ტიპის ქვის კაშხალებისათვის კარგ მასალად უნდა ჩათვალოს ქვის ისეთი ქანები, რომელთა დროებითი წინალობა კუმშვაზე ტოლია არანაკლებ 500—700 კგ/სმ<sup>2</sup>; ასეთი ქანებია: ბაზალტები, დიაბაზები, დიორიტები, მტკიცე გამოუფიტავი გრანიტები, ქვიშაქვები და სხვ. უფრო რბილი ქანის ქვები ურთიერთქმედებისას განიცდის ტლევას. რაც იწვევს კაშხალის ტანის ნიშნულზე დაჯდომას. ქვაყრილ კაშხალებში მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს 0.3 მ-მდე მოცულობის ცალკეული ქვები; სიცარიელეთა შესავსებად კი ქვები არანაკლებ 0,02 მ<sup>3</sup> მოცულობისა. უფრო წვრილი ქვის ჩაყრა რეკომენდებული არ არის, რადგან იგი იწვევს კაშხალის წონის გაზრდას.





ნახ. 12-4. ხრამის პიორელსაღგურის ქვაყრილი კაშხალი ფილადის ეკრანით:  
 1 — ფილადის ეკრანი, 2 — ბეტონის საკები; 3 — წყობა სსნარზე; 4 — ეკრანქვეშა  
 მშრალი წყობა; 5 — ბეტონის კბილი; 6 — ქვაყრილი; 7 — ბეტონის კედელი —  
 საკობი; 8 — ცემენტაცია; 9 — ძლენარალოვანი დოღერიტეზი (ბახალტეპი);  
 10 — თხეები; 11 — ნაპარაკიანი ანდეზიტ-ბახალტეზი; 12 — ელქანჯრო ამონა-  
 ვარდნები.

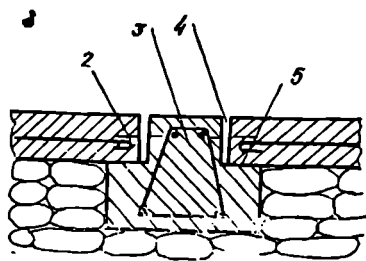
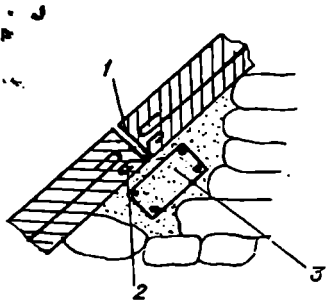
წყალშეუღწევი მოწყობილობანი. ფილტრაციის საწინააღ-  
 მდგომარეობაში კაშხალებში აწყობენ წყალშეუღწევი ზღუდეებს ეკრანის,  
 დიაფრაგმის ან გულის სახით. ეს ზღუდეები უნდა დაუკავშირდეს ფუძის წყალ-  
 შეუღწევი ზონას კბილით, ნარანდით ან სხვა წესით. ჩვეულებრივ, კლდოვანი  
 ფუძეების შემთხვევაში კბილის ქვეშ აწარმოებენ ბზარების ცემენტაციას.

შედარება გვიჩვენებს, რომ ერთნაირი გეომეტრიული ზომების, ნაყარის  
 ნოტულობითი წონისა და ხაზუნის კოეფიციენტის დროს ეკრანიანი ქვაყრილი  
 კაშხალი უფრო მკვარაია, ვიდრე ქვაყრილი კაშხალი ცენტრალური წყალშე-  
 უღწევი ზღუდით. ეს განაგებიცაა, რადგან ეკრანიანი კაშხალებში წონით გამო-  
 წვეული ხაზუნის ძალა იზრდება ეკრანზე მოქმედი წყლის წნევის ვერტიკალუ-  
 რი მდგენელის გავლენით. დიაფრაგმიანი (გულიანი) კაშხალში, გარდა იმისა,  
 რომ ეს მდგენელი არ არსებობს, კაშხალის ზედა ნაწილი (დიაფრაგმამდე) იმყო-  
 ვება შეწონილ მდგომარეობაში და პრაქტიკულად მონაწილეობას არ ღებუ-  
 ლობს კაშხალის ძირისაღმე წინაღობაში. ამიტომ ერთი და იგივე პირობებში  
 ეკრანიანი კაშხალი შეიძლება გავაკეთოთ უფრო ციკაბო ფერდობიანი, ვიდრე  
 დიაფრაგმიანი, მამასაღამე, ეკრანიანი კაშხალის ქვაყრილის მოცულობა იქნება  
 უფრო ნაკლები, ვიდრე დიაფრაგმიანისა.

პლასტიკურეკრანიანი ქვაყრილი კაშხალის მავალითის სახით შეიძლება  
 მიუეთითოთ ზემოხსენებულ მიზორის (იაპონია) კაშხალზე, რომლის სიმაღლეა  
 $H=130$  მ, სიგანე ფუძეში  $B=542$  მ, სიგანე თხეზე  $b=12$  მ და სიგრძე  
 თხემის გასწერივ  $L=426$  მ (ნახ. 12-2).

პლასტიკური ეკრანებისათვის იყენებენ თიხას, თიხნარს და ბიტუმის შენა-  
 ზავებს. პლასტიკური მასალებისაღან შესრულებული ეკრანები ეუფლება სა-  
 კირო მოქნილობას. განსახილველი ტიპისა და ქვის სხვა ტიპის კაშხალებში გა-  
 მოყენებას პოულობს აგრეთვე ხისტი ეკრანები — ბეტონის, რკინაბეტონის,  
 ტორკრეტის, ლითონისა და ხის. იმისათვის, რომ ხისტ ეკრანებს მიეცეს სათა-  
 ნადო მოქნილობა, საკიროა გათვალისწინებულ იქნეს შესაბამისი ღონისძიებანი.

ბეტონისა და რკინაბეტონის ეკრანები სამი ტიპისაა:



ნახ. 12-5. ბეტონისა და რკინაბეტონის ხისტი და ნახევრად ხისტი ეკრანების კონსტრუქციული დეტალები: ა — დაჯდომის პორიზონტალური ნაქერის კვანძი; ბ — ფერდოს ვასწვრივ მიმართული ტემპერატურული ნაქერები: 1 — დაჯდომის ნაქერი; ფუცარი,  $b = 2.5$  სმ; 2 — სპილენძის ფურცელი; 3 — საყრდენი კოჭი; 4 — დახრილი ტემპერატურული ნაქერი; 5 — გაფისული ქეჩა.

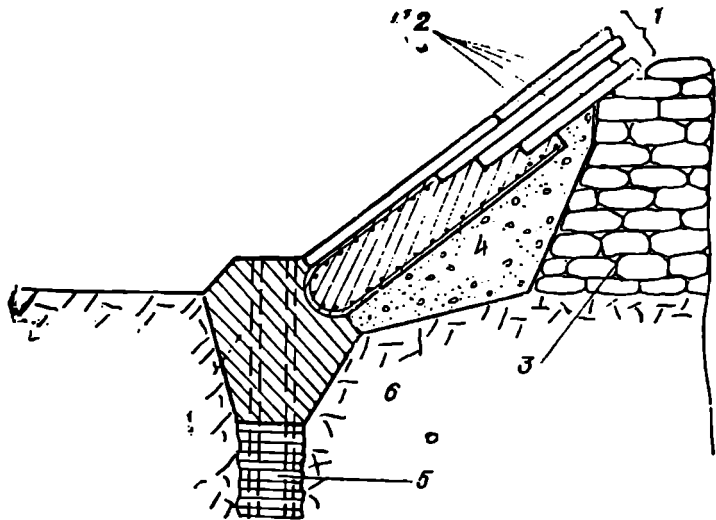
ა) მონოლითური ხისტი ეკრანები, რომელთაც უნარი შესწევთ მიიღონ ტემპერატურული დეფორმაციები მათი ფილტრაციის საწინააღმდეგო თვისებების დაუარღვევლად; ბ) ნახევრად ხისტი სრილა ეკრანები, რომელთაც შეუძლიათ მიიღონ როგორც ტემპერატურული, ისე ნაწილობრივ დაჯდომის დეფორმაციები (ნახ. 12-5); გ) მოქნილი ანუ ფენოვანი ეკრანები, რომელთაც უნარი შესწევთ მიიღონ ქვეყრილი კაშხალის მნიშვნელოვანი დაჯდომის დეფორმაციები ნახ. 12-6. ასეთი ეკრანითაა განხორციელებული, მაგალითად, სსრ კავშირში ურტო-ტოკოს კაშხალი (ნახ. 12-3).

ტორკრეტის ეკრანები წარმოადგენს ეკრანქვეშა წყობაზე დატანილ 10-12 სმ სისქის ტორკრეტის ფენას, რომლის სისქის შუაზე მოთავსებულია არმატურის ბადე. ასეთი ეკრანები ხასიათდება დიდი სიმკვრივით და წყალშეუღწევობით, შესრულების სისწრაფით და სიმარტივით, მაგრამ ისინი მგრძნობიარეა კაშხალის დეფორმაციებისადმი. ამიტომ მათი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ მცირე სიმაღლის კაშხალებში, როდესაც ამასთანავე მათი ფუძეები საიმედოა.

ფოლადის ეკრანები ხასიათდება დიდი მოქნილობით, მაგრამ მათი ნაკლია სადაწნეო ზედაპირის შესაძლო კოროზია. გათვალისწინებული უნდა იქნეს, რომ ამ ზედაპირის შეღებვის განახლება წყლის ქვეშ შეუძლებელია, ხოლო ეკრანებისათვის უეზნავი ფოლადის გამოყენება არაეკონომიურია. საბჭოთა კავშირში ფოლადის ეკრანი გამოყენებულია ჭერჭერობით მხოლოდ ხრამქს I ქვეყრილი კაშხალისათვის (ნახ. 12-4).

ხის ეკრანები გამოირჩევა საკმარისი მოქნილობით, წყალშეუღწევობით და სიიფით, მაგრამ მათი ნაკლია მოსალოდნელი ლპობა მის ზედა ნაწილში (ზედა ბიეფის დონის რყევის საზღვრებში). ხის ეკრანები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც დროებითი კონსტრუქციები.

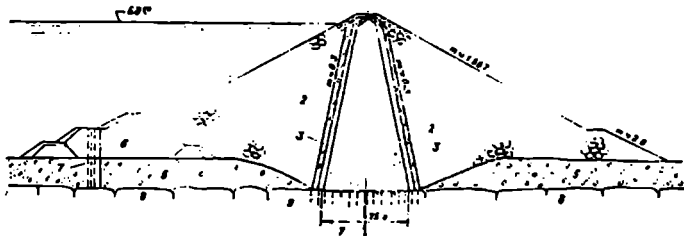
როგორც აღვნიშნეთ, ცენტრალურდიაფრაგმიანი კაშხალები ძვრახე მდგრადობისა და ქვის ხარჯის თვალსაზრისით არახელსაყრელია; გარდა ამისა, მუშაობაში მათ გამოავლინეს მნიშვნელოვანი ნაკლი იმ თვალსაზრისით, რომ განიცდიან ღუნვას და ჰრას, ხოლო ამის შედეგად გადაადგილებას ქვედა ბიეფი-



ნახ. 12-6. რკინაბეტონის შოქნილი (ფენოვანი) ეკრანის საყრდენი კვანძი: 1 — რკინაბეტონის ფილები; 2 — ბიტუმი; 3 — ეკრანქვეშა წყობა; 4 — ხრეშის საგებო; 5 — ცემენტაცია; 6 — კლდე.

საენ. ცხადია, დიაფრაგმის ღუნვის დეფორმაციას თან სდევს ბზარების წარმოშობა მასში, რაც დაუშვებელია. ყველა ამ ნაკლოვანმა მხარეებმა განაპირობა დიაფრაგმიანი კაშხალების მშენებლობის თითქმის შეწყვეტა.

ექსპლუატაციაში გარკვეული ღირსებებით ხასიათდება ქვაყრილი კაშხალები პლასტიკური დიაფრაგმით (გულით), რადგან თიხისა და თიხა-ბეტონის გული არამგრძობიარება კაშხალის დეფორმაციებისადმი. ასეთი კაშხალები განსაკუთრებით ხელსაყრელია ჩრდილოეთის რაიონებისათვის, აგრეთვე იმ რაიონებისათვის, რომლებიც ხასიათდებიან დიდი რაოდენობის ატმოსფერული



ნახ. 12-7. ქებანის (თურქეთი) ქვაყრილი კაშხალი პლასტიკური გულით: 1 — თიხის გული; 2 — ქვიშისაგან დამზადებული ფილტრის პირველი ფენა; 3 — ფილტრის მეორე ფენა ქვიშა-ხრეშოვანი ნარევისაგან; 4 — შთის მასის ყრილი; 5 — ალკეიები; 6 — ზედა ზღუდარი; 7 — ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა; 8 — მეტაწორთიხეული კირქვები; 9 — ფართობრივი ცემენტაცია.

ნალექებით და თიხაზე მუშაობის მრავალ სეზონით. ამ ტიპის კაშხალებმა საკმაოდ ფართო გავრცელება პოვეს მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. 12-7 ნახაზზე ნაჩვენებია ამჟამად ევროპაში ყველაზე მაღალი ( $H=203$  მ) ქებანის (თურქეთი) უახლესი ქვაყრილი კაშხალი პლასტიკური გულით.

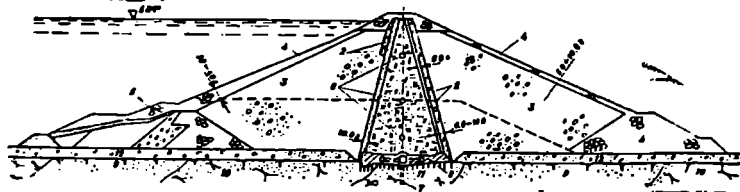
### § 12-4. შვა-მიწის კაშხალბაი

ამ უქანასკნელ დროს კაშხალბმშენებლობის პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელდა ევრეთ წოდებული ქვა-მიწის კაშხალები პლასტიკური გულით ან ეკრანით. თითქმის მთლიანად ამ კაშხალებს მიეძღვნა VIII საერთაშორისო კონგრესი მაღალი კაშხალებსა, რომელიც 1964 წელს გაიჭარა ედინბურგში.

ქვა-მიწის კაშხალები ჩამუნენადმე უფრო ნაკლებად მომთხოვნელია ფუძისადმი, ვიდრე ქვაყრილი კაშხალები, ამიტომ ისინი შეიძლება ავაგოთ უფრო კუმშვად გრუნტებზე და ქანებზე. ამ კაშხალებს მაშინ აგებენ, თუ ადგილზე მოიპოვება საკმარის რაოდენობის ქვა და წყალშეუღწევი გრუნტები გულის ან ეკრანის მოსაწყობად, აგრეთვე ისეთი გრუნტი, რომელიც გამოსადეგია კაშხალის ტანში ეკრანის ან გულის ახლოს გარდამავალი ზონების შესაქმნელად. დღეისათვის მსოფლიოში უკვე აგებულია 40-ზე მეტი მაღალი ქვა-მიწის კაშხალი რომელთა თითქმის ნახევარი პლასტიკურგულიანია, ხოლო დანარჩენი — პლასტიკურეკრანინი.

ამ კაშხალების ფერდობები საერთოდ უფრო დამრეცია, ვიდრე ქვაყრილი კაშხალებისა. პლასტიკურეკრანინი კაშხალის სადაწნეო ფერდოს, ჩვეულებრივ, აქვს ქვედებული 1:2,2—1:2,5, ხოლო ზოგჯერ 1:3; ვერტიკალურ გულიან კაშხალებს — 1:1,75—1:2,25, მაგრამ ზოგიერთ კაშხალს აქვს ქვედებული 1:2,5—1,3. ეკრანინი კაშხალების ქვედა ფერდობს აქვთ ქვედებული 1:1,3-დან 1,75-მდე, ხოლო ვერტიკალური გულის შემთხვევაში ქვედა პრიზმის მხრივ დიდი ბრჯენის შესაქმნელად ფერდოს აკეთებენ უფრო დამრეცს — 1:1,75—1:2,0, ზოგჯერ 1:2,5.

ქვაყრილი კაშხალების ფერდობის ქანობების წინასწარ დასანიშნავად შეიძლება ვისარგებლოთ გრაფიკით, რომელიც აგებულია აშენებული და დაპროექტებული კაშხალების მონაცემების მიხედვით.<sup>2</sup>



ნახ. 12-8. ნურეის ქვა-მიწის კაშხალი: 1 — გული საფედობის ქვიშნარისაგან; 2 — ფილტრები ( $d=0-5$  მ;  $d=0-50$  მ); 3 — საბრჯენი პრიზმები ექნნარისაგან; 4 — ფერდობის მოტვირთვა და საბრჯენი ბანკეტი მოტეხილი ქვისაგან; 5 — ზედა სამშენებლო ზღუდარი; 6 — სათვალურებელი გალერები; 7 — ფილტრაციის საწინააღმდეგო ფარდა; 8 — ბეტონის საკობი; 9 — ქვიშაქვები; 10 — ქვიშაქვები და ალევრიტები; 11 — ალევრიტები; 12 — ალევონი.

<sup>1</sup> М. М. Гришчи, Каменнонабросные (каменно-земляные) плотины, «Гидротехническое строительство», № 7, 1965.

<sup>2</sup> В. П. Поспелов, Заложение откосов высоких каменно-земляных плотин, Труды МИСИ, Гидротехнические сооружения, сб. 29, 1959.

ფილტრაციის საწინააღმდეგო ზღუდეს ირჩევენ მისი მოსალოდნელი და-  
ჯდომის, კაშხალის ასაგებად არსებული მასალების, საპუშოთა წარმოების, ექს-  
პლუატაციის. პირობების და ყრილში მოსალოდნელი ფოროენული წნევის  
გათვალისწინებით.

ეკრანიანი და დაბრილგულიანი კაშხალები ხასიათდება ერთგვარი უპირა-  
ტესობით, რომლის შესახებ ზეპოთ გვერდნდა საუბარი. მაგრამ ვერტიკალურ-  
გულიანი კაშხალი შეიძლება უფრო ეკონომიური აღმოჩნდეს, ვიდრე ეკრანიანი,  
რადგან გული საჭიროებს უფრო მცირე მოცულობის მასალას. გარდა ამისა,  
ასეთი კაშხალი ნაკლებად მგრძობიარეა ნაყარის არათანაბარი დაჯდომები-  
სადმი, ე. ი. ნაკლებად პრეტენზიულია ფუძისა და ნაყარის ხარისხისადმი. ვერ-  
ტიკალურგულიანი კაშხალები უკეთესად უზრუნველყოფს ხეობის ციკაბო  
კალთებთან შეერთებას.

უქანასქელი 10—15 წლის მანძილზე აშენდა 100 მ-ზე მეტი სიმაღლის  
ქვა-შიწის და ქვაყრილი კაშხალები ვერტიკალური პლასტიკური გულით, მათ  
შორის: ფერანსის (ბრაზილია) — 120 მ, დერაბენდი ქხანის (ერაყი) — 135 მ.  
გეპატრის (ავსტრია) — 150 მ, ქებანის (თურქეთი) — 203 მ (ნახ. 12-7) და სხვ.  
მთავრდება უნიკალური სიმაღლის ნურევის (ტაჯიკეთის სსრ) ქვა-შიწის  
კაშხალის მშენებლობა მდ. ვახშე — 300 მ (ნახ. 12-8).

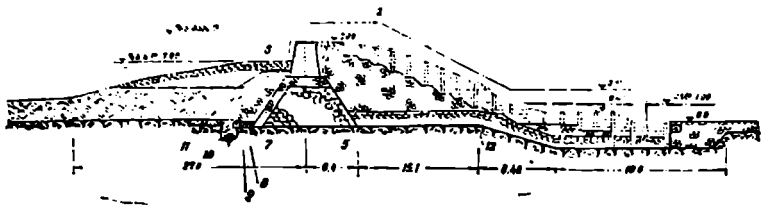
ამავე წლებში აიგო პლასტიკურეკრანიანი შრავალი ქვა-შიწისა და ქვა-  
ყრილი კაშხალი, მათ შორის: ზემოთ ხსენებული მიბოროს (იაპონია) — 130 მ  
(ნახ. 12-2), ტრანსლეტის (შეეცია, 1960) — 122 მ, ბრაუნლის (აშშ, 1959) —  
94,6 მ, ბინგ-ს (ფილიპინები, 1959) — 103, მ, ვილუის (სსრკ, 1968) — 74,5 მ.  
ირიკლინის (სსრკ) მდ. ურალზე და სხვა კაშხალები.

ქვა-შიწის კაშხალებს აგებენ აგრეთვე სხვადასხვა მასალის გამოყენებით:  
ასეთი კაშხალები იპოთ განსხვავდება ზემოთ აღწერილ პლასტიკურეკრანიან  
და გულიან კაშხალებისაგან, რომ გარდა ქვაყრილისა მათ შემადგენლობაში  
შედის მნიშვნელოვანი რაოდენობის მიწოვანი მასალები, მაგალითად: ქვიშა,  
ქვიშნარი, თიხნარები, ხრუში, კენჭი, გამოტანის კონუსების ნალექები და სხვ. ეს  
კაშხალები ძალიან ეკონომიურია იმ შემთხვევაში, როდესაც მათ ტანში გამო-  
იყენება ჰიდროკვანძის სხვა ნაგებობათა ქვეშ არსებული ქრილების ყველა  
გრუნტი. ამ მასალების განლაგებას კაშხალის ტანში აწარმოებენ ან უკუფილტ-  
რის წესით, ანდა ცენტრალური წყალშეუღწევადი ნაწილის წარმოქმნით.

#### § 12-2. წაალსაშევი და მფილტრავი ქვაყრილი კაშხალები

როგორც წესი, ქვაყრილ და ქვა-შიწის კაშხალებს აგებენ ყრუს, თუმცა  
მცირე დაწნეებისათვის ქვაყრილ წყალსაშევი კაშხალებს აგებდნენ დიდი ხნის  
წინადაც (მაგალითად, ინდური ტიპისას). მათ ჰქონდათ გალასტული პროფი-  
ლი, ამასთანავე ზედა ფერდოს ქვედებული შეადგენდა 1:8—1:12, ხოლო ქვე-  
და ფერდოსი — 1:2—1:3.

პროფ. ნ. პუზირევსკიმ წამოაყენა წინადადება იმის შესახებ, რომ ასეთი  
კაშხალის წყალსაშევი ფერდო გამაგრდეს და ამით შემცირდეს ქვაყრილის  
მოცულობა. ამ იდეის მიხედვით ალტაის ერთ-ერთ მდინარეზე აიგო 10 მ სი-  
მაღლის ტიშინსკის ქვაყრილი წყალსაშევი კაშხალი (ნახ. 12-9), რომლის ქვედა  
ნაწილში ქვაყრილი გამაგრებულია წყალშეუღწევადი შეფიცრული კარკასით.



ნახ. 12-9. ტიშისწყის წყალსაშენები კაშხალი: 1 — ყორებეტონი; 2 — ბურჯი; 3 — ფიცარ-ფენილი; 4 — ძელორე; 5 — შრალი წყობა მოტეხილი ქვისაგან; 6 — წყობა ხაესზე; 7 — წყობა ცემენტის ხსნარზე, 8 — რკინაბეტონი; ასფალტბეტონი; 9 — უკუფილტრი; 10 — კბილი; 11 — ბეტონის ფილები; 12 — კაქარებიანი ქვიშა.

ამ კაშხალში გადასადგები წყალი ტარდება არა მარტო ქვედა ფერდოს ზედაპირით. არამედ აგრეთვე ქვაყრილის ტანშიც. ნაწილობრივი რეკონსტრუქციის შემდეგ (1938 წ.) კაშხალი კარგად მუშაობს, ატარებს 3—4 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯს წყალსაშენების 1 გრძ. მ-ზე.

ასეთი ტიპის კაშხალის ძირითადი ნაკლია ქვაყრილის ზედა ფენების გამოგნესვა წყალდიდობის გატარების შემდეგ. რაც ამცირებს ქვაყრილის შთანქმის უნარიანობას და მის, როგორც ენერჯის ჩაქრობის, მნიშვნელობას. არადაამაყმაყოფილებელია აგრეთვე საშენებლო მასალების შეხანება (ხისა და ქვია), რომელთაც აქვთ სამსახურის სხვადასხვა ედები.

3. გორდიენკოს მიერ ჩატარებულმა ფართო ლაბორატორიულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ მიწისა და ქვაყრილი კაშხალის თხემზე წყლის გადაღინება მანამდე არ არის საშიში, სანამ მისი ხვედრიანი ხარჯი არ მიაღწევს რალაც კრიტიკულ მნიშვნელობას (9.8), რომელიც დამოკიდებულია ქვების დიამეტრზე, წყალსაშენები ფერდოს ქანობზე და ქვედა ბიეფში წყლის სიღრმეზე: მისი მნიშვნელობა პრაქტიკულად არ აღემატება 2,25—3 მ<sup>3</sup>/წმ წყალსაშენების ერთ გრძ. მ-ზე.

კრიტიკული ხარჯის გასაზრდელად მოითხოვება კაშხალის წყალსაშენები ფერდოს შესაბამისი გამაგრება. ამ მიზნით გამჭოლი ფარების ან ძელორების გამოყენება საშუალებას იძლევა წყლის ხვედრითი ხარჯი გავზარდოთ 15 მ<sup>3</sup>/წმ-მდე.

10 მ-მდე სიმაღლის ქვა-მიწის წყალსაშენები კაშხალების გაუმჯობესებულ ტიპები კლდოვანი და მკერივი არაკლდოვანი ფუძეებისათვის დამუშავებული აქვს პ. ბელიაშევსკის. მისი წინადადებით მდ. უშიცაზე (უკრაინის სსრ) ალუვიალურ დანალექებზე აიგო მინკოვეციის ჰესის წყალსაშენები ქვაყრილი კაშხალი. ამ ტიპის კაშხალის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ ყინულისა და წყლის მოქმედებით ქვაყრილის მოსალოდნელი დანგრევისაგან დაცვის მიზნით კაშხალის თხემს აკეთებენ უვაკუუმო პროფილის მასიური ბეტონის სათავისის სახით, ხოლო კაშხალის დახრილ წყალსაშენებ ნაწილს აპირკეთებენ 0,4—0,6 მ სისქის ბეტონის ფილებით, რომელთაც ერთმანეთთან აკავშირებენ 5—20 მმ დიამეტრის მქონე მეჩხერი კონსტრუქციული არმატურით. კაშხალის წყალსაშენები უბანი ბოლოვდება ბეტონის ან ყორებეტონის საბრკენი ბლოკით.

ადგილობრივი მასალების გამოყენების გამო ასეთი წყალსაშვები კაშხალების ღირებულება 20—50%-ით უფრო ნაკლებია სხვა ტიპის წყალსაშვებ კაშხალებთან შედარებით.

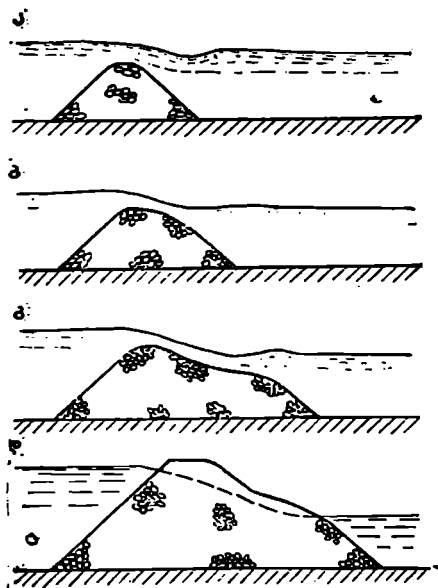
ქვის ნაყარი მიმდინარე წყალში ამჟამად კაშხალების ასაგებად, ზღუდარებისა და ბანკეტების მოსაწყობად, აგრეთვე განაკადების გადასაღობად ფართოდ გამოიყენება უშუალოდ მიმდინარე წყალში ქვის ჩაყრის მეთოდი. ამ მიმართულებით დიდი გამოკვლევები აქვს ჩატარებული ს. იზბაშ<sup>1</sup>, რომლის ლაბორატორიული მონაცემების თანახმად ქვის ნაყარის პროფილის ფორმა იცვლება გარკვეული თანამიმდევრობით. დასაწყისში წყალში ჩაყრილი ქვა წარმოქმნის სამკუთხოვან პროფილს, რომლის ფერდოების ქანობი ახლო-

საა 1:1-თან (ნახ. 12-10 ა), შემდეგ ქვედა ფერდო ღებულობს დიდ დამრეცობას და პროფილი უახლოვდება ტრაპეციას (ნახ. 12-10 ბ). შემდგომში ვარდნილი მატულობს და ნაკადის თანდათან მზარდი სიჩქარის გავლენით წარმოებს ქვების დაგროვება, რის შედეგად ქვედა ფერდო კიდევ უფრო დამრეცი ხდება და ღებულობს სწრაფდენის ფორმას (ნახ. 12-10 გ). გვერდითი წყალსაგდების მუშაობისას ქვაყრილზე გადაღინებული ხარჭის შემციობების შედეგად ნაკადის სიჩქარეებიც მცირდება, ქვედა ფერდო უფრო ციკაბო ხდება, ქვის ნაყარი სიმაღლეზე იზრდება უფრო ინტენსიურად და იგი ამოდის წყლიდან (ნახ. 12-10 დ).

ნაყარის სხვადასხვა სტადიის გასაანგარიშებლად უნდა გაეთვალისწინოთ, რომ ქვედა ფერდოს ზედაპირზე ქვა მანამდე იქნება წონასწორობაში, სანამ გადაღინებული ნაკადის პიღროდინამიკური წნევა არ გახდება ქვის წინაღობის ძალაზე უფრო მეტი. იმ სიჩქარის სიდიდე, რომლის დროს ქვები იწყებს ძვრას, განისაზღვრება ს. იზბაშის ფორმულით:

$$v = A \sqrt{2g \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma} \sqrt{D \cos \alpha}}, \quad (12-2)$$

სადაც  $A$  არის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება 0,86 ტოლი, როდესაც ქვის



ნახ. 12-10. მიმდინარე წყალში ქვაყრილი კაშხალის აგების სქემა.

<sup>1</sup> С. В. Избаш, Х. Е. Халдре, Гидравлика перекрытия русел рек. Госэнергоиздат, М., 1959.

ვადადგილება წარმოებს დაახლოებით ჰორიზონტალური სიბრტყით, ხოლო 1,2 ტოლი, როდესაც წარმოებს ნაყარის ქვედა ფერდოს ზედაპირზე მოთავსებული ქვების ძვრა;

ყი და ყ — ქვისა და წყლის მოცულობითი წონები;

ა — ნაყარის ქვედა ფერდოს დახრილობის კუთხე ჰორიზონტთან.

თუ დავეშვებით ნაკადის სიჩქარეს, მაშინ მოყვანილი (12—2) ფორმულით შეიძლება მიახლოებით განისაზღვროს ქვის ზომა.

იმისათვის, რომ შევამციროთ ფილტრაცია მიმდინარე წყალში ქვის ჩაყრით აგებულ კაშხალის ტანში, საჭიროა მის ზედა ფერდოზე ჭერ მოეწყოს უკუ-ფილტრი, ხოლო შემდეგ მოილექოს თიხის ეკრანი და დამცველი ფენა ღორისა და წვრილი ქვისაგან.

ქვაყრილ და ქვა-ამიწის კაშხალებს გრავიტაციულ და რკინაბეტონის კაშხალებთან შედარებით ახასიათებთ შემდეგი უპირატესობანი:

1) ადგილობრივი მასალების მაქსიმალური გამოყენების შესაძლებლობა, რაც ხშირად მნიშვნელოვნად ამცირებს მშენებლობის ღირებულებას;

2) კაშხალის აგების შესაძლებლობა წლის მთელი პერიოდის განმავლობაში ფართო მექანიზაციის გამოყენებით;

3) ცალკეულ შემთხვევებში კაშხალის აგების შესაძლებლობა უზღულდარებოდ, უშუალოდ მიმდინარე წყალში ქვის ჩაყრის გზით;

4) საბუშოთა წარმოების დროს კაშხალის ტანში წყლის გატარების შესაძლებლობა;

5) ფუძეებისადმი ნაკლები სიმკაცრის მოთხოვნილება.

## § 12-8. ხსპა ტიპის კაშხალები

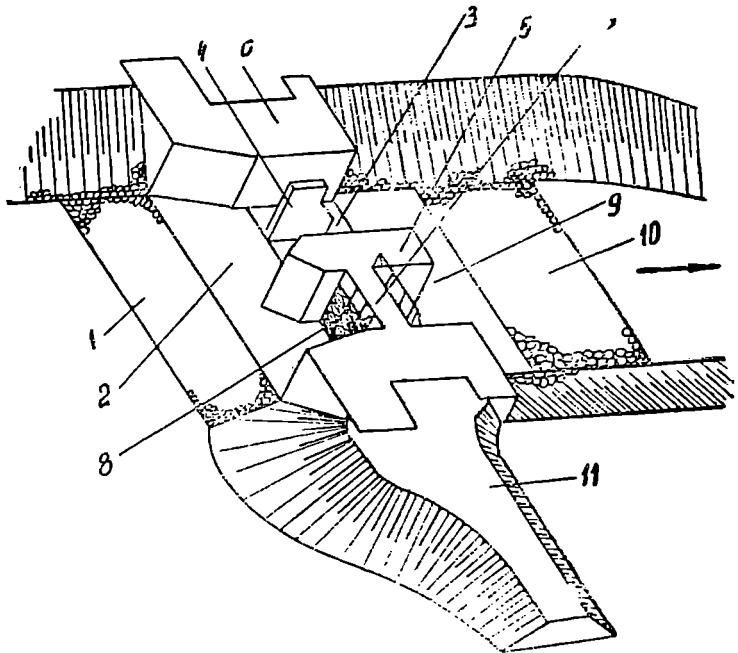
### 1. ხის კაშხალები

ხის კაშხალები წარმოადგენს ისეთ შემტბორავ ნაგებობებს, რომელთა ასაგებად ძირითად მასალად გამოიყენება ხე. ამ ტიპის კაშხალებს უმთავრესად აგებდნენ ხე-ტყით მდიდარ ქვეყნებში, კერძოდ, ამ მხრივ საყურადღებოა ხის კაშხალების მშენებლობის გამოცდილება რუსეთში, სადაც შეიქმნა ხის კაშხალების ორიგინალური რუსული ტიპები.

ხის კაშხალები (ნახ. 12-11) მიეკუთვნება წყალსაწვევ კაშხალებს, მაგრამ მათი გამოყენება შეიძლება აგრეთვე პატარა წყალსაცავების შესაქმნელადაც. მათ აგებენ თითქმის ყოველთვის წყალსაშვებს, საკეტებით ან უსაკეტებოდ; ყველაზე უფრო გავრცელებულია საკეტებიანი წყალსაწვევი კაშხალები, რომლებიც ქმნიან 5—6 მ-მდე დაწნევას. 12 მ-ზე მეტი სიმაღლის მრავალი ხის კაშხალი იქნა აგებული თეთრი ზღვა-ბალტიის არხზე.

ხის კაშხალის ძირითადი ნაწილებია: 1) ფლუტბეტი, რომლის შედგენილობაში შედის ძირული, წყალსაცევი და რისბერმა; 2) სანაპირო ბურჯები; 3) ბურჯები; 4) კონტრფორსები (ან საყრდენი ფერმები) და დგარები; 5) საკეტები და აპწეები; 6) ზიდები. ცალკეულ შემთხვევაში ამ ნაწილებიდან ზოგიერთი, მაგალითად, ბურჯები, კონტრფორსები, დგარები ან საკეტები კაშხალს შეიძლება არ ექნეს.





ნახ. 12-11. ხის წყალსაშვები კაშხალის საერთო ხედი: 1 — ძირულისწინა ბალაში (თახის); 2 — ძირული; 3 — წყალსაცემი; 4 — კონტრფორსი; 5 — ბურჯი; 6 — სანაპირო ბურჯი; 7 — ხილი; 8 — ღვარები და საკეტები; 9 — წყლის გადასასვლები; 10 — რისბერმა; 11 — მოწის ჯებირი.

ხის კაშხალების უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი კონსტრუქცია მარტივია, ადვილია ცალკეული დეტალების დამუშავება, მცირე გავლენას ახდენს ტემპერატურული ცვლებადობა, დასაშვებს ხდის სტანდარტული ელემენტების ქარხნული წესით დამზადებას, დაბოლოს, ჯდება შედარებით იაფი; მაგრამ აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მათ ახასიათებთ არახანგამძლეობა (15—20 წელი), განსაკუთრებით მათი წყალზედა ნაწილებისა, რომლებიც იმყოფება ცვლებადი ტენიანობის პირობებში. მერქნის ნაადრევი ლაობის ასაცდენად და მისი სამსახურის ვადის გასახანგრძლივებლად (25—30 წ-მდე) ხეს უღენთავენ ანტისეპტივებით.

ხის კაშხალების მოსაწყობად ფართოდ გამოიყენება ფიჭვი, რომელიც ადვილად დასამუშავებელია და ამასთანავე ლაობისადმი მედეგი. რბილწიფვიანაც მედეგია ლაობისადმი, მაგრამ ძნელად დასამუშავებელია. ნაძვი ადვილად ლბება, ამიტომ იგი უნდა გამოვიყენოთ კაშხალის ზედა ნაწილებში. მუხა ძალიან მტკიცე და ლაობისადმი მედეგი ჭიშია, მაგრამ სიძვირის გამო, აგრეთვე იმასთან დაკავშირებით, რომ იგი ძნელად დასამუშავებელია, მას იყენებენ მხოლოდ ნაგებობათა განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო ნაწილებში.

ხის კაშხალებში გამოსაყენებელი მრგვალი და დახერხილი ხის მასალა უნდა აკმაყოფილებდეს სახელმწიფო სტანდარტის მოთხოვნილებებს.

ჩვეულებრივ ხის კაშხალები იყოფა შემდეგი ძირითადი ნიშნების მიხედვით:

- 1) ქვედა ბიეფში წყლის გატარების ხერხის,
- 2) ფლუტბეტის კონსტრუქციისა და
- 3) ფლუტბეტზევითი ნაწილების მიხედვით.

წყლის გატარების ხერხის მიხედვით განასხვავებენ: ფარებიან კაშხალებს, რომელთა ფლუტბეტზე მოწყობილია საკეტები, და წყალსაშვებ კაშხალებს, რომელთა თხემზე საკეტები არ არის მოწყობილი.

ფლუტბეტის კონსტრუქციის მიხედვით — კაშხალებს ხიმიწერი ფლუტბეტებით, ძელყორული ფლუტბეტებით და ხიმიწურ-ძელყორული ფლუტბეტებით.

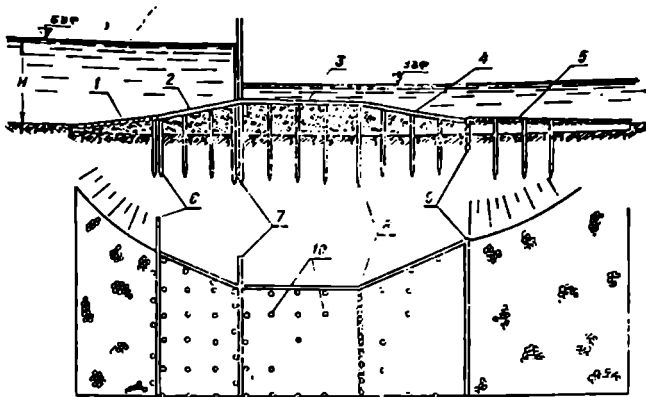
ფლუტბეტზევითი ნაწილების მიხედვით განასხვავებენ ხიმიწურ, ანუ დგარულ-მოფიცრულ, ძელყორულ და კონტროლურულ კაშხალებს.

დაწნევის შესაბამისად ხის კაშხალის წყალსაშვებ ფრონტს ბურჯებით ყოფენ 4—8 მ სიგანის მალეზად; განაპირა მალეზი შემოსისაზღვრება სანაპირო ბურჯებით; თითოეულ მალეზი დამატებით დგამენ შუალედურ დგარებს, რომელთა შორის მანძილები აიღება 0,8—1,5 მ-ის ტოლი; საკეტების მოსათავსებლად დგარებში ამოღებულია კილოები. ყინულის ან სხვა მტურავი სხეულების გატარების მიზნით დგარებს აკეთებენ მოსახსნელს. თუ დაწნევა აღემატება 2,5—3 მ-ს, მაშინ დგარებს უყენებენ მისაბრჯენ ირიბნებს.

ხიმიწერი ფლუტბეტის, ანუ ზღურბლის, მოწყობის დროს ფუძის გრუნტში ასობენ მრგვალ ხიმიწებს 3—6 მ-ის სიღრმეზე; მათ შორის მანძილები აიღება 1,5—2,5 მ-მდე. ხიმიწების გარდა ფუძის გრუნტში ასობენ ნარანდების ორ რიგს: პირველს ძირულის დასაწყისში, ხოლო მეორეს — საკეტების განლაგების ხაზის გასწვრივ. ნარანდების ეს მეორე რიგი წარმოადგენს ძირითადს და უწოდებენ „მეფე“ ნარანდს (ნახ. 12-12). თუ კაშხალის ფუძე წარმოდგენილია მცირეწყალმელწევადი გრუნტებით, მაშინ კმაყოფილებიან მხოლოდ ერთი მეფე-ნარანდის რიგით.

როდესაც გრუნტის ხასიათის გამო ხიმიწების ჩასობა შეუძლებელია, მაშინ ფლუტბეტის მოსაწყობად იყენებენ ძელყორს, რომელიც წარმოადგენს ხის მორების ურთიერთქობით შედგენილ და ქვითა და შიწით ავსებულ უჯრედებს. ძელყორს მაშინაც იყენებენ, როდესაც ზღურბლის სიმაღლე აღემატება 1—1,5 მ-ს. ამასთანავე, თუ გრუნტში ხიმიწის ჩასობა შესაძლებელია, მაშინ ჩასობის შემდეგ მათ ჰკრიან კალაბოტის ფსკერის ნიშნულზე და ზემოდან ათავსებენ ძელყორის უჯრედებს. ასეთ ზღურბლებს ხიმიწურ-ძელყორულ ზღურბლებს (ფლუტბეტებს) უწოდებენ.

ხის წყალსაშვები კაშხალები, რომელთა ზღურბლის სიმაღლე აღემატება 5—6 მ-ს, შეიძლება მოეწყოს მხოლოდ ძელყორული. 12-13 ნახაზზე ნაჩვენებია რუსული ტიპის ძელყორული კაშხალი, რომელიც შედგენილია ვერტიკალური ძელყორებით და ხიმიწურ-ძელყორული ფლუტბეტით. ძელყორული კაშხალები წყლის წნევისაგან გამოწვეულ მძვრელ ძალებს წინაღობას უწევენ უპირატესად საკუთარი წონით, აგრეთვე ფუძის გრუნტში ჩასობილი ხიმიწებისა



ნახ. 12-12. შემაღლებულზღურბლიანი ხიმიწყური ფლებები: 1—თიხის ბალიში; 2—თიხის ძირული; 3—წყალსაყეში; 4—წყლის გაღასაყეები; 5—რისბერმა; 6—ძირულის ნარანდი; 7—მეფე ნარანდი; 8—წყალსაყეში ნარანდი ანუ ხიმიწყური მესერი; 9—ხის ლობე; 10—ხიმიწყები.

და ნარანდების მეშვეობით. სხვა ტიპის ხის კაშხალებთან შედარებით ძეღყო-რული კაშხალების უპირატესობაა: სამუშაოთა წარმოების სიძირტივე, საიმედო-ობა და დიდი ხანგამძლეობა.

თეთრი ზღვა-ბალტიის არხზე აგებულია ხის კაშხალები დახრილი ძეღყო-რებით, რომელთა კონსტრუქცია პირველად შემუშავებულ იქნა სსრ კავშირში. ერთი ასეთი კაშხალის (მავანის წყალსაყეები კაშხალის) სიმაღლე აღწევს 12,9 მ-ს (ნახ. 12-14).

ხის კაშხალების ძირულის ნაწილი წარმოადგენს თიხის ან თიხნარის ბალიშს ხრეშის ან მსხვილი ქვიშის დანამატით, რომელიც ზემოდან დაფარულია ორფენიანი იატაკით. იატაკის ფიცრებს აკედებენ ხიმიწყების ნაცმებზე ან ძეღყორის მორებზე.

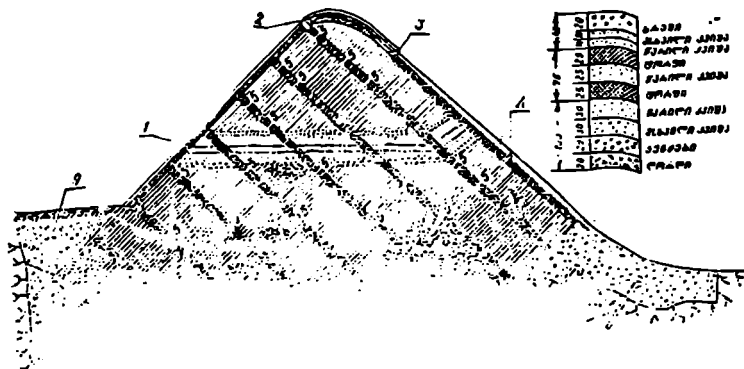
ხიმიწყური, ხიმიწყურ-ძეღყორული და ძეღყორული ზღურბლების წყალსაყეში ნაწილიც, ანალოგიურად, ორფენიანი წყალშეღწევი ფიცრულით კეთდება. ამასთანავე იატაკსა და ძეღყორის ჩანატვირთს შორის აწყობენ უკუ-ფილტრის შუაშრეს, რათა თავიდან იქნეს აცილებული ჩანატვირთის ნაწილაყეების გამორეცხვა ფილტრაციული ნაკადით. ფილტრაციული ნაკადის გასატარებლად მცირე დაწნევიან კაშხალებში ხშირად წყალსაყეში ნაწილს აკეთებენ წყალშეღწევადს.

ხის კაშხალის რისბერმა ხშირ შემთხვევაში კეთდება ქვაყრილით წნელის უყრედებზე.

სანაპირო და შუა ბურჯების კონსტრუქცია შეიძლება იყოს სხვადასხვა ტიპის; ყველაზე უფრო ძველია და ამასთანავე გავრცელებულიც ძეღყორული კონსტრუქციები, მაგრამ მათ აგებაზე იხარჯება ხის მასალის დიდი რაოდენობა, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას.

ხის მასალის შედარებით ნაკლებ რაოდენობას საპიროებს სანაპირო ბურჯების (ყედლების) ხიმიწყურ-შეფიცრული და დგარულ-შეფიცრული კონ-





ნახ. 12-14. შიანის წყალსაშვები კაშხალი დახრილი ძელყორებით: 1—ქვიშაქოვანი ფენოვანი ლიფრაჟა; 2—მრგვალი ხერტები სიდაწნეო წახნაგში; 3, 4—მრგვალი ხერტები წყლის გადასაშვებ ნაწილში; 5—კვადრატული ხერტები ძელყორების კედლებში კაშხალის შიგნით; 6—ანკერები; 7—ბეტონის კედელი; 8—გაფისული ქვიშის შუალი; 9—გრუნტის ძირული.

სტრუქციები. მათი ნაკლოვანი მხარეა სამუშაოთა წარმოების უფრო რთული ხასიათი და კედლებს უკან გრუნტის გულდასპოთ გამკვრივების აუცილებლობა, რათა აცილებულ იქნეს კედლებიდან გრუნტის გამორეცხვა და კედლების ლპობა, რომელიც ხშირად იწვევს კაშხალის ავარიას.

ხის კაშხალები შეიძლება აშენდეს სანაპირო ბურჯების გარეშეც. ამ შემთხვევაში მომანდაცებულ ნაპირის ფერდობებზე აწყობენ ბურჯის შემცველ დახრილ ძირულს და წყალსაცემს. პრაქტიკაში ხის კაშხალები სანაპირო ბურჯების გარეშე გვხვდება უმთავრესად დასავლელი ტიპის. ასეთ კაშხალს შეუძლია შექმნას 2,5 მ-მდე დაწნევა, მის ასაგებად საჭიროა 2-ჯერ ნაკლები ხის მასალა, ვიდრე ძელყორული სანაპირო ბურჯებიანი კაშხალისათვის.

ხის კაშხალების დადებით მხარედ უნდა ჩაითვალოს მშენებლობის წარმოების შესაძლებლობა მთელი წლის განმავლობაში და ამასთანავე მისი ცალკეული დეტალების სტანდარტიზაციისა და დამზადების მექანიზაციის შესაძლებლობა, რაც აჩქარებს სამშენებლო სამუშაოთა ტემპს.

ხის კაშხალების გაანგარიშება წარმოებს სიმტკიცესა და მდგრადობაზე ცნობილი მეთოდების გამოყენებით<sup>1</sup>. ხიმინჯოვანი ფუძეები გაიანგარიშება მოქმედი სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად.

### 3. ფოლადის კაშხალები

კაშხალთმშენებლობის პრაქტიკაში გვხვდება ფოლადის ორი ძირითადი სახის კაშხალი — ფოლადის უძრავი და მოძრავი ნაწილებით. პირველი სახის კაშხალებს იყენებენ ძალღან იშვიათად, რადგან ისინი, ჩვეულებრივ, უფრო

<sup>1</sup> М. М. Гришкин, Гидротехнические сооружения, Госстройиздат, М., 1962.

ძვირი ჯდება, ვიდრე სხვა ტიპის კაშხალები. სსრ კავშირში ასეთი კაშხალი აიგო დაახლოებით 70 წლის წინათ მდ. მტკვარზე ყარაიის სარწყავი სისტემის სათავე ნაგებობაში. გარდა ამისა, ცნობილია აგრეთვე უცხოეთში აგებული ფოლადის სამი კაშხალი: აშ-ფორკის, ხაუსერ-ლეიკის და რედრიჯის. ყველა ეს კაშხალი კონტრფორსული ტიპისაა; მათი კონტრფორსები წარმოადგენს ბრტყელ გამჟოლ ფერმებს დახრილი სადაწნეო წახნაგით, ხოლო გადახურვა ანალოგიურია ფოლადის ბრტყელი საკეტების გადახურვისა (ნახ. 12-15).

კაშხალების კონტრფორსები შეიძლება იყოს: 1) მისაბრჭენიანი ტიპის (ნახ. 12-15 ა); 2) დგარულ-მისაბრჭენიანი (აშ-ფორკის კაშხალი, ნახ. 12-15 ბ); 3) გამჟოლი ფერმების ტიპის (რედრიჯის კაშხალი, ნახ. 12-15 გ). შეკუმშული მისაბრჭენების დიდი სიგრძის გამო პირველი ტიპის ფოლადის კაშხალმა ვერ პოვა პრაქტიკული განხორციელება, ორი დანარჩენი კი უფრო ეკონომიური გამოდგა. კონტრფორსები ანკერდება საძირკვლის ფილაში ან კლდოვან ფუძეში, მათ ერთმანეთთან აკავშირებენ წყვილ-წყვილად ან სამ-ოთხს ერთად.

ამ კაშხალების საერთო მდგრადობა უზრუნველყოფილია უმთავრესად წყლის წონით და საყრდენების კლდეში ან ბეტონის მასიურ ფილაში ჩამაგრებით.

როდესაც კონტრფორსები ეწყობა ბეტონის ან რკინაბეტონის, მაშინ მათ შორის ფოლადის გადახურვა შეიძლება შესრულდეს მოქნილი გარსების (უკუთალების) სახით, რომლებიც მუშაობენ მხოლოდ გაჭიმვაზე. ასეთი სადაწნეო გადახურვა უფრო ნაკლებ მგრძნობიარეა ტემპერატურული რყევებისაღმძი, ვიდრე მრავალთაღოვანი კაშხალების გადახურვები, და შეიძლება სწრაფად დამონტაჟდეს, ამიტომ კაშხალის ეს ტიპი იმსახურებს ყურადღებას და შემდგომ დამუშავებას.

ფოლადის კაშხალების ღირსებად უნდა ჩაითვალოს:

- 1) ზუსტი სტატიკური გაანგარიშების შესაძლებლობა, რაც ძალიან საყურადღებოა იმ თვალსაზრისით, რომ უკეთესად და ეკონომიურად გამოიყენოთ მასალა;
- 2) სრული წყალშეუღწევადობის უზრუნველყოფა;
- 3) კაშხალის ცალკეული ნაწილებისა და დეტალების ქარხნული წესით დამზადების შესაძლებლობა;
- 4) მონტაჟის სწრაფი ტემპით გამხორციელება ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში და წლის ნებისმიერ დროს;
- 5) თანამედროვე შედუღების მეთოდების პირობებში კაშხალის რემონტის სიადვილე.

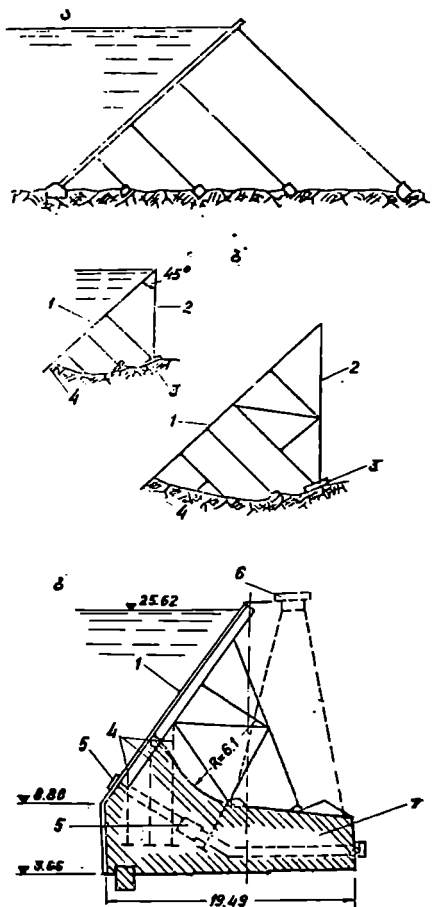
მიუხედავად მრავალი დადებითი მხარეებისა, ფოლადის კაშხალები სათანადოდ ვერ გავრცელდა, რადგან ჯერჯერობით ფოლადი წარმოადგენს ძვირად ღირებულ მასალას. გარდა ამისა, დაეანგვის საწინააღმდეგოდ მოითხოვება განსაკუთრებული ზომების მიღება (შედგება, სხვადასხვანაირი დაფარვა). ასეთი კაშხალების მშენებლობა შეიძლება მიზანშეწონილ იქნეს მხოლოდ განსაკუთ-

რებულ შემთხვევებში, კერძოდ, როდესაც საჭიროა სწრაფი აგება. გამორიცხული არ არის, რომ მომავალში ფოლადის კაშხალები პოვებს გამოყენებას.

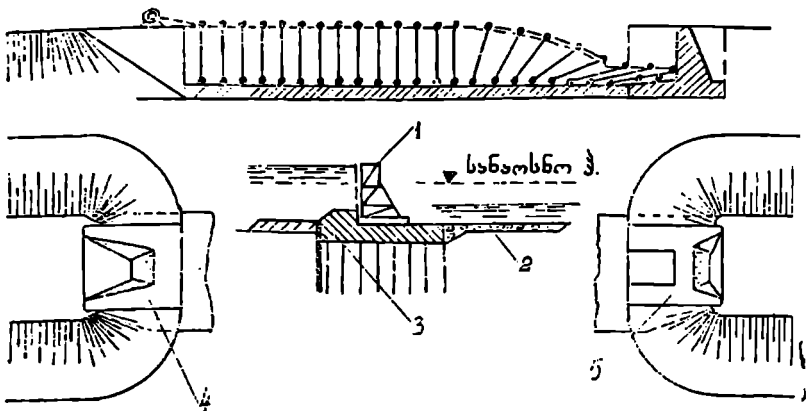
ფოლადის კაშხალების მეორე სახეობა, რომელსაც ზოგჯერ კაშხალების საკეტებსაც აკუთვნებენ და მათთან ერთად განიხილავენ, საკმარისად ფართოდ გავრცელდა. მათ აგებდნენ უმთავრესად XIX საუკუნეში, აგრეთვე XX საუკუნის დასაწყისში მდინარეთა სანაოსნო პირობების გაუმჯობესების, მიზნით (2—7 მ-მდე დაწნევის შესაქმნელად).

ამ სახეობის კაშხალების ერთ-ერთ კონსტრუქციას წარმოადგენს ფოლადის კაშხალი მოსაბრუნებელი სტატიკურად რკვევადი ფერმებით, ანუ ეგრეთ წოდებული პოარეს კაშხალი (ნახ. 12-16). ფერმები იდგმება ბეტონის ან ხის ფლუტბეტზე და სახსრულად მაგრდება მასზე. ფერმებს შორის მალეები, რომელთა ზომა აიღება 1—1,5 მ-მდე, გადაიხურება ხის ფარებით, ძელებით ან ხის ფარდებით. წყლის ხარჯების გადასაგდებლად, აგრეთვე გემების გასატარებლად საჭიროა ფარების ნაწილობრივი ან მთლიანად ამოღება და ფერმების დაწვენა (გემების გატარებისას) ფლუტბეტზე ქალამბარზე გადახვეული ბაგირის მეშვეობით. ფერმების გამართვაც, ცხადია, იგივე ქალამბრის მეშვეობით წარმოებს.

კაშხალები მოსაბრუნებელი ფერმებით სსრ კავშირში განხორციელებულია მდინარეების: შექსნის, მოსკოვის, ოკას, ჩრდილო დონეცისა და სხვა. სანაოსნო უბნებზე.



ნახ. 12-15. ფოლადის კაშხალების ზოგიერთი სქემა: ა — მოსაბრუნებელი ტიპის; ბ — დგარულ-მოსაბრუნებელი ტიპის; გ — გამჭოლი ფერმების ტიპის; 1 — სადაწნეო წახნაგი; 2 — დგარი; 3 — საძირკელის ფილა; 4 — ანკერი; 5 — საკეტი; 6 — ლიანდავის ესტაკადა; 7 — ბეტონის მასიური ფილა.

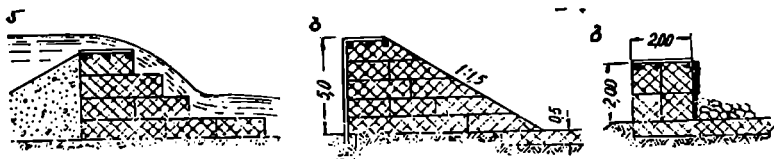


ნახ. 12-16. ფოლადის კაშხალი მოსაბრუნებელი ფერმებით: 1—ფერმა; 2—რისბერმა, 3—ზღვრბლი; 4 — თხელი ბურჯი; 5 — სქელი ბურჯი.

### 3. პრიმიტიული კაშხალები

წყლის მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოიყენება აგრეთვე პრიმიტიული, იაფად ღირებული ადგილობრივი მასალების კაშხალები. ასეთ კაშხალებს მიეკუთვნება ფიჩხონის, გაბიონური და სხვა ტიპის ამგვარი კაშხალები. მათ იყენებენ პატარა მდინარეებსა და ღელეებზე 2—3 მ დაწნევის შესაქმნელად. ჩვეულებრივ, ასეთი კაშხალები წყალსაშეგბია, მათი მოწყობის დროს აუცილებლად გამოიყენება ქვაყარილი. ფიჩხონის ტიპის კაშხალის სადაწნეო მზარზე აწყობენ თიხნარის წყალშეუღწევე ეკრანს.

გაბიონური ტიპის კაშხალების გამოყენებას მიმართავენ მთის პატარა მდინარეებზე, რომელთა კალაპოტი წარმოდგენილია ხრეშოვან-კენჭოვანი გრუნტებით (ნახ. 12-17).



ნახ. 12-17. გაბიონური კაშხალები

გაბიონური კაშხალი წარმოდგენს წვრილი ქვით ან კენჭით საცხე ბადისებრი ყუთებით შედგენილ შემტბორავ ნაგებობას, რომელსაც შეიძლება ექნეს მრავალსაფეხუროვანი (ნახ. 12-17 ა), ტრაპეციოიდალური (ნახ. 12-17 ბ) ან სწორკუთხა (ნახ. 12-17 გ) პროფილი. ასეთი კაშხალის თხემს, ხოლო ზოგჯერ სადაწნეო წახნაგს ფარავენ ხის ფენილით. წყალსაცემ ნაწილს აწყობენ აგრეთვე გაბიონურს. გაბიონური კაშხალის სიმაღლე შეიძლება აღემატებოდეს 5 მ-ს.

პრაქტიკაში გვხვდება აგრეთვე ნელი ხით ნაკეთები ფენილოვანი კაშხალები, ხის გამარტივებული, ხე-მიწის, ბრეზენტოვანი, ტომრებისაგან ნაწყობი და სხვა დროებითი კაშხალები.



**გრაპიტაციული და კონტრფორსული კაშხალების  
სეისმომდებლობაზე გაანგარიშება**

**§ 1. ზოგადი მითითებანი**

მიწისძვრების რაიონებში კაშხალების გეგმარების დროს საჭიროა დამატებით ჩატარდეს სეისმომდებლობაზე მათი სპეციალური გაანგარიშება. საანგარიშოდ შიილება მდინარის ხეობის (კანიონის) გასწვრივ და მის განივად მიმართული სეისმური ზემოქმედებანი.

სეისმომდებლობის დინამიკური თეორიის თანახმად, ნებისმიერი ნაგებობის, მათ შორის კაშხალის, სეისმომდებლობაზე გაანგარიშების პირველ ეტაპზე წარმოებს მისი თავისუფალი რხევის სიხშირეების (პერიოდების) და შესაბამისი რხევის ფორმების დადგენა (იხ. § 3-5). მეორეზე განისაზღვრება სეისმური (ინერციული) ძალები ნაგებობის სიმაღლეზე მასის (წონის) განაწილების კანონისა და სეისმურობის, დინამიკურობისა და რხევის ფორმების კოეფიციენტების მნიშვნელობათა გათვალისწინებით. მესამე, დამამთავრებელ ეტაპზე კი წარმოებს ინერციული ძალებით გამოწვეული ძაბვითი და დეფორმაციული მდგომარეობის განსაზღვრა ნაგებობაში.

ვინაიდან კაშხალის სეისმომდებლობაზე გაანგარიშების დროს ძირითადი სიძნელეები დაკავშირებულია მისი დინამიკური მახასიათებლების დადგენასთან, ამიტომ ქვემოთ მოცემულია ამ მახასიათებლების კვლევის ზოგადი მატრიცული მეთოდი, რომელიც ერთნაირად გამოსადეგია როგორც ბეტონის გრავიტაციული და კონტრფორსული, ისე ერთგვაროვანი გრუნტის კაშხალებისათვის.

**§ 2. კაშხალის ხეობის საკუთარი (თავისუფალი) რხევის სიხშირეების, ამრიგდებარისა და ფორმების განსაზღვრა ხეობის გასწვრივ<sup>1</sup>**  
**(თავის სიბრტყეში)**

გრავიტაციული და კონტრფორსული კაშხალების დინამიკური მახასიათებლების გაანგარიშების ქვემოთ მოცემულ მატრიცულ მეთოდს საფუძვლად უდევს კონსოლური დინამიკური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს ამოცანის შემდეგ რეალურ პირობებს (ნახ. 1):

- 1) კაშხალის სექცია წარმოადგენს ნებისმიერი პროფილის მთლიან ან ღრუ (გაორმაგებულ) ვერტიკალურ კედელს (ნახ. 2 და 3);
- 2) სექციის პორიზონტალური კვეთების ფართობები, მათი ინერციის მონენტები და მასა ნებისმიერი კანონით ცვალებადობს სიმაღლეზე;
- 3) რხევის დროს კაშხალის სექცია ერთდროულად განიცდის ლუნვისა და ძვრის დეფორმაციებს;

<sup>1</sup> გაანგარიშების მეთოდიკა შედგენილია სახელმძღვანელოს ავტორის მონოგრაფიის საფუძველზე: Н. С. Моцнелшдзе, Устойчивость и сейсмостойкость контрфорсных плотин 11зд. «Энергия», Москва, 1971.

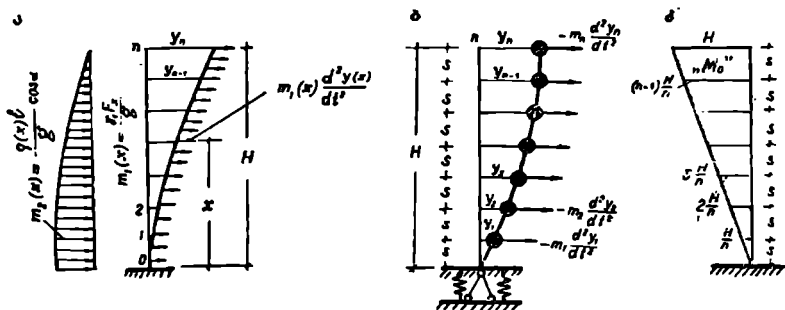
4) კაშხალის სექცია ღებულობს წყლის სეისმურ (ჰიდროდინამიკურ) წინეას, რომელიც გაითვალისწინება როგორც მიერთებული განაწილებული მასა;

5) კაშხალის სექციის ფუძე ხისტია ან დამყოლი, რომლის დროს დასაშვებია ჩამაგრების კვეთის დრეკადი მობრუნება.

საანგარიშო განტოლებათა და დამოკიდებულებათა მისაღებად კაშხალის სექციას წინასწარ ყოფენ სიმალლეზე  $n$  ტოლ უბნად (პანელად), რომელთა

სიგრძე  $S = \frac{H}{n}$  (ნახ. 1). რადგან გაანგარიშების მეთოდით ითვალისწინებს

სიმალლეზე კაშხალის სექციის სიხისტეებისა და მასის უწყვეტი კანონით ცვალებადობას, შეიძლება მისი დაყოფის რიცხვი შემციირდეს 4—6-მდე. რეალურ ნაგებობათა გაანგარიშების შედეგები გვიჩვენებს, რომ თუ კაშხალის სექცია დაყოფა  $n=6$  ტოლ უბნად, მაშინ მიღებული მეშვიდე რიგის საანგარიშო მატრიცები მოგვეცემა ამოცანის მაღალი სიზუსტით გადაწყვეტის გარანტიას.



ნახ. 1. გრავიტაციული და კონტრფორსული კაშხალების დინამიკური საანგარიშო სქემები: ა — ძირითადი სქემა; ბ — დამხმარე სქემა ფუძის დამყოლობის (დრეკადი მობრუნების) მატრიცის ასაგებად; გ — ჩამაგრების მომენტის გაულების წირი.

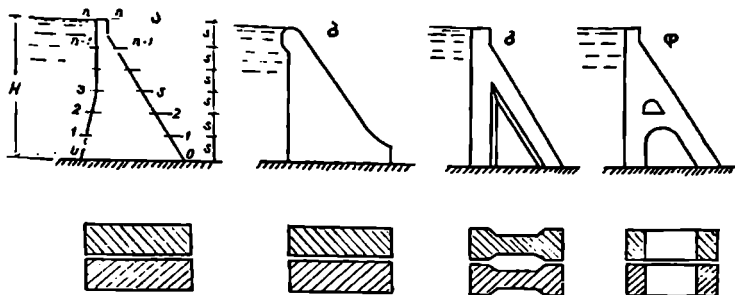
ზოგად შემთხვევაში, როდესაც გაითვალისწინება ამოცანის ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი პირობა, კაშხალის სექციის საკუთარი რხევის სიხშირეების განსასაზღვრელად უნდა შესრულდეს ალგებრული მოქმედებანი შემდეგი მიმდევრობით:

1. საჭიროა განისაზღვროს ორი მატრიცის ნამრაველი:

$$C'_1 = B_{\text{გამ}} G, \quad (1)$$

სადაც  $B_{\text{გამ}}$  არის დრეკადი ტვირთების საინტერპოლაციო მატრიცა მომენტთა შრულწირული ეპიურების სააპროქსიმაციოდ, რომელიც დგება მულტიპლიკაციის კვეთის ლეროსათვის ლაგრანჟის პოლინომების მეშვეობით<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> А. Ф. Смирнов, Устойчивость и колебания сооружений, Трансжелториздат, М., 1958, табл. 14.



ნახ. 2. გრავიტაციული კაშხალების ზოგიერთი ტიპი: ა — ურე კაშხალი; ბ — წყალაშევი კაშხალი; გ — გაფართოებულნაკერებიანი კაშხალი; დ — კაშხალი სიღრუეებით.

$G$  — კაშხალის სექციის სიმაღლეზე სიხისტეების ცვალებადობის დიაგონალური მატრიცა:

$$G = \begin{pmatrix} \frac{I}{I_1} & & \\ & \frac{I}{I_2} & \\ & & \frac{I}{I_n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

აქ  $I$  არის კაშხალის სექციის ინერციის მომენტი ჩამაგრების კვეთში;

$I_i$  —  $i$ -რი კვეთის ინერციის მომენტი ( $i=1, 2, \dots, n$ ).

2. საჭიროა შედგეს ორი მატრიცის ჯამი:

$$C_1 = C'_1 + B_{1q} \quad (3)$$

სადაც  $C'_1$  არის ზემოთ მიღებული (1) მატრიცა;

$B_{1q}$  — მატრიცა, რომელიც ითვალისწინებს გადაშრული ძალების (ძვრის) გავლენას დრეკადი ტვირთების სიდიდეზე; მას აქვს სახე

$$B_{1q} = \frac{k}{SG_0 F} B_{1q} \quad (4)$$

აქ  $k$  არის კაშხალის სექციის კვეთში მხები ძაბვებისა და დეფორმაციების არათანაბარი განაწილების კოეფიციენტი (განივკვეთის ფორმის კოეფიციენტი, რომელიც სწორკუთხოვანი კვეთის დროს ტოლია  $k=1,2$ ). რომელსაც კვეთის ფორმა რთულია, როგორც, მაგალითად, ღრუ კონტრაფორსებიან მასიურ-კონტრაფორსულ კაშხალებში, შრავალთლოვან კაშხალებში და სხვ., ეს კოეფიციენტი უნდა გამოვთვალოთ ჩვეულებრივი წესით<sup>1</sup>;

$G_0$  — კაშხალის მასალის ძვრის მოდული;

$F$  — კაშხალის სექციის განივკვეთის ფართობი ჩამაგრების სიბრტყეში;

<sup>1</sup> И. М. Рабинович, Курс строительной механики, т. II, М., 1954, гл. 31, формула (4-2).





$l$  — კაშხალის სექციების ღერძებს შორის მანძილი;

$\alpha$  — კაშხალის სადაწნეო წახნაგის დახრილობის კუთხე ვერტიკალთან.

წყლის  $\rho_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ ) სეისმური წნევის ინტენსიურობის სიდიდე კაშხალის სექციის ნებისმიერი კვეთის ღონეზე გამოითვლება სათანადო დამოკიდებულებათა გამოყენებით (იხ. § 3-5).

4. საჭიროა განისაზღვროს ორი მატრიცის ნამრავ-ლი, რომელიც ითვალისწინებს კაშხალის ფუძის დამყოლობას:

$$C_3 = I_0 M', \quad (13)$$

სადაც  $I_0$  ფუძის დამყოლობის (დრეკადი მობრუნების) გავლენის მატრიცაა, რომელიც წარმოიდგინება შემდეგი სახით:

$$I_0 = \left( \frac{H}{n} \right)^2 \delta_{ij} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \dots & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \dots & n \\ 0 & 2 & 4 & 6 & 8 \dots & 2n \\ 0 & 3 & 6 & 9 & 12 \dots & 3n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & n & 2n & 3n & 4n \dots & n^2 \end{vmatrix}. \quad (14)$$

აქ  $\delta_{ij}$  არის დრეკადი ჩამაგრების კვეთის კუთხური გადაადგილება  $M_0=1$  მომენტისაგან, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით<sup>1</sup>

$$\delta_{ij} = \frac{17,60(1-\nu_0^2)}{\pi E_0 b^2 d}, \quad (15)$$

სადაც  $E_0$  და  $\nu_0$ , შესაბამისად, ფუძის ქანების დეფორმაციის მოდული და პუასონის რიცხვია;

$b$  — კაშხალის სექციის სიგანე ძირში (ფუძეში).

$M'$  = შეყურსული მასების მატრიცა, რომლის შედგენა საჭირო გახდა კაშხალის სექციის ჩამაგრების კვეთის დრეკადი მობრუნების უასათვალისწინებლად (ნახ. 1):

$$M' = \begin{vmatrix} \frac{m_{10}}{m_0} & & & & & \\ & \frac{m_{11}}{m_0} & & & & \\ & & \frac{m_{12}}{m_0} & & & \\ & & & \frac{m_{13}}{m_0} & & \\ & & & & \frac{m_{1n}}{m_0} & \end{vmatrix}, \quad (16)$$

სადაც  $m_{1i}$  არის შეყურსული მასა კაშხალის სექციის ვერტიკალური ღერძის

წერტილში  $\left( m_{1i} = \frac{\gamma_1 F_i}{g} S, \text{ გარდა ამისა, } m_{1,0} = \frac{\gamma_1 F_0}{g} \cdot \frac{S}{2}, \text{ ხოლო} \right.$

$m_{1n} = \frac{\gamma_1 F_n}{g} \cdot \frac{S}{2}$ );

<sup>1</sup> ამ ფორმულის გამოყენება მოცემულია სტატიისში: Н. С. Мочонелидзе — Расчет круговых акро с упруго заделанными пятнами на колебания и устойчивость, Труды ГПИ им. В. И. Ленина, № 2 (95), Тбилиси, 1964.

$m_0$  — კაშხალის სექციის მასის ინტენსიურობა ჩამაგრების კვეთში,  
 $m_0 = \frac{\gamma_1 F_0}{g}$ .

წყლის სეისმური წნევის გათვალისწინებისას  $m_{1z}$  შეყურსულ მასებს უნდა დაეუმატოთ შეყურსული მიერთებული მასები  $m_{2z} = \frac{P_1 l}{g} S \cos \alpha$ . ანალოგიურად (ჩამის სახით) წარმოდგინება აგრეთვე მასის ინტენსიურობა ჩამაგრების კვეთის ღონეზე ( $m_0 = m_{10} + m_{20}$ ).

5. უნდა განისაზღვროს სამი მატრიცის ნამრავლი:

$$C_f = L^* C_1 C_2, \quad (17)$$

სადაც  $L^*$  — მომენტთა გაელენის მატრიცაა ფიქტიურ ნაგებობაში (მარჯვენა ჩამაგრებული კონსოლისათვის):

$$L^* = \frac{H}{n} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 3 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n & n-1 & n-2 & n-3 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix}; \quad (18)$$

$C_1$  და  $C_2$  — ზემოთ განსაზღვრული (3) და (8) მატრიცები.

6. საჭიროა განისაზღვროს ორი (17) და (13) მატრიცის ჯამი:

$$C_f^* = C_f + C_g. \quad (19)$$

განაგარიშების შემდგომ ეტაპზე წარმოგვს  $C_f$  და  $C_f^*$  მატრიცების მახასიათებელი რიცხვების მოძებნა, ანუ შესაბამისი საუკუნის განტოლებათა ფესვების განსაზღვრა. ეს განტოლებებია:

$$|C_f - \lambda E| = 0; \quad (20)$$

$$|C_f^* - \lambda E| = 0, \quad (21)$$

რომლებშიც  $E$  ერთეული მატრიცაა, ხოლო  $\lambda_1$  — შესაბამისი საუკუნის განტოლების ფესვები (საანგარიშო მატრიცის მახასიათებელი რიცხვები).

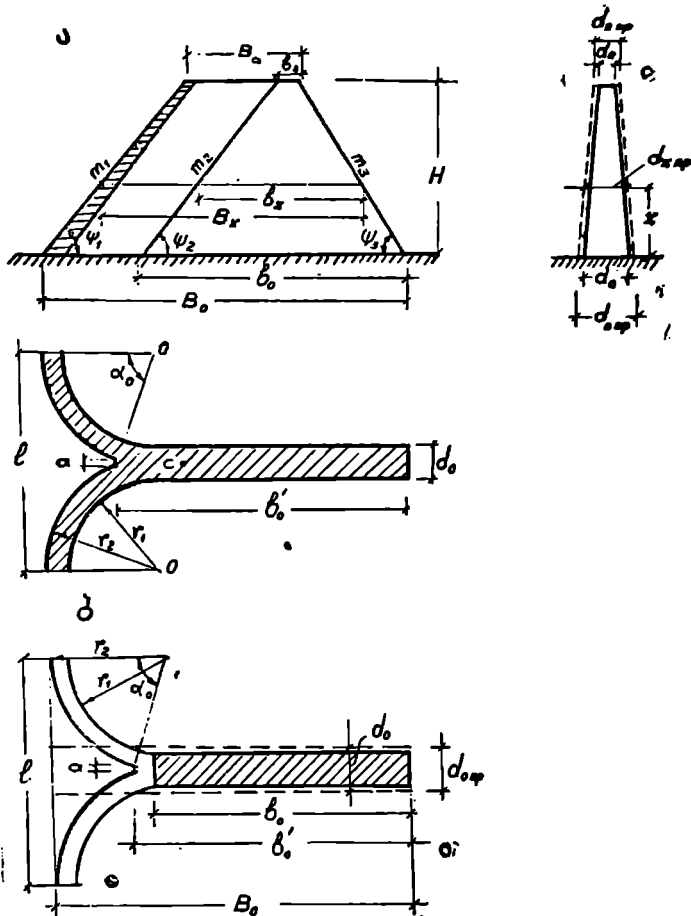
ცხადია, ხისტი ფუძის შემთხვევაში მოითხოვება  $C_f$  (17) მატრიცის მახასიათებელი რიცხვების ((20) განტოლების ფესვების), ხოლო ფუძის დამყოლობის გათვალისწინებისას —  $C_f^*$  (19) მატრიცის მახასიათებელი რიცხვების ((21) საუკუნის განტოლების ფესვების) განსაზღვრა.

სეისმომედეგობის დინამიკური თეორიის შესაბამისად თანამედროვე ნორმებითა და წესებით მოითხოვება (20) ან (21) განტოლების ხუთი უფროსი ფესვის —  $\lambda_1$  მ.გ.  $\lambda_2 > \dots \lambda_5$  განსაზღვრა, რომელთაც შეესაბამება კაშხალის სექციის საკუთარი რხევის პირველი ხუთი დაბალი სიხშირე.

ამგვარად,  $C_f$  (17) ან  $C_f^*$  (19) მატრიცის  $\lambda_1$  მ.გ.  $\lambda_2 > \lambda_3 \dots$  მახასიათებელი რიცხვების მოძებნის შემდეგ ადვილად შეიძლება განისაზღვროს კაშხალის სექ-







ნახ. 4. შრავალთაღოვანი კაშხლის სექციების ვარიანტები: ა — სექცია, რომელშიდაც თაღები კონტრფორსთან მონოლითურადაა დაკავშირებული; ბ — სექცია, რომელშიდაც თაღები თავისუფლად ეყრდნობა კონტრფორს სპეციალური საყრდენი ფილის მეშვეობით.

აქ  $d_{0\text{მ.გ}}$  კონტრფორსის დაყვანილი სისქეა ძირში;  
 $\gamma_{\text{მ.გ}}$  — კონტრფორსის მასალის დაყვანილი მოცულობითი წონა, რომელიც ტოლია:

$$\gamma_{\text{მ.გ}} = \frac{\gamma_1}{B_0 d_{0\text{მ.გ}}} \left[ b'_0 d_0 + \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \cdot \frac{(r_{2,0}^2 - r_{1,0}^2) \alpha_0}{\sin \psi} \right]. \quad (25)$$

ამ გამოსახულებაში შემავალი  $\gamma_1$  და  $\gamma_2$  სიდიდეები წარმოადგენს, შესაბამისად, კონტრფორსისა და გადახურვის მასალის მოცულობით წონებს;

$\alpha_0$  — კვლეინდებურად რადიანებში გამოსახული თაღის ცენტრალური კუთხის ნახევარია.

(24) გამოსახულებაში  $\alpha_1$ ,  $\eta_1$ ,  $\beta_1$  და  $m_1$  სიდიდეებს აქვთ მნიშვნელობანი:

$$\alpha_1 = \frac{d_{n1} \alpha_0}{d_{01} \alpha_0}; \quad \eta_1 = \frac{B_n}{B_0}; \quad \beta_1 = \frac{H}{B_0}; \quad m_1 = \text{ctg } \psi_1.$$

აქ და (24) და (25) გამოსახულებებში შემაველი დაყვანილი სისქეები კონტრფორსის თავსა და ძირში განისაზღვრება ფორმულებით:

$$d_{n1} = \frac{1}{B_n} \left[ b'_n d_n + \frac{(r_{2,n}^2 - r_{1,n}^2) \alpha_0}{\sin \psi_1} \right]; \quad (26)$$

$$d_{01} = \frac{1}{B_0} \left[ b'_0 d_0 + \frac{(r_{2,0}^2 - r_{1,0}^2) \alpha}{\sin \psi_1} \right]. \quad (27)$$

კონტრფორსის განივი კვეთების ინერციის მომენტების განსასაზღვრელად კი გვაქვს შემდეგი გამოსახულება:

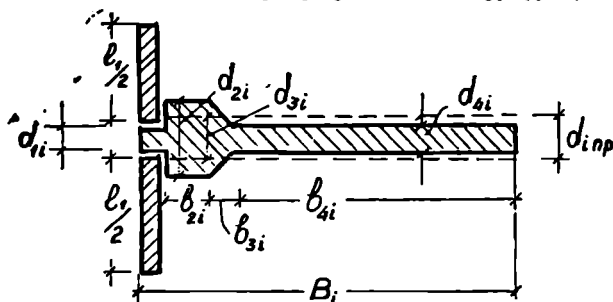
$$I(x) = I_0 \left[ \alpha + (1 - \alpha) \left( 1 - \frac{x}{H} \right) \right] \left[ \eta + \beta (m_2 + m_3) \left( 1 - \frac{x}{H} \right) \right]^3, \quad (28)$$

სადაც  $I_0$  — კონტრფორსის ინერციის მომენტია ჩამაგრების კვეთში,

$$I_0 = \frac{d_0 b_0^3}{12}.$$

ყველა დანარჩენი აღნიშვნა წინანდელია.

გაჭრილი ბრტყელი სოდაწნეო გადახურვის მქონე კონტრფორსული კაშხალის დინამიკური გაანგარიშების დროს საანგარიშო კონტრფორსის მეზობელი ძალების ნახევარფილები განხილული უნდა იქნეს როგორც კონტრფორსის მიერთებული მასები (ნახ. 5). მაშინ კონტრფორსის მასის ცვალებადობის კანონი



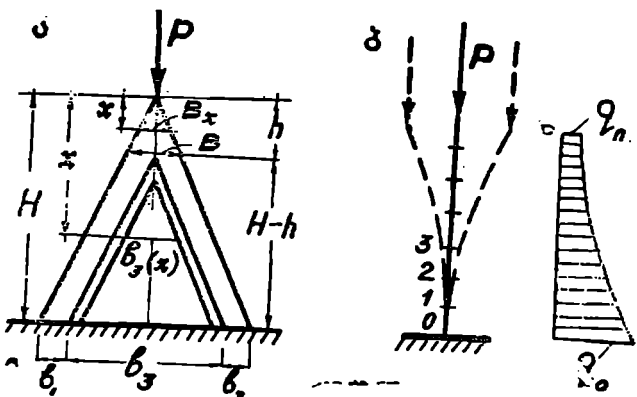
ნახ. 5. ბრტყელი გადახურვის მქონე კონტრფორსული კაშხალის სექცია.

გამოსახება იმავე (24) განტოლებით მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ მასში შემაველი სიდიდეები მიიღებს სხვა მნიშვნელობებს. მაგალითად, კონტრფორსის



§ 8. მასიურ-კონტრფორსული კაშხალის ცალკეობიანი სექციის  
საკუთარი რხევის სიხშირეების, პერიოდებისა და ფორმების  
განსაზღვრა ხმოვის განივად

მასიურ-კონტრფორსულ კაშხალებში საკმაოდ ხშირია შემთხვევები, რო-  
დესაც კონტრფორსების პროფილები თითქმის სიმეტრიულია საკუთარი ვერ-  
ტიკალური ღერძის მიმართ, ე. ი. მათ ზედა და ქვედა წახნაგებს აქვთ ერთნაირი  
ან თითქმის ერთნაირი ქანობი, რომელიც ცვალებადობს 1:0,40—1:0,50 ფარგ-  
ლებში. თუ ვიმსჯელებთ ამ ნიშნის მიხედვით, მაშინ ასეთი კონტრფორსების  
რხევის ხასიათი უნდა უახლოვდებოდეს სოლის რხევის ხასიათს მისი სიბრტყის  
ნორმალური მიმართულებით. პოლიგონალური, წრიული ან ბრტყელსათავე-  
სიანი ცალფა ან გაორმაგებული კონტრფორსები მაშინ შეიძლება მივაკუთვნოთ  
სიმეტრიულპროფილიან კონტრფორსებს, თუ მათ ქვედა წახნაგთან გათვალის-  
წინებულა გასქელება (დახრილი პილასტრი); გარკვეული მიახლოებით მათ  
შეიძლება მივაკუთვნოთ აგრეთვე კ. მარჩელოს ტიპის უახლესი იტალიური კაშ-  
ხალები და სხვ.



ნახ. 6. მასიურსათავისიანი კონტრფორსების დინამიური საანგარიშო სქემა  
ვერდი თვისებურ ზემოქმედებაზე გაანგარიშების დროს: —სქემატურულ-  
ლო კონტრფორსი, ბ—დინამიური საანგარიშო სქემა.

თუ გვაანალიზებთ ასეთი კაშხალების კონტრფორსების დინამიკური მუ-  
შაობის შესაძლო ხასიათს, ადვილად შეიძლება მივიღოთ იმ დასკვნამდე, რომ  
კაშხალის ღერძის მიმართულებით (ხეობის განივად) კონტრფორსები მიახ-  
ლოებით შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც დრეკადად ან ხისტად ჩამაგრე-  
ბული კონსოლური სისტემები (ნახ. 6) და გაანგარიშდეს ზემოთ აღწერილი  
ერთნაირი მეთოდით.

მოცემული ამოცანის სპეციფიკურობა ვლინდება მხოლოდ ზოგიერთი ამო-  
სავალი მატრიცის აგების დროს, მაგალითად, კაშხალის სექციის სიხისტის ცვა-  
ლებადობის  $G$  (2), მასის ცვალებადობის  $\gamma$  (10) და ფუძის დამყოლობის ამსა-  
ხველი  $C_3$  (13) მატრიცების აგების დროს. ამასთანავე საჭიროა გავითვალისწი-  
ნოთ, რომ განსახილველი მიმართულებით მიერთებული მასის (წყლის სეისმური

წნევის) გავლენა არ არსებობს და, მაშასადამე, (11) გამოსახულებაში შესაბამისი წვერი უნდა უქუთუვადღოთ. გარდა ამისა,  $C_3$  (13) მატრიცაში შემავალ  $6^{\circ}$  სიდიდის განსაზღვრის დროს (15) ფორმულაში  $b^2d$  უნდა შეიცვალოს  $d^2b$  ნამრავლით.

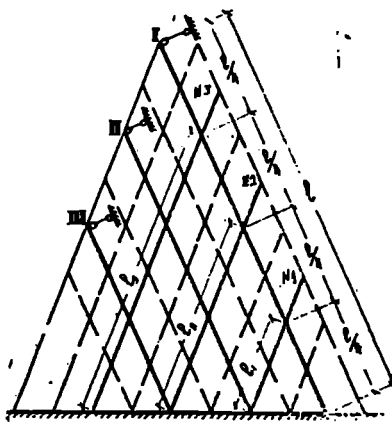
კაშხალის ცალკე მდგომი კონტრფორსების (სექციების) რხევის ფორმების განსაზღვრა განივი მიმართულებით უნდა ჩატარდეს იგივე მეთოდით, რომელიც ზემოთ იყო აღწერილი.

ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების დინამიკური გაანგარიშება ხეობის განივი მიმართულებით არ არის აუცილებელი.

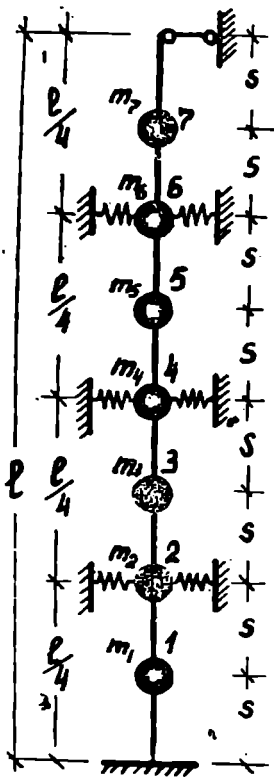
**§ 4. კონტრფორსების საკუთარი რხევები ხეობის განივად სადაწნეო პარალელის პარალელის გათვალისწინებით**

ბრტყელი, მსაიური და მრავალთაღოვანი გადახურვის მქონე კაშხალების კონტრფორსების განივი რხევის სიხშირეებისა და ფორმების განსაზღვრისათვის მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ დისკრეტული სქემებით. პრაქტიკული მიზნებისათვის სავსებით დამაკმაყოფილებელ შედეგებს იძლევა მთლიანი კონტრფორსის შეცვლა ისეთი დახრილი დისკრეტული სქემით, რომელიც წარმოდგენილია თანატოლი სიგანის სამი მთავარი და ასევე თანატოლი სიგანის სამი გადაკვეთი ზოლებით (ნახ. 7). როდესაც კონტრფორსს აქვს ქვედა წახნაგის პარალელურად განლაგებული სიხისტის წიბოები, მაშინ მთავარი მიმართულების ზოლების რაოდენობა უნდა შეესაბამებოდეს სიხისტის წიბოების რაოდენობას, ხოლო მათი სიგანეები — სიხისტის წიბოებს შორის მანძილებს.

ადვილად შეიძლება დაერწმუნდეთ, რომ დისკრეტული სქემის შემოღებით კონტრფორსის განივი რხევის ამოცანა დაიყვანება ერთგანზომილებიანი სისტემის რხევის ამოცანაზე, სახელდობრ, I მთავარი მიმართულების ზოლის, როგორც ეკვივალენტური კონტრფორსის, განივი რხევის ამოცანაზე (ნახ. 8). ამ ზოლის ბოლოებისათვის სასაზღვრო პირობები უნდა შეირჩეს ფუძეში ჩამაგრების ხასიათისა და სადაწნეო გადახურვის კონსტრუქციის მიხედვით. მისი შუალედური დრეკადი საყრდენების მოვალეობას შეასრულებს კონსოლური გადაკვეთი ზოლები (ნახ. 7, 8, 9). სისტემის შეყურსული მასების აკრეფა წარმოებს თვით I მთავარი ზოლიდან. ამასთანავე უნდა იქნას, რომ გაანგარიშებებში შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს ზოლის მასის განაწილებისა და ასევე დერძის გასწვრივ ზოლის სიხისტის უწყვეტობა.



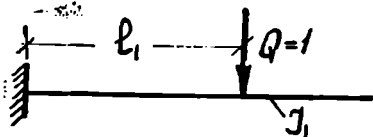
ნახ. 7. დახრილი დისკრეტული სისტემით შეცვლილი კონტრფორსი: I, II, III — მთავარი მიმართულების ზოლები; № 1, 2, 3 — გადაკვეთი ზოლები.



ნახ. 8. კონტროლის დინამიკური საანგარიშო სქემა განივი მიმართულებით.

გაანგარიშების შედეგების საჭირო სიზუსტის უზრუნველსაყოფად მიზანშეწონილია ეკვივალენტური კონტროლსი (ნახ. 8) დაიყოს ისე, რომ დაყოფის (შეყურსული მასების მოძების) წერტილები განლაგდეს ღრეკად საყრდენებზე და ყოველი მალის შუაზე. შედეგად მიიღება 8 უბანი (7 შეყურსული მასა) და მე-8 რიგის საანგარიშო მატრიცები.

კონტროლისათვის რეკომენდებული დინამიკური საანგარიშო სქემა (ნახ. 8) დამახასიათებელია ზემოხსენებული ყველა კახალისათვის. ცალკეულ შემთხვევაში, ცხალია, შეიძლება საჭირო გახდეს ზოლის ბოლოების სასაზღვრო პირობების დაზუსტება, მაგრამ ამას არ შეაქვს ცვლილებები გაანგარიშების საერთო მეთოდოლოგიაში, რომელიც მოცემულია სახელმძღვანელოს ავტორის ზემოაღნიშნულ მონოგრაფიაში.

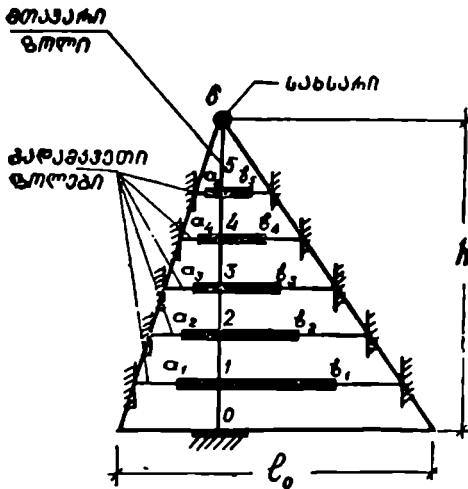


ნახ. 9. დახრილი გადამკვეთი ზოლების დამყოლობის (სიხისტის) კოეფიციენტების გაანგარიშების სქემა.

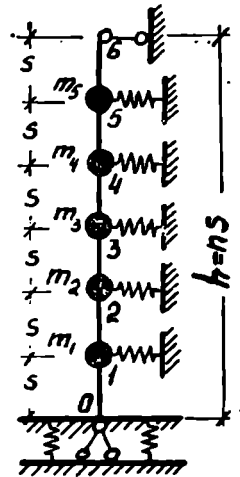
§ 5. გაორმაგებული (ღრუ) კონტროლისათვის კედლების საკუთარი რხევაზე გაანგარიშება

გაორმაგებულ (ღრუ) კონტროლსებში, გარდა იმ რხევებისა, რომელთა შესახებ ზემოთ გვქონდა საუბარი, შეიძლება ადგილი ექნეს მათი კედლების — მუდმივი ან ცვლებადი სისქის სამკუთხოვანი ფილების რხევას. იმის გამო, რომ ასეთი ფილების საკუთარი რხევის ამოცანის მკაცრი თეორიული გაანგარიშება დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული, დასაშვებია მიახლოებითი გაანგარიშება ჩატარდეს ორთოგონალური დისკრეტული სქემის საფუძველზე, რომელიც წარმოდგენილია ერთეული სიგანის ერთი ვერტიკალური მთავარი და ხუთი ჰორიზონტალური გადამკვეთი ზოლებით (ღრეკადი საყრდენებით). მთავარი ზოლისათვის შეყურსული მასები უნდა აიკრიფოს ერთეული სიგანის ჰორიზონტალური გადამკვეთი ღეროებისაგან მე-10 ნახაზზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით.

შუალედ დრეკად საყრდენებზე მდებარე მთავარი მიმართულებების ზოლით წარმოდგენილი კონტრფორსის ეკვივალენტური კედლის (ნახ. 11) დინამიკური გაანგარიშება წარმოებს ზემოხსენებული ზოგადი მატრიცული მეთოდის გამოყენებით იმ განსხვავებით, რომ განსახილველ შემთხვევაში შეიძლება დაეკმაყოფილდეთ 5 შეყურსული მასის მოდებით და, მაშასადამე, მე-6 რიგის მატრიცებით.



ნახ. 10. დრე კონტრფორსის სამკუთხოვანი კედლის (ფილის) შემცველი დისკრეტული სისტემა.



ნახ. 11. დრე კონტრფორსის კედლის ეკვივალენტური დინამიკური სქემა.

ავტორისაგან

განყოფილება ბირველი. შესავალი

თავი I. ჰიდროტექნიკა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, მათი როლი ქვეყნის წყლის მეურნეობაში, წყლის მეურნეობის დარგები

- § 1-1. წყლის მეურნეობა და მისი დარგები 5
- § 1-2. ჰიდროტექნიკა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი 6
- § 1-3. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა თვისებურებანი და მუშაობის პირობები 7
- § 1-4. ჰიდროტექნიკის განვითარების მოკლე ისტორია 9
- § 1-5. ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის განვითარება საქართველოში 17

განყოფილება მეორე. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეობანი და მუშაობის საერთო პირობები

თავი II. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კეანძები, ჰიდრონაგებობები ჰიდროენერგეტიკულ და მელიორაციულ სისტემებზე, კაშხალები და მათი კლასიფიკაცია

- § 2-1. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სახეობანი 20
- § 2-2. სამდინარო ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კეანძები 23
- § 2-3. დროვითი ჰიდროელექტროსადგურების ნაგებობათა შედგენილობა 28
- § 2-4. ჰიდროტექნიკური ნაგებობები მელიორაციულ სისტემებში 31
- § 2-5. კაშხალები და მათი კლასიფიკაცია 33
- § 2-6. ზღა ბიუფის ჰიდროლოგიური რეჟიმი 36
- § 2-7. ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავების სახეობანი და მათი მახასიათებლები 42
- § 2-8. კვლედა ბიუფის ჰიდროლოგიური რეჟიმი 47
- § 2-9. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ფუძეები და მათი გეოლოგიური პირობების როლი 48
- § 2-10. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა გუბეზარებისა და მშენებლობისათვის საჭირო წინასწარი სამიგზო-კვლევითი სამუშაოები 55
- § 2-11. შებენობა ნაგებობათა ადგილის არჩევა გეოლოგიური პირობების მიხედვით 58

თავი III. ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე მოქმედი დატვირთვები

- § 3-1. ზოგადი მითითებანი 60
- § 3-2. წყლის ჰიდროსტატიკური, ჰიდროდინამიკური და ფილტრაციული წნევები 62
- § 3-3. წყლის ტალღების წნევა 63
- § 3-4. ყინულისა და ნატანის წნევები 67
- § 3-5. სეისმური დატვირთვები 70

თავი IV. წყლის ფილტრაცია ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ქვეშ და მათი შემოვლით

- § 4-1. ფილტრაცია არაკლდოვან ფუძეებზე აგებულ ნაგებობათა ქვეშ და მისი განაგარიშების მეთოდები 78
- § 4-2. ნაგებობის მიწისქვეშა კონტურზე მოქმედი ფილტრაციული წნევის განსაზღვრის მეთოდები 87
- § 4-3. ფილტრაციული ხარჯების განსაზღვრა ჰიდრონაგებობათა ქვეშ 98
- § 4-4. ფილტრაციული დეფორმაციები ნაგებობათა ფუძეებში 98
- § 4-5. ფილტრაცია კლდოვან ფუძეებზე აგებულ ნაგებობათა ქვეშ 106
- § 4-6. ფილტრაცია ჰიდრონაგებობათა შემოვლით 111

განყოფილება მესამე. ბეტონისა და რკინაბეტონის კაშხალები

თავი V. გრავიტაციული კაშხალების თეორია

- § 5-1. ზოგადი ცნობები გრავიტაციული კაშხალების შესახებ 115
- § 5-2. გრავიტაციული კაშხლის პროფილის ზომების დადგენა 117
- § 5-3. გრავიტაციული კაშხალების სიმტკიცეზე განაგარიშება ელემენტარული მეთოდით 121
- § 5-4. გრავიტაციული კაშხალების სიმტკიცეზე განაგარიშება დრეკადობის თეორიის მეთოდით 129
- § 5-5. გრავიტაციული კაშხალების სხვადასხვა მეთოდით განაგარიშების შედეგების შესახებ. მითითებანი დასაშვებ ძაბვათა შესახებ 139
- § 5-6. კაშხლის ფუძის დეფორმაციების, პროფილის გარდატეხებისა და ტანში მოწყობილი ხერხების გავლენა ძაბვების სიდიდესა და განაწილებაზე 142
- § 5-7. გრავიტაციული კაშხალების მდგრადობა 147

თავი VI. გრავიტაციული კაშხალები კლდოვან ფუძეებზე

- § 6-1. გრავიტაციული კაშხალების კლდოვანი ფუძეებისა და მასალების მოკლე დახასიათება 156
- § 6-2. ბეტონის გრავიტაციული კაშხალების კონსტრუირება კლდოვან ფუძეებზე 163
- § 6-3. გუმბათის გრავიტაციული კაშხალი და ჰიდროკენსის სხვა ნაგებობანი 172



თ ა ე ი VII. გრაფიკული კაშხალები არაკლდოვან ფუძეებზე

§ 7-1. კაშხალების კონსტრუქციები არაკლდოვან ფუძეებზე	176
§ 7-2. კაშხალების ქვედა მიწის მოწყობილობანი	191
§ 7-3. არაკლდოვან ფუძეებზე აგებული კაშხალების სიმტკიცეზე გაანგარიშება	199
§ 7-4. ბურჯების, ნახევარბურჯებისა და შემაღლებელი კედლების გაანგარიშება	207

თ ა ე ი VIII. თაღოვანი კაშხალები

§ 8-1. ცნობები თაღოვანი კაშხალების შესახებ	210
§ 8-2. თაღოვანი კაშხალების დაგეგმარება და კონსტრუქციები	217
§ 8-3. ლაქანურისა და ენგურის კიდროელექტროსადგურების თაღოვანი კაშხალები	230
§ 8-4. მოკლე ცნობები თაღოვანი კაშხალების სიმტკიცის კვლევის მეთოდების შესახებ	240
§ 8-5. თაღოვანი კაშხალების გაანგარიშება „სუფთა თაღის“ მეთოდით	245
§ 8-6. თაღოვანი კაშხალების, როგორც სივრცული სისტემების, გაანგარიშების მეთოდები.	254

თ ა ე ი IX. კონტრფორსული კაშხალები.

§ 9-1. ზოგადი ცნობები და კლასიფიკაცია	269
§ 9-2. მასიურ-კონტრფორსული კაშხალები	272
§ 9-3. მასიურ-კონტრფორსული კაშხალების სტატიკური გაანგარიშების საფუძვლები	293
§ 9-4. კონტრფორსული კაშხალები ბრტყელი გადახურვით	307
§ 9-5. ბრტყელი გადახურვის შიშველი კაშხალების კონტრფორსების სიმტკიცესა და ძვრახე გაანგარიშება	313
§ 9-6. კონტრფორსების გრძივ ღუნვაზე (გამობურცვაზე) მდგრადობა	320
§ 9-7. მრავალთაღოვანი და მრავალგუმბათოვანი კაშხალები, მათი კონსტრუქციები და გაანგარიშების საფუძვლები	329

თ ა ე ი X. ბეტონისა და რკინაბეტონის უჩრდოვანი, ასაწყობი და ასაწყობ-მონოლითური კონსტრუქციის კაშხალები

§ 10-1. უჩრდოვანი კაშხალები	344
§ 10-2. ასაწყობი ელემენტების გამოყენება. კაშხალების ასაწყობი კონსტრუქციები განუყოფლებად შეიძლება. მიწის, ქვის, ქვა-მიწისა და სხვა ტიპის კაშხალები	346

თ ა ე ი XI. მიწის კაშხალები

§ 11-1. ზოგადი ცნობები. მიწის კაშხალების კლასიფიკაცია	354
§ 11-2. მიწის კაშხლის ტანის შეერთება ფუძესთან და ნაპირებთან	356
§ 11-3. მიწის კაშხლების მუშაობის პირობები	359
§ 11-4. წყალშეღწევე ფუძეზე აგებულ მიწის კაშხალებში წყლის ფილტრაციის გაანგარიშების მეთოდები	362
§ 11-5. წყალშეღწევად ფუძეზე აგებულ მიწის კაშხალებში წყლის ფილტრაციის გაანგარიშების მეთოდები	370
§ 11-6. ფილტრაცია ნაპირებში მიწის კაშხლის შემოვლით	374
§ 11-7. მიწის კაშხალების ფილტრაციული სიმტკიცის გაანგარიშება	376
§ 11-8. მიწის კაშხალების ფერდობების მდგრადობაზე გაანგარიშება	381
§ 11-9. მიწის კაშხლის ერაზის, დამკველი ფენისა და გულის გაანგარიშება მდგრადობაზე	390
§ 11-10. მიწის კაშხლების დაქლომა	392
§ 11-11. ნაყარი მიწის კაშხალების კონსტრუქციების პრინციპები და აგების ხერხები	394
§ 11-12. მონალექი, ნახევრად მონალექი და „სველი“ ხერხით შენებადი მიწის კაშხალები	412

თ ა ე ი XII. ქვის, ქვა-მიწის და სხვა ტიპის კაშხალები

§ 12-1. ქვის კაშხალების კლასიფიკაცია	421
§ 12-2. ქვის კაშხალები მშრალი წყობით	422
§ 12-3. ქვაყრილი და ნახევრად ქვაყრილი კაშხალები	424
§ 12-4. ქვა-მიწის კაშხალები	430
§ 12-5. წყალსაშვები და მფილტრავი ქვაყრილი კაშხალები	431
§ 12-6. სხვა ტიპის კაშხალები	434

დ ა ნ ა რ თ ი — გრაფიკული და კონტრფორსული კაშხალების სეისმოდეგობაზე გაანგარიშება

§ 1. ზოგადი მითითებანი	443
§ 2. კაშხლის სექციის საკუთარი (თავისუფალი) რხევის სიხშირეების, პერიოდებისა და ფორმების განსაზღვრა ხეობის გასწვრივ (თავის სიბრტყეში)	443
§ 3. მასიურ-კონტრფორსული კაშხლის ცალკემდგომი სექციის საკუთარი რხევის სიხშირეების, პერიოდებისა და ფორმების განსაზღვრა ხეობის ვანიკად	452
§ 4. კონტრფორსების საკუთარი რხევები ხეობის ვანიკად სადაწნეო გადახურვის გაღწევის გათვალისწინებით	455
§ 5. გაორმაგებელი (ღრუ) კონტრფორსების კედლების საკუთარი რხევაზე გაანგარიშება	456

Моцонелидзе Николай Семенович  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ  
Часть 1  
(на грузинском языке)

რეცენზენტები:

საქართველოს სსრ მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებული მოღვაწე, ტექ. მეცნ. დოქტორი,  
პროფ. ნ. დანელია  
საქართველოს სსრ მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებული მოღვაწე, ტექ. მეცნ. დოქტორი,  
პროფ. გ. ჭიმშელია

ნაშრომი რეკომენდებულია ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკისა და სანტექნიკის ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ

რედაქტორი პ. ლაბარტყავა  
მხატვრული რედაქტორი ელ. სულთანაშვილი  
ტექნიკური რედაქტორი ნ. ძნელაძე  
კორექტორი ი. დონაძე  
გამომცემი მ. ყულაშვილი

გადაეცა წარმოებას 19/111-76 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად  
10/11-77 წ. ქალაქის ზომა 70X108<sup>1</sup>/<sub>16</sub> საბეჭდი ქალაქი № 1.  
პირ. ნაბეჭდი თაბახი 40,25. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 30,57.  
უე. 00330 ტირაჟი 2000. შეგვ. № 324

ფასი 1 მან. 25 კპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5.  
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Марджанишвили, 5.  
1977

საქართველოს სსრ მინისტრთა საბჭოს გამომცემლობათა, პოლიგრაფიისა და წიგნის ვაჭრობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტის ბეჭდვითი სიტყვის კომბინატი,  
თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5.

Комбинат печати, Государственного комитета Совета Министров Грузинской ССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли,  
Тбилиси, ул. Марджанишвили, 5.