

დოც. დ. ს. წიკლაური

# წყლის ენერგიის გამოყენება

(სახელმძღვანელო უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლებისათვის)

ტექნიკა და ურომა  
თბილისი—1957

## წინასიტყვაობა

წინამდებარე საბელმძღვანელო „წყლის ენერჯის გამოყენება“ ძირითადად განკუთვნილია უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების ჰიდრონელიორაციული და ჰიდროტექნიკური ფაკულტეტების სტუდენტთათვის. წიგნი აგრეთვე დახმარებას გაუწევს ამ დარგის მშენებლობასა და ექსპლოატაციაზე მომუშავე ინჟინრებსა და ტექნიკოსებს.

წიგნი ხუთი ნაწილისაგან შედგება:

პირველ ნაწილში მოცემულია ზოგადი ცნობები წყლის ენერჯის გაპოყენების, ჰიდროდანადგარის სიმძლავრისა და ჰიდროენერგეტიკული რესურსების შესახებ. აქვე განხილულია წყლის ენერჯის გამოყენების სხვადასხვა სქემა. მათ შორის აღსანიშნავია წყლის ენერჯის უშუალო გამოყენების სქემები და მდინარეების კომპლექსური გამოყენება ქალაქის ფარგლებში.

მეორე ნაწილი იხილავს წყალსამეურნეო და ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებების წესებს, აცნობს მკითხველს ჰიდროლოგიურ გაანგარიშებათა მეთოდოკას, რომელიც საფუძვლად უდევს წყალსაცავების წყალსამეურნეო გაანგარიშებებსა და ჩამონადენის რეგულების საბეობის შერჩევას.

მესამე ნაწილში ძირითადად მოცემულია ჰესების სხვადასხვა სქემა და მათი მახასიათებლები.

მეოთხე ნაწილი ეთმობა ჰიდრაულიკურ ტურბინებს. ამ ნაწილში მოყვანილია ტურბინების ტიპები, მათი კლასიფიკაცია, აღწერილია ტურბინების მუშაობის პრინციპი, თეორიული საფუძვლები. განხილულია ტურბინების მსგავსების კანონები, მათი გამოყენების ფარგლები ტურბინების ტიპის შერჩევისა და ძირითადი ზომების დადგენისას. აგრეთვე მოცემულია ზოგიერთი ცნობა ტურბინების მოვლისა და ექსპლოატაციის შესახებ.

წიგნის მეხუთე ნაწილი იხილავს ჰიდროელექტროსადგურის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კვანძებს, იძლევა ზოგიერთ კონსტრუქციულ სქემებს და ამ კვანძების ნაგებობათა ჰიდრაულიკურ და ჰიდროტექნიკურ გაანგარიშებათა წესებს.

ზოგიერთ თავში მასალა შემოკლებით არის გაშუქებული, განსაკუთრებით ეს ითქმის § 59—65-ზე, სადაც მასალა კონსპექტური ხასიათისაა. დაინტერესებულ მკითბველს, რომელსაც სურს ჰესების ჰიდროტექნიკური ნაწილის დეტალური შესწავლა, შეუძლია ისარგებლოს სპეციალური მონოგრაფიებით.

**ავტორი**

## შესავალი

კაცობრიობის არსებობის უძველესი დროიდანვე ადამიანი წყლის ენერგიას იყენებდა თავისი პრიმიტიული მეურნეობის წარმართვისათვის. ჯერ კიდევ 3000 წლის წინათ ნილოსზე, ეფრატზე, ყვითელ მდინარეზე. განგაზე მორწყვის მიზნით წყლის ასატანად იხმარებოდა პონტონიანი წყლის ბორბლები. რომში იმპერატორ ავგუსტის მეფობისას წყალმომარაგებისათვის დადგმული იყო წყალამწევი ბორბლები. მდინარე ტიბრზე კი (537 წ. ჩვენს წელთ აღრიცხვამდე) მოწყობილ იქნა პონტონიანი წისქვილები.

რუსეთში ბორბლიანი წყლის წისქვილები თარზული ლილვით უკვე ცნობილი იყო მე-11-13 საუკ. უფრო ადრე, კავკასიაში, კერძოდ საქართველოში (I-ლ ასწლეულში ჩვენს წელთ აღრიცხვამდე) გავრცელებული იყო შვეულ-ლილვიანი წყლის წისქვილები.

მე-16 საუკ. (რუსეთში) უკვე მუშაობდა ჰიდროდანდგარები (მდ. ლახოზე ქ. ვოლოგდის მახლობლად), რომელსაც მოძრაობაში მოჰყავდა სამჭედლო ურო. აგრეთვე მოსკოვის ოლქში არსებობდა ჰიდროდანადგარი ქალაქის მაისის დასაფუქვავად.

პეტრე პირველის დროს დიდი ყურადღება ექცეოდა ჰიდროტექნიკურ მშენებლობას. მაგალითად, 1722 წელს ვიშნო-ვოლოკის სისტემაზე აგებული იყო ჰიდრაულიკური დანადგარი; ეს დანადგარი არ ჩამოუვარდებოდა ქ. მარსელში მდ. სენაზე მოწყობილ წყალამწევე დანადგარს, რომელიც 221 ტუმბოს ამოძრავებდა. ამ ტუმბოების საერთო წარმადობა დღე-ღამეში 3200 მ<sup>3</sup>-ს შეადგენდა, ხოლო წყლის აწევის სიმაღლე 162 მეტრს აღწევდა.

მე-18 საუკუნეში გამოჩენილი რუსი მშენებლების: პოლ ზუნოვის, ჩერეპანოვის, ფოლოვოვის და სხვათა მიერ ურალში აგებულ იყო მრავალი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა და სხვადასხვა ტიპის ჰიდრაულიკური მანქანა.

მე-19 საუკუნის ნახევრამდე წყლის ენერჯის გამოყენება მიმდინარეობდა წყლის ბორბლების დანერგვის გზით. წყლის ბორბლები მნიშვნელოვანი ზომის მზადდებოდა: მაგალითად ურალის ერთ-ერთი მაღაროსათვის აგებულ წყალძალოვან დანადგარს სამი ბორბალი ჰქონდა, ამათ-

გან უდიდესი ბორბლის დიამეტრი 18 მ უდრიდა. ასეთი ბორბალი მუშაობდა 19,5 მ დაწნევის ქვეშ, მისი ბრუნთა რიცხვი 1,5 ბრ/წთ აღწევდა და ანვითარებდა 150 ც. ძ. სიმძლავრეს. მცირე ბრუნთა რიცხვის გამო ასეთი ტიპის ჰიდრავლიკური მექანიზმები დიდი ზომების გამოდიოდა. ეს გარემოება კი დღის წესრიგში აყენებდა რომ, გაუმჯობესებულყო ჰიდრავლიკური ენერჯის გამოყენების ტექნიკა და შექმნილიყო სრულქმნილი, კომპაქტური ჰიდრავლიკური მანქანა.

მე-18 საუკუნეში მექანიკური ენერჯის გარდაქმნის საერთო თეორიის დამუშავების შედეგად შესაძლებელი შეიქმნა ჰიდრავლიკური ტურბინის დაპროექტება და დამზადება. პირველად მე-19 საუკუნის პირველ ნახევარში დამზადებული იყო რადიალურ-ღერძული ტურბინი, რომელიც შემდგომ გაუმჯობესებული იყო ფრენსისის მიერ (1847 წ.).

ენერგეტიკული ტექნიკის შემდგომი განვითარება დაკავშირებული იყო ენერჯის შორ მანძილზე გადაცემის საკითხის გადაჭრასთან; პირველად 1882 წელს განხორციელდა ელექტროენერჯის გადაცემა 61 კმ-ის მანძილზე მუდმივი დენის საშუალებით 2400 ვოლტი ძაბვისას. 1891 წელს კი განხორციელდა 12000 ვოლტის ძაბვიანი სამფაზიანი ცვლადი დენის საშუალებით 300 ც. ძ. სიმძლავრის გადაცემა 175 კმ მანძილზე. ელექტროენერჯის დიდ მანძილზე გადაცემის საკითხის გადაჭრის შემდეგ შესაძლებელი გახდა წყლის ენერჯის გამოყენების შემდგომი სწრაფი განვითარება. იზრდებოდა როგორც გადაცემული სიმძლავრეები, ისე გადაცემის მანძილი.

რევოლუციამდელ რუსეთში ენერგეტიკის ტექნიკის დონე შეგვიძლია დავახასიათოთ შემდეგი მონაცემებით: მთავარი ქალაქებისა და ცენტრების ენერგეტიკულ ბაზას წარმოადგენდა წვრილი ელექტროსადგურები. მაშინდელ პეტროგრადში სულ 105 წვრილი ელექტროსადგური იზოლირებულად და სხვადასხვა ძაბვაზე მუშაობდა. მოსკოვის, პეტერბურგის, ბაქოს, თბილისის და სხვა ქალაქებში დადგმულ თითოეულ ელექტროსადგურს ჰქონდა რამდენიმე ორთქლის ქვაბი და ორთქლის მანქანა. საქვაბო დანადგარები მუშაობდნენ ნავთობზე და ნალალი ხარისხის ნახშირზე. საშუალოდ ელექტროსადგურების მარჯი ქმედების კოეფიციენტი 11—12% არ აღემატებოდა, ხოლო საწვავი მასალის საშუალო ხარჯი ერთ გამომუშავებულ კილოვატ-საათზე შეადგენდა 1,15 კგ საწვავს. რაც შეეხება ქალაქის მოსახლეობას, მთავარ ქალაქებში თითოეულ მოსახლეზე წლის განმავლობაში 15 კვტ-საათი ელექტროენერჯია იხარჯებოდა, ხოლო თბილისისათვის ეს ციფრი სამჯერ ნაკლები იყო. მაშინდელი რუსეთის ელექტროსადგურები სოფლის მეურნეობას

წლის განმავლობაში აწედიდნენ არა უმეტეს ორი ათას კვტ-საათ ელექტროენერგიას. საქართველოში კი სოფლის მეურნეობა არავითარ ელექტროენერგიას არ ღებულობდა. მაშინდელი რუსეთის მრეწველობის ელექტროფიკაცია არ აღემატებოდა 35%-ს.

რევოლუციამდელ რუსეთში მდინარეების ენერგია გამოყენებული იყო მხოლოდ 0,9%-ით. საქართველოში კი მდინარეების სიმძლავრე გამოყენებული რჩებოდა.

საბჭოთა ხელისუფლების დამყარებიდანვე დიდი ყურადღება მიექცა ჰიდროენერგეტიკის განვითარებას.

ჰიდროენერგეტიკა ჩამოყალიბდა და განვითარდა ჩვენს ქვეყანაში საბჭოთა პერიოდში საბჭოთა მეცნიერების (ვედენევი, მოროზოვი, ეგიაზაროვი, მოსტოვი, ზოლოტარიოვი) მეშვეობით; ჰიდროენერგეტიკას მიეცა სრულიად ჩამოყალიბებული მეცნიერული სახე, რამაც გადამწყვეტი როლი ითამაშა ჩვენი ქვეყნის ენერგეტიკული ბაზის შექმნაში და სახალხო მეურნეობის განვითარებაში.

ამჟამად უკვე საკმაოდ შესწავლილია და დაზუსტებულია ჩვენი ქვეყნის ჰიდრორესურსები. რევოლუციამდე თუ ეს რესურსები გამოყენებული იყო 0,9%-ით, დღეისათვის 23,3%-ს აღემატება. ჰიდროავლიკური ენერგიის გამოყენების ბაზაზე აგებულია რამდენიმე ათასი სხვადასხვა სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგური, გათხრილია და ექსპლოატაციაში გადაცემული რამდენიმე ათასი კილომეტრი სიგრძის სანაოსნო და საირიგაციო არხი. კერძოდ, საქართველოში თუ რევოლუციამდე სულ სამი მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგური იყო აშენებული, დღეისათვის საქართველოს სხვადასხვა რაიონებში აგებულია ასსამოცზე მეტი ჰიდროელექტროსადგური. მათ შორის ხრამჭესი წარმოადგენს ყველაზე მაღალ დაწნევიან სადგურს საბჭოთა კავშირში. ხრამჭესი I-ს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს საქართველოს ენერგოსისტემისათვის, როგორც მარეგულებელ ჰიდროელექტროსადგურს.

მწყობარში ჩადგა გუმათი-II, ტყიბულისა და ბეუეას ჰიდროელექტროსადგურები. გარდა ამისა, მშენებლობის პროცესშია ხრამი-II, ლაჯანურის, გუმათი-I ჰიდროელექტროსადგურები. აგრეთვე მალე დაიწყება ერთ-ერთი უდიდესი მაღალდაწნევიანი დარიალჭესის მშენებლობა მდ. თერგზე. დარიალჭესი მაღალდაწნევიან ელექტროგადამცემი ხაზით დაუკავშირდება ჩრდილოკავკასიას (ორჯონიკიძე, გროზნო) და საქართველოს ენერგოსისტემას.

საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის XX ყრილობის დირექტივები სსრკ სახალხო მეურნეობის განვითარების მე-6 ხუთწლიანი გეგმის შესახებ ითვალისწინებს 1960 წლის ბოლოსათვის ელექტროენერგიის გამომუშავების გაღილებას 88%-ით. ამრიგად, მე-6 ხუთწლიდის ბო-

ლო წელს გამომუშავებული იქნება 6,5-ჯერ მეტი ელექტროენერგია, ვიდრე 1940 წელს. ამ პერიოდისათვის ელექტროენერგიის გამომუშავება მიაღწევს დაახლოებით 320 მილიარდ კვტ-საათს. ამის შესაბამისად, გათვალისწინებულია რიგი მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა.

მე-6 ხუთწლიანი გეგმით. გათვალისწინებულია აღმოსავლეთ ციმბირის ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ათვისება. აღმოსავლეთ ციმბირის მდინარეები, კერძოდ ანგარა და ენისეი განსაკუთრებული ჰიდროენერგეტიკული პირობებით ხასიათდება. მაგალითად მდინარე ანგარის კასკადური სქემით გამოყენებისას შეიძლება მივიღოთ 10 მილიონი კვტ სიმძლავრე 70 მილიარდი კვტ-საათი გამომუშავებით. წელიწადში. ახლო მომავალში მწყობრში ჩადგება ანგარის კასკადის პირველი ჰიდროელექტროსადგური—ირკუტსკის ჰესი, რომლის სიმძლავრე 660 ათას კვტ-ს აღემატება. ამ ჰესის კაშხალით ბაიკალის ზღვის დონემ უნდა აიწიოს გარკვეულ სიმაღლეზე, სადაც წარმოიქმნება უდიდესი წყალსაცავი, რომელიც დაარეგულებს ჩამონადენს კასკადის ქვემო განლაგებული ჰიდროელექტროსადგურებისათვის.

მდინარე ანგარაზე აგრეთვე შენდება ბრატსკის ჰესი, რომლის სიმძლავრე 3,2 მილიონი კვტ იქნება. ეს სადგური გამოიმუშავებს 22 მილიარდ კვტ-საათ ელექტროენერგიას წელიწადში, ე. ი. იმდენივეს, რამდენსაც სსრ კავშირის ევროპული ნაწილის ორი უდიდესი კუიბიშევისა და სტალინგრადის ჰესები. ბრატსკის ჰესის მშენებლობა კი ერთი ორად უფრო იაფი დაჯდება, ვიდრე ერთად აღებული კუიბიშევისა და სტალინგრადის მშენებლობა.

პარტიის XX ყრილობის გადაწყვეტილებანი აგრეთვე მკაფიოდ განსაზღვრავენ სოფლის ელექტროფიკაციის შემდგომი განვითარების ამოცანებს. ჩვენი ქვეყნის სხვადასხვა კუთხეში ამჟამად შენდება 450-ზე მეტი სოფლის ჰიდროელექტროსადგური, რომელთა შეჯამებული სიმძლავრე 150 ათას კვტ-ს აღემატება. ეს სადგურები ელექტროდენს მიაწვდიან მრავალ ასეთ კოლმეურნეობებს, საბჭოთა მეურნეობებს და მანქანატრაქტორთა სადგურებს.

ბოლოს აღსანიშნავია, რომ ჰიდროელექტროსადგურების ასეთი მრავალფეროვნება და მათი მუშაობის სხვადასხვა პირობები მეცნიერებისა და ტექნიკის წინაშე აყენებენ რიგ ამოცანებს, კერძოდ სხვადასხვა ტიპისა და სიმძლავრის ჰიდროავლიკური ტურბინების ნორმალიზაციას და ჰიდროელექტროსადგურების მართვისათვის ავტომატიზაციის სრულყოფილი წესების დამუშავებას მათი ჰიდროძალოვან დანადგარებში დასანერგად.

**წყლის ენერჯის გამოყენების საფუძვლები**

თ ა ვ ი I

**ძირითადი ცნებანი**

**§ 1. წალნაკადის ჰიდროელექტრი ენერჯია და მისი გამოყენება**

ცნობილია, რომ გარკვეულ სიმაღლეზე ატანილი თხევადი ნაწილაკი შეიცავს ენერჯიის განსაზღვრულ მარაგს. მოცემული ნაწილაკის გადაადგილება სხვა ნებისმიერ სიმაღლეზე გამოიწვევს მისი ენერჯიის მარაგის შეცვლას: ენერჯიის მარაგის შემცირება ნიშნავს ნაწილაკის მიერ გარკვეული მუშაობის შესრულებას, ენერჯიის მარაგის გაზრდა კი შებრუნებით, ამ ნაწილაკის მიერ გარკვეული მუშაობის შთანთქმას, ე. ი. გარე ძალის მოქმედებით ამ ნაწილაკის გადაადგილებას უფრო მეტ სიმაღლეზე.

როცა თხევადი ნაწილაკი უძრავ მდგომარეობაშია, მაშინ მისი ენერჯია წარმოადგენს დაგროვილ ანუ პოტენციურ ენერჯიას. როცა ეს ნაწილაკი მოძრაობაშია, ამ შემთხვევაში მისი პოტენციური ენერჯიის ნაწილი გადადის კინეტიკური ენერჯიის სახეობაში, ნაწილი კი იხარჯება სხვადასხვაგვარ წინაღობათა გადალახვაზე; ე. ი. ჰიდრავლიკურ დანაკარგებზე. ცხადია, ჩამოთვლილ სიდიდეთა ჯამი ტოლი იქნება მოცემული თხევადი ნაწილაკის პოტენციური ენერჯიის იმ მარაგისა, რომელიც ჰქონდა მას საწყის, უძრავ მდგომარეობაში.

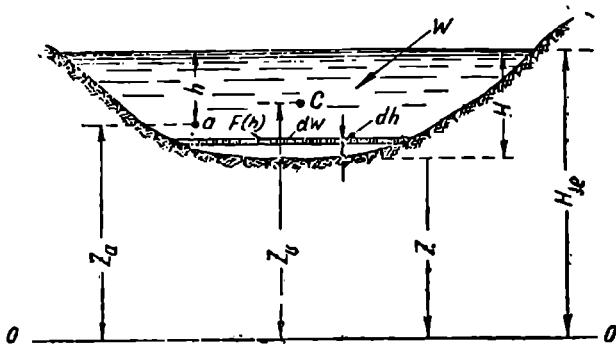
თხვეად ნაწილაკს რომ წაეართვათ ჰიდრავლიკური ენერჯიის გარკვეული ნაწილი მარგი მუშაობის შესასრულებლად, საჭიროა გვექონდეს ამ ენერჯიის მიმღები მექანიზმების გარდა კიდევ იმის საშუალება, რომ მოცემული თხევადი ნაწილაკი გადავადგილოთ საწყის მდებარეობიდან (მაღალ ნიშნულიდან) სხვა მდებარეობამდე (დაბალ ნიშნულამდე), სადაც ნაწილაკს ექნება ნაკლები ენერჯია, ვიდრე მას ჰქონდა პირველად.

როგორც ვიცით, ენერჯია წარმოადგენს ამა თუ იმ სახეობის მუშაობის შესრულების უნარს, შესაძლებლობას; უფრო ზუსტად, ენერჯია არის მოძრაობის ერთი ფორმიდან მეორე ფორმაში გადასვლის ზოგადი საზომი. ამიტომ ენერჯიას აქვს მუშაობის განზომილება (კვ.მ).



პრაქტიკულად წყალნაკადის (მდინარის) ჰიდრავლიკური ენერგიის გამოყენებისას ჩვენთვის მნიშვნელოვანია არა თითოეული თხევადი ნაწილაკის მიერ მოცემული მუშაობა, არამედ მუშაობის ის რაოდენობა, რომელიც შეიძლება მოგვეცეს ნაკადმა გარკვეული დროის განმავლობაში. ქვემოთ განხილული იქნება წყალნაკადის ჰიდრავლიკური (მექანიკური) ენერგიის განსაზღვრისა და მისი გამოყენების ძირითადი ცნებანი.

წარმოვიდგინოთ წყლით ავსებული წყალსატევი (ნახ. 1), რომლის ფსკერის დაბალი ნიშნული  $0-0$  შედარებით სიბრტყიდან  $z$  სიმაღლეზე.



ნახ. 1. სქემა წყალსატევიში მოთავსებული წყლის პოტენციური ენერგიის განსაზღვრისათვის.

მდებარეობს. განვსაზღვროთ წყალსატევიში მოთავსებული  $W$  მოცულობის წყლის პოტენციური (დაგროვილი) ენერგიის მარაგი. რადგან წყლის ენერგია იზომება წყლის სიმძიმის ძალისა (წონა) და მისი მიმართულებით გავლილი მანძილის (ვარდნის სიმაღლე) ნამრავლით, ამიტომ ჩვენი შემთხვევისათვის სრული პოტენციური ენერგიის მარაგი შეგვიძლია ასე გამოვსახოთ:

$$E = G \cdot z_{\text{ს}}, \text{ კგ/მ.} \quad (1,1)$$

აქ  $G = \gamma W$  არის წყალსატევიში მოთავსებული წყლის სრული წონა;  $\gamma = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>—წყლის ერთეული მოცულობის წონა;  $W$ —მოცულობა გაზომილი მ<sup>3</sup>-ით;  $z_{\text{ს}}$ — $W$  მოცულობის  $c$  სიმძიმის ცენტრიდან  $0-0$  შედარების სიბრტყემდე შვეული მანძილი (ვარდნის სიმაღლე).

როგორც (1,1) გამოსახულებიდან ჩანს, წყალსატევიში მოთავსებული წყლის სრული პოტენციური ენერგიის მარაგის გამოსათვლელად

საჭიროა ვიცოდეთ  $W$  მოცულობის განსაზღვრის წესი ზოგადად,  $W$  მოცულობა შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება

$$W = \int_0^H F(h) dh. \quad (1,2)$$

აქ  $F(h)dh = dW$  არის წყლის ელემენტური მოცულობა წყალსატევში:  $F(h)$  წყლის თარაზული ზედაპირის ფართობი აღებული ნებისმიერ სიღრმეზე.

როგორც ნახაზიდან ჩანს,  $F(h)$  ფართობი იცვლება წყალსატევის  $H$  სიღრმესთან დამოკიდებულებით. ცხადია, ბუნებრივ პირობებში წყალსატევი რთული კონფიგურაციის იქნება და  $W$  მოცულობის გამოთვლა არც ისე ადვილია, თუ არ ვიცით წყალსატევის ფორმის და მისი რელიეფის მახასიათებლები, ე. ი. შეგვიძლია დაეწეროთ ცნობილი ფორმულა

$$W = CH^m, \quad (1,3)$$

სადაც  $C$  და  $m$  წყალსატევის ტოპოგრაფიული მახასიათებლები სათანადო ცხრილებიდან აიღება. მოყვანილი (1,3) დამოკიდებულების საფუძველზე შეგვიძლია ავაგოთ მრუდი წყალსატევის ტევადობის განსაზღვრისათვის<sup>1</sup>.

როდესაც ცნობილია  $C$  და  $m$  მახასიათებლები, მოცემული (1,3) ფორმულის საფუძველზე შეგვიძლია დავადგინოთ წყალსატევის მოცულობისა და წყლით შევსების სიღრმეს შორის ასეთი დამოკიდებულება:

$$H = \frac{W^{1/m}}{C^{1/m}}, \quad (1,4)$$

სადაც  $H$  არის წყლის სრული სიღრმე წყალსატევში.  
ამრიგად,

$$\Delta a = \gamma W \alpha_0. \quad (1,5)$$

(1,5) გამოსახულება წარმოადგენს წყალსატევში მოთავსებული წყლის სრული პოტენციური ენერჯიის ზოგად გამოსახულებას.

წყლის ენერჯიის ტექნიკური გამოყენების ხერხების შესწავლამდე საჭიროა განვმარტოთ ცნება კუთრი პოტენციური ენერჯიისა და ჰიდროსტატიკური დაწნევის შესახებ. ამისათვის წყალსატევის ნებისმიერ  $h$  სიღრმეზე გამოვყოთ წყლის ელემენტური მოცულობა, რომლის წონა  $1$  კგ და შეყუსულია (თავმოყრილია)  $a$  წერტილში (ნახ. 1). ამ წერტი-

<sup>1</sup> დაწვრილებით იხილეთ პროფ. მ. მოსტკოვის „ჰიდროენერგეტიკის საფუძვლები“, 1954.

ლის დაშორება 0—0 შედარების სიბრტყიდან იყოს  $\chi_0$ , მაშინ კუთრი პოტენციური ენერჯიის მნიშვნელობა ასე გამოისახება

$$\Phi_{(1)} = (\chi_0 + h) \quad (1,6)$$

სადაც  $\Phi_{(1)}$  არის კუთრი პოტენციური ენერჯია;  $\chi_0$ — $a$  წერტილის გეომეტრიული (ვარდნის) სიმაღლე აღებული 0—0 შედარების სიბრტყის მიმართ;  $h$ — $a$  წერტილის ჩაძირვის სიღრმე, ან შესაბამისი პიეზომეტრული სიმაღლე.

ჩვენ გვინტერესებს აგრეთვე ვიპოვოთ ჰიდროსტატიკური დაწნევის გამოსახულება. ამისათვის (1,6) განტოლება სითხის ელემენტური მოცულობის წონაზე (1 კგ) გავყოთ, გვექნება

$$H_1 = \chi_0 + h \quad (1,6')$$

მიღებულ გამოსახულებას ჰიდროსტატიკური დაწნევა ეწოდება და კუთრი პოტენციური ენერჯიის საზომს წარმოადგენს.

ჩვენ თუ ავიღებთ წყალსატევში სასრულო სიდიდის  $W$ ; წყლის მოცულობას, რომლის სიმძიმის ცენტრის დაშორება 0—0 შედარების სიბრტყიდან ვთქვათ  $\chi$ ; სიმაღლეა, მაშინ წყლის ამ მოცულობის პოტენციური ენერჯია (1,5) გამოსახულების თანახმად ტოლი იქნება

$$\Phi_1 = \gamma W \chi \quad (1,7)$$

როგორც აღვნიშნეთ, პოტენციური ენერჯიის გამოყენება შეგვიძლია იმ შემთხვევაში, თუ დაგროვილი წყლის მასას მივცემთ ვარდნის საშუალებას. მაშინ პოტენციური ენერჯია გარდაიქმნება მოძრაობის სახეობად, ანუ დინამიკურ ენერჯიად.

დინამიკური ენერჯიის შესაბამის დაწნევას ვუწოდებთ ჰიდროდინამიკურ დაწნევას, რომელიც რამდენიმედ ნაკლები იქნება ჰიდროსტატიკურ დაწნევაზე განსახილველ კვეთში, რადგან ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით ადგილი აქვს ჰიდრაულიკურ დანაკარგებს.

წყალსატევში დაგროვილი წყლის პოტენციური ენერჯია რომ გამოვიყენოთ მარგი მუშაობის შესასრულებლად, ამისათვის საჭიროა შევექმნათ ვარდნის სიმაღლე ( $H_1$ ) და წყლის გარკვეული რაოდენობა ჩამოვაგდოთ მილსადენის (ან არხის) საშუალებით ამ სიმაღლიდან. წყლის ვარდნის შედეგად, წყალნაკადს ექნება განსაზღვრული დინამიკური (მოძრაობის) ენერჯია (ნახ. 2), რომელიც მილსადენის სიგრძეზე გარკვეულ ცვალებადობას განიცდის. მილსადენის რომელიმე ნებისმიერ  $i$  კვეთში დინამიკური ენერჯია ასეთნაირად გამოისახება:

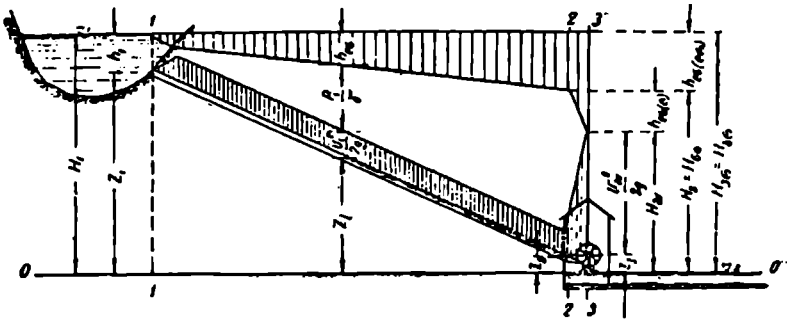
$$\Delta_{\text{კინ}} = \gamma W \left[ \tau + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right]_i \quad (1,8)$$

სადაც  $W$  არის მილსადენში გამავალი წყლის რაოდენობა;  
 $\tau$  — გეომეტრიული სიმაღლე შედარების სიბრტყიდან მილსადენის  $i$  კვეთის ცენტრამდე;

$\frac{P_i}{\gamma} = h_i$  — პიეზომეტრიული სიმაღლე განსახილველ კვეთში;

$\frac{\alpha v_i^2}{2g}$  — კუთრი კინეტიკური ენერგია, სადაც  $v_i$  ნაკადის სიჩქარეა.

$i$  კვეთში. როცა მილსადენის განივკვეთი მთელ სიგრძეზე უცვლელია ( $d = \text{const}$ ), მაშინ  $v_i = v = \text{const}$ , ხოლო სიჩქარის კორექტივი  $\alpha = 1$ .



ნახ. 2. წყლის ენერგიის გამოყენების პრინციპული სქემა.

განვიხილოთ წყალსადენის ენერგიის გამოყენების ზოგადი შემთხვევა (ნახ. 2), ამასთან მხედველობაში მივიღოთ ჰიდრავლიკური დანაკარგები და ვთქვათ, რომ ნაკადის გზაზე დადგმულია ჰიდრავლიკური მანქანა (ჰიდრავლიკური ტურბინი), რომელშიც ნაკადი გარკვეულ  $[\gamma W H_{\text{მკ}}]$  მექანიკურ ენერგიას გამოიმუშაებს. მაშინ მილსადენის საწყისი (1—1) და ბოლო (2—2) კვეთების მიმართ აღებული ენერგიების გამოსახულება დაიწერება ასე  $[v_1 = v_2]$ :

$$\left[ \frac{P}{\gamma} + \tau \right]_1 - \left[ \frac{P}{\gamma} + \tau \right]_2 = \Sigma h_{\text{გგ}}, \quad (1,9)$$

$$\Delta_{\text{კინ},1} - \Delta_{\text{კინ},2} = \Sigma h_{\text{გგ}}. \quad (1,10)$$

აქ  $\Delta_{1,1} = \left[ \frac{P}{\gamma} + \tau \right]_1$  არის კუთრი პოტენციური ენერგია (1—1) კვეთში, სადაც  $\frac{P_1}{\gamma} = h_1$ ;  $\tau_1$  შესაბამისი გეომეტრიული სიმალეა;

$\Delta_{1,2} = \left( \frac{P}{\gamma} + \tau \right)_2$  — იგივეა 2—2 კვეთისათვის;

$h_{e\delta}$  — ჰიდრავლიკური დანაკარგების ჯამი მილსადენის სიგრძეზე.

ანალოგიურად, ჩვენ თუ განვიხილავთ 2—2 და 3—3 კვეთებს და დაეწერთ ენერგიის გამოსახულებას, გვექნება

$$H_2 = H_{3j} + h_{e\delta(\delta)}, \quad (1,10')$$

სადაც  $H_2 = \frac{v_{2j}^2}{2g} + z_2$  არის [ $v_{2j}$  თავისუფლად გამოდინებული ქაეროლის სიჩქარე მნიშვნელოვანი სიდიდისაა, რადგან 2—2 და 3—3 ზონაში პიეზომეტრული წნევის მეტი ნაწილი გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიადა] კუთრი ნეტო ენერგია 2—2 კვეთში;  $H_{3j}$  — ნაკადის მიერ გამოთქმული მექანიკური ენერგიის შესაბამისი სიმალე;  $h_{e\delta(\delta)}$  კი ჰიდრავლიკური დანაკარგები ჰიდრავლიკურ მანქანაში.

ზემომოყვანილი გამოსახულებიდან ვიპოვიოთ:

$$H_{3j} = H_2 - h_{e\delta(\delta)}. \quad (1,10'')$$

მიღებული ტოლობა გვიჩვენებს, რომ წყალნაკადის მიერ ჰიდრავლიკურ მანქანაში გამოთქმული მექანიკური ენერგიის სიდიდე დამოკიდებული იქნება  $h_{e\delta(\delta)}$  დანაკარგების მნიშვნელობაზე. მაგალითად, როცა  $h_{e\delta(\delta)} = H_2$ , მაშინ  $H_{3j} = 0$ , მაგრამ თუ  $h_{e\delta(\delta)} = 0$   $H_{3j} = H_2$ , ე. ი. ჰიდრავლიკურ მანქანაში არაერთარ დანაკარგებს არა აქვს ადგილი და ნეტო დაწნევა მთლიანად გარდაიქმნება მექანიკურ ენერგიადა (იდეალური შემთხვევა).

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილია წყლის ენერგიის გამოყენების პრინციპული სქემა. აქვე მოცემულია კუთრი დინამიკური ენერგიის<sup>1</sup> გრაფიკული გამოსახულება მილსადენისათვის. გრაფიკის ზემო დაშტრიხული ნაწილი იძლევა დანაკარგების განაწილების სურათს, დაუშტრიხავი ნაწილი კი პიეზომეტრული წნევის განაწილებას. გრაფიკის ქვემო დაშტრიხული ნაწილი შეესაბამება კინეტიკურ ენერგიას, რომელიც მილსადენის სიგრძეზე არ იცვლება.

<sup>1</sup> ხშირად, წყლის დინამიკურ ენერგიას უწოდებენ ჰიდრავლიკურ ენერგიას.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, მილსადენის 1-1 და 2-2 კვეთების მიმართ აღებული კუთრი დინამიკური ენერგია გამოსახულია  $H_1$  და  $H_2$  სიმალლეებით, ხოლო წყლის ენერგიით გამოიმუშავებული მექანიკური ენერგია— $H_{აგ}$  სიმალლით.

ჰიდრაულიკური ენერგიის მისაღებად საჭიროა, რომ პირველად წყალნაკადის ენერგია გარდაექმნათ პოტენციურ ენერგიად, შემდეგ კი კინეტიკურ ენერგიად (ნაწილობრივ ან მთლიანად). წყლის ენერგიის პოტენციურ სახეობად გარდაქმნა ხდება დერივაციის (არხები, მილსადენები), ან წყალდამქერ ნაგებობათა (კაშხალები, მიწის ყრილები) საშუალებით (იხ. ქვემოთ). პოტენციური ენერგიის გარდაქმნა კინეტიკურ ენერგიად წარმოებს ჰიდრაულიკურ მანქანებში, რომლებიც მოქმედებენ აქტიური ან რეაქტიული პრინციპებით (იხ. ქვემოთ).

წყლის ჰიდრაულიკური ენერგია შეგვიძლია გამოვიყენოთ უშუალოდ მარგი მუშაობის შესასრულებლად, მაგალითად: წყლის ასატანად საჭირო სიმალლეზე (წყალამწევი მანქანებით), შექუმული ჰაერის მისაღებად (ჰიდრაულიკური კომპრესორებით), სხვადასხვა მარცვლეულის დასატყევადად (წყალწისქვილებით) და სხვ.

წყლის ჰიდრაულიკური ენერგია გამოიყენება აგრეთვე მისი გარდაქმნით—ელექტროენერგიად, ე. ი. წყლის ენერგიას ჰიდრაულიკური ტურბინებით ჯერ გარდაექმნით მექანიკურ ენერგიად, შემდეგ კი დინამომანქანების საშუალებით—ელექტროენერგიად.

წყლის ენერგიის გამოყენების პირველ სახეობას ეწოდება წყლის ენერგიის უშუალო გამოყენება, მეორე სახეობას კი წყლის ენერგიის ტრანსფორმაცია (გარდაქმნა).

წყლის ენერგიის ტრანსფორმაციას ფართო გამოყენება აქვს ტექნიკაში, სახელდობრ, ჰიდროელექტროსადგურებში [ქესები] დადგმული ტურბინებისა და გენერატორების საშუალებით წარმოებს წყლის ენერგიის გარდაქმნა ელექტროენერგიად. ელექტროენერგია ამჟამად წარმოადგენს ყველაზე სრულყოფილი ენერგიის სახეობას, რომლის გამოყენება თანამედროვე ტექნიკასა და სახალხო მეურნეობაში მეტად მრავალმხრივია.

## § 2. ცნება ლაწნაჲის, ხარჯისა და ჰიდროდინამიკის სიმალლარის შესახებ

როგორც ზემომოყვანილი აღწერიდან ჩანს, წყლის ენერგია, ანუ ჰიდრაულიკური ენერგია წარმოადგენს მექანიკური ენერგიის სახეობის ერთ-ერთ ფორმას და ხასიათდება იმ თვისებებით, რომ მას შეუძლია შეასრულოს როგორც ენერგიის დამტარებლის (წყლის ენერგიის უშუალო გამოყენება), ისე ენერგიის გარდაქმნელის (ენერგიის ტრანსფორ-

მა(ცია) ფუნქცია. ამასთან ჰიდრაულიკური ენერგია პირდაპირპროპორციულია განსახილველ კვეთში გამავალი დროის ერთეულში წყლის რაოდენობისა, ანუ  $Q$  ხარჯისა და  $H$  დაწნევისა.

წყალნაკადის ენერგეტიკული გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა ტიპის ენერგეტიკულ დანადგარში. ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების ყველაზე გავრცელებულ ტიპს წარმოადგენს ჰიდროელექტროსადგური (ჰესი).

როგორც ვიცით, წყალნაკადის ენერგიის გამოყენებისათვის საჭიროა შევქმნათ ჰიდროდანადგარის მოწყობის ადგილას ვარდნის სიმაღლე ( $H_36$ ). წყლის ამ ვარდნის სიმაღლეს, ანუ ჰიდროდანადგარის ზემო და ქვემო ბიეფებში წყლის დონეთა სხვაობას ( $H_{36} = \nabla_1 - \nabla_2$ ) ბ რ უ ტ ო დაწნევა ეწოდება.

ზემოაღწერილის თანახმად, წყლის ენერგიის სიდიდე დამოკიდებული იქნება წყალგამყვან ნაგებობაში გარკვეულ  $t$  დროის განმავლობაში გავლილი წყლის  $W$  მოცულობასა და  $H_{36}$  დაწნევაზე, ე. ი.

$$\Theta = \gamma W H_{36} \cdot t.$$

წყალნაკადის ჰიდრაულიკური ენერგია რომ გამოვსახოთ სიმძლავრის განზომილებით, ამისათვის უნდა ვიცოდეთ წყალგამყვან ნაგებობაში [მილსადენსა ან არხში] ერთ წამში გავლილი წყლის რაოდენობა, ანუ წყლის ხარჯი ( $Q$ ), ე. ი.

$$\frac{dW}{dt} = Q, \text{ ან } \frac{W}{t} = Q \text{ მ}^3/\text{წმ}; \quad (1,11)$$

წყალნაკადის სიმძლავრეს კი ზოგადად ასე გამოვსახავთ:

$$N = \frac{d\Theta}{dt}, \text{ ან } N = \gamma \frac{W \cdot H}{t} \text{ კგ.მ/წმ}, \quad (1,12)$$

სადაც  $H$  არის დაწნევა.

მიღებული (1,12) ფორმულა წარმოადგენს წყალნაკადის სიმძლავრის ზოგად გამოსახულებას. ჩვენ შემთხვევაში (ნახ. 2) ჰიდროდანადგარის, ანუ ტურბინის ლილვზე მიღებული მექანიკური სიმძლავრის ( $N_{36}$ ) გაზოსათვლელად უნდა ვიცოდეთ წყალნაკადის სრული, ანუ ბრუტო სიმძლავრე წყალგამყვან ნაგებობების საწყის 1—1 კვეთში და ჰიდრაულიკური დანაკარგების ჯამი ჰიდროდანადგარის მთლიან სისტემაში [ე. ი. წყალგამყვან ნაგებობასა და ტურბინში].

ამრიგად, 1—1 კვეთში წყალნაკადის სიმძლავრე აღებული 0—0 შედარების სიბრტყის მიმართ, შეესაბამება ბრუტო (ანუ სრულ) სიმძლავრეს, რომელიც ტოლი იქნება

$$N_{ბრ} = \gamma Q H_{ბრ}, \quad (1,13)$$

სადაც  $N_{ბრ}$  არის ბრუტო სიმძლავრე;

$Q$ —ხარჯი;  $H_{ბრ} = H_1$ —ბრუტო სიმაღლე (სხეანაირად,  $H_{ბრ}$ —ვარდნის სრული სიმაღლე).

წყალნაკადის სიმძლავრე 2—2 კვეთში (ჰიდრაულიკური ტურბინის შესასვლელთან) რამდენიმედ ნაკლები იქნება  $N_{ბრ}$  სიმძლავრეზე, რადგან წყლის ენერჯიის გარკვეული ნაწილი დაიხარჯა ჰიდრაულიკურ წინაღობათა გადალახვაზე წყალგამყვან ნაგებობათა მთლიან სიგრძეზე. ამიტომ

$$N_2 = \gamma Q H_2, \quad (1,14)$$

სადაც  $N_2 = N_{ნეტ}$  არის ფაქტიური ანუ ნეტო სიმძლავრე;

$H_2 = H_{ნეტ}$ —ნეტო დაწნევა ტურბინის შესასვლელთან.

წყალგამყვან ნაგებობებში ჰიდრაულიკური წინაღობებით გამოწვეული დაკარგული სიმძლავრე ანალოგიური ფორმულით გამოითვლება

$$N_{ფნ} = \gamma Q \sum h_{ფნ}, \quad (1,15)$$

სადაც

$$\sum h_{ფნ} = \sum h_{სგა} + \sum h_{აგა}.$$

აქ  $\sum h_{სგა}$  სიგრძივი დანაკარგების ჯამია, ხოლო  $\sum h_{აგა}$  ადგილობრივისა: ცხალია, რომ

$$N_{ბრ} - N_{ნეტ} = N_{ფნ}, \quad (1,16)$$

აწ

$$H_{ბრ} - H_{ნეტ} = \sum h_{ფნ}. \quad (1,17)$$

ჰიდრაულიკური ტურბინის ლილვზე მიღებული მექანიკური სიმძლავრე რამდენიმედ ნაკლები იქნება  $N_{ნეტ}$  სიმძლავრეზე, რადგან ტურბინშიც აქვს ადგილი ჰიდრაულიკურ დანაკარგებს. ამ დანაკარგების სიდიდე აღინუსხება ტურბინის მარჯი კმედების კოეფიციენტით (იხ. ქვემოთ, თავი VII). ჩვენ შემთხვევაში ტურბინის ჰიდრაულიკური დანაკარგების სიდიდეს პირობით თუ აღვნიშნავთ  $h_{ფნ(ბ)}$  ასოთი, მაშინ ტურბინის მექანიკური, ანუ მუშა დაწნევა ტოლი იქნება

$$H_{მკ} = H_{ბრ} - [\sum h_{ფნ} + h_{ფნ(ბ)}],$$

სადაც  $\sum h_{ფნ} + h_{ფნ(ბ)} = H_{ფნ}$  არის სრული დანაკარგები,



ა6

$$H_{აქ} = H_{ნბ} - h_{ენ(ბ)}, \quad (1,18)$$

ხოლო ტურბინის ლილვზე მოსული მექანიკური სიმძლავრე

$$N_{აქ} = \gamma Q [H_{ნბ} - H_{ენ}],$$

ა6

$$N_{აქ} = N_{ნბ} - N_{ენ(ბ)}, \quad (1,19)$$

სადაც  $N_{ენ(ბ)} = \gamma Q h_{ენ(ბ)}$  არის დაკარგული სიმძლავრე ტურბინში.

როდესაც მოცემულია ჰიდროდანადგარის  $H_{ნბ}$  ბრუტო დაწნევა და გამოთვლილია ჰიდრავლიკური დანაკარგების სრული ჯამი ( $H_{ენ}$ ), მაშინ ამ ტურბინის სრული ჰიდრავლიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ასეთი გამოსახულების იქნება

$$\eta_{(ნბ)} = \frac{H_{ნბ} - H_{ენ}}{H_{ნბ}} = 1 - \frac{H_{ენ}}{H_{ნბ}}, \quad (1,20)$$

ა6

$$\eta_{(ნბ)} = \frac{H_{აქ}}{H_{ნბ}}. \quad (1,21)^c$$

ჰიდრავლიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ( $\eta_{(ნბ)}$ ) გვიხასიათებს ჰიდროდანადგარის წყალგამყვან ნაგებობათა და ჰიდროტურბინის ჰიდრავლიკურ თვისებებს. რაც უფრო დიდია  $\eta_{(ნბ)}$  კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა, მით ჰიდროენერგეტიკული სისტემა ჰიდრავლიკურად სრულყოფილია.

ნაკადის ჰიდრავლიკური ენერგია შეგვიძლია გამოვსახოთ სიმძლავრის სხვადასხვა საზომი ერთეულებით:

ა) ცხენის ძალებით [1 ც. ძ. = 75 კვ/მ]:

$$N = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ ც. ძ.}$$

ა6

$$N = 13,33 Q H \text{ ც. ძ.} \quad (1,22)$$

ბ) კილოვატებით [1 კვტ = 102 კვ/მ]:

$$N = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ კვტ.}$$

ა6

$$N = 9,81 Q H \text{ კვტ.} \quad (1,23)$$

3) გამომუშავება კი კილოვატ-საათებით [1 კვტ-საათი = 367 000 კვ მ]

$$N = \frac{\gamma Q H}{367000} \text{ კვტ-საათი.}$$

ან

$$N = \frac{QH}{367} - \text{კვტ-საათი.} \quad (1,24)$$

1-ლ ცხრილში მოყვანილია სიმძლავრის ერთეულების მნიშვნელობანი და მათი ურთიერთდამოკიდებულება.

ცხრილი 1

დასახელება	კვ/მ/წმ	ც. ძ.	კვტ	მკვტ	ვატი.
1 კვ · მ/წმ	1	$1,333 \cdot 10^{-2}$	$9,801 \cdot 10^{-3}$	$9,801 \cdot 10^{-6}$	9,801
1 ცხენის ძალა .	75	1	0,736	$0,736 \cdot 10^{-2}$	736
1 კილოვატი .	$1,020 \cdot 10^3$	1,360	1	$10^{-2}$	$10^3$
1 მეგავატი	$1,020 \cdot 10^6$	1360	$10^3$	1	$10^6$
1 ვატი	$1,020 \cdot 10^{-1}$	$1,360 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	10	1

მაგალითი 1. მოცემული ჰიდროდანადგარის სრული დაწნევა  $H_{ბგ} = 40$  მ,  $H_{გგ} = 9$  მ,  $Q = 2$  მ<sup>3</sup>/წმ. ეიპოვოთ ჰიდროდანადგარის ბრუტო სიმძლავრე და ტურბინის ლილვზე მოსული მექანიკური სიმძლავრე (კილოვატებით) და მისი ჰიდრაულიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი.  
ამოხსნა: ბრუტო სიმძლავრე (1,23) ფორმულით გამოითვლება.

$$N_{ბგ} = \frac{\gamma Q H_{ბგ}}{102} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 40}{102} \approx 785 \text{ კვტ,}$$

ხოლო მექანიკური სიმძლავრე (1,19) ფორმულით:

$$N_{მკ} = \frac{\gamma Q [H_{ბგ} - H_{გგ}]}{102} = \frac{1000 \cdot 2 (40 - 9)}{102} = 615 \text{ კვტ.}$$

ჰიდროდანადგარის სრული ჰიდრაულიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას ეიპოვოთ (1,20) ფორმულით

$$\eta_{(სგ)} = 1 - \frac{H_{გგ}}{H_{ბგ}} = 1 - \frac{9}{40} = 0,73.$$

როგორც (1,20) გამოსახულებიდან ჩანს, მოცემული  $H_{\text{ა}}$  დაწნევისას  $\eta_{\text{ა(ს)}}$  კოეფიციენტი დამოკიდებული იქნება მხოლოდ  $H_{\text{გ}}$  დანაკარგების ჯამის სიდიდებზე.

დერივაციაზე მოსული  $\Sigma h_{\text{გ}}$  დანაკარგები შეგვიძლია გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულით:

$$\sum h_{\text{გ}} = \left[ \frac{\lambda l}{d} + \sum_1^n \xi \right] \frac{v^2}{2g}, \quad (1,26)$$

ან თუ მივიღებთ, რომ  $\lambda = \frac{8g}{C^2}$ , მაშინ

$$\sum h_{\text{გ}} = \left[ \frac{2gl}{C^2 R} + \sum_1^n \xi \right] \frac{v^2}{2g}; \quad (1,27)$$

მოყვანილ ფორმულებში:

$\lambda$  არის ხახუნის კოეფიციენტი;

$C$ —შეზის კოეფიციენტი;

$l, d, R = \frac{d}{4}$  — მილსადენის სიგრძე, დიამეტრი და მისი ჰიდრაულიკური რადიუსი;

$\sum_1^n \xi$  — ადგილობრივ წინაღობათა კოეფიციენტების ჯამი წყალგამ-

ყვანი ნაგებობებისათვის;

$v$ —ნაკადის სიჩქარე დერივაციაში.

**მაგალითი 2.** ვიპოვოთ ჰიდრაულიკური დანაკარგები ჰიდროდინამიკური წყალგამყვან ნაგებობაში (ნახ. 2). თუ მოცემულია: მილსადენის სიგრძე  $l = 200$  მ, ხახუნის კოეფიციენტი  $\lambda = 0,022$ , მილსადენში  $t = 20$  წთ განმავლობაში წყლის რაოდენობა  $W = 600$  მ<sup>3</sup>, წყალსატევიდან მილსადენში ნაკადის შესვლაზე ადგილობრივი დანაკარგების კოეფიციენტი  $\xi_1 = 0,5$ , მილსადენიდან ნაკადის გამოსვლაზე კონუსურ ნაცმში  $\xi_2 = 1,0$ ; ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე მილსადენში მივიღოთ  $v = 1,5$  მ/წმ.

ამოხსნა: გამოვთვალოთ წყლის ხარჯი (1,11) ფორმულით

$$Q = \frac{W}{t} = \frac{600}{20 \cdot 60} = 0,50 \text{ მ}^3/\text{წმ};$$

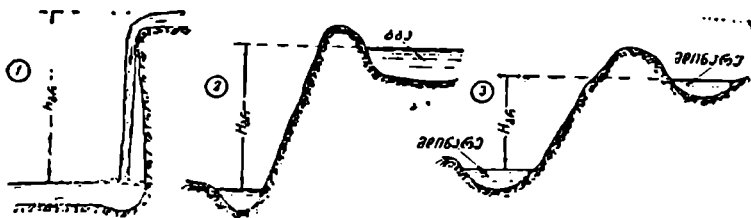
ვიპოვოთ მილსადენის დიამეტრი ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,65 \text{ მ.}$$

ჰიდრავლიკური დანაკარგები გამოითვლება (1,26) ფორმულით

$$h_{\text{ეს}} = \left[ \frac{\lambda l}{d} + \xi_1 + \xi_2 \right] \frac{v^2}{2g} = \left[ \frac{0,022 \cdot 200}{0,65} + 0,5 + 1,0 \right] \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 7,75 \text{ მ.}$$

ჰიდრავლიკური ენერჯის მისაღებად საჭიროა კონცენტრირებული (შეყუსული) ვარდნის შექმნა, ან ბუნებრივად შექმნილი წყალნაკადის ვარდნის (ნახ. 3) კონცენტრირებული ადგილების გამოყენება, მაგალითად წყალვარდნილების, ზღურბლებისა და სხვ. წყალნაკადის ეს უბნები წარმოდგენენ გამოყენების ხელსაყრელ ობიექტებს, რადგან შედარებით უმნიშვნელო ხარჯების გაღებით შეგვიძლია მივიღოთ მნიშვნელოვანი ჰიდროენერგეტიკული ეფექტი.



ნახ. 3. ჰიდრავლიკური ენერჯის მიღების ბუნებრივი სქემები: 1—წყალვარდნილი; 2—წყლის ჩაშოვება მაღალნიშნულზე განლაგებული ტბიდან; 3—ერთი მდინარის ჩამონადენის გადაგდება მეორე მდინარის კალაპოტში.

მაღალ ნიშნულზე განლაგებული ტბებიდან წყლის ჩამოგდება, ან ერთი მდინარის ჩამონადენის მეორე მდინარის კალაპოტში გადაგდება, როცა ვარდნის სიმაღლე საკმაოდ დიდია, აგრეთვე იძლევა მნიშვნელოვან ენერგეტიკულ ეფექტს.

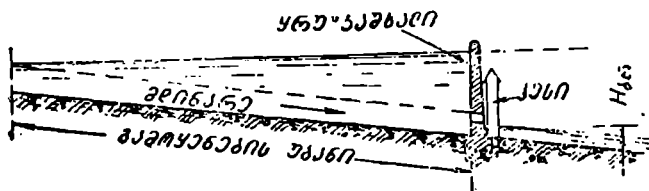
როცა წყალნაკადის გამოყენების უბანზე არ მოიპოვება ნაკადის ვარდნის ბუნებრივი ადგილები, ამ შემთხვევაში ნაკადის კონცენტრირებული ხარჯის, ან კონცენტრირებული დაწნევის შესაქმნელად მიმართავენ სხვადასხვა ხელოვნურ ხერხს.

კონცენტრირებული დაწნევის შექმნა შეიძლება კაშხალური სქემით (ნახ. 4). ამისათვის მდინარის მიმართულების განივად აიგება კაშხალი, რომელიც წყლის დინებას გზას გადაუღობავს და ხელოვნურად შექმნილ წყალსაცავში წყლის დონე ხელოვნურად აიწევა კაშხალის თხემამდე; რის შედეგად მივიღებთ დაწნევის კონცენტრაციას. ეს დაწნევა შეგვიძლია გამოვიყენოთ ჰესში ელექტროენერჯის მისაღებად.

როგორც მე-4 ნახაზიდან ჩანს, კაშხალით შექმნილი დაწნევა გამოიყენება მხოლოდ მდინარის გარკვეულ უბანზე. სახელობრ, მდინარის

იმ უბანზე, რომელზედაც გავრცელებულია კაშხალით შექმნილი შეტბორვა. მდინარის სრული ვარდნის გამოყენებისათვის უნდა აიგოს კაშხალები თანმიმდევრობით საფეხურების (კასკადის) სახით მდინარის სათაიდან მის შესართავამდე.

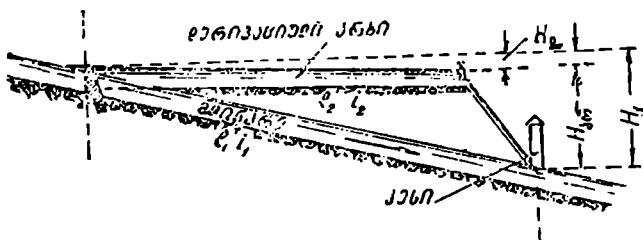
კაშხალური სქემით კონცენტრირებული დაწნევის შექმნა უფრო მიზანშეწონილია ვაკის მდინარეების გამოყენების შემთხვევაში.



ნახ. 4. კაშხალური სქემით შექმნილი კონცენტრირებული დაწნევა.

როგორც ვიცით, მთის მდინარეები ხასიათდება მნიშვნელოვანი ვარდნებით, ამიტომ მათი ენერგეტიკული გამოყენება შესაძლებელია დერივაციული ნაგებობათა მოწყობით (ნახ. 5).

დერივაციული სქემით კონცენტრირებული დაწნევის შექმნა ხელ-



ნახ. 5. დერივაციული სქემით შექმნილი კონცენტრირებული დაწნევა.

საყრელია მაშინ, როცა მდინარის კალაპოტის ფსკერი მნიშვნელოვანი ქანობისაა, ამ შემთხვევაში მისი რომელიმე ნაპირის გასწვრივ გაიყვანება ღია დერივაციული არხი შედარებით ნაკლები ქანობით და ამის შედეგად, მდინარის გამოყენების უბნის განსაზღვრულ მანძილზე მივიღებთ გარკვეული სიდიდის დაწნევას.

დერივაციულ არხში წყლის საჭირო რაოდენობის უზრუნველსაყოფად მდინარეში წყლის დონის მერყეობისას ხშირად წყლის მიღების ად-

<sup>1</sup> დერივაციული ნაგებობა წარმოადგენს ღია არხებს, მილსადენებს და გვირაბებს. ამ ნაგებობათა მეშვეობით ხდება წყლის მიწოდება გამოყენების უბნების ბოლოში.

გილას იგება კაშხალი, რომლის დანიშნულებაცაა შექმნას წყლის უცვლელი დონე დერივაციული არხის შესასვლელთან, რათა უზრუნველყოთ საანგარიშო ხარჯის მიწოდება ჰიდროდინამიკაში.

მოცემული ნახაზის თანახმად (ნახ. 5), მდინარის კალაპოტის ქანობია  $i_1$ , დერივაციული არხისა კი  $i_2$ ; გამოყენების უბნის სიგრძე— $l$ . ცხადია, რომ მდინარის ვარდნის სიმაღლე განსახილველ უბანზე იქნება:

$$H_1 = i_1 \cdot l,$$

ხოლო დერივაციული არხისათვის

$$H_2 = i_2 \cdot l.$$

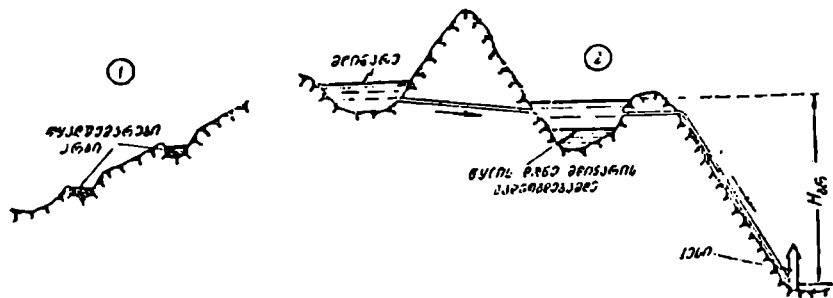
მიღებულ სიმაღლეთა  $H_1 - H_2$  სხვაობა მოგვცემს კონცენტრირებული დაწნევის სიდიდეს

$$H_{\text{ბგ}} = H_1 - H_2,$$

ან

$$H_{\text{ბგ}} = l(i_1 - i_2). \quad (1,28)$$

წყლის ხარჯის კონცენტრაცია მდგომარეობს შემდეგში (ნახ. 6): როცა მდინარის გამოყენების უბანი მცირეწყლიანია, ამ შემთხვევაში



ნახ. 6. ხარჯის ხელშეწყობის კონცენტრაცია:

1—ფერდობების ჩამონადენის დაგროვება; 2—ერთი მდინარის ჩამონადენის ნაწილის გადაგდება მეორე მდინარეში.

მისი ჩამონადენის გაზრდა შესაძლებელია ფერდობების ჩამონადენის დაკავებით და შემდეგ მდინარეში ჩაგდებით სპეციალური არხებისა და სადრენაჟო ნაგებობათა საშუალებით. ან უფრო ეფექტურია, როცა შესაძლებელია ერთი მდინარის ჩამონადენის გარკვეული ნაწილის გადაგდება მეორე მცირე ჩამონადენიან მდინარეში (დმანისი ჰესი 1), რომელიც ხასიათდება ხელსაყრელი ბუნებრივი ვარდნებით.

არსებობს კიდევ ჰიდროავლიკური ენერჯიის ხელოვნური მიღების ხერხი, რომელსაც ჰიდროავლიკური აკუმულაცია, ანუ ჰიდროაკუმულაცია ეწოდება. ენერჯიის ჰიდროაკუმულაცია არის მეტად რაციონალური მეთოდი დატვირთვის პიკების (იხ. ქვემოთ) დასაფარავად, ჰიდროენერგეტიკული სისტემის დატვირთვის გასასწორებლად და მომხმარებლის ელექტროენერჯიით დასაკმაყოფილებლად იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰესს არა აქვს სარეგულაციო წყალსაცავი.

ჰიდროაკუმულაციის პრინციპი მდგომარეობს მალა მდებარე აუზ-აკუმულატორში (ბუნებრივ ქვაბულში) წყლის დიდი მარაგის გადატუმბვაში ტუმბოდანადგარებით, რომლებიც მუშაობენ მცირე დატვირთვის პერიოდში ჰესის მიერ გამოიმუშავებული ელექტროენერჯიით და შემდეგ წყლის ამ მარაგის გამოყენებაში ტურბინების მუშაობისათვის მაქსიმალური დატვირთვის საათებში.

ჰიდროაკუმულაციის ხერხებსა და ჰიდროსაკუმულაციო დანადგარებს ჩვენ აქ არ განვიხილავთ.

### § 3. ჰიდროენერგეტიკული რისკისები

როგორც ცნობილია, მდინარეთა ენერგეტიკული გამოყენება დროთა განმავლობაში სულ უფრო ფართოვდება. ამასთან დაკავშირებით, სისტემატურად შეისწავლება მდინარეთა ფიზიკურ-გეოგრაფიული, ტოპოგრაფიული და ჰიდროლოგიური პირობები მათი წყლიანობისა და პოტენციური (თეორიული) ენერჯიის დასადგენად.

მდინარის აუზის შესწავლის პირველ საფეხურს შეადგენს მისი ჰიდროენერგეტიკული კადასტრის შედგენა, ესე იგი წყლის რესურსების გამოყენების საწარმოო შესწავლა; უფრო ზუსტად, მდინარის წყლის მარაგის ინვენტარიზაცია. მდინარეთა ასეთმა შესწავლამ ობიექტური წარმოდგენა უნდა მოგვცეს წყლის ენერჯიის გამოყენების პირობებისა და შესაძლებლობის შესახებ.

წყლის ენერჯიის კადასტრი შეიცავს განსახილველი რაიონის ყველა ზედაპირული ნაკადის ენერჯიას, აგრეთვე ფერდობების ჩამონადენსაც: განისაზღვრება კვტ-საათი/წლით, რიგი წლების საშუალო წლიური ხარჯის მიხედვით. გამოსაყენებელი უბნის ენერგეტიკული ღირსება განისაზღვრება პოტენციური ენერჯიის იმ სიდიდით, რომელიც მოდის ამ უბნის ერთ გრძივ კილომეტრზე (კვტ-საათი/წელი 1 კმ-დან).

აქამდე ჩვენს ენერგეტიკულ ლიტერატურაში განხილული რიგი მეთოდებისა ითვალისწინებდა მხოლოდ უმთავრესი მდინარეების ენერჯიის (სიმძლავრის) ათვლას, ხოლო ყურადღება არ ექცეოდა ფერდობების ჩამონადენისა და მცირე მდინარეების ენერჯიის გამოყენების თანამედ-

როგე შესაძლებლობებს, სახელდობრ, სასოფლო-სამეურნეო ჰიდრომშენებლობის დარგში. ცხადია, რომ ასეთი მიდგომა იწვევდა ჰიდროენერგეტიკული რესურსების მნიშვნელოვანი მარაგის გაუთვალისწინებლობას. ამ გარემოებამ გამოიწვია მთელ რიგ ტერიტორიაზე თავმოყრილი ჰიდროენერჯის ხელახალი ათვისის საჭიროება.

ამჟამად დამუშავებულია (გ. სვანიძე) ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ათვისის ახალი მეთოდის, რომლითაც შესაძლებელია მდინარისა და ფერდობების ჩამონადენის ენერჯის შეჯამებითი გამოთვლა. ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ათვისის ახალი მეთოდის გამოყენებამ საქართველოს სსრ კონკრეტულ პირობებში დაგვანახვა, რომ ფერდობების ჩამონადენის ენერჯია ჩვეულებრივ აღემატება მდინარეების ენერჯიას და ზოგიერთ შემთხვევაში შეადგენს აუზის მთელი ენერჯის 60%-ს.

სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მიერ დამუშავებულია წყალენერგეტიკული კადასტრის პროექტი, რომელშიც მოცემულია სსრკ-ს მდინარეთა წყლის ენერჯის შესახებ ყველა მონაცემი გამოთვლილი ერთიანი მეთოდის მიხედვით.

სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მიერ აგრეთვე დამუშავებულია კადასტრების შესადგენი ინსტრუქცია, რომლის თანახმად კადასტრი სამ ნაწილად იყოფა: პოტენციური მარაგის კადასტრი, ე. ი. სრული თეორიული ენერჯიების ჯამი, რომელიც შეიძლება მოგვეცეს მდინარეებმა ტექნიკური და ეკონომიური პირობების გაუთვალისწინებლად; საწარმოო მარაგის კადასტრი, ე. ი. მარგი ენერჯიის ჯამი, რომელიც შეიძლება მივიღოთ, სათანადო პირობებში, წყალნაკადისაგან, დაბოლოს, წყლის ენერჯიის გამოყენების კადასტრი, რომელიც შეიცავს ექსპლოატაციაში გადაცემული, აგების პროცესში მყოფ და ახლო მომავალში ასაგებად დასახულ ჰიდროელექტროსადგურების ძირითად მონაცემებს.

თეორიული (პოტენციური) ჰიდროენერგეტიკული რესურსების გამოთვლა წარმოებს (1,23) ფორმულით

$$N = 9,81QH.$$

მდინარის განსახილველი 1—2 უბნის პოტენციური სიმძლავრე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$N = 9,81 \left[ \frac{Q_1 + Q_2}{2} \right] H_{1-2}, \quad (1,29)$$

სადაც საანგარიშო ხარჯი წარმოადგენს განსახილველი უბნის საწყისსა და ბოლო საშორებზე მოსული ხარჯების ჯამის საშუალო არითმეტიკულ სიდიდეს;  $H_{1-2}$  გეომეტრიული სიმაღლეა.



ნაკლებად შესწავლილ და გამოკვლეულ მცირე მდინარეთა პოტენციური სიმძლავრის განსაზღვრა შეიძლება ს. გრიგორიევის მიერ მოცემული მიახლოებითი ფორმულით:

$$N = \alpha N_0, \quad (1,30)$$

სადაც  $N_0 = 9,81Q\Sigma H$ . აქ  $N_0$  არის მდინარის თეორიული სიმძლავრე 'მესართავთან;  $Q$ —წყლის ხარჯი იქვე; ხოლო  $\Sigma H$ —მდინარის სრული ვარდნა;  $\alpha = 0,35 \div 0,8$  მდინარის თეორიული სიმძლავრის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მდინარის პროფილის ტიპსა და წყალშემკრები აუზის სახეობაზე.

აღსანიშნავია, რომ მდინარეთა ყველა უბნის გამოყენება როდეს შეიძლება ჰესების ასაგებად, თუ არა გვაქვს სათანადო გეოლოგიური, ტოპოგრაფიული და ტექნიკურ-ეკონომიური პირობები. ამიტომ თეორიულად გამოთვლილი ჰიდროენერგეტიკული რესურსების პრაქტიკულად გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ 40—50%-ით. ფაქტიურად, 1937 წლის მონაცემების თანახმად, მსოფლიოს ჰიდროენერგეტიკული რესურსები გამოყენებულია მხოლოდ 9,5%-ით, საბჭოთა კავშირში კი 17,5%-ით.

#### § 4. საქართველოს სსრ ჰიდროენერგეტიკული რესურსები

საქართველო მდიდარია ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით (თეთრი ნახშირით). ამ მხრივ საქართველო წინ უსწრებს ისეთ დიდ ქვეყნებს, როგორცაა გერმანია, საფრანგეთი, იტალია, ინგლისი, ესპანეთი და სხვ. კუთრი რესურსებით, ე. ი. ტერიტორიის ერთი კმ<sup>2</sup> მოსული რესურსების სიდიდის მიხედვით საქართველოს მეორე ადგილი უკავია საბჭოთა კავშირში და ჩამორჩება მხოლოდ ტაჯიკეთს.

ჰიდროენერგეტიკული რესურსები საქართველოს ტერიტორიაზე უთანაბროდაა განაწილებული: მათი ძირითადი ნაწილი თავმოყრილია დასავლეთ საქართველოში. გამოთვლებით დადგენილია, რომ ყველაზე მძლავრი მდინარეებია რიონი და მისი შენაკადები, ენგური, კოდორი და ზზიბი. აღმოსავლეთ საქართველო გაცილებით ღარიბია ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით, ვინაიდან აქ ატმოსფერული ნალექები უფრო ნაკლები რაოდენობით მოდის; გარდა ამისა, აქაურ მდინარეებს უფრო ნაკლები დაქანება აქვს.

საქართველოს მდინარეთა დიდ უმრავლესობას მთებში აქვთ სათავე, ამიტომ მათ საწყის უბნებს, რომლებიც ციკაბო ხეობებში მოედინებიან, დიდი ვარდნა აქვთ; რაც უფრო შორდება მდინარეები მთებს და უახლოვდება ზღვებს, მით ნაკლებია მათი ვარდნა, ხარჯი კი გაზრდილი. ამიტომ მძლავრი და ეფექტური ჰიდროელექტროსადგურების

აგება შეიძლება საქართველოს დიდ მდინარეთა თითქმის მთელ სიგრძეზე: სათავეებში—მცირეხარჯიანის, მაგრამ მალაღაწევიანი, ქვემო წელში დაბალდაწევიანი, სამაგიეროდ წყლის დიდი ხარჯით.

ენერგეტიკული თვალსაზრისით ყველაზე საინტერესოა რიონი, რადგან მასზე შეიძლება შეიქმნას რიგი მსხვილი წყალსაცავები, რომლებიც შესაძლებელს გახდიან მდინარის მთლიან დარეგულებას. ამიტომ შენდება და პროექტდება მთელი რიგი მძლავრი ჰესები მდინარე რიონზე.

ენერგეტიკის მხრივ დიდ ინტერესს წარმოადგენენ აგრეთვე მდინარეები: მტკვარი, ხრამი და ფარავანი. აქ რიგი ბუნებრივი ტბებისა და ხელოვნური წყალსაცავების შესაქმნელად ხელსაყრელი პირობების არსებობის მეოხებით შესაძლებელია მარეგულირებელი (იხ. ქვემოთ) მძლავრი კასკადის (საფეხურების) შექმნა. ამ კასკადის ერთი საფეხური—უნიკალური ჰიდროელექტროსადგური ხრამქესი უკვე აგებულია. აგრეთვე ხორციელდება მდინარე მტკვრის კასკადური გამოყენების პერსპექტიული გეგმა. უკვე აგებულია და წარმატებით მუშაობს საქართველოს ელექტროთიკაციის პირმშო—ზაქესი, ჩითახევი; მწყობრში ჩადგა ორთაქალქესი თბილისში და იგეგმება კიდევ რიგი ჰესების აგება.

მე-2 ცხრილში მოყვანილია საქართველოს ძირითადი მდინარეების აუზების ჰიდროენერგეტიკული განაწილების მონაცემები. აქვე მოცემულია თეორიული სიმძლავრის განაწილება სხვადასხვა რიგის მდინარეებისათვის.

ცხრილი 2

საქართველოს მდინარეების ხაშუალო წლიური თეორიული სიმძლავრეები

№ რიგ.	რაიონებისა და აუზების დასახელება	საშუალო წლიური სიმძლავრე 10 <sup>6</sup> კვტ
1	2	3
	I. შავი ზღვის აუზი	
1	ჩრდილოეთი რაიონი მდ. ოქუშის ჩათვლით	0,636
2	მდ. ბზიბის აუზი	0,710
3	„ კოდორის აუზი	1,127
4	ენგურის აუზი .	1,855
5	ბობის აუზი .	0,236
6	„ რიონის აუზი (მდ. ცხენისწყლისა და ყვირილის ჩათვლით)	3,032
7	სუფსა, კოროზისა და აჭარის წყლის აუზები	1,003
	სულ შავი ზღვის აუზებისათვის	8,599

№ № რიგ.	რაიონებისა და აუზების დასახელება	საშუალოწლიური სიმძლავრე 10 <sup>6</sup> კვტ
1	2	3
<b>II. კასპიის ზღვის აუზი</b>		
1	მდ. მტკვრის აუზი (პატარა შენაკადებით მდინარე ფოცხოვიდან აღგეთამდე)	1,165
2	ფარავნის აუზი	0,095
3	ფოცხოვის აუზი	0,075
4	დიდი ლიახვი	0,277
5	არაგვი	0,437
6	ალაზანი	0,357
7	იორი	0,115
8	ხრამი	0,279
9	„ აღგეთი	0,015
სულ კასპიის ზღვისათვის		2,835
10	მდ. თვრგის აუზი და თუშეთისა და პირიქით ალაზანი	0,443
სულ საქართველოსათვის .		11,908

მე-3 ცხრილში მოცემულია საქართველოს მთავარ რაიონებში ენერჯიის განაწილება. აქვე, მე-5 სვეტში მოყვანილი კუთრი ენერჯიები (ე. ი. ერთეულ ფართობზე მოსული ენერჯია) გვიხასიათებენ განსახილველი ტერიტორიების ჰიდროენერჯიის ნაჯერობას. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, ზღ. ენგურის აუზი ყველაზე მდიდარია ჰიდროენერჯიით, შემდეგ კი დასავლეთ საქართველოს დანარჩენი რაიონები. ამავე ცხრილში მოყვანილია საქართველოს ძირითადი მდინარეების თეორიული სიმძლავრეები.

როგორც მე-3 ცხრილიდან ჩანს, საქართველოს ჰიდროენერჯეტიკული რესურსების (11,908 მილ. კვტ-ი) 72,3<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, ე. ი. 8,599 მილ. კვტ. თავმოყრილია დასავლეთ საქართველოში, აღმოსავლეთ საქართველოში კი 27,70<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, ე. ი. 3,309 მილ. კვტ.

## § 5. საბჭოთა კავშირის ჰიდროენერგეტიკული რესურსები

საბჭოთა კავშირის ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ათვლა განიციდის სათანადო ევოლუციას. მაგალითად, თუ 1925 წლის მისედვით ეს რესურსები შეადგენდა 80,0 მილ. კვტ-ს, 1945 წელში დაზუსტებული

## კუთრი პიდრავლიკური სიმძლავრეები

№ რიგ.	რაიონების დასახელება	საშუალო წლიური სიმძლავრე მილ. კვტ.	აუზის ფართობი კმ <sup>2</sup>	კუთრი სიმძლავრე კვტ/კმ <sup>2</sup>	სიმძლავრის % ული განაწილება
1	2	3	4	5	6
<b>I. დასავლეთ საქართველო</b>					
1	შვეი ზღვის ჩრდილოეთი რაიონი (ენგურის ჩაუთვლელად)	2,709	10016	270	22,0
2	მდ. ენგურის აუზი .	1,855	4054	457	15,0
3	„ რიონის აუზი .	3,032	13390	226	24,6
4	შვეი ზღვის სამხრეთი რაიონი .	0,548	1840	298	4,45
სულ დასავლეთ საქართველოში .		8,599	32300	263	72,30
<b>II. აღმოსავლეთ საქართველო</b>					
1	მდ. მტკვრის შუა რაიონი .	1,510	10840	138	12,25
2	„ ზემო „ .	0,559	6150	91	4,55
3	„ ალაზნისა და იორის რაიონები	0,471	11457	41	3,82
4	ხრამი და ალგეთი .	0,294	5350	55	2,39
5	ჩრდილო კავკასიის ფერდობები .	0,474	4350	108	3,85
სულ აღმოსავლეთ საქართველოში		3,309	38147	87	27,70
სულ საქართველოში .		11,908	70447	169	100,00

მეთოდებით გამოთვლილი პოტენციური საშუალო წლიური პიდროენერგეტიკული რესურსები აღემატება 280,0 მილ. კვტ-ს.

საბჭოთა კავშირის ევროპული ნაწილის მცირე მდინარეთა პიდროენერგეტიკული რესურსების მიახლოებითი ათვლით განსაზღვრული პიდროენერგეტიკული რესურსები უახლოვდება 66 მილ. კვტ-ს და შეადგენს მთავარ მდინარეთა პოტენციურ სიმძლავრეთა 23,2%-ს.

მე-4 ცხრილში მოყვანილია სსრკ-ს ძირითადი მდინარეების პიდროენერგეტიკული რესურსები. როგორც მოყვანილი მასალებიდან ჩანს, საბჭოთა კავშირის კავკასიონისა და შუა აზიის მთიანი რაიონების პიდროენერგეტიკული რესურსების მარაგი შეადგენს 75 მილიონ კვტ-ს, ანუ საბჭოთა კავშირის ყველა პოტენციური რესურსების 25%-ს.

მიახლოებითი გამოთვლებით დადგენილია, რომ მთიან რაიონებში კონცენტრირებულია საბჭოთა კავშირის წყლის ენერგეტიკული რესურსების ნახევარზე მეტი.

ტ ბ რ ი ლ ი 4

საბჭოთა კავშირის ჰიდროენერგეტიკული რესურსები

№ რიგ.	რესპუბლიკა	ფართობი ათასი კმ <sup>2</sup>	საშუალო წლიური ხარჯის მიხედვით სიმძლავრე 1000 კვტ	კუთრი სიმძლავრე კვტ/კმ <sup>2</sup>
1	რსფსრ	16499,4	206902,8	12,63
2	უკრაინის სსრ	443,1	2310,3	5,21
3	ბელორუსიის სსრ	126,8	414,2	3,26
4	ახერბაიჯანის სსრ	86,0	4533,0	52,68
5	საქართველოს სსრ	69,6	12333,0	177,30
6	უზბეკეთის სსრ	370,0	5292,7	15,65
7	სომხეთის სსრ	30,0	1232,5	41,08
8	თურქმენეთის სსრ	443,6	2948,2	6,64
9	ტაჯიკეთის სსრ	143,4	25890,0	179, 91
10	ყაზახეთის სსრ	2744,5	11687,6	4,25
11	ყირგიზეთის სსრ	196,7	8585,8	43,64
სულ სსრკ		21153,6	282627,1	13,23

ჰიდროენერგეტიკული რესურსების განაწილება სსრკ-ს ტერიტორიაზე არათანაბარია. წყლის ენერჯიის უდიდესი მარაგი თავმოყრილია სახელდობრ, კავკასიასა და შუა აზიაში.

საბჭოთა კავშირის მცირე მდინარეთა შესწავლის შედეგად დადგენილია, რომ მდინარეთა ენერგეტიკული მარაგი პრაქტიკულად შეუზღუდველია ჩვენი ქვეყნის ბევრი რაიონისათვის. საბჭოთა კავშირში მცირე მდინარეთა გამოყენების ბაზაზე შეიძლება აიგოს 300 ათასზე მეტი სოფლის ჰიდროელექტროსადგური, ამათგან ევროპულ ნაწილზე 100 ათასი ჰესი. „თეთრ ნახშირზე“ მომუშავე ელექტროსადგურებს შეუძლიათ სავსებით უზრუნველყონ ელექტროენერჯიით სოფლის მეურნეობის მზარდი მოთხოვნილება.

## § 6. მსოფლიოს ჰიდროენერგეტიკული რესურსები

მსოფლიოს მდინარეთა პოტენციურ სიმძლავრეთა სრული ათვლა ჩატარებული იყო 1946 წელს ფ. ნესტერუკის მიერ. ჩატარებული ათვლების მიხედვით მსოფლიოს პოტენციური ჰიდროენერგეტიკული რე-

სურსები შეადგენს 500,6 მილ. კვტ-ს, ხოლო საბჭოთა კავშირის ჩათვლით 559,1 მილიონ კვტ-ს (ცხრილი 5).

ც ხ რ ი ლ ი 5

მსოფლიოს ჰიდროენერგეტიკული რესურსები

№ რიგ.	დასახელება	სიმძლავრე მილ. კვტ.
1	ევროპა (საბჭოთა კავშირის ჩათვლელად)	55,2
2	აზია (საბჭოთა კავშირის ჩათვლელად)	110,4
3	აფრიკა	204,4
4	აუსტრალია	18,0
5	ჩრდილოეთ ამერიკა	57,4
6	ცენტრალური და სამხრეთ ამერიკა	55,2
	სულ	500,6
	საბჭოთა კავშირი	58,5
	სულ საბჭოთა კავშირის ჩათვლით	559,1

## გამოქვეყნების სქემები

### § 7. წყლის ენერჯის გამოქვეყნების პრინციპული სქემა

ზემოაღწერიდან ცნობილია, რომ წყლის ენერჯის მისაღებად საჭიროა გვექონდეს გარკვეული ვარდნის სიმაღლე და განსაზღვრული წყლის რაოდენობა, ე. ი. კონცენტრირებული დაწნევა და ხარჯი. ბუნებრივ პირობებში წყალსატევების ენერჯეტიკული გამოყენება მეტწილ შემთხვევებში შეუძლებელია მიუხედავად იმისა, რომ ზოგჯერ წყალსატევეში დაგროვილი წყლის დონე მაღალ ნიშნულზეა, მაგრამ ამ ვარდნის რეალიზაცია შეუძლებელია ტოპოგრაფიული და რიგი ტექნიკური პირობების გამო. ამიტომ ბუნებრივი წყალსატევების ენერჯეტიკული გამოყენების ფარგლები ამ მხრივ შეზღუდულია და სიმძიმის ცენტრი გადატანილია წყალნაკადების (მდინარეების) ენერჯის უტილიზაციაზე.

მდინარის გარკვეულ უბანზე კონცენტრირებული ხარჯისა და დაწნევის შესაქმნელად უნდა აიგოს სათანადო ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, რომლის დანიშნულება იქნება წყლის დონის აწევა მდინარის კალაპოტში გარკვეულ სიმაღლემდე და საჭირო ხარჯის მიწოდება დერივაციული არხით გამოყენების უბნის ბოლოში.

წყლის ენერჯის გამოყენების ჰიდროდინამიკური ჩვენს შემთხვევაში ჰიდროსადგური იქნება, რომლის პრინციპული სქემა მოცემულია მე-7 ნახ-ზე.

ჰიდროდინამიკური შემდეგი ძირითადი კვანძებისაგან შედგება:

ს ა თ ა ვ ე კ ვ ა ნ ძ ი (1) წარმოადგენს ყრუ ან წყალსაშვიან კაშხალს, რომლის დანიშნულებაცაა ზემო ბიეფში წყლის დონის აწევა გარკვეულ სიმაღლემდე წყალმიმღებში საჭირო ხარჯის გატარებისათვის. როცა კაშხალი შედარებით მაღალია, მაშინ ზემო ბიეფში წარმოიშევა ხელოვნური წყალსატევი ანუ წყალსაცავი (ხელოვნური ტბა), რომლის ტევადობა დამოკიდებული იქნება მოცემული ხეობის ფორმაზე და წყლის შეტბორვის სიმაღლეზე. სათავე კვანძი აგრეთვე შეიცავს წყალმიმღებს, ნიაღვარსაგდებ, წყალგამომძვებ და გამრეცხ მოწყობილობებს ზემო ბიეფის მონატანებისაგან გასარეცხად.

დერივაცია (2 -- 3) წარმოადგენს წყალგამყვან ნაგებობათა ჯგუფს, რომელთა დანიშნულებაა წყალმიმღებიდან გატარებული საჭირო რაოდენობის წყლის მიყვანა ძალოვან კვანძამდე. დერივაცია, ანუ წყალგამყვანი ნაგებობა შეიძლება იყოს ღია არხი ან გვირაბი; დერივაცია შეიძლება იყოს წნეებითი ან უწნეო. წნეებითი მოძრაობის შემთხვევაში წყალნაკადის პიეზომეტრულ წირს გარკვეული მდებარეობა აქვს (იხ. ნახ. 2), უწნეო დერივაციაში კი პიეზომეტრული წირი ემთხვევა წყლის ჰორიზონტს. დერივაცია უერთდება საწნეო აუზს (4), რომელიც აღქურვილია წყალსადგებით (5 — 6) ზედმეტი წყლის გადაადგებისათვის (ტურბინების უეცარი გაჩერებისა და სხვა შემთხვევებში). როცა დერივაცია მუშაობს წნეებით რეჟიმზე, მაშინ საწნეო აუზის ნაცვლად ეწყობა გამთანაბრებელი რეზერვუარი (იხ. ქვემოთ).

ძალოვანი კვანძი შედგება საწნეო მილსადენისაგან (7), სადგურის შენობისა (8) და წყალგამყვანი არხისაგან (9). სადგურის შენობაში დადგმულია ჰიდროტურბინი, რომელთანაც შეერთებულია გენერატორი. ჰიდროსადგურის ტიპთან დაკავშირებით შესაძლებელია, რომ ჩამოთვლილი ელემენტებიდან, ზოგიერთი არ ჰქონდეს სადგურს. მაგალითად, კაშხალური ტიპის სადგური დერივაციასა და საწნეო აუზს არ შეიცავს. ზოგჯერ კი არც მილსადენებს (ორთაქალჭესი).

როგორც ნახაზიდან ჩანს, წყლის საერთო ვარდნა ( $z$ ) გამოიყენება ჰესში არასრულად, რადგან ნაწილი ამ ვარდნისა იხარჯება წყალგამყვან ნაგებობებში (დერივაციაში) ჰიდრაულიკურ წინააღმდეგობათა გადალახვისა და წყლის ტრანსპორტირებაზე წყალმიმღებიდან საწნეო აუზამდე (ძალოვან კვანძამდე).

ძალოვან კვანძზე მოსული ბრუტო დაწნევა ( $H_{ბრ}$ ) აგრეთვე ნაწილობრივ მცირდება მილსადენში ჰიდრაულიკური დანაკარგებისა და ჰიდროტურბინებში მექანიკური დანაკარგების გამო.

ჩვეულებრივ ჰესის სრული სიმძლავრის დასადგენად აიღება არა  $Z$  ვარდნა, არამედ ძალოვან კვანძზე მოსული  $H_{ბრ}$  დაწნევა.

მდინარის მოცემული უბნის ეფექტური გამოყენება მდგომარეობს  $Z$  სრული ვარდნის მაქსიმალურად გამოყენებაში. ცხადია, რომ გამოყენების უბნის შესაძლებელი სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$N_{\Sigma} = \gamma Q z, \quad (2,1)$$

ხოლო ჰიდროდინამიკურ მოსული სიმძლავრე

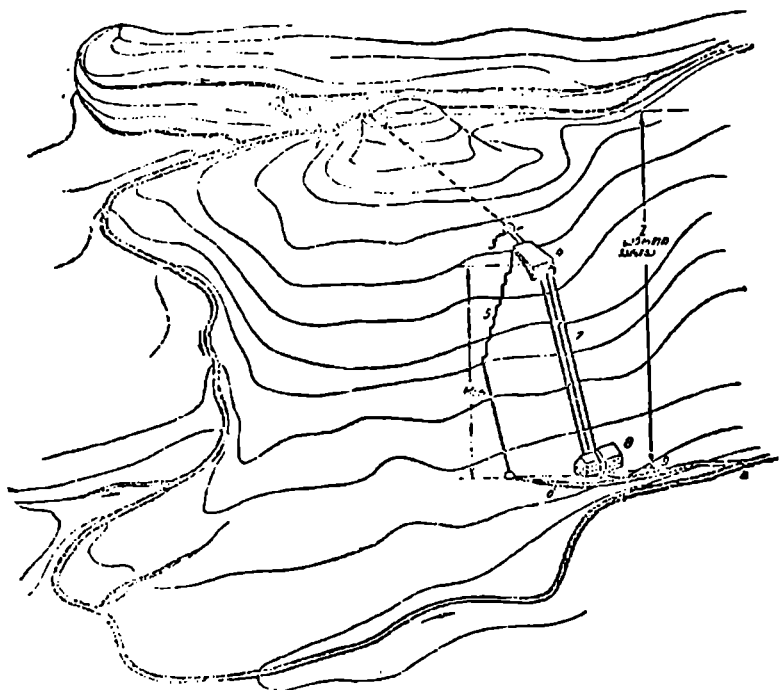
$$N_{\Sigma} = [\gamma - h_{\Sigma}] \gamma Q. \quad (2,2)$$

აქ,  $\gamma - h_{\Sigma} = H_{ბრ}$ , სადაც  $h_{\Sigma}$  არის დანაკარგები დერივაციაზე.



თუ მხედველობაში მივიღებთ ძალოვან კვანძზე მოსულ ჰიდროელექტურ დანაკარგებსაც, მაშინ ჰიდროტურბინების ლილვზე მოსული სიმძლავრე ასე გამოისახება:

$$N_{ბა} = \gamma Q [H_{ბა} - h_{აღ}] \quad (2,3)$$



ნახ. 7. ჰიდროსადგურის პრინციპული სქემა: 1 — კაშხალი; 2—3 — დერევატია; 4 — საწნეო აუზი; 5 — 6 — წყალსაგდები; 7 — მილსადენი; 8 — სადგურის შენობა; 9 — გამყვანი არხი.

აქ,  $H_{ბა} - h_{აღ} = H_{გბ}$ , სადაც  $h_{აღ}$  არის ჰიდროელექტური დანაკარგები ძალოვან კვანძზე.

ახლა თუ ჰიდროტურბინების მექანიკურ დაკარგვებსაც გავითვალისწინებთ  $\eta_{ბა}$  მარგი ქმედების კოეფიციენტით, მაშინ გენერატორის ლილვზე მოსული სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$N_{გბ} = N_{ბა} \cdot \eta_{ბა},$$

ან

$$N_{გბ} = \gamma Q H_{გბ} \cdot \eta_{ბა} \quad (2,4)$$

გენერატორის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგია, ანუ მარგი (ტექნიკური) სიმძლავრე, რამდენიმედ ნაკლები იქნება  $N_{გ6}$  სიმძლავრეზე, რადგან გენერატორშია აქვს ადგილი დანაკარგებს. თუ აღვნიშნავთ გენერატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტს  $\eta_{გ6}$  ასოთი, მაშინ გენერატორის მომქერებზე მიღებული მარგი სიმძლავრე

$$N_{აგ6} = N_{გ6} \cdot \eta_{გ6},$$

ა5

$$N_{აგ6} = \gamma Q H_{г6} \eta_{г6} \cdot \eta_{г6}. \quad (2,5)$$

გამოყენების უბნისა და ჰიდროელექტროსადგურის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი (1,21) გამოსახულების ანალოგიურად გამოითვლება:

$$\eta_{აა} = \frac{H_{ა6}}{z}. \quad (2,6)$$

ჰესის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი კი:

$$\eta_{აა} = \eta_{ა6} \cdot \eta_{г6} \cdot \eta_{ა6}, \quad (2,7)$$

სადაც  $\eta_{ა6} = \frac{H_{г6}}{H_{ა6}}$  არის ჰიდრაულიკური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ძალოვანი კვანძისათვის.

გენერატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია მის სიმძლავრეზე. მაგალითად, მცირე სიმძლავრის გენერატორებისათვის  $\eta_{გ6} = (0,92 - 0,93)$ -ის ფარგლებში აიღება, ხოლო 5000-დან 100 000 კვტ-მდე სიმძლავრის გენერატორებისათვის  $\eta_{გ6} = 0,95 \div 0,97$ .

ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია მის კონსტრუქციასა და ზომებზე. თანაბდროვე ჰიდროტურბინებისათვის  $\eta_{г6} = (0,85 \div 0,95)$ .

აგრეგატის (ტურბინი და გენერატორი) მარგი ქმედების კოეფიციენტი აიღება  $\eta_{ა6} = 0,80 \div 0,85$ -ფარგლებში, ხოლო ჰიდროსადგურისათვის  $\eta_{ა6} = 0,78 \div 0,85$ .

მდინარის გამოყენების უბნის  $\eta_{აა}$ —კოეფიციენტის მნიშვნელობა ძირითადად დამოკიდებული იქნება დერივაციაზე მოსულ ჰიდრაულიკური დაკარგვების ჯამის სიდიდეზე. აქედან გამომდინარე დავასკვნით, რომ გამოყენების უბნის სქემის შერჩევისას ჯეროვანი ყურადღება უნდა მიექცეს  $h_{გ6}$  ფაქტორს. ჰიდრაულიკური დანაკარგების შემცირება შესაძლებელია წყალგამყვან ნაგებობათა (დერივაცია, მილსადენი და სხვ.) სიგრძის შემცირებით, ან მათი მუშაობის ჰიდრაულიკური პირობების გაუმჯობესებით, ან კიდევ წყალგამყვან ნაგებობათა ცოცხალი კვეთის გაზრ-

დით. სახელდობრ, წყალგამყვანი ნაგებობის ცოცხალი კვეთის გაზრდა საგრძნობლად შეამცირებს ჰიდრაულიკური დანაკარგების სიდიდეს, სა- მაგიეროდ შეიძლება გაიზარდოს ნაგებობის კონსტრუქციული ზომები, რაც გამოიწვევს ჰიდროდინამიკური ტექნიკურ-ეკონომიური პირობების გაუარესებას, ე.ი. ობიექტის სამშენებლო ღირებულების გაზრდას, ზედ- მეტი მუშახელისა და მასალის დაბანდებას, ამასთან მშენებლობის გაბა- ნგრძლივებას. ამიტომ გამოყენების უბნის ენერგეტიკული სქემების შერ- ჩევისა და ჰიდრაულიკურ-გაანგარიშებათა გარდა საჭიროა სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთებაც, რომლის საფუძველზე შეირჩევა უკეთესი ენერგეტიკული და ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლიანი გა- მოყენების ვარიანტი.

### § 8. ჰიდროენერგეტიკული სქემები

გამოყენების უბანზე, ჰიდრაულიკური ენერგიის კონცენტრაციის ად- გილას, ჰესის სიმძლავრე (1,22), (2,5) და (2,7) ფორმულების თანახმად, ასე დაიწერება:

$$N_{\text{ს}} = 9,81 \cdot Q H_{\text{გ6}} \cdot \eta_{\text{ს}}, \quad (2,8)$$

აწ

$$N_{\text{ს}} = 9,81 \cdot Q H_{\text{გ6}} \cdot \eta_{\text{გ6}}, \quad (2,9)$$

სადაც  $Q_{\text{ს}}$  არის ჰესის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი, ხოლო  $\eta_{\text{გ6}} = \eta_{\text{გ6}} \cdot \eta_{\text{გ6}}$  — ავრეგატისა.

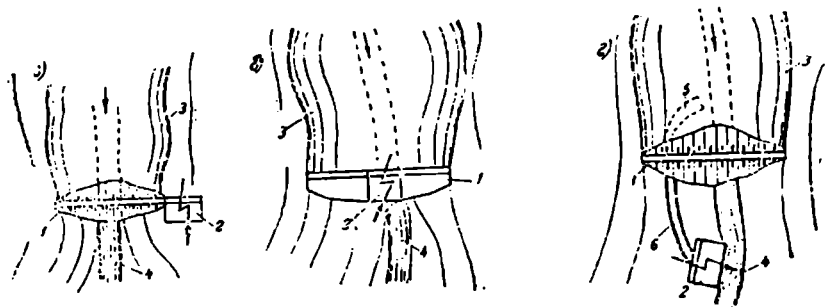
ჰიდროენერგეტიკული გამოყენების სქემები<sup>1</sup> სხვადასხვა ტიპის გვხვდება; მათი მოხაზულობა, ჰიდროტექნიკური კვანძების განლაგება და კონსტრუქციული გაფორმება ძირითადად დამოკიდებულია მდინარის ჰიდროლოგიურ, გეოლოგიურ პირობებსა და გამოყენების უბნის ჰიპსო- მეტრიულ ელემენტებზე.

ჰიდროენერგეტიკული გამოყენების სქემების კლასიფიკაცია ძირი- თადად ჰიდრაულიკური ენერგიის ( $Q$  და  $H$ ) კონცენტრაციის მიხედვით წარმოებს. მაგალითად, პრაქტიკაში ვხვდებით კ ა შ ხ ა ლ უ რ ი, დ ე რ ი - ვ ა ც ი უ ლ ი და შ ე რ ე უ ლ ი ტიპის გამოყენების სქემებს.

კაშხალური სქემით კონცენტრირებულ დაწნევას ვღებულობთ კაშ- ხალის საშუალებით ზემო ბიეფის შეტბორვის ანგარიშზე (ნახ. 8 ა, ბ და გ)- როგორც მე-8 ნახაზზე მოყვანილ ა — სქემიდან ჩანს, ჰესის შენობა- წარმოადგენს კაშხალის გაგრძელებას (ნახაზზე მოყვანილი ძირითადი ნაგებობანი მოცემულია პირობითი აღნიშვნებით). ამ სქემის ნიმუშს წარმოადგენს ეოლხოვჰესი, დნებროჰესი და სხვ. ბ — სქემით კაშხალი

<sup>1</sup> ჰიდროენერგეტიკული სქემები გვეჩვენა იმ შემთხვევაში, როცა მოცემული მდინა- რის გამოყენებას არ წარედგინება არავითარი სხვა მოთხოვნა ჰიდროენერგეტიკის გარდა..

და ჰესის 'შენობა ერთმანეთთან შეთავსებულია, ე.ი. კაშხალის ტონშია (ან კაშხალის ბურჯებში) მოთავსებული. ასეთი სქემით' განხორციელებულია კაშხალის, ორთაქალაქის (თბილისი) და სხვ. ამ განხილულ სქემებს უწოდებენ კალაპოტის სქემებს. გ — სქემა წარმოადგენს კაშხალური ტიპის ნიმუშს, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ამ სქემით ჰესის 'შენობა განლაგებულია ქვემო ბიეფში და წყლის მიყვანა ტურბინებთან განხორციელებულია მცირე სიგრძის მილსადენით. ამ სქემის მაგალითს წარმოადგენს გერგებლქესი (დალესტანი).



ნახ. 8. გამოყენების კაშხალური სქემები:

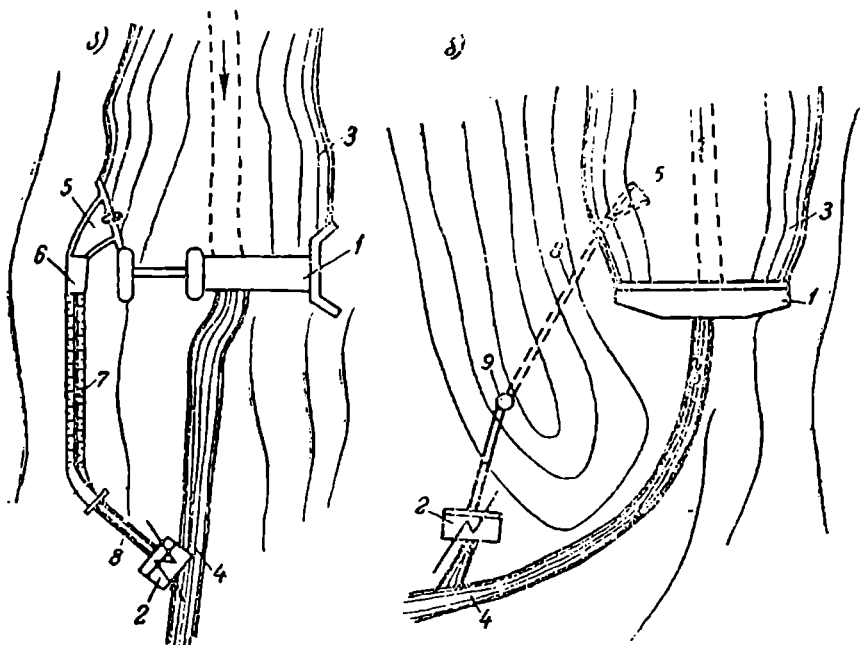
1 — კაშხალი; 2 — ჰესის 'შენობა; 3 — ზემო ბიეფი; 4 — ქვემო ბიეფი; 5 — წყალმიღები; 6 — საწნო მილსადენი.

დერივაციული სქემით კონცენტრირებული დაწნევის შექმნა შესაძლებელია როგორც ღია არხით (უწნეო დერივაცია), ისე დახურული დერივაციით (გვირაბი ან მილსადენი), სადაც წყლის მოძრაობა შეიძლება იყოს უწნეო ან წნევითი რეჟიმის.

მე-9 ნახაზზე მოყვანილი ა — სქემით გათვალისწინებულია კონცენტრირებული დაწნევის შექმნა უწნეო დერივაციით (ღია არხით), რომელიც გაყვანილია მდინარის კალაპოტის გასწვრივ საკმაოდ დიდ სიგრძეზე. ცხადია, ამ შემთხვევაში, გამოყენების უბანზე შექმნილი დაწნევის სიდიდე დამოკიდებული იქნება მდინარისა და არხის ფსკერის ქანობების სხვაობაზე (იხ. (1,28) ფორმულა). უწნეო დერივაციული სქემის ნიმუშებია: ზაჰესი, რიონჰესი და სხვ.

მეორე ბ — სქემა წარმოადგენს საწნო დერივაციულ სქემას, სადაც კონცენტრირებული დაწნევა შექმნილია საწნო მილსადენით. ასეთი სქემის ჰესები ნაკლებად გავრცელებულია, რადგან მოცემული უბნის სრული დაწნევის გამოყენება საგრძნობლად შეზღუდებულია საწნო დერივაციაში მნიშვნელოვანი ჰიდრავლიკური დანაკარგების გამო (მილსადენ-

ში ნაკადის სიჩქარე გაზრდილია ცოცხალი კვეთის შემცირების შედეგად). ამიტომ საწნეო დერივაციული სქემის განხორციელება შესაძლებელია გამონაკლის შემთხვევაში, როცა სხვა უკეთესი უბანი არა გვაქვს და შეზღუდული ვართ გამოყენების უბნის ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობებით.



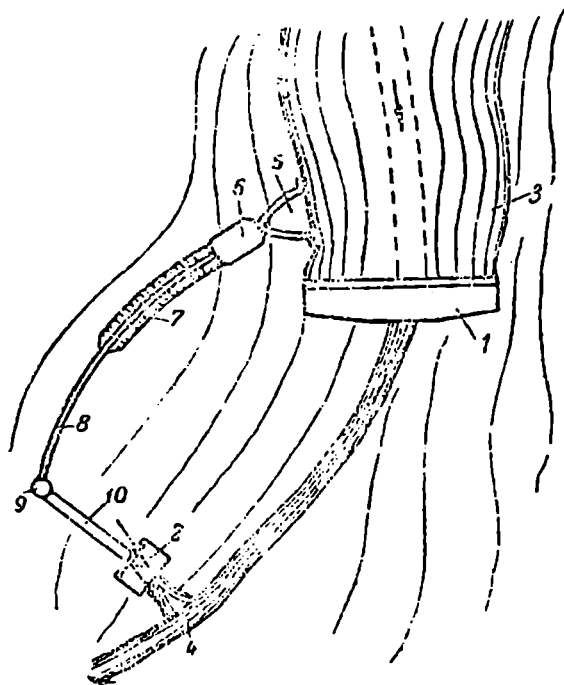
ნახ. 9. გამოყენების დერივაციული სქემები:

- 1—კაშხალი; 2—ჰესის შენობა; 3—ზემო ბიეფი; 4—ქვემო ბიეფი; 5—წყალმინღები; 6—სალექარი; 7—უწნეო დერივაცია; 8—საწნეო დერივაცია; 9—გამთანაბრებელი რეზერვუარი.

განხილული დერივაციული სქემები ზოგჯერ ითვალისწინებენ სალექრების მოწყობას მონატანების მოსაშორებლად, ე. ი. წყლის გასაწმენდად და გამთანაბრებელ რეზერვუარს (კამერა), რომლის დანიშნულებაა — ჰიდროტურბინის უეცარი გაჩერების, ან ჰესის დატვირთვის მკვეთრი შეცვლის შედეგად მილსადენში წარმოქმნილი ჰიდრაულიკური დარტყმების შემცირება (იხ. ქვემოთ).

მე-10 ნახაზზე წარმოდგენილია შერეული ტიპის ჰიდროენერგეტიკული გამოყენების სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ეს სქემა შეიცავს ზემოგანხილული დერივაციული სქემების ყველა ნაგებობას. შერეული

სქემა ფართო გამოყენებას ჰპოვებს მთიანი რელიეფის პირობებში. არსებობს კიდევ ჰიდროსააკუმულაციო სქემები. ამ სქემებით გათვალისწინებულია კონცენტრირებული დაწნევისა და ხარჯის შექმნა ხელოვნურად ტუმბო დანადგარების საშუალებით გარედან მიყვანილი ენერჯის დახარჯვით.



ნახ. 10. გამოყენების შერეული სქემა:

- 1—კაზხალი; 2—ქვის შენობა; 3—ზემო ბიეფი; 4—ქვემო ბიეფი; 5—წყალმიღები; 6—სალექარი; 7—უწნეთ დერივაცია; 8—საწნეთ დერივაცია; 9—გამთანაბრებელი რეზერვუარი; 10—საწნეთ მილსაღენი.

ჰიდროსააკუმულაციო დანადგარის მოსაწყობად უნდა გვექონდეს შესაბამისი ტოპოგრაფიული პირობები; სახელდობრ: ბუნებრივი ან ხელოვნური წყალსატევი, სადაც შეიძლება გარკვეული რაოდენობის წყლის გადატუმბვა მდინარიდან, შემდეგ კი ამ დაგროვილი წყლის გამოყენება, ე. ი. ჩამოგდება  $H_{\text{გ}}$  ვარდნის სიმალიდან. ჰიდროსააკუმულაციო დანადგარის მოწყობა ხელსაყრელია მაშინ, როცა წყლის ატანის (ჰირხნის) სიმაღლე გაცილებით ნაკლებია  $H_{\text{გ}}$  ვარდნის სიმაღლეზე.

ამისათვის, რომ ჰქესში გამომუშავებული ენერგია აღმატებოდეს ტუმბოების მუშაობაზე დახარჯულ ენერგიას.

ჰიდროსაკუმულაციო დანადგარის გამოყენება მაშინაცაა გამართლებული, როცა ჰქესის მუშაობის გარკვეულ პერიოდში (წყალმეტობისას) მიღებულ ჰარბ ელექტროენერგიას გამოვიყენებთ წყლის გადასატუმბავად მაღალ ნიშნულზე განლაგებულ წყალსატევეში. შემდეგ კი, წყალმცირობის პერიოდში წყალსატევეში დაგროვილ წყალს ჩამოვავდებთ და გაატარებთ იგივე ჰქესის ტურბინებში.

ამრიგად, ჰიდრავლიკური აკუმულაციის არსი მდგომარეობს მაღალმდებარე წყალსატევე-აკუმულატორში წყლის დიდი მარაგის გადატუმბვაში მცირე დატვირთვის პერიოდში და ამ მარაგის გამოყენებაში ტურბინების მუშაობისათვის მაქსიმალური დატვირთვის საათებში.

### § 9. წყლის მენარბინის უშუალო გამოყენების სქემატიკა

თანამედროვე ტექნიკის პირობებში წყლის ენერგიის უშუალო გამოყენების საკითხები ახლებურად ისმება. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ წყლის ენერგიის უშუალო გამოყენების ძველი მეთოდები და მანქანების კონსტრუქციები მოითხოვენ თანმიმდევრულ შესწავლასა და თეორიულ კონტროლს, რამაც შეუძლია მოგვეცეს ბევრი რამ ტექნიკის განვითარებისათვის ახალ ფორმებში.

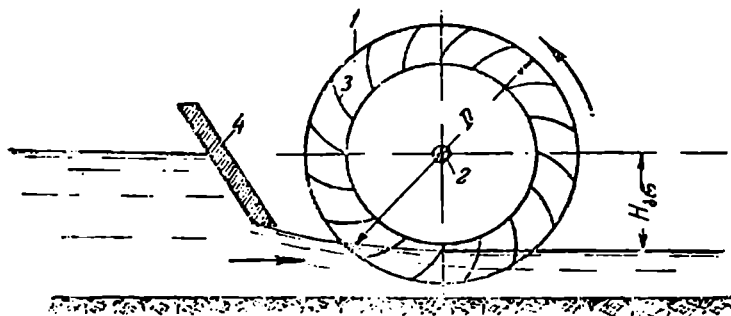
აღსანიშნავია, რომ კონცენტრირებული ჰიდრავლიკური ენერგიის უშუალო გამოყენება მოგვეცემს მნიშვნელოვან ენერგეტიკულ ეფექტს, რადგან გამოყენების ასეთი ფორმა არ საჭიროებს წყალნაკადის ენერგიის ტრანსფორმაციას ელექტროენერგიად, შემდეგ კი ისევ მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნას.

ტექნიკაში ცნობილია რიგი წყალმანქანები და ჰიდროდანადგარები, რომლებიც წყლის ენერგიას უშუალოდ იყენებენ სხვადასხვა სახის მარგი მუშაობის შესასრულებლად (წყლის ატანა, შეკუმშული ჰაერის მიღება და სხვ.) ძველად ხსენებულ მანქანებს ფართო გამოყენება ჰქონდა. მაგრამ ამ უკანასკნელი ათეული წლების მანძილზე მათი გამოყენების ფარგლები ძალზე შეიზღუდა. ამის მიზეზად ჩაითვლება ის, რომ გავლილი XIX საუკუნის მეორე ნახევარი აღინიშნა ელექტროენერგიული ტექნიკის მძლავრი განვითარებით. ამასთან, ელექტროენერგია აღიარებულ იქნა ერთ-ერთ უნივერსალური სახეობის ენერგიად, რომელიც ხასიათდება საუკეთესო ტრანსპორტაბელური (გადაცემის) თვისებებით. ამ პერიოდიდან დაიწყო ელექტროენერგიის ფართო გამოყენება ტექნიკასა და სახალხო მეურნეობაში და ამის შედეგად თანდათანობით გამოვიდა ხმარებიდან აღნიშნული მარტივი მანქანები მიუხედავად მათი საიმედო და ეფექტური მუშაობისა.

წყალნაკადის ენერგიის უშუალო გამოყენება შესაძლებელია კონცენტრირებული დაწნევისა და ხარჯის შექმნის, ე. ი. კაშხალისა და დერევაციულ ნაგებობათა აგების გარეშეც. ამ შემთხვევაში, ნაკადში უშუალოდ ჩაიდგმება წყლის ბორბალი ფრთებით (ნახ. 11), რომელიც შთანთქავს მასში გავლილი ნაკადის ენერგიის განსაზღვრულ ნაწილს და ბორბალი მოვა ბრუნვით მოძრაობაში. ცხადია, წყლის ბორბლის ლილვთან შეერთებული მექანიზმი ან მანქანა ამოქმედდება და შეასრულებს გარკვეულ მუშაობას (წყლის ატანა სხვადასხვა საბის სამუშაო პროცესების შესრულება: ქვის დამტვრევა, დულაბის მორევა, მორების დახერხვა და სხვ.).

მდინარის ენერგიის ასეთნაირი გამოყენება ნაკლებად ეფექტურია, რადგან ნაკადიდან მიღებული სიმძლავრე ძალზე მცირეა (საშუალოდ  $2 \div 3$  ც. ძ. არ აღემატება), ამასთან ვხვდებით გარკვეულ ტექნიკურ სიძნელეებს. ამით აიხსნება ის, რომ წყლიან ენერგიის უშუალო გამოყენების ასეთმა წესმა ვერ ჰპოვა ფართო გავრცელება.

ადამიანის მიერ შექმნილი პირველი მარტივი ჰიდრაულიკური მანქანა წარმოადგენდა წყლ-ს ბორბალს. წყლის ნაკადის მიდინების მიხედვით წყლის ბორბლები გვხვდება სამი ტიპის: ქვეშახმითი, შუახსმითი და ჩახსმითი ბორბალი.



ნახ. 11. ქვეშახმითი ბორბლის სქემა:

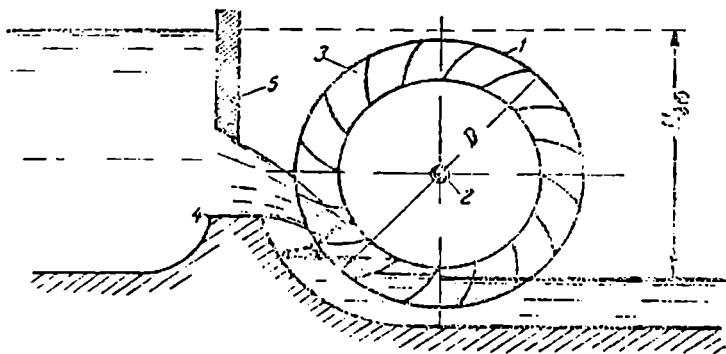
1—ბორბალი; 2—ბორბლის ლილვი; 3—ფრთები; 4—ფარი.

1. ქვეშახმითი ბორბლის სქემა წარმოადგენილია მე-11 ნახაზზე. ბორბლის წინ დაწევა შექმნილია ფარის ნაწილობრივი გაღებით. საშუალოდ, დაწევა  $H_{აგ} = 0,1 \div 1$  მ ფარგლებში აიღება. ამ ბორბლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი არ აღემატება  $\eta_{აგ} = 0,3$ -ს.

2. შუახსმითი ბორბლის სქემა მოყვანილია მე-12 ნახაზზე, როგორც ნახაზიდან ჩანს, ამ შემთხვევაში დაწევა რამდენიმედ გაზრ-



დილია სპეციალური ზღურბლისა და ფარის მოწყობით. ნაკადის მიდინება ბორბლის შუა ნაწილში წარმოებს. დაწნევა მიიღება  $H_{ბგ} = 0,5 \div 5$  მ-მდე წყლის ხარჯი აღწევს  $Q = 2 \text{ ს}^3/\text{წმ}$ ; მარგი ქმედების კოეფიციენტი  $\eta_{ბგ} = 0,5 \div 0,6$  ფარგლებში მერყეობს.



ნახ. 12. შუასხმითი ბორბლის სქემა:

1—ბორბალი; 2—ბორბლის ლილევი; 3—ფრთები; 4—ზღურბლი; 5—ფარი.

3. ჩასხმითი ბორბლის სქემა მოცემულია მე-13 ნახაზზე ბორბლის ფრთები უფრო ჩაზნექილია. დაწნევა მიიღება  $H_{ბგ} = 5 \div 10$  მ.  $\eta_{ბგ} = 0,6 \div 0,7$ .

წყლის ბორბლების წრეწირული სიჩქარე  $v = 1,2 \div 1,6$  მ/წმ აღწევს, ხოლო ბრუნთა რიცხვი— $n = 3 \div 8$  ბრ/წთ.

ბორბლის ლილეზე მოსული სიმძლავრე გამოითვლება (1.14) ფორმულის მიხედვით

$$N_{ბგ} = \frac{\gamma Q H_{ბგ}}{102} \eta_{ბგ} \quad \text{კვტ,} \quad (2,10)$$

სადაც  $H_{ბგ}$  არის ბრუტო დაწნევა, ხოლო  $\eta_{ბგ}$ —ბორბლის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

წყლის ბორბლის დაპროექტებისას (2,10) ფორმულიდან განსაზღვრავენ  $H_{ბგ}$  დაწნევას მოცემული  $N_{ბგ}$  სიმძლავრისა და  $Q$  ხარჯისათვის. მოცემული სიმძლავრისათვის წყლის ბორბლის ტიპის შესარჩევად საჭიროა ვისარგებლოთ შემდეგი დამოკიდებულებებით:

ქვეშახმითი ბორბლისათვის  $D \approx 3 H_{ბგ}$ ,  $\eta_{ბგ} = 0,3$ ,

შუასხმითი ბორბლისათვის  $D \approx 2 H_{ბგ}$ ,  $\eta_{ბგ} = 0,5$ .

ჩასხმითი ბორბლისათვის  $D \approx 0,65 H_{ბგ}$ ,  $\eta_{ბგ} = 0,6$ .

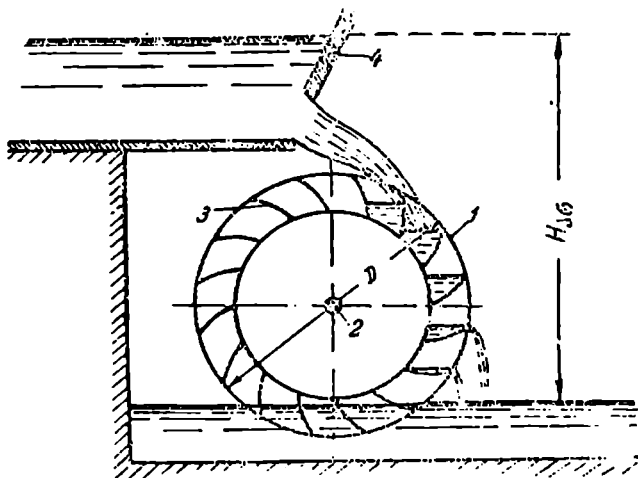
მოცემული სიდიდეების შეტანის შემდეგ (2,10) ფორმულას ასე-  
ნაირად გარდაქმნით:

$$D = \frac{N_{ბორ}}{Q \cdot m}, \quad (2,11)$$

სადაც  $m = \frac{1000 \eta_{ბორ}}{102 \cdot k}$  და ქვეშსმითი ბორბლისათვის  $\eta_{ბორ} = 0,3$ ,  $k = 3,0$ ,

$m = 0,99$ ; შუასმითი ბორბლისათვის  $\eta_{ბორ} = 0,5$ ,  $k = 2$ ,  $m = 2,43$ ,

ხოლო ჩასხმითი ბორბლისათვის  $\eta_{ბორ} = 0,6$ ,  $k = 0,65$ ,  $m = 9,15$ .



ნახ. 13. ჩასხმითი ბორბლის სქემა:

1—ბორბალი; 2—ლილევი; 3—ფრთები; 4—ფარი.

მაგალითი #. ბორბლის თვალზე მოსული სიმძლავრე  $N_{ბორ} = 14,7$  კვტ;  
წყლის ხარჯი  $Q = 0,5$  მ<sup>3</sup>/წმ,  $H_{ბ.} = 5,6$  მ. მოცემული პირობებისათვის  
შეეარჩიოთ ბორბლის ტიპი.

ამოხსნა: მივიღოთ ჩასხმითი ტიპის ბორბალი, მაშინ (2,11) ფორ-  
მულით ვიპოვიოთ

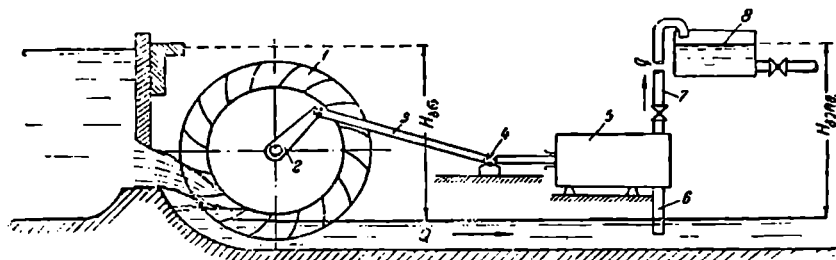
$$D = \frac{N_{ბორ}}{Q \cdot m} = \frac{14,7}{0,5 \cdot 9,15} = 3,26 \text{ მ.}$$

ბორბლის დიამეტრი მივიღეთ ნორმალური ზომის ( $3,26 \approx 0,65 H_{ბ.}$ ).

წყლის ბორბლის ბრუნთა რიცხვის რეგულება წარმოებს მასზე ნი-  
დინებული ნაკადის სიჩქარის შეცვლით, ფარის მეტ-ნაკლები გაღებით.

მე-14 ნახაზზე მოყვანილია წყლის ბორბლით მომუშავე დგუშიანი  
ტუმბო დანადგარის სქემა. ტუმბო (5), ჯვართავასა (4) და შტოკის (3)

საშუალებით უერთდება მრუდმხარას (2), რომელიც ხისტადაა დამაგრებული წყლის ბორბლის ლილვთან. ბორბლის ლილვის ბრუნვითი მოძრაობა დგუშის ცვლად-უქუქცევად მოძრაობას იწვევს და ამის შედეგად შემწოვი მილით (6) ტუმბოს შიგა არეში შეწოვილი წყალი გადაიქიბნება საწნეო მილის საშუალებით მაღალ ნიშნულზე განლაგებულ სამარაგო რეზერვუარში, საიდანაც წყალი გაუნაწილდება მომხმარებლებს.



ნახ. 14. წყლის ბორბლით მომუშავე დგუშიანი ტუმბო დანადგარის სქემა:

- 1—წყლის ბორბალი; 2—მრუდმხარა; 3—შტოკი; 4—ჯვართავა; 5—დგუშიანი ტუმბო; 6—შემწოვი მილი; 7—საქიბნის მილი; 8—სამარაგო რეზერვუარი.

ტუმბოს მიერ შესრულებული მარგი მუშაობა, ან სიმძლავრე, როცა ნოცემულია  $q$  ხარჯი და  $H_{გა}$  ატანის გეომეტრიული სიმაღლე, ტოლი აქნება

$$N_{გა} = \frac{\gamma q H_{გა}}{102} \text{ კვტ.} \quad (2,12)$$

ცხადია, რომ წყლის ბორბლის მიერ გადაცემული სიმძლავრე ტუმბოს დგუშზე რამდენიმედ მეტი უნდა იყოს  $N_{გა}$  სიმძლავრეზე, ტუმბო დანადგარში არსებული ჰიდრავლიკური და მექანიკური დანაკარგების გამო, რაც აღინუსხება  $\eta_{გა}$  ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტით, ვკვეყნება:

$$N_{გა} = \frac{N_{ტუმ}}{\eta_{გა}}, \quad (2,13)$$

სადაც  $N_{ტუმ}$  არის ტუმბოს შტოკზე გადაცემული სამძლავრე, (ფექტური სიმძლავრე);  $\eta_{გა} = (0,75 \div 0,95)$  — ტუმბოს მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

$N_{გა}$  სიმძლავრის გადასაცემად წყლის ბორბალმა უნდა მოგვეცეს უფრო მეტი სიმძლავრე, ამიტომ

$$N_{ბორ} = \frac{N_{გა}}{\eta_{ბორ} \cdot \eta_{გა}}, \quad (2,14)$$

$$N_{ბორ} = \frac{\gamma q H_{ბორ}}{102 \cdot \eta_{ბორ}}, \quad (2,15)$$

სადაც  $N_{ბორ}$  არის წყალბორბლის ბრუტო სიმძლავრე;  
 $\eta_{ბორ} = \eta_{ბორ} \cdot \eta_{ბორ}$  — დანადგარის სრული მარგი ქმედების კოეფიციენტი.  
 (2,15) ფორმულა ასეც გამოიხატება

$$\frac{\gamma Q H_{ბორ}}{102} = \frac{\gamma^2 H_{ბორ}^2}{102 r_{ბორ}}. \quad (2,16)$$

დაწერილი გამოსახულება წარმოადგენს წყალბორბლისა და ტუმბო-დანადგარის საანგარიშო ფორმულას.

**მაგალითი 4.** მოცემული ტუმბო დანადგარისათვის შევარჩიოთ ჩასხმითი ბორბლის დიამეტრის ზომები და ნაკადის  $H_{ბორ}$  ვარდნის სიმაღლე, თუ ცნობილია წყლის ატანის სიმაღლე  $H_{ბორ} = 50$  მ, ტუმბოს წარმადობა  $q = 0,1$  მ<sup>3</sup>/წმ,  $\eta_{ბორ} = 0,80$ ,  $\eta_{ბორ} = 0,5$  და ნაკადის ხარჯი  $Q = 4$  მ<sup>3</sup>/წმ.  
 ამოხსნა: (2,16) ფორმულიდან ვიპოვოთ  $H_{ბორ}$  სიმაღლე:

$$\frac{\gamma Q H_{ბორ}}{102} = \frac{\gamma q H_{ბორ}^2}{102 \cdot \eta_{ბორ} \cdot \eta_{ბორ}},$$

აქედან

$$H_{ბორ} = \frac{q H_{ბორ}^2}{\eta_{ბორ} \eta_{ბორ} \cdot Q} = \frac{0,1 \cdot 50}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 4} = 2,6 \text{ მ.}$$

ჩასხმითი ტიპის ბორბლის დიამეტრი ტოლი იქნება

$$D = 0,65 H_{ბორ} = 0,65 \cdot 2,60 = 1,68 \text{ მ.}$$

ქ. სვერდლოვსკისა და ლენინგრადის ცენტრალური არქივების მასალებიდან ირკვევა, რომ რუსეთის პირველი მსხვილი საფეიქრო ფაბრიკა, რომელიც აგებული იყო 1797 წელს მდ. ნევეს ნაპირზე, მუშაობდა ტივტივზე დადგმულ წყლის ბორბლების საშუალებით. ამ ფაბრიკის მუშაობის გასაუმჯობესებლად გამოგონებულ ი. კულიბინის მიერ შეტანილ იქნა რიგი ტექნიკური წინადადებები, კერძოდ, წყლის ბორბლების კონსტრუქციული გაუმჯობესების შეახება. ი. კულიბინის წინადადებების დანერგვისა და გახზორციელების შემდეგ ფაბრიკამ კიდევ უფრო უკეთ დაიწყო მუშაობა, რადგან წყლის ბორბლების მარგი ქმედების კოეფიციენტი საგრძნობლად გაიზარდა.

არქივებში არსებული მასალები და საბუთები ცხადყოფენ, რომ ურალის ყველა მეტალურგიული და მადნის გაღამმუშავებელი ქარხა-

5ა<sup>1</sup> IX საუკუნის მეორე ნახევრამდე მუშაობდა წყლის ენერჯის ეშუალო გამოყენების პრინციპზე.

ამ ქარხნებში ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესები და დამზადრე ამუშაოები სრულდებოდა მექანიკურად; ხოლო მექანიზმები, მანქანები და დანადგარები მოქმედებდნენ (მოდრაობაში მოდიოდნენ) ნაკადის ენერჯის საშუალებით. ამასთან ძირითად ძრავს წარმოადგენდა ზესხმითი წყლის ბორბალი.

საზღვარგარეთ წყლის ბორბლები ჯერ კიდევ ფართო გამოყენებაშია. მაგალითად: საფრანგეთის, იტალიის, შვეიცარიის, ეგვიპტის, ინდოეთისა და სხვ. ქვეყნების ზოგიერთ ქალაქებსა და სოფლებში მდინარეების ნაპირებზე მოწყობილი წყლის ბორბლებით მოქმედებენ რიგი კუსტარული საწარმოები, წყალწისქვილები და სასოფლო-სამეურნეო ჯერმები. ცხადია, ასეთი მარტივი ჰიდრაულიკური მანქანების გამოყენება გამართლებულია იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა მცირე სიმძლავრეების შექმნა შედარებით დაბალი დაწნევის პირობებში და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მოწყობის გარეშე. გარდა ამისა, ამ ჰიდრაულიკური მანქანის სიმარტივისა და იოლი მომსახურების გამო, მისი სამშენებლო ღირებულება და წლიური საექსპლოატაციო დანახარჯები მნიშვნელოვნად მცირეა; ამავე დროს მისი მოქმედება საიმედოა. წყლის ბორბლების მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდე შედარებით მაღალია და დამოკიდებულია წყლის ხარჯისა და დაწნევის ცვალებადობაზე.

წყლის ბორბალი წინამორბედი თანამედროვე ტურბინებისა. მათ შორის პრინციპული განსხვავება არ არსებობს. წყლის ბორბალი მარტივი კონსტრუქციისაა, ტურბინი კი თანამედროვე სრულქმნილი ჰიდრაულიკური მანქანაა და მისი გამოყენების ფარგლები პრაქტიკულად შეუზღუდავია.

### ჰიდროტარანის დანადგარის შესაძლებელი სქემები

საქართველოს მთიანი რაიონების რთული რელიეფის პირობებში განლაგებული დასახლებული ადგილებისა და მიწათმოქმედებისათვის გამოსაყენებელი მიწის ნაკვეთების წყლით მომარაგება წყალსადენის ქსელისა და სარწყავი სისტემების საშუალებით მეტწილად გაძნელებულია და მათი მოწყობა მნიშვნელოვანი ხარჯების გაღებასთანაა დაკავშირებული. მთებში განლაგებული სოფლების წყლით მომარაგება მექანიზირებული წესით (ტუმბოებით) აგრეთვე დაკავშირებულია რიგ ტექ-

<sup>1</sup> ამ პერიოდში ურალის რაიონში მოქმედებდა 91 ქარხანა, მათ შორის აღსანიშნავია კაჟენსკის, ნიენე-ტაგელის, კუშვინსკის, ზლოტოუსტოვსკისა და ეკატერინბურჯის ქარხნები.

ნიკურ სიძნელეებთან: უნდა აიგოს სატუმბო სადგური, დაიდგას ტუნბო დანადგარი, სათანადო მილგაყვანილობის მოწყობით; ამასთან ტუმბოების ასამუშავებლად ელექტროენერგია უნდა მივიყვანოთ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზით ახლობელ სოფლის ჰესიდან და სპე. მაგრამ თუ ამ რაიონის ახლო ჰესი არა გვაქვს, მაშინ შექანიზირებული წესით წყლის მიწოდება უფრო გართულებულია, რადგან საჭირო იქნება ადგილობრივ, შიგაწვის ძრავების დადგმა.

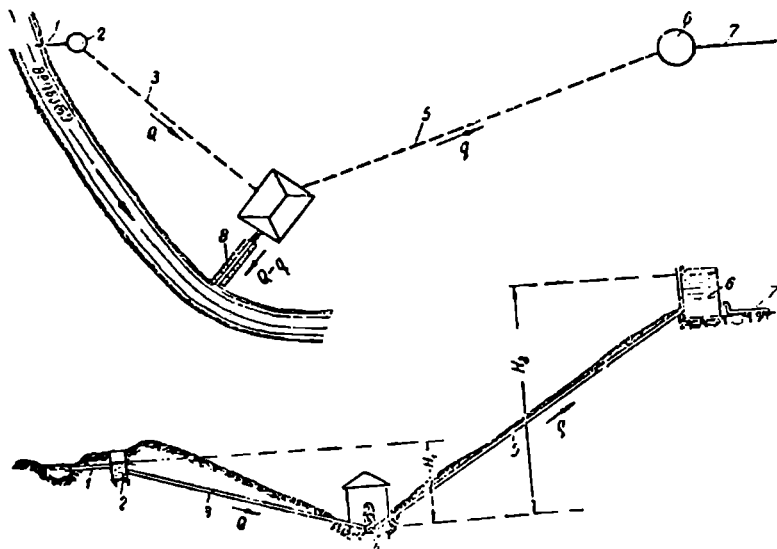
ამ ტექნიკურ სიძნელეთა თავიდან ასაცილებლად, ამასთან მნიშვნელოვანი სარგებების გაღების გარეშე, მცირე დასახლებული ადგილების წყლით მომარაგება შესაძლებელია იაფფასიანი წყალამწვეი მანქანით— ჰიდროტარანით, რომელიც იმუშაებს საიმედოდ, არ დასჭირდება ნავთობი, ან ელექტროენერგიის მიყვანა და მუდმივი მეთვალყურეობა.

მომხე რესპუბლიკების გამოცდილებამ დაგვანახა, რომ ჰიდროტარანების ფართო დანერგვა მიზანშეწონილია და ეკონომიურადაც გამართლებული პატარა ნაკვეთების მოსარწყავად და მცირე დასახლებული ადგილების წყალმომარაგებისათვის. უკრაინის ბევრ რაიონში ფართოდაა გამოყენებული ჰიდროტარანის დანადგარები კოლმეურნეობების, დასახლებული ადგილების და სამშენებლო ობიექტების წყალმომარაგებისათვის. რაიონის თევზის მოშენების ზოგიერთ მეურნეობაში გამოყენებულია ჰიდროტარანის დანადგარები. ხელოვნურად მოწყობილ გუბურებში, სადაც ბინადრობს თევზი, წყლის მიწოდება და განახლება ჰიდროტარანებით სრულდება.

ჰიდროტარანები მიეკუთვნება ისეთი მარტივი კონსტრუქციის წყალამწვე მანქანებს, რომლებიც ნაკადის (მდინარის) ძალას უშუალოდ იყენებენ წყლის მაღლა ასატანად. ჰიდროტარანის მოქმედება ჰიდრაულიკური დარტყმებით წარმოებს, ე. ი. ჰიდრაულიკურ ტარანში მილსადენით მიყვანილი წყლის ნაკადი, რომელიც ვარდება გარკვეული ( $H_1$ ) სიმაღლიდან (ნაბ. 15), ტარანის მუშა კამერაში შესვლისას ანეიტარებს მნიშვნელოვან სიჩქარეს. მუშა კამერაში დადგმული სარკველების ავტომატური მოქმედებით პერიოდულად ხდება შედინებული ნაკადის მყის შეჩერება, რაც იწვევს ჰიდრაულიკური დარტყმების წარმოქმნას მუშა კამერაში და დაწინების მნიშვნელოვან გაზრდას. ჰიდროტარანის წარმადობა და წყლის ატანის სიმაღლე გარკვეულ დამოკიდებულებაშია დანადგარში მიდინებული მუშა წყლის რაოდენობაზე ( $Q$ ) და ვარდნის სიმაღლეზე.

ამრიგად, ჰიდრაულიკური ტარანი წარმოადგენს დარტყმითი მოქმედების წყალამწვე მანქანას, რომელიც ასრულებს ჰიდრაულიკური ძრავისა და ტუმბოს როლს.

მე-15 ნახაზზე მოყვანილია ჰიდროტარანის დანადგარის სქემა და კრილი. როგორც ხახაზიდან ჩანს, მდინარიდან წყლის მიღება წყალმიმღებ კაში (2) თვითდენი მილით (1) წარმოებს, აქედან კი მიმყვანი მილით (3) ჰიდროტარანში (4) გადადის, საიდანაც გამყვანი მილით (5) წყალი სამარაგო რეზერვუარში (6) იჭირხნება. წყლის განაწილება მომხმარებელთა შორის გამანაწილებელი მილით (7) ხდება. ჰიდროტარანიდან გამოდინებული (მუშა) წყალი საგდები არხით (8) ისევ მდინარეში ჩადის.



ნახ. 15. ჰიდროტარანის დანადგარის სქემა:

- 1—თვითდენი მილი; 2—წყალმიმღები კა; 3—მიმყვანი მილი; 4—ჰიდროტარანი; 5—გამყვანი მილი; 6—სამარაგო რეზერვუარი; 7—გამანაწილებელი მილი; 8—საგდები არხი.

ჰიდროტარანის დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ასეთი. დამოკიდებულებიდან განისაზღვრება:

$$\eta_{\text{აბ}} = QH_1 = qH_2, \quad (2,17)$$

საიდანაც

$$\eta_{\text{აბ}} = \frac{qH_2}{QH_1}. \quad (2,18)$$

აქ  $\eta_{\text{აბ}}$  არის ჰიდროტარანის დანადგარის საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი;  $q$  და  $H_2$  ჰიდროტარანის წარმადობა და წყლის ატანის

სიმაღლე  $Q$  და  $H_1$ —ჰიდროტარანში მიდინებული მუშა ხარჯი და წყლის ვარდნის სიმაღლე.

ყოველთვის  $Q > 1$  და  $Q - q$  წყლის რაოდენობა გამყვანი არხით უბრუნდება. მიდინარეს. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ როცა

$$\frac{H_2}{H_1} = 2; 3; 5; 8; 10,$$

მაშინ

$$\eta_{\text{აბ}} = 0,85; 0,78; 0,69; 0,58; 0,52.$$

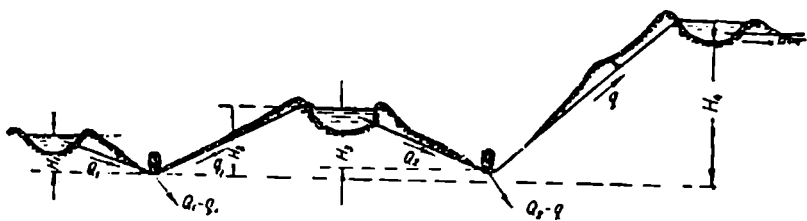
დანადგარის წარმადობის გაზრდის მიზნით შეგვიძლია დავდგათ რამდენიმე ჰიდროტარანი, რომლებიც დამოუკიდებლად იმუშავენ. წყალს კი ერთ და იმავე სამარაგო რეზერვუარში მიაწვდიან. ასეთ დანადგარს ჰიდროტარანების ბატარეას უწოდებენ.

მაგალითი ა. ვთქვათ წყლის ატანის სიმაღლე  $H_2 = 25$  მ, წარმადობა  $q = 20$  ლ/წმ. ვიპოვოთ ჰიდროტარანის დანადგარის ვარდნის სიმაღლე და წყლის  $Q$  მუშა ხარჯი.

ამოხსნა: მივიღოთ, რომ  $\frac{H_2}{H_1} = 5$ , მაშინ ნაკადის ვარდნის სიმაღლე ტოლი იქნება  $H_1 = \frac{H_2}{5} = \frac{25}{5} = 5$  მ. მოცემულ  $\frac{H_2}{H_1} = 5$  შეფარდებას შეესაბამება  $\eta_{\text{აბ}} = 0,69$ . მუშა ხარჯს ვიპოვოთ (2,17) ფორმულიდან

$$Q = \frac{q H_2}{\eta_{\text{აბ}} H_1} = \frac{20 \cdot 25}{0,69 \cdot 5} = 145 \text{ ლ/წმ.}$$

იმ შემთხვევაში, როცა ადგილობრივი პირობების გამო ნაკადის ვარდნის სიმაღლე არა საკმარისია  $q$  რაოდენობის წყლის საჭირო სიმაღლეზე ასატანად, მაშინ შეგვიძლია გამოვიყენოთ ქვემომოყვანილი სქემა



ნახ. 16. ორსაფეხურიანი ჰიდროტარანის დანადგარის სქემა.

((ნახ. 16). ამ სქემით წყლის ატანა  $H_3$  სიმაღლეზე ხორციელდება ორი საფეხურით. პირველი საფეხურის ჰიდროტარანით წყალი იჭირხნება



(გუბურში)  $H_2$  სიმბოლოზე, ხოლო მეორე საფეხურის ჰიდროტარანით ( $H_3$  ვარდნის გამოყენებით) წყლის ატანა ხდება საანგარიშო  $H_4$  სიმბოლოზე.  $H_1$ ,  $H_2$  და  $H_3$  სიმბოლოები და  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  ხარჯები გამოითვლება ზემოაღნიშნული მაგალითის ანალოგიურად. წყლის ატანის  $H_4$  სიმბოლო და  $q$  საანგარიშო ხარჯი ამ შემთხვევაში მოცემულად ჩაითვლება.

### ჰიდროკომპრესორის დანადგარის შესაძლებელი სქემები

როგორც ცნობილია, შეკუმშულ ჰაერს ფართო გამოყენება აქვს სახალხო მეურნეობისა და წარმოება-მრეწველობის სხვადასხვა დარგში. სამთო საქმიანობაში, გადასატანი პნევმატიკური იარაღების მოქმედება შეკუმშული ჰაერით წარმოებს; წყალმომარაგებასა და ნავთობის მოპოვებაში წყლის ან ნავთობის ამოტუმბვა ხშირად შეკუმშული ჰაერის საშუალებით ხდება. შეკუმშულ ჰაერს აგრეთვე ფართო გამოყენება აქვს ჰესების მშენებლობისას, განსაკუთრებით მთიან პირობებში. ასევე შეკუმშული ჰაერით სარგებლობენ რკინიგზასა, სამშენებლო საქმესა და კომუნალურ მეურნეობაში სხვადასხვა სამშენებლო და საექსპლოატაციო პროცესების შესასრულებლად.

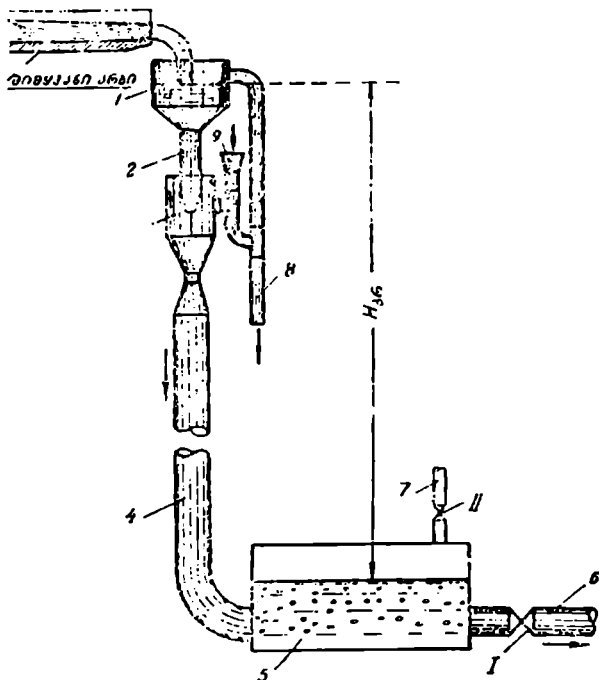
ამჟამად შეკუმშული ჰაერის მიღება მექანიკური ქმედების კომპრესორებით ხდება.

არსებობს კიდევ ჰიდრაულიკური ქმედების კომპრესორები (ჰიდროკომპრესორები), რომელთა კონსტრუქციული გაფორმება მეტად მარტივია და საკმაოდ მაღალი მარტივი ქმედების კოეფიციენტით ხასიათდებიან.

ჰიდროკომპრესორი მიეკუთვნება მანქანების ისეთ კლასს, რომელიც შეკუმშული ჰაერის მიღებისას, ნაკადის მექანიკურ ენერჯიას უშუალოდ იყენებს. ამ ტიპის მანქანების გამოყენება შესაძლებელია წარმოება-მრეწველობის ისეთ რაიონებში, სადაც ჰაერის მომხმარებელი ობიექტები წყლის (მდინარის) საკმაო რაოდენობითაა უზრუნველყოფილი.

ჰაერის ტიპის ჰიდროკომპრესორის ერთ-ერთი კონსტრუქციული სქემა (დ. წიკლაურის მიერ დამუშავებული) წარმოდგენილია მე-17 ნახაზზე. იგი შედგება საწნეო აუზისაგან (1), მიმყვანი მილისაგან (2), ჰაერის ტუმბოსა (3) და მუშა მილისაგან (4), რომელიც უერთდება სეპარატორს (5). სეპარატორში ხდება შეკუმშული ჰაერის გამოყოფა წყლიდან. წყლის გაყვანა სეპარატორიდან ხორციელდება გამყვანი მილით (6), რომელზედაც დადგმულია I საკეტი (ურდული). ამ საკეტის საშუალებით შეიძლება შეკუმშული ჰაერის წნევის რეგულირება სეპარატორში, ე. ი. საკეტის მეტ-ნაკლები გაღება-დაკეტვით შეგვიძლია ხელოვნურად შევქმნათ წინაღობა წყლის გასასვლელ კეცში, რაც გამოიწვევს წნევის გაზრდას, ან შემცირებას სეპარატორში. სეპარატორიდან გაყვანილია საჰაერო მილი (7) [II საკეტი], რომლითაც უნაწილდება შეკუმშული

ჰაერი მომხმარებლებს. საწნეო აუზსა და ჰაერილის ტუმბოს აქვთ საერთო საგდები მილი (8) ზედმეტი წყლის გადასაგდებად. ჰაერილის ტუმბო შეერთებულია საჰაერო მილთან (9), საიდანაც ხდება ატმოსფერული ჰაერის შეწოვა ტუმბოში.

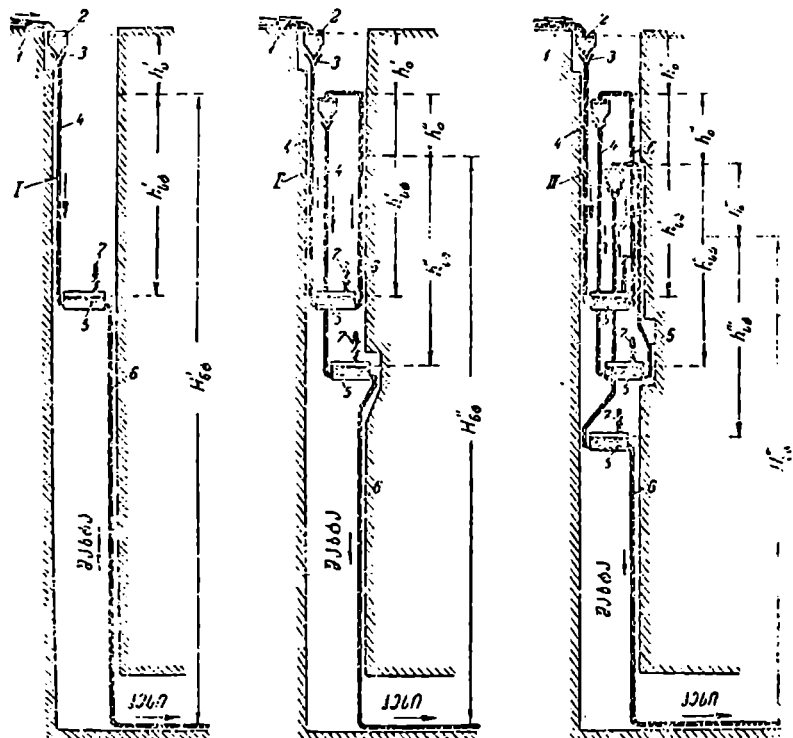


ნახ. 17. ჰაერილის ტიპის ჰიდროკომპრესორის კონსტრუქციული სქემა:

- 1—საწნეო აუზი; 2—მიმყვანი მილი; 3—ჰაერილის ტუმბო; 4—მუშა მილი; 5—სეპარატორი; 6—გამყვანი მილი; 7—საჰაერო მილი; 8—საგდები მილი; 9—ჰაერის შეწოვი მილი.

ჰიდროკომპრესორი შემდეგნაირად მოქმედებს: წყლის ნაკადი მიმყვანი არხით საწნეო აუზში ისხმება, აქედან კი მიმყვანი მილის საშუალებით დაწნევის ქვეშე გადაის ჰაერილის ტუმბოში. წყლის ჰაერილი ტუმბოს კამერაში გაელისას თან ჰაერის ნაწილაკებს წარიტაცებს და ცალკეული ბუშტების სახით მუშა მილით სეპარატორში გადაიტანს. სეპარატორში წყალჰაერის ნარევის მოძრაობის სიჩქარე მნიშვნელოვნად მცირდება, რაც ხელს უწყობს ჰაერის ბუშტების ზემოთ ამოტივტივებას. შეკუმშული ჰაერი გროვდება სეპარატორის ზემო არეში.

ცდებით დადგენილია, რომ ჰიდროკომპრესორით მიღებული შეკუმშული ჰაერის რაოდენობა (დროის ერთეულში) არ აღემატება დანადგარში გატარებული მუშა წყლის ხარჯის 140%-ს, ხოლო შეკუმშული ჰაერის წნევა სეპარატორში დამოკიდებულია  $H_{\pm 6}$  სიმაღლეზე და მერყეობს  $\gamma (0,75 \div 0,85) H_{\pm 6}$ , სადაც  $\gamma$  წყლის ერთეული მოცულობის წონაა-



ნახ. 18. ჰესთან ერთად მომუშავე ჰიდროკომპრესორის დანადგარის სქემები:

I—ერთსაფეხურიანი; II—ორსაფეხურიანი; III—სამსაფეხურიანი.

1—მიმეყვანი არხი; 2—სათავე; 3—ჰაერის ტუმბო; 4—მუშა მილი; 5—სეპარატორი; 6—გამყვანი მილი; 7—საჭაერო მილი.

ზემოთ მოყვანილია (ნახ. 18) მიწისქვეშა ჰესთან ერთად მომუშავე ერთ, ორ და სამსაფეხურიანი ჰიდროკომპრესორის დანადგარის სქემები, რომლებიც განკუთვნილია ქვანახშირის მაღაროების ელექტროენერგითა და შეკუმშული ჰაერით მომარაგებისათვის. იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭირო რაოდენობის შეკუმშული ჰაერის მისაღებად სრულიად საკმარისია მოცემული წყლის ხარჯი, მაშინ ვიყენებთ ერთსაფეხურიანი ჰიდ-

როკომპრესორის დანადგარის სქემას. მაგრამ, როცა, ვთქვათ, წყლის ხარჯი ნახევრად უზრუნველყოფს შეკუმშული ჰაერის წარმადობას, მაშინ შეგვიძლია გამოვიყენოთ ორსაფეხურიანი სქემა.

დაბოლოს, როცა ჰესის დაწნევა მნიშვნელოვანია, ხარჯი კი მცირე, მაშინ მიზანშეწონილია სამსაფეხურიანი სქემის გამოყენება და ასე შემდეგ.

მოყვანილი სქემებიდან ცხადია, რომ ჰესში გამოყენებული (ნეტო) დაწნევა დამოკიდებული იქნება საფეხურების რიცხვისა და ჰაერის კუმშვის სიდიდეზე ( $h_{\Sigma}$ ), მაგალითად, სამსაფეხურიანი ჰიდროკომპრესორის დანადგარის სქემისას, ჰესი იმუშაებს შემდეგ დაწნევაზე

$$H_{\Sigma}''' = H_{\Sigma} - \sum_1^n h_{\Sigma} \quad (2,19)$$

სადაც  $h_{\Sigma}$  არის ჰიდროკომპრესორის თითოეულ საფეხურზე მოსული ვარდნა.

ამრიგად, მოცემული წყლის ხარჯის, დაწნევისა და საჭირო რაოდენობის შეკუმშული ჰაერის მიხედვით, შეგვიძლია შევარჩიოთ ჰიდროკომპრესორის დანადგარის შესაბამისი სქემა.

მუშა წყლის მუშაობა, რომელიც იხარჯება განსაზღვრული რაოდენობის ჰაერის ჰიდრავლიკურ კუმშვაზე, შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით

$$A = \gamma Q [h_0 - h_{\Sigma}], \quad (2,19')$$

სადაც  $A$  არის მუშაობა;  $h_{\Sigma}$  — ჰიდრავლიკური დანაკარგები.

იგივე რაოდენობის ჰაერის იზოთერმული კუმშვის მუშაობა გამოთვლება ცნობილი ფორმულით

$$A_1 = P_{\Sigma} \cdot V_{\Sigma} \ln \frac{P_1}{P_{\Sigma}} = 2,303 P_{\Sigma} V_{\Sigma} \lg \frac{P_1}{P_{\Sigma}}. \quad (2,20)$$

აქ  $P_{\Sigma} = 10$  მ არის ატმოსფერული წნევა;  $V_{\Sigma}$  — შეწოვილი ატმოსფერული ჰაერის რაოდენობა;  $P_1 = P_{\Sigma} + P_{\Sigma}$ , სადაც  $P_{\Sigma}$  ჰაერის ხალასი წნევაა სეპარატორში. (2.19') და (2,20) გამოსახულებათა გატოლების შემდეგ, შეგვიძლია განვსაზღვროთ საანგარიშო ვარდნის სიმალდე

$$h_0 = \frac{2,303 P_{\Sigma} V_{\Sigma} \lg \frac{P_1}{P_{\Sigma}}}{\gamma Q} + h_{\Sigma}. \quad (2,21)$$

ამ ფორმულაში  $h_{\Sigma} = h_{\Sigma 1} + h_{\Sigma 2}$ , სადაც  $h_{\Sigma 1}$  და  $h_{\Sigma 2}$  სიგრძივი და ადგილობრივი დანაკარგებია.

განხილული სქემისათვის ჰესის გენერატორის მომჭერებზე მიღებული ელექტროენერგია შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება

$$N_{\text{კ}} = 9,81 Q [H_{\text{ბგ}} - \Sigma h_0] \eta_{\text{კს}}, \quad (2.22)$$

სადაც  $\Sigma h_0$  ის საერთო ვარდნის სიმაღლეა, რომელიც იხარჯება ჰაერის შეკუმშვასა და მის ტრანსპორტირებაზე ჰიდროკომპრესორის საფეხურებში.

ჰიდროკომპრესორისა და მექანიკური კომპრესორის მუშაობის ერთმანეთთან შედარების მიზნით, შეგვიძლია გამოვსახოთ მექანიკური წესით ჰაერის კუმშვაზე დახარჯული ელექტროენერჯის რაოდენობა ჰიდროკომპრესორის წარმადობასთან დაკავშირებით, ე. ი.

$$N_{\text{კ}} = KN_{\text{ჰ}}, \quad (2.23)$$

სადაც  $K = \frac{\Sigma V_{\text{აბ}}}{V_{\text{ჰკ}}}$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია ჰიდროკომპრესორის რიცხვსა და მათ ჯამურ წარმადობაზე  $[\Sigma V_{\text{აბ}}]$ . მექანიკური კომპრესორის  $[B-300-2K$  ტიპი] წარმადობა  $V_{\text{ჰკ}} = 40$  მ<sup>3</sup>/წთ, ხოლო აღნიშნული მარკის კომპრესორის მოძრაობაში მოსაყვანად საჭირო სიმძლავრე  $N_{\text{ჰკ}} = 260$  კვტ<sup>1</sup>.

**მაგალითი 6.** განვიხილოთ სამსაფეხურიანი ჰიდროკომპრესორის დანადგარის საფეხურებით მუშაობა; მოცემული გვაქვს: წყლის ხარჯი  $Q = 2$  მ<sup>3</sup>/წმ და 4 მ<sup>3</sup>/წმ, შეწოვილი ატმოსფერული ჰაერის რაოდენობა  $V_{\text{აბ}} = 1$  მ<sup>3</sup>/წმ და 2 მ<sup>3</sup>/წმ; შეკუმშული ჰაერის წნევა სეპარატორში  $p_{\text{ბგ}} = 8$  ატმ, მუშა მილის დიამეტრი  $d = 1$  მ, მილსადენების სიგრძე (თითოეული საფეხურისათვის)  $L = 210$  მ,  $\lambda = 0,022$ . განვსაზღვროთ შესაბამისი  $h_0$  ვარდნის სიმაღლეები და წარმადობა (წუთში).

ამოხსნა: ვიპოვოთ ნაკადის სიჩქარე მილში, როცა  $Q = 2$  მ<sup>3</sup>/წმ

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 2}{3,14 \cdot 1} = 2,56 \text{ მ/წმ.}$$

ერთი საფეხურის ვარდნის სიმაღლე განისაზღვრება (2.21) ფორმულით

$$h_0 = \frac{2,303 P_{\text{აბ}} v_{\text{აბ}}}{\gamma Q} l g - \frac{P_1}{P_{\text{აბ}}} + h_{\text{გფ.}}$$

ჰიდრავლიკური დანაკარგების ჯამი დაახლოებით ასე გამოვსახოთ (ადგილობრივი დანაკარგები აღებულია სიგრძივი დაკარგების 10<sup>0</sup>%)

$$h_{\text{გფ.}} \approx 1,1 \frac{\lambda L v^2}{2gd}$$

<sup>1</sup> B-300-2k ტიპის კომპრესორი ჰაერს კუმშავს 8 ატმოსფერულ წნევაზე, მის სტრუქტურა სინქრონული მოტორი № 322-6/20 ტიპისა, რომლის სიმძლავრეა 260 კვტ.

მაშინ ზემომოყვანილ ფორმულაში რიცხვითი მნიშვნელობის შეტანის შემდეგ, მივიღებთ

$$l_0 = \frac{2,203 \cdot 10 \cdot 1,0}{2} + 1,1 \frac{0,022 \cdot 2,56^2 \cdot 210}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,0} = 12,7 \text{ მ.}$$

ანალოგიურად გამოითვლება  $Q=4$  მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯისათვის. ყველა საფეხურის გამოთვლების შედეგები მოყვანილია მე-6 ცხრილში.

ცხრილი 6

საფეხურებით მომუშავე ჰიდროკომპრესორის მაჩვენებლები

№ რიგზე	ჰიდროკომპრესორის დანადგარის საფეხურებით მუშაობა	წლის ხარჯი Q მ <sup>3</sup> /წმ	შეწილი ჰაერის რაოდენობა V <sub>ა</sub> მ <sup>3</sup> /წმ	მუშა მილის დიამეტრი d (მ)	სიჩქარე მილში v მ/წმ	შეკუმშული ჰაერის წნევა p (ჩაბ)	მილების სიგრძის L მ	სრული ვარდნა h <sub>0</sub> მ	ჰიდროკომპრესორის წარმადობა მ <sup>3</sup> /წმ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ერთი საფეხურის მუშაობა	2,0	1,0	1,0	2,56	80	210	12,7	60
		4,0	2,0	1,0	5,10	80	210	17,7	120
2	ორი საფეხურის ერთდროული მუშაობა	2,0	2,0	1,0	2,56	80	420	25,4	120
		4,0	4,0	1,0	5,10	80	420	35,4	240
3	სამი საფეხურის ერთდროული მუშაობა	2,0	3,0	1,0	2,56	80	630	38,1	180
		4,0	6,0	1,0	5,10	80	630	53,1	360

შენიშვნა: პირველი საფეხურის ზომები და ჰიდრაულიკური ელემენტები იგივე რჩება მეორე და მესამე საფეხურებისათვის.

მაგალითი 7. ზემომოყვანილი მაგალითის მონაცემებისა და გამოთვლების გამოყენებით, განვსაზღვროთ ჰიდროკომპრესორთან ერთად მომუშავე მიწისქვეშა ჰესის სიმძლავრე და გამოვთვალოთ იმ ენერგიის სიდიდე, რომელიც იხარჯება ჰიდრაულიკური და მექანიკური წესებით მიღებულ ერთი და იგივე რაოდენობის შეკუმშულ ჰაერზე. დამატებით მოცემულია  $H_{აა} = 389$  მ,  $\eta_{აა} = 0,80$ . განვიხილოთ სამსაფეხურიან ჰიდროკომპრესორთან მომუშავე ჰესი.

ამოხსნა: მოცემული  $Q=2$  მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯისათვის გამოვთვალოთ ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერგია (გენერატორის მომჭერებზე). ვისარგებლოთ (2,22) ფორმულით, გვექნება

$$N_{აა}^{ჰეს} = 9,81 \cdot 2 (389 - 38,10) 0,80 = 5500 \text{ კვტ.}$$

აგრეთვე,  $Q = 4 \text{ მ}^3/\text{წმ}$  ხარჯისათვის

$$N_{\text{კვ}}^{\text{შაკ}} = 9,81 \cdot 4 \cdot (389 - 53,1) \cdot 0,80 = 10500 \text{ კვტ.}$$

ანალოგიური გამოთვლებით მივიღებთ ერთი და ორი საფეხურით მომუშავე ჰიდროკომპრესორთან ჩართულ ჰესის სიმძლავრეს (იხ. მე-7 ცხრილი).

სამი საფეხურით მომუშავე ჰიდროკომპრესორის სიმძლავრე გამოითვლება (1,15) ფორმულის მიხედვით; როცა  $Q = 2 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ , გვექნება

$$N_{\text{კვ}}^{\text{შინ}} = 9,81 \cdot Q \cdot \sum_1^3 h_0 = 9,81 \cdot 2 \cdot 38,1 = 750 \text{ კვტ.}$$

აოლო

$Q = 4 \text{ მ}^3/\text{წმ}$  ხარჯისათვის

$$N_{\text{კვ}}^{\text{შაკ}} = 9,81 \cdot 4 \cdot 53,1 \approx 2100 \text{ კვტ.}$$

იმავე წარმადობით მექანიკური ქმედების კომპრესორის მიერ დახარჯული ელექტროენერგია გამოითვლება (2,23) ფორმულით

$$N_{\text{ელ}} = K N_{\text{მკ}},$$

ზადაც

$$K = \frac{\sum V_{\text{აბ}}}{V_{\text{მკ}}} = \frac{180}{40}$$

$V_{\text{აბ}}$  არის ერთი საფეხურის მიერ შეწოვილი ატმოსფერული ჰაერის რაოდენობა;  $\sum V_{\text{აბ}} = 3 \times 60 = 180 \text{ მ}^3/\text{წთ}$ ;  $V_{\text{მკ}} = 40 \text{ მ}^3/\text{წთ}$  (მექანიკური კომპრესორის წარმადობა);  $N_{\text{მკ}} = 260 \text{ კვტ}$  — ერთი მექანიკური კომპრესორისათვის საჭირო სიმძლავრე.

ამრიგად, მივიღებთ ელექტროენერგიის მინიმალურ მნიშვნელობას.

$$N_{\text{ელ}}^{\text{შინ}} = \frac{180 \cdot 260}{40} = 1170 \text{ კვტ.}$$

შექსიმალურს კი

$$N_{\text{ელ}}^{\text{შაკ}} = \frac{360 \cdot 260}{40} = 2320 \text{ კვტ.}$$

ქვემოთ მოყვანილ მე-7 ცხრილში მოცემულია საფეხურებით მომუშავე ჰიდროკომპრესორის დანადგარისა და ჰესის ძირითადი მაჩვენებლები. ამავე ცხრილში მოყვანილია ჰიდრავლიკურ კუმშვაზე დახარჯული ჰიდრავლიკური სიმძლავრის მნიშვნელობები და მექანიკური წესით მიღებული ჰაერის კუმშვისათვის საჭირო სიმძლავრეები. როგორც ვხედავთ, ჰაერის მექანიკური კუმშვისათვის საჭირო ელექტროენერგიის რაოდენობა რამდენიმედ აღემატება ჰიდრავლიკურ სიმძლავრეს.

ჰიდროკომპარესორისა და პესხის ძირითადი მაჩვენებლები

ჰიდროკომპარესორის საფეხურების მუ- შაობა	წყლის ხარჯი მ <sup>3</sup> /წმ	საქონლის შეღობის ჩაბ/წმ	საერთო ფარდობა ს/წმ	ჰესის ბრუნვ. დაწევა ჩსა მ	ჰესში გამაწვანებ- ლის დაწევა ჩსა/წმ	ჰესის სიმძლავრე ჩსა კვტ	ჰაერის მიღება კმ <sup>3</sup> /წმ	ჰაერის სიმძლავრე ჩსა კვტ	ცენტრალური აგროსტრუქციის დაწევა ჩსა/წმ
სამი საფეხურის ერთდროული მუ- შაობა	2 4	180 360	38,1 53,1	389 389	350,9 335,9	5500 10500	750 2100	1170 2320	
ორი საფეხურის ერთდროული მუშაობა	2 4	120 240	25,4 35,4	389 389	363,6 353,6	5700 11300	500 1380	780 1560	
ერთი საფეხურის მუშაობა	2 4	60 120	12,7 17,7	389 389	376,0 371,3	5900 11520	250 690	390 780	

ეს გარემოება აიხსნება იმით, რომ შეკუმშული ჰაერის მექანიკური წესით მიღებისას, სისტემის საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტი (ჰესი, გენერატორი, ელექტროგადაცემის ხაზი, მექანიკური კომპარესორი) უფრო მცირეა. ვიდრე ჰიდროკომპარესორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

„ფილტრატების“<sup>1</sup> ბაზაზე წყალმომარაგების განხორციელებისათვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ ჰიდროკომპარესორები ერლსფტების დანადგარით.

როგორც ცნობილია, ერლიფტი ანუ პნევმატიკური ამწე წარმოადგენს სრულიად მარტივი კონსტრუქციის წყალამწე მანქანას, რომელიც მუშაობს შეკუმშული ჰაერით. ღრმა (20-100 მ) ქაბურღილებიდან ყანირწყლების ამოტუმბვა ერლიფტების საშუალებით წარმოებს. ნათონის მოპოვების საქმეში ერლიფტები აგრეთვე ფართოდ გამოიყენება.

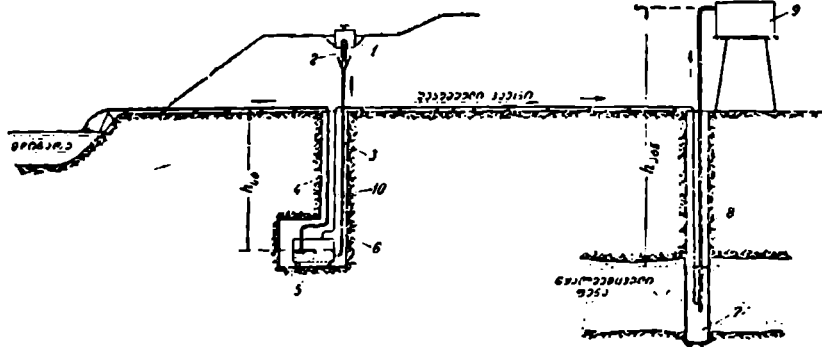
ქვემოთყვანილ მე-19 ნახაზზე სქემატურად გადაწვეტილია ჰიდროკომპარესორისა და ერლიფტის დანადგარის შეთავსებული მუშაობა.

როგორც მოყვანილი სქემიდან ჩანს, ჰიდროკომპარესორისათვის წყალი იღება მდინარიდან და მიმყვანი არხით ეწვდება დანადგარს.

<sup>1</sup> ცნობილია, რომ როცა მდინარეები გადაინ სერეტოვან (ფოროვან) ჯიშებში, მნიშვნელოვან წოდებულ „ფილტრატებს“ (მიწისქვეშა წყლებს). „ფილტრატებს“ ვხვდებით მდინარის კალაპოტის ორივე ნაპირის ზონებში განსახლებულ სიღრმეზე განლაგებულ ფიქვებში. საქართველოს პირობებში „ფილტრატებს“ ფართო გავრცელება აქვთ. ნაგალითად, ქ-ლაკ თბილისის და გორის წყალმომარაგება განხორციელებულია მდინარეების არაგვისა და ლიახვის ფილტრატებზე.



როცა მიმყვანი არხით შექმნილი ვარდნის სიმაღლე არასაკმარისია, მაშინ შეგვიძლია ჰიდროკომპრესორის მნიშვნელოვანი ნაწილი მოვთავსოთ შახტში ნაკადის ვარდნის სიმაღლის გაზრდისათვის. შახტის სიღრ-



ნახ. 19. ჰიდროკომპრესორი ერლიფტის დანადგარით:

- 1—მიმყვანი არხი; 2—ჰიდროკომპრესორის სათავე; 3—მუშა მილი; 4—გამყვანი მილი; 5—სეპარატორი; 6—შახტი; 7—მილიანი კა; 8—ერლიფტი; 9—წყლის სამარაგო რეზერვუარი; 10—საქაერო მილი.

ნე. ცხადია, დამოკიდებული იქნება ჰაერის შეკუმშვის ხარისხზე ( $h_{სა}$ ). ე. ი. წყალშემცველი ფენების განლაგებასა და ყამირწყლების ატანის ( $h_{სა}$ ) სიმაღლეზე.

### § 10. კომპლექსური სქემები

როდესაც მდინარის გამოყენების უბანზე ჰიდროენერგეტიკასთან ერთად დასახულია სხვა წყალსამეურნეო ამოცანებიც, მაგალითად, ირიგაცია, ჩამონადენის რეგულება, წყალმომარაგება და სხვ. ასეთი სახის წყალსამეურნეო ობიექტებს უწოდებენ კომპლექსურ ობიექტებს.

კომპლექსური ობიექტის მაგალითებს წარმოადგენენ მინგეჩაურის წყალსამეურნეო სისტემა, ვოლგა-დონის სანაოსნო არხისა და როსტოვისა და სტალინგრადის ოლქების მიწების მორწყვის სქემა; ი. ბ. სტალინის სახელობის სამგორის სარწყავი სისტემა, რომლის ნაგებობათა კომპლექსი შეიცავს შემდეგ ძირითად ელემენტებს: სიონის მარეგულებელ წყალსაცავს მდ. იორზე; 40 კილომეტრი სიგრძის ზემო მაგისტრალურ არხს სამი ჰიდროელექტროსადგურით, თბილისის წყალსაცავს მლაშე ტბების რაიონში; ქვემო მაგისტრალურ არხსა და სარწყავ ქსელებს.

ბეტწილ შემთხვევებში მდინარის მოცემული უბნის კომპლექსური გამოყენება მოითხოვს ხელოვნური წყალსაცავის შექმნას, ანდა ბუნებრი-

ვი წყალსატევის გამოყენებას<sup>1</sup> თუ ასეთი მოიპოვება გამოყენების უბანზე-  
ქვემოთ აღწერილი იქნება კომპლექსური გამოყენების შესაძლებელი ტი-  
პობრივი სქემები და წყალსამეურნეო კომპლექსის ზოგიერთი მაგალითი.

### **ბუნებრივი და ხელოვნური წყალსატევების კომპლექსური გამოყენება**

სახალხო მეურნეობის სოციალისტური სისტემა მოითხოვს, რომ  
ადგილობრივი რესურსები, მათ შორის ჰიდროენერგორესურსები, განო-  
ყენებული იყოს გეგმიანად და კომპლექსურად. ჩვენს რესპუბლიკაში  
უკვე დაისვა საკითხი ადგილობრივი ჰიდროენერგორესურსების, ე. ი. მდინარეთა და ტბების კომპლექსური გამოყენების შესახებ. საქართვე-  
ლოს მეცნიერებათა აკადემიის ენერგეტიკის ინსტიტუტში 1951 წელს  
დამუშავდა მდინარეთა გამოყენების ზოგადი მეთოდოლოგია და შედგა ად-  
გილობრივი ჰიდროენერგორესურსების გამოყენების სქემები. წამოყენე-  
ბული იყო ბევრი ტექნიკურად გააზრებული კომპლექსური სქემა სათა-  
ნადო ტექნიკურ-ეკონომიური დასაბუთებებით. ცხადია, საკითხი ამით  
ბოლომდე არ გადაჭრილა, ახლო მომავალში დასაბუთდება საქართველოს  
ტბებისა და ხელოვნური წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების  
პრობლემის წამოყენება. ამ აქტუალური პრობლემის გადასაწყვეტად სა-  
ჭიროა შემდეგი მეცნიერული საკითხების შესწავლა:

ა) ტბებში მდინარეების გადაგდება და ტბებიდან წყლის გაყვანა-  
ჰიდროენერგეტიკასთან დაკავშირებით;

ბ) ტბების რეჟიმის (ექსპლოატაციის საკითხის, ე. ი. ტბების დაც-  
ლა, გარეცევა და ჩალამევა) შესწავლა;

გ) ტბების წყლის ბალანსის (აორთქლება, ქარის გავლენა, ყანი-  
რ-წყლებით კეება, ფილტრაცია და სხვ.) დადგენა;

დ) საქართველოს ტბების კადასტრის შედგენა თევზის მოშენების  
თვალსაზრისით გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობების და  
წყლის ბიოლოგიური და ქიმიური შედგენილობის ჩვენებით;

ე) ტბების ტემპერატურის რეჟიმის შესწავლა წყლის სიღრმეათან  
დანაკიდებულებით;

ვ) სანიტარული საკითხების (მალარიასთან ბრძოლა) გამოკვლევა  
და სხვ.

დადგენილია, რომ, რაც უფრო მრავალმხრივია (ე. ი. კომპლექსუ-  
რი) წყალსატევების გამოყენება, მაგალითად, ენერგეტიკის, მელიორა-  
ციის, თევზის მოშენების და სხვ. დანიშნულებისათვის, მით ნაკლებია

<sup>1</sup> საქართველოს ტერიტორიაზე ტბათა საქმოდ დიდი რაოდენობა მოიპოვება და  
მათი უმრავლესობა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ჰიდროენერგეტიკული და წყალსამე-  
ურნეო დანიშნულებისათვის.

ჯამოყენების კომპლექსში შემავალი ცალკეული სამეურნეო დარგის ობიექტზე მოსული სამშენებლო და საექსპლოატაციო ხარჯები. გარდა ამისა, ამ შემთხვევაში, წყალსატევების წყალსამეურნეო გამოყენების საკითხი უფრო აქტუალური ხდება და მას დიდი სახალხო-სამეურნეო მნიშვნელობა ენიჭება.

საქართველოს მდინარეთა ზემო და შუა უბანი მეტწილად განლაგებულია ვიწრო ხეობებში. იშვიათად, ზოგიერთი მდინარის შუა უბანი ვაკეზე გამოდის. მდინარის ასეთ გადასვლას ის უპირატესობა აქვს, რომ გადასვლის ამ უბანზე მდინარის ქანობი მნიშვნელოვანი სილიდისაა, ამიტომ შესაძლებელია შედარებით მცირე სიგრძის ღია არხით მდინარის წყალი გადავადლოთ ბუნებრივ ან ხელოვნურად მოწყობილ წყალსატევეში; ამასთან გამოვიყენოთ წყლის ვარდნის სიმაღლე ჰიდროენერგეტიკისათვის. არხის სათავე მოეწყობა მდინარის ვიწრო კალაპოტის დასაწყისში და წყლის მისაღებად არ იქნება საჭირო რთული კონსტრუქციის სათავე ნაგებობის აგება. რაც შეეხება მდინარის შესართავთან მოწყობილ წყალსატევეებს (ზღვისპირა რაიონებში) ამ შემთხვევაში მდინარიდან წყლის მიღება ხელსაყრელია უკაშხალო სისტემის წყალმიმღების მოწყობით.

ამრიგად, ჩატარებულ გამოკვლევათა საფუძველზე დამუშავებული აუო წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების ორი ტიპობრივი სქემა: ზღვისპირა ზონასა და მთიან ადგილებში განლაგებულ ტბებისა და ხელოვნურად მოწყობილ წყალსატევებისათვის.

პატარა მდინარეებისა და წყალსატევების წყალსამეურნეო ათვისებისას. პირველყოვლისა საჭიროა გამოირკვეს გამოყენების ძირითადი მიმართულება. მაგალითად, არის რაიონები, სადაც წყალსამეურნეო გამოყენების ძირითადი მიმართულება შეიძლება ირიგაცია, ან თევზის მოშენება იყოს, ზოგიერთ რაიონებში განლაგებული წყალსატევებისა კი ჰიდროენერგეტიკა და ა. შ. ასე, რომ წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების კონკრეტულ შემთხვევაში, საკითხს უნდა მივუდგეთ ადგილობრივი პირობების, მეურნეობათა ცალკეული დარგის ინტერესების ნხედველობაში მიღებისა და ეკონომიური ეფექტიანობის თვალსაზრისით.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს წყალსატევის ენერგეტიკული გამოყენების სქემას. ენერგეტიკასთან დამოკიდებულებით შეიძლება გადავწყვიტოთ წყალმომარაგების, მელიორაციის და სხვ. საკითხები. სოფლის მეურნეობის პირობებში წყალსატევების კომპლექსურად გამოყენებისას, ჰესის მუშაობას შეგვიძლია აგრეთვე წისკვილის მუშაობა დაუუკავშიროთ.

საკითხის ზოგად დასმა. შავი ზღვის სანაპიროზე და მთიან ადგილებში მეტწილად გვხვდება გაუმდინარე, ან მცირე გამდინარეების ბუნებრივი წყალსატევები. გამოკვლევით დადგენილია, რომ ზღვისპირა წყალსატევების აესება ხდება წყალშემკრები აუზებიდან ჩამდინარე ზედაპირული წყლებით, და ხშირად უხვი ატმოსფერული ნალექების დროს წყალსატევებიდან წყლის გადმოღინებასაც აქვს ადგილი, რის გამოც მეურნეობისათვის გამოსაყენებელი მიწები ქაობიანდება და ამ ადგილების სანიტარულ-ჰიგიენური პირობები უარესდება.

ბუნებრივი წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების ძირითად საკითხს წარმოადგენს მათი გამდინარების განხორციელება, მაგალითად, რამდენიმე (2 ან 3) ახლო მდებარე ტბების ერთმანეთთან შეერთება აელოვნური არხებით, ტბებში მახლობელი მდინარის გადმოგდება და შენედეგ გაყვანა, საშუალებას მოგვცემს გადაეწყვიტოთ წყალსატევების კომპლექსურ გამოყენებასთან დაკავშირებული მთელი რიგი პრაქტიკული ამოცანები. გამდინარების განხორციელება მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს წყალსატევების სამეურნეო და სანიტარულ პირობებს.

როგორც აღვნიშნეთ, წყალსატევების ჰიდროტექნიკური მომზადება სხვადასხვა დანიშნულებისათვის, მდგომარეობს წყალსატევების გამდინარების განხორციელებაში. მაგალითისათვის შეგვიძლია განვიხილოთ ზღვისპირა წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების სქემა (ნახ. 20). ვთქვათ, რომ სამი (1, 2, 3) გაუმდინარე (ან მცირე გამდინარე) ტბა ერთმანეთის ახლო განლაგებული და ამ ტბების წყლით შეესება ძირითადად ზედაპირული წყლების ჩამონადენით წარმოებს.

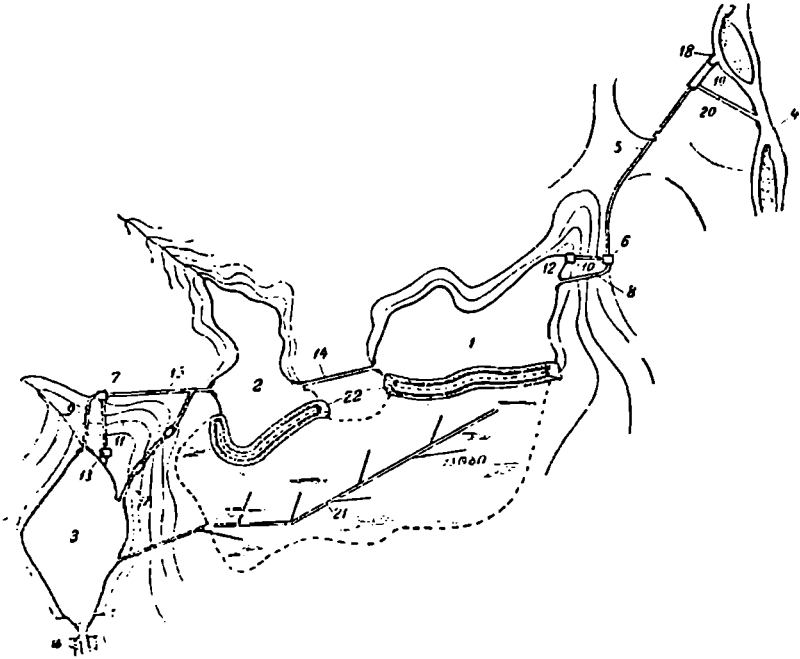
მოცემული რელიეფის თანახმად, წყალსატევში (1) მდინარის (4) ნაწილის გადმოგდება შესაძლებელია მიმყვანი არხის (5) საშუალებით. ან არხით მიწოდებული წყალი ჯერ საწნეო აუზში (6) გადავა, აქედან საწნეო მილსადენით (10) ჰიდროელექტროსადგურის (ჰესი) (12) ტურბინებში გაივლის და ჩავა წყალსატევში (1). (1) და (2) წყალსატევებში ერთმანეთთან შეერთებულია ღია მიწის არხით (14), ხოლო წყალსატევის (2) წყალსატევთან (3) შეერთება დერიაგაციული არხის (15), საწნეო კამერისა (7) და მილსადენის (11) საშუალებით ხორციელდება. მილსადენის ბოლოსთან გათვალისწინებულია ჰესი (13). წყლის გაყვანა წყალსატევიდან (3) მდინარეში გამყვანი არხით (16) წარმოებს. როცა წყალსატევებიდან საჭიროა წყლის მიწოდება მოსარწყავად, ამ შემთხვევაში გამყვანი არხი (16) მაგისტრალური ან გამანაწილებელია.

წარმოდგენილ სქემაში გათვალისწინებულია თევზის მოშენებაც. ამ სქემით თევზის ვადაადგილების გზა შეზღუდულია. თევზს შეუძლია დაქყოს

<sup>1</sup> 1-ლ და მე-2 წყალსატევებში წყლის დონე ერთი და იგივე ნიშნულზეა.

ხოლოდ 1, 2 და 3 წყალსატევებში და არ შეუძლია მდინარეში (4) მოხვედრა, რადგან სქემით არ არის გათვალისწინებული თევზსაელები როგორც საწყის, ისე ბოლო უბანზე.

როგორც სქემიდან ჩანს, თევზსაეალი (17) გათვალისწინებულია 3 და 2 წყალსატევებს შორის, ხოლო 1-ლ წყალსატევში თევზს მოხვედრა შეუძლია არხის (14) საშუალებით.



ნახ. 20. წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების სქემა (ზღვისპირა ვარიანტი);

1, 2, 3—ტბები; 4—მდინარე; 5—მიმყვანი არხი; 6, 7—საწნეო აუზი; 8, 9—წყალსაგდებებით; 10, 11—საწნეო მილსადენი; 12, 13—ჭესი; 14—შემაერთებელი არხი; 15—დერივატიული არხი; 16—გამყვანი (ან მაგისტრალური) არხი; 17—თევზსაეალი; 18—უკაშხალო წყალმიმღები; 19—სალექარი; 20—საგდები არხი; 21—კაობების ამოსაშრობი კოლექტორი; 22—მიწის ყრილები.

გამყვანი არხის (16) დასაწყისში უნდა დაიდგას წვრილი ბადეები (ცხაური) თევზისათვის გზის გადასალობავად.

სათავე კვანძი წარმოადგენს მარტივი კონსტრუქციის უკაშხალო წყალმიმღებს (18), რომელიც უზრუნველყოფს ჰესისათვის საანგარიშო ხარჯის გატარებას. გათვალისწინებულია სალექარი (19) საგდები არხით (20), რომელთა საშუალებით წარმოებს დაღეკილი მონატანების მოცი-

ლება და მიმყვან არხში მოხვედრილი ზედმეტი წყლის გადაგდება მდინარეში.

გამყვანი არხის (16) გამტარუნარიანობამ, ცხადია, უნდა უზრუნველყოს წყლის მაქსიმალური ხარჯის გატარება, რათა თავიდან ავიცილოთ წყალსატევებიდან წყლის გადმოღინება ხანგრძლივი და ინტენსიური წვიმების დროს<sup>1</sup>.

ქაობიანი ადგილების ამოსაშრობი სქემით გათვალისწინებულია სადრენაჟო სისტემა (21) ან კოლექტორი წყალშემკრები ქსელით (რუებით).

განვიხილოთ მთიან ადგილზე განლაგებული წყალსატევის კომპლექსური გამოყენების სქემა (ნახ. 21).

ორი პატარა მდინარის (1, 2) შერთვის ადგილზე მოწყობილი კაშხალის (3) საშუალებით შეიძლება ამ მდინარეთა გადმოგდება მიმყვანი არხით (4) ბუნებრივ წყალსატევი (5). წყალსატევის ტევადობისა და სიღრმის გაზრდის მიზნით, მისი კონტურის დადაბლებულ ადგილზე მიწის ყრილია (ჯებირი) (6) მოწყობილი. წყალსატევიდან წყლის გაყვანა დერივაციული არხით (7) წარმოებს. ეს არხი შეერთებულია საწნეო რეზერვუართან (8), რომელიც საწნეო მილსადენით (9) უერთდება ჰესს (10). საწნეო რეზერვუარს აგრეთვე უერთდება წყალსაგდები (11). ჰესის გვერდით გათვალისწინებულია წყალწისქვილი (12). ჰესიდან გაყვანილი წყალი გამყვანი არხით (13) გაუნაწილდება სარწყავ სისტემას.

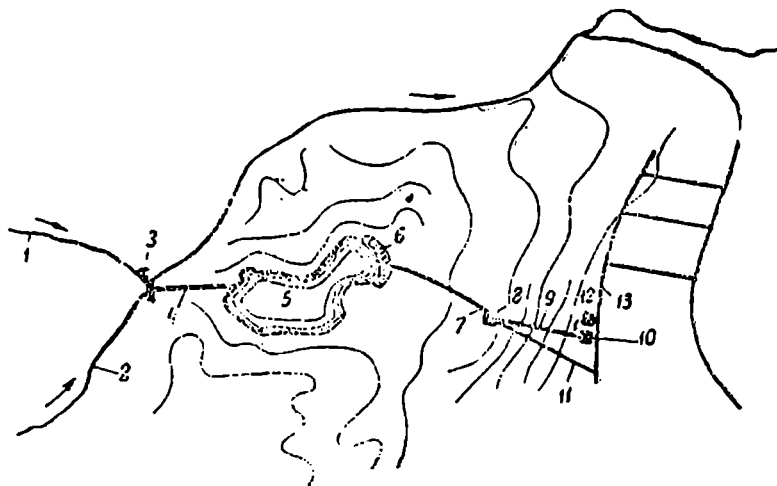
განიილული სქემა ხასიათდება მეტი ენერგეტიკული ეფექტურობით, რადგან ჰესის დაწნევა მნიშვნელოვანი ოდენობისაა.

განხილული სქემები შეიძლება ჩაითვალოს ტიპობრივ სქემებად, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია შესაბამის პირობებში განლაგებული ბუნებრივი ან ხელოვნურად მოწყობილი წყალსატევების კომპლექსური გამოყენების პროექტის შედგენისას.

დიდ წყალსამეურნეო კომპლექსის მაგალითს წარმოადგენს ვოლგა-დონის წყალსამეურნეო სისტემა (ნახ. 21, ა). ამ კომპლექსის შემადგენლობაშია ვ. ი. ლენინის სახელობის 101 კმ სიგრძის ვოლგა-დონის გემთსავალი (სანაოსნო) არხი სარაბო კამერებით: მსხვილი სამი 'ატუმბო სადგური. თითოეული სატუმბო სადგური აღტურვილია სამ-სამი ტუმბო-დანადგარით, საერთო წარმადობით 45 მ<sup>3</sup>/წმ. ერთ ტუმბო-დანადგარს შეუძლია გადაქაჩოს დღე-ღამეში ერთ მილიონზე მეტი კუბური მეტრი წყალი; ოთხი წყალსაცავი—„ციმლიანსკის ზღვა“, კარპოვსკის, ბეროსლავსკის და ვარეაროვსკის წყალსაცავები; ციმლიანსკის ჰიდრო-ქვანძი შედგება 495,5 მ სიგრძის ბეტონის წყალსაშვიანი კაშხალისაგან

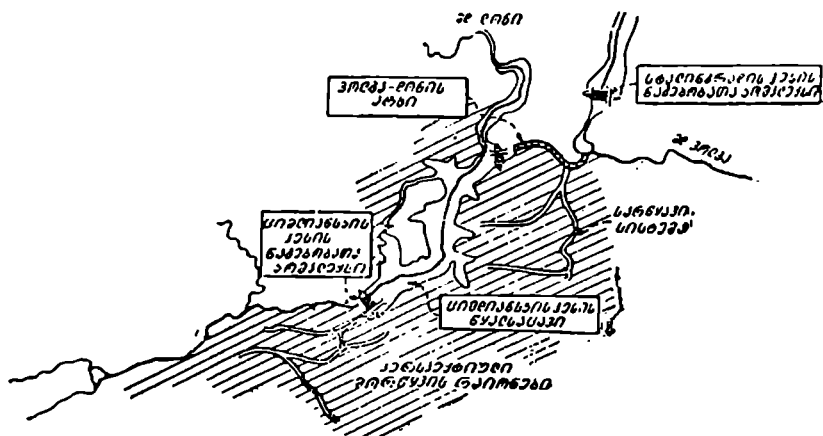
<sup>1</sup> წყალსატევების კონტურის დადაბლებულ ადგილებში ეწყობა მიწის ყრილები წყლის გადმოღინების თავიდან ასაცილებლად, წყლის დონის აწევისა და წყალსატევის ტევადობის გადიდებისათვის. გარდა ამისა, გათვალისწინებულია სხვადასხვაგვარი ნაპირ-სამზარი და საცავი ღონისძიებები.

(ლითონის ფარებით ქარბი წყლის გადასაგდებად) და 12,75 კმ სიგრძისა და 35 მ სიმაღლის მიწის კაშხალისაგან, მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურით, რომლის სიმძლავრე 160 ათას კვტ-ს აღემატება; გრანდიო-



ნახ. 21. მთიან ადგილზე მდებარე წყალსატევის კომპლექსური გამოყენების სქემა:

1, 2—მდინარეები; 3—კაშხალი წყალმიმღებით; 4—მიმყვანი არხი სალექარიით; 5—წყალსატევი; 6—ჯებირი; 7—დერივაციული არხი; 8—საწნელ აუზი; 9—საწნელ მილსადგ-  
ი; 10—ჰესი; 11—წყალსადგები; 12—წყალწიქვილი; 13—გამყვანი (გამანაწილებელი) არხი.



ნახ. 21, ა. ვოლგა-დონის წყალსამეურნეო კომპლექსი.

ზული მასშტაბის ირიგაციულ ნაგებობათა სისტემით მთლიანად უნდა მოირწყოს როსტოვისა და სტალინგრადის ოლქების მიწები.

ვოლგა-დონის წყალსამეურნეო კომპლექსის განხორციელება წარმოადგენს დიდ ჰიდრომელიორაციულ, ჰიდროენერგეტიკულ და სამეურნეო მიღწევას. გარდა ამისა, როსტოვისა და სტალინგრადის ოლქების გვაღვიანი მიწების მორწყვა და მოწყლიანება, რიგი წყალსაცავების შექმნა, სათანადო გაელენას იქონიებს ამ რაიონების კლიმატის გაუმჯობესებაზე, საბოლოოდ დაძლეული იქნება გვალვები და მთელი სისრულით იქნება ათვისებული აღნიშნული რაიონების მიწების დიდი მასივები.

### **მთათუშეთის მდინარეების გადმოგდების კომპლექსური პრობლემა**

საქართველოს მდინარეთა გამოყენების ერთ-ერთ კომპლექსურ პრობლემას წარმოადგენს მთათუშეთის მდინარეების—პირიქით და თუშეთის ალაზნის ჩამონადენის გადმოგდება პირაქეთ ალაზანში. გადმოგდების ეს იდეა უკვე არსებობდა 1935 წლიდან, ხოლო შემდგომ ამ იდეას მიეცა რეალური მსვლელობა, ჩატარდა რიგი საბიბელო სამუშაოები და დამუშავდა გადმოგდების წინასწარი სქემა (ინჟ. პ. ჯორჯაძე). 1952 წელს გადმოგდების ეს პრობლემა დაისვა გადასაწყვეტად საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ენერგეტიკის ინსტიტუტის წინაშე. ენერგეტიკის ინსტიტუტმა, პრობლემის შესწავლისა და რიგი საკვლევო-საბიბელო სამუშაოების ჩატარებისა და არსებული მასალების და სქემების შესწავლის შედეგად, წარმოადგინა მთათუშეთის მდინარეების გადმოგდების ახალი სრულყოფილი ვარიანტი—სქემა სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიური, წყალსამეურნეო და ენერგეტიკული გაანგარიშებებით.

გადმოგდების სქემა ითვალისწინებს პირიქით და თუშეთის ალაზნის ჩამონადენის გადაგდებას მდ. სტორის კალაპოტში. ამ სქემით გადაქრილია როგორც ენერგეტიკული, ისე წყალსამეურნეო ამოცანები. სახელდობრ, პირველ რიგში, ზემოალაზნის არხის საშუალებით განხორციელდება 150 ათასი ჰა მიწების მორწყვა და 50 ათასი ჰა მიწების მოწყლიანება (წყლით მომარაგება). გაანგარიშებით მიღებულია, რომ ჩამონადენის საშუალო წლიური გადმოგდება წყალსაცავის აგებამდე შეადგენს 560 მილიონ კუბურ მეტრს, ხოლო წყალსაცავის აგების შემდეგ, რომელიც წარმოიქმნება 105 მ სიმაღლის კანხალით, დარეგულების ანგარიშში გადმოგდებული წყლის რაოდენობა გაიზრდება 125 მილიონი კუბური მეტრით (ე. ი. საშუალო წლიური გადმოგდება იქნება 685 მილიონი მ<sup>3</sup>). აღნიშნული სქემით დაწნევის შეჯამებული კონცენტრაცია (ბრუტო) აღწევს 1100 მეტრს, ხოლო წყალსაცავის ენერგეტიკული ტევადობა რეგულებით 350 მილიონ კვტ-საათს აღემატება.



ენერგეტიკის ინსტიტუტის მიერ წარმოდგენილი გადმოგდების სქემით ძირითადად გადაწყვეტილია პრობლემა საქართველოს ცენტრალური მასივის—მდ. ალაზნისა და ივრის აუზების მიწების მორწყვისა და მოწყვლიანების შესახებ. ამასთან დასახულია მიღებული კონცენტრირებული დაწნევის (1100 მ) ენერგეტიკული გამოყენება, პირველ რიგში სამსაფეხურიანი კასკადის სახით, რომელიც შეიცავს მაღალდაწნევიან მიწისქვეშა ერთ კაშხალური და ორ დერეფაციული ტიპის ჰიდროელექტროსადგურებს.

დაბოლოს აღსანიშნავია, რომ მთათუშეთის მდინარეების ჩამონადენის გადმოგდების სქემა უნიკალურია თავისი შინაარსით, კომპლექსურობისა და პერსპექტიულობის მიხედვით. ეს კომპლექსური პრობლემა ჯერ კიდევ საბოლოოდ არაა გადაწყვეტილი, იგი მოითხოვს რიგი წყალსამეურნეო და ჰიდროენერგეტიკული საკითხების ღრმა დამუშავებას, ამასთან მეზობელი რესპუბლიკის (დაღესტანი) ინტერესების გათვალისწინებას მთათუშეთის მდინარეთა ჩამონადენის რაციონალურად განაწილების მიზნით.

## § 11. მდინარეების კომპლექსური გამოყენება ქალაქების ფარგლებში

ცნობილია, რომ ყველა ცენტრალური და პერსპექტიული განვითარების ქალაქი განლაგებულია მდინარეების ნაპირებზე, რადგან მდინარეთა მაგისტრალები წარმოადგენენ ქალაქის მეურნეობის აუცილებელ ელემენტს და კარნახობენ ქალაქის კეთილმოწყობის ხასიათსა და ტიპს, განსაზღვრავენ ქალაქის განვითარების პროფილს, ზონებად დაყოფას, სატრანსპორტო და ენერგეტიკული კვანძების განლაგებას ქალაქის ფარგლებში და სხვ.

ქალაქების რეკონსტრუქციის გეგმების შედგენისას სათანადო ყურადღება ექცევა ქალაქის ფარგლებში გამდინარე მდინარეების ჰიდრაულიკური რეჟიმისა და სანიტარული პირობების გასაუმჯობესებელ ღონისძიებათა გათვალისწინებას. ამით აიხსნება ის, რომ ბევრ ქალაქში ყოველწლიურად ტარდება დიდი სამუშაოები მდინარეების კალაპოტისა და მისი ნაპირების გასუფთავება-გაწმენდაზე, გამწვანებასა და კეთილმოწყობაზე, კალაპოტის ჩაღრმავებასა და ნაპირების გამაგრებაზე და სხვ.

თანამედროვე პირობებში უკვე დასმულია საკითხი—დასაშვებია თუ არა ქალაქის ფარგლებში შეტბორილი ბიეფების შექმნა, რომლებიც გამოიყენება ჰიდროელექტროსადგურების მოსაწყობად, ან ნაოსნობისათვის. ზოგიერთ შემთხვევაში კი პირიქით, შეიძლება დაისვას საკითხი მდინარის ნაწილის გადაგდების შესახებ ქალაქის ფარგლებს გარეთ—ეს

ზაშინ, როდესაც ქალაქის მდებარეობას ემუქრება ხშირი წყალდიდობა.

როგორც ცნობილია, ყოველგვარი ჰიდროტექნიკური ღონისძიების განხორციელება ქალაქის ფარგლებში იწვევს კომუნალური მეურნეობის სისტემის ნაწილობრივ რეკონსტრუქციას; რადგან მდინარე ემსახურება ქალაქს, ამიტომ სავსებით ნათელია, რომ ქალაქის ფარგლებში მდინარის სანეურნეო გამოყენების საკითხი უნდა გადაწყდეს კომპლექსური ანალიზის საფუძველზე.

ქვემოთ განხილული იქნება ქალაქის ფარგლებში მდინარეთა ენერგეტიკული გამოყენების ცალკეული საკითხების გადაწყვეტის მეთოდოლოგია, რომელიც დამუშავებული იყო საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ენერგეტიკის ინსტიტუტში (მ. მოსტკოვი, დ. წიკლაური, ნ. მანჯავიძე).

ქალაქის ფარგლებში მდინარეთა კომპლექსური გამოყენების ამოცანათა გადაწყვეტა მოითხოვს კომუნალურ მეურნეობასთან დაკავშირებულ მთელი რიგი საკითხების შესწავლას, მგალითად: ქალაქის წყალმომარაგების კვების წყაროდ ზედაპირული წყლებია აღებული, თუ ყანიწყლები; საჭიროა თუ არა წყალდიდობის წინააღმდეგ სათანადო ღონისძიებათა განხორციელება, ე. ი. ნაპირების გამაგრება; მდინარის კალაპოტის წყლით შევსება (შეტბორვა); როგორია არადარეგულებული მდინარის მახასიათებლები; შესაძლებელია თუ არა სანაპირო კედლების აგებით შეემატოს ქალაქს სანაპირო ზოლზე გარკვეული ფართობის ტერიტორია, რომელიც დაეთმობა პარკებს, დასასვენებელ და გასართობ მოედნებს; ქალაქის ტერიტორიის კალმატაციის საკითხები, რომელი საწარმოები აბინძურებენ წყალს ქალაქის ტერიტორიაზე; არსებობს თუ არა ფეკალური წყლების დამუშავებელი (გამწმენდი) ნაგებობანი; გათვალისწინებულია თუ არა წყლის ტრანსპორტი (სამდინარო ტრამვაი) და სხვ.

რაც შეეხება ჰიდროენერგეტიკასთან დაკავშირებულ საკითხებს, მათი დეტალური შესწავლა უნდა ჩატარდეს თითოეული ქალაქისათვის. ამჟამად საქართველოს რამდენიმე ქალაქისათვის დამუშავებულია მდინარეების კომპლექსური გამოყენების დეტალური სქემები. მგალითად, თბილისში უკვე განხორციელდა ამ სქემით გათვალისწინებული ერთ-ერთი ჰიდროკვანძი (ორთაქალაქისი).

ქალაქში მოწყობილი ჰიდროელექტროსადგურის უპირატესობად ჩაითვლება ის, რომ ამ სადგურების ჩართვა საერთო ქსელში შესაძლებელია უქვესადგუროდ, ამასთან ჰესის მშენებლობისას აღვილია სამუშაოთა წარმოების ორგანიზაცია, რადგან არაა საჭირო სპეციალური (დიდი სიგრძის) გზების გაყვანა, მუშათა საცხოვრებელი სახლების აგება და სხვ. გარდა ამისა, ქალაქის ხიდები შეგიძლია შეეუთავსოთ ჰიდრო-

კვანძებს. მიუხედავად ამისა, ქალაქის ჰიდროელექტროსადგურებს უარყოფითი მხარეც ახასიათებთ, სახელდობრ: ბიეფებში შეტბორილი წყლის დონეები ზეგავლენას ახდენენ ყამირწყლების რეჟიმზე, გარდა ამისა ქალაქის ფარგლებში ბიეფების შექმნა ხელს შეუწყობს ბიეფების ჩალამვას. ჩალამვის თავიდან ასაცილებლად წინააწარ უნდა იყოს შემუშავებული ჰიდროკვანძებია სუშაობის რეჟიმი (ბიეფების პერიოდული გარეცხვა და სხვ.). სანაპირო კედლების ამალღება იწვევს საკანალიზაციო ნაგებობათა რეკონსტრუქციასა და სხვ.

მთელი რიგი მასალების და საპროექტო მონაცემების შესწავლისა და დანუშავების შემდეგ გამოვლინებული და დასახული იყო საქართველოს ქალაქების ფარგლებში მდინარეების კომპლექსური გამოყენების ამოცანები. ამ დანუშავებათა საფუძველზე შედგენილია (1953 წ.) საქართველოს სსრ რუკა, რომელზედაც პირობითი ნიშნებით ნაჩვენებია ქალაქის ფარგლებში მდინარეების კომპლექსური გამოყენების ელემენტები (იხ. რუკა).

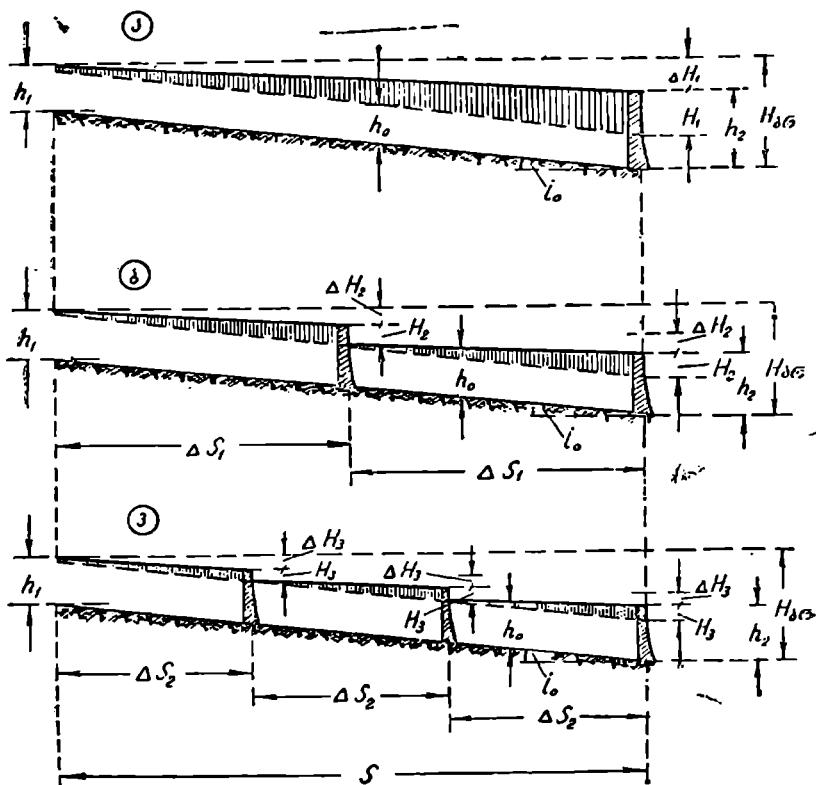
ქალაქის ფარგლებში მდინარის ვარდნის გამოყენება შეიძლება სხვადასხვა სიმაღლის კაშხალების საშუალებით. ეს ნიშნავს, რომ წინასწარ ცნობილი მდინარის საერთო ვარდნა შეიძლება გამოვიყენოთ საფეხურების სხვადასხვა რიცხვისას. როცა კაშხალების რიცხვი დიდია, მაშინ ბიეფში შეტბორილი წყლის დონის გავლენა კომუნალურ ნაგებობაზე შედარებით უმნიშვნელო იქნება. ამიტომ ნაკლებად დასჭირდება სანაპირო კედლებს სიმაღლის მომატება (ნახ. 22,3), ქალაქის ტერიტორიის რეკონსტრუქცია. კანალიზაციის გადაკეთება და სხვ. ამის შედეგად, მართალია, ჰიდროენერგეტიკულ გამოყენებასთან დაკავშირებული სრული დანაკარგები შემცირდება, სამაგიეროდ, შეტბორვის სიმაღლის შემცირებით დაწნევის გამოყენება, ანუ ჰიდროენერგეტიკული ეფექტი მნიშვნელოვნად შემცირდება. მაგალითად, ერთსაფეხურიანის  $H_1$ , დაწნევა მეტი იქნება ორსაფეხურიანის  $2H_2$  შეჯამებულ დაწნევაზე. სანაპირო კედლების მოცულობა კი შებრუნებით: ერთსაფეხურიანის — მნიშვნელოვნად აღემატება ორსაფეხურიანი კასკადის სანაპირო კედლების მოცულობას. ანალოგიურ შედეგებს მოგვეცემს სამსაფეხურიანი სქემის შედარებაც (ნახ. 22).

აქედან გამომდინარე იგულისხმება, რომ უნდა არსებობდეს ეკონომიური გადაწყვეტა, რაც მოითხოვს საფეხურების ისეთი რიცხვის შერჩევას, რომელიც მოგვეცემს ნაგებობათა მთლიანი კომპლექსის მაქსიმალურ რენტაბელობას.

როგორც 22-ე, ვ ნახაზიდან ჩანს, კაშხალის  $H_2$  სიმაღლის შემცირებით, ანუ კაშხალების ერთმანეთთან დაახლოების შემთხვევაში, საფეხურების რიცხვი იზრდება; ენერჯის გამომუშავება კი  $N$  სიგრძის გა-



მოყენების უბანზე მცირდება. ამასთან, შეტბორვის სიმაღლის შემცირებასთან ერთად, კლებულობს მასზე დამოკიდებული ქალაქის ტერიტორიის გადაკეთებისათვის საჭირო სამუშაოთა მოცულობა. მაშასადამე, სანაპირო კედლების ასაგებად განკუთვნილი კაპიტალური დაბანდებანი



ნახ. 22. საფეხურებად დაყოფილი უბნის სქემები.

$h_1$  სიდიდის პირდაპირპროპორციული იქნება.  $h_1$  სიმაღლის გაზრდით სანაპირო კედლების სიმაღლე ( $h_2$ ) შესაბამისად გაიზრდება (ნახ. 23). გარდა ამისა, გარკვეული თანხების გაღებას მოითხოვს აგრეთვე კედლების სიმაღლის გადიდებასთან დაკავშირებული მდინარის კალაპოტის გაწმენდის, ქალაქის შიგნით მიწის მასივების ტრანსპორტირების, ხიდების გადაკეთების სამუშაოები და ქალაქის ტერიტორიის აწვევასთან დაკავშირებული ქალაქის კეთილმოწყობა.

ამრიგად. ქალაქის ფარგლებში მდინარეების გამოყენების ნაგებობათა მთლიანი კომპლექსის (კასკადის) ღირებულება ზოგადად ასე გამოისახება

$$K = k(h_1 \Sigma N). \quad (2,24)$$

ამ ფუნქციის გახსნა შეგვიძლია გამოყენებათა სქემების ვარიანტების გაანგარიშების საშუალებით.

კასკადის რენტაბელობის (სარგებლიანობის) განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ ეფექტურობის კრიტერიუმით

$$\Pi = S_{\text{გ}} \text{მ} - pK \quad (2,25)$$

აქ  $\Pi$  არის რენტაბელობა;  $S_{\text{გ}} \text{მ}$ —წლიური სოციალისტური დაგროვება, სადაც  $S_{\text{გ}}$  ენერჯის ერთეულის გასასყიდი ფასია,  $\text{მ}$ —ენერჯის წლიური გამომუშავება;  $pK$ —წლიური დანახარჯები, სადაც  $K$  კასკადის ღირებულებაა,  $p$ —წლიური ხარჯების წილი კაპდაბანდებებთან შეფარდებით ( $p = 5\%$ ).

ქალაქის ფარგლებში მდინარის გამოყენების ენერგეტიკული ეფექტიანობის განსაზღვრა, პროფ. მ. მოსტკოვის გამოკვლევის საფუძველზე, შესაძლებელია ანალიზური გზით. ვთქვათ, რომ  $n$  საფეხურიებიანი გამოყენების უბანზე კონცენტრირებულია  $\Sigma H$  ვარდნა (ნახ. 23), ხოლო თითოეულ საფეხურზე მოსული დაწნევის დანაკარგები— $\Delta H$ , მაშინ გამოყენების უბანზე წყალნაკადის სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$\Sigma N = 9,81 \eta [\Sigma H - n \Delta H] Q, \quad (2,26)$$

სადაც  $\Sigma N$  არის კასკადის საერთო სიმძლავრე;  $\eta$ —აგრეგატების მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მუდმივი სიდიდე),  $Q$ —ტურბინებში გამავალი წყლის ხარჯი.

23-ე ნახაზის თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ

$$\Delta H = h_1 + i_0 \Delta S - h_2,$$

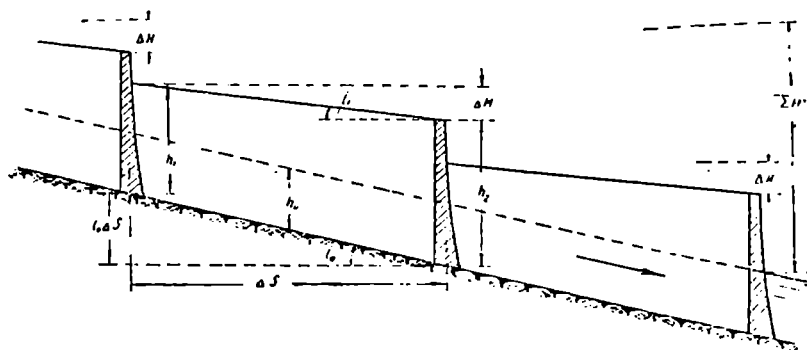
სადაც  $i_0 \Delta S$  წარმოადგენს საფეხურებს შორის ვარდნას. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $i_0 \Delta S \cdot n = \Sigma H$ , მაშინ (2,26) გამოსახულებაში შეტანის შემდეგ, მივიღებთ

$$\Sigma N = 9,81 \eta (h_2 - h_1) n \cdot Q. \quad (2,27)$$

პროფ. მ. მოსტკოვის მიხედვით, შეგვიძლია დავწეროთ

$$h_2 - h_1 = \Delta S (i_0 - i_1),$$

$$\frac{i_1}{i_0} = \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^x$$



ნახ. 23. ერთნაირი სიმაღლის კაშხალებისას საფეხურების (ბიეფების) განაწილების ზოგადი სქემა.

მიღებულ მნიშვნელობათა შეტანით (2,27) გამოსახულებაში მივიღებთ საფეხურების დანადგართა სრული სიმძლავრის საბოლოო გამოსახულებას

$$\Sigma N = 9,81 Q \eta \Sigma H \left[ 1 - \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^x \right] \quad (2,28)$$

აქ  $h_0$  არის მდინარის ნორმალური სიღრმე;

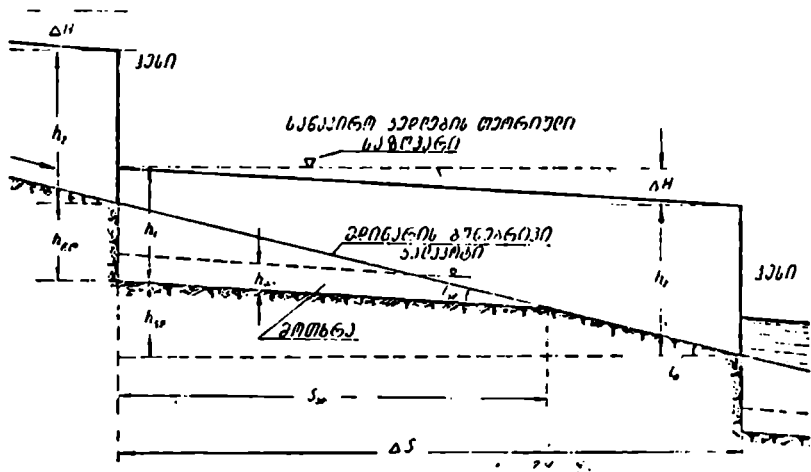
$h_1$  — კაშხლის შეტბორვის სიმაღლე;

$x$  — ხარისხის მაჩვენებელი შეგვიძლია მივიღოთ დაახლოებით 3-ის ტოლი.

როგორც (2,28) გამოსახულებიდან ჩანს, როცა  $h_1$  მნიშვნელოვანი სიდიდისაა, ანუ  $\frac{h_0}{h_1}$  მცირეა, მაშინ გამოყენების უბნის სიმძლავრე იზრდება. ზღვარში, როცა  $h_1 \rightarrow \infty$ ,  $\frac{h_0}{h_1} \rightarrow 0$ ,  $9,81 Q \eta \Sigma H = \Sigma N_0$ , რაც შეესაბამება მთლიანი ვარდნის გამოყენებას დანაკარგების გარეშე. როცა კი  $\frac{h_0}{h_1} \rightarrow 1$ , ე. ი. როცა წყლის სიღრმე ყოველ საფეხურთან უახლოვდება ნორმალურ სიღრმეს, ამ შემთხვევაში  $\Sigma N \rightarrow 0$ , ე. ი. ენერგეტიკული გამოყენების ეფექტიურობა შეწყვეტილია.

ქალაქის ფარგლებში მოცემული საერთო ვარდნა შეგვიძლია გამოვიყენოთ როგორც მხოლოდ კაშხალების აგების შედეგად, ისე ნაწილობ-

რივ შეტბორვითა და ნაწილობრივ კალაპოტის ჩაღრმავებით. კალაპოტის ჩაღრმავება შეამცირებს სანაპირო კედლების საშუალო სიმაღლეს, და, მაშასადამე, ღირებულებასაც; შეამცირებს დანაკარგებს ქალაქის ტერიტორიის რეკონსტრუქციაზე და კანალიზაციის გადაკეთების სამუშაოებს. ამვე დროს მდინარის კალაპოტის ჩაღრმავებისა და გაწმენდის სამუშაოების ღირებულება შეიძლება იყოს მნიშვნელოვანი სიდიდის.



ნახ. 24. კალაპოტის ჩაღრმავებისა და სანაპირო კედლების აწვევის ოპტიმალური განაწილების სქემა.

აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ საფეხურების მოცემული რიცხვის დროს უნდა არსებობდეს კალაპოტის ჩაღრმავებისა და შეტბორვის სიმაღლეებს შორის ეკონომიურად მიზანშეწონილი თანაფარდობა.

24-ე ნახაზზე მოცემულია მდინარის კალაპოტის ჩაღრმავებისა (თხრილი) და სანაპირო კედლების აწვევის ოპტიმალური განაწილების სქემა. სქემის თანახმად, საერთო ვარდნა ტოლი იქნება

$$\Sigma H = n (h_{1r} + h_{3r}),$$

ხოლო ვარდნის დანაკარგები ერთი საფეხურისათვის

$$\Delta H = h_1 + h_{3r} - h_2.$$

წყალნაკადის სიძლავრის გამოსახულება, ზემომოყვანილის ანალოგიურად დაიწერება



$$\Sigma N = 9,81 \eta Q [\Sigma H - n \Delta H],$$

ხოლო თუ შევცვლით  $i_{j\epsilon} \Delta S_{j\epsilon} = h_{j\epsilon}$  და  $h_2 - h_1 \cong \Delta S (i_2 - i_1)$  და აგრეთვე

$$\frac{i_1}{i_{j\epsilon}} = \left( \frac{h_{0,j}}{h_1} \right)^x$$

ვიპოვით

$$\Sigma N = \Sigma N_0 \left[ 1 - \frac{\left( \frac{h_{0,j}}{h_1} \right)^x}{1 - \frac{h_{j\epsilon}}{h_1}} \right]. \quad (2,29)$$

(2,29) გამოსახულება (2,28)-ის ანალოგიურია და მის სახეს ღებულობს, როცა  $h_{j\epsilon} = 0$ , ე. ი. როცა კალაპოტის ჩაღრმავებას არა აქვს ადგილი, მაშინ  $h_{j\epsilon}$  დამოკიდებულია კალაპოტის ფსკერის ქანობზე, რომელიც წინასწარ მოცემული უნდა იყოს.  $h_1$  სიღრმის გაზრდით წყალნაკადის გამოყენების მარტივ ქმედების კოეფიციენტი მცირდება;  $h_{j\epsilon}$  ჩაღრმავების მომატება სასურველია სადგურის ენერჯის გამომუშავების გაზრდის მიზნით.

ზემოაღწერილის საფუძველზე დავასკვნით, რომ ქალაქის ფარგლებში მდინარის გამოყენების ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა უნდა მოხდეს დამუშავებული სქემების ტექნიკურ-ეკონომიური და ენერგეტიკული მაჩვენებლების მიხედვით. ამასთან შეიძლება შედგეს ბალანსური და არაბალანსური გამოყენების სქემები.

ბალანსური სქემა ითვალისწინებს მდინარის კალაპოტის ფსკერის ჩაღრმავებას (მოთხრას) იმ ანგარიშით, რომ მიწის თხრილის მოცულობა ტოლი იყოს ყრილის (სანაპირო კედლების გარეთა მხრიდან მიწის დაყრა ორმოების შესავსებად და მოსაშანდაკებლად) მოცულობისა. არაბალანსური სქემით კი ეს პირობა არაა დაცული. ამ შემთხვევაში მიწის თხრილი შეიძლება მეტი ან ნაკლები იყოს მიწის ყრილზე. ამიტომ საჭირო გახდება ზედმეტი მიწის გაზიდვა ქალაქის ფარგლებიდან, ან პირიქით, დამატებით მიწის მოზიდვა.

გამოყენების ხელსაყრელი ვარიანტის შესარჩევად, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, უნდა ვიცოდეთ ერთი და იგივე გამოყენების უზენისათვის შედგენილი სქემების ენერგო-ეკონომიური მაჩვენებლები. ენერგეტიკული ეფექტიანობის დადგენა შეიძლება კასკადის სიმძლავრის, ან ენერჯის გამომუშავების მიხედვით, ხოლო ეკონომიური ეფექტიანობა ნაგებობათა მთლიანი კომპლექსის მაქსიმალური რენტაბელობის დადგენით.

ენერჯის გამომუშავება განისაზღვრება (2,28) ფორმულის მიხედვით.

$$\Xi = 9,81 Q \eta T \Sigma H \left[ 1 - \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^x \right], \quad (2,30)$$

სადაც  $T$  არის ტურბინების მუშაობის ხანგრძლიობა (საათობით) წელიწადში.

კასკადის რენტაბელობის გაანგარიშება შეიძლება (2,25) ფორმულით, როცა ცნობილია ენერჯის წლიური გამომუშავება ( $\Xi$ ), ენერჯის ერთეულის გასაყიდი ფასი ( $S_{\text{გა}}$ ), კასკადის საერთო ღირებულებები ( $K$ ) და წლიური ხარჯები ( $p$ ).

კასკადის ღირებულების გამოსათვლელად საჭიროა ვიცოდეთ კომპლექსში შემავალ ნაგებობათა სანშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოთა მოცულობა და სამუშაოების ერთეულის ფასი.

მიწის სამუშაოების მოცულობის გამოთვლა შეიძლება კასკადის სიგრძივი და განივი პროფილების მიხედვით. როცა კალაპოტის განივი კვეთი ტრაპეციულია, მაშინ მისი ფართობი ასე გამოისახება

$$\omega = bh + mh^2,$$

სადაც  $h$  არის არხის სიღალღე;  $b$ —ფსკერის სიგანე;  $m$ —კედლების ქანობი.

წარმოვიდგინოთ ზოგადად თხრილის მოცულობა 25-ე ნახაზზე მოყვანილი პრიზმის სახით. დავყოთ ეს პრიზმა ელემენტური  $\Delta l$  სიგრძის მონაკვეთებად, მაშინ ერთი მონაკვეთის მოცულობა

$$\Delta v = \Delta l [bh + mh^2],$$

პრიზმის სრული მოცულობა კი

$$V_{\text{პრ}} = \Sigma \Delta l [bh + mh^2]. \quad (2,31)$$

იმ შემთხვევაში, როცა კალაპოტის ფსკერის სიგანე და სანაპირო კედლების ქანობი კასკადის სიგრძეზე არ იცვლებიან, მაშინ (2,31) გამოსახულება ასე გადაიწერება

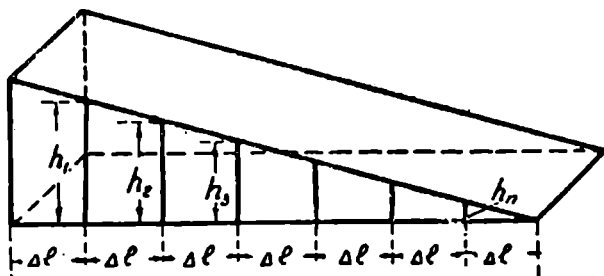
$$V_{\text{პრ}} = \Delta l [b \Sigma h + m \Sigma h^2]. \quad (2,32)$$

ანალოგიურადვე გამოითვლება მიწის ყრილის მოცულობა.

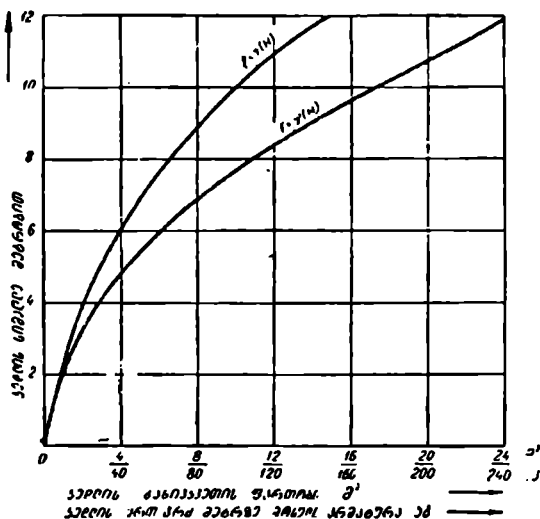
სანაპირო კედლების ბეტონის მოცულობა გამოითვლება ქვემოთ მოყვანილი მე-8 ცხრილისა და მრუდების საშუალებით (ნახ. 26). ცხრილში მოცემული კონსტრუქციული ზომები შეესაბამება 27-ე ნახაზზე წარმოდგენილ სანაპირო კედლის კონსტრუქციას (თბილისის სანაპირო).

ქასკადის ძალოვანი კვანძის სამშენებლო სამუშაოთა მოცულობა გამოითვლება „დაყვანილი ბეტონის“ წესის მიხედვით

$$V_{\text{ბეტონი}} = A \cdot n, \quad (2,33)$$



ნახ. 25. მიწის თხრილის მოცულობის გამოთვლისათვის.



ნახ. 26. სანაპირო კედლის ბეტონის მოცულობის და არმატურის წონის გამოთვლის მრუდები.

სადაც  $A$  წარმოადგენს ერთი ძალოვანი კვანძის სამშენებლო სამუშაოთა მოცულობის შესაბამის „დაყვანილი ბეტონის“ მოცულობას (ათას კუბურ მეტრით);  $n$ —საფეხურების რიცხვი.

ხანაპირო კედლის კონსტრუქციული ზომები

კედლის სიმაღლე H	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$b$	$b$	$c$	$a$	$d$	ბეტონის კედლის განივი ფართობი ( $\delta^2$ )	1 გრძ. მ-ზე არმატურის წონა (კგ)
6,0	4,8	4,8	0,90	0,35	0,80	0,50	3,0	1,40	0,20	0,35	0,20	6,2	43
6,5	5,2	5,2	0,95	0,40	"	"	3,3	1,50	0,25	0,40	0,30	7,1	47
7,0	5,6	5,6	1,00	0,40	0,90	0,55	3,5	1,60	0,30	"	"	8,4	54
7,5	6,0	6,0	1,05	0,45	"	"	3,8	1,70	"	0,45	0,40	9,5	60
8,0	6,4	6,4	1,10	0,45	1,0	0,60	4,0	1,80	"	"	"	10,8	66
8,5	6,8	6,8	1,15	0,50	"	0,65	4,3	1,90	0,35	0,50	0,50	12,4	73
9,0	7,2	7,2	1,20	0,50	1,1	0,70	4,5	2,00	"	"	"	14,0	81
9,5	7,6	7,6	1,25	1,55	"	0,75	4,8	2,10	0,40	0,60	0,60	15,7	90
10	8,0	8,0	1,30	0,60	1,20	0,80	5,0	2,20	"	"	"	17,2	98
10,5	8,4	8,4	1,35	0,60	"	0,85	5,3	2,30	0,45	"	0,70	19,0	110
11,0	8,8	8,8	1,40	0,65	1,30	1,90	5,5	2,40	0,50	0,65	"	21,8	122

შენიშვნა: ხანაპირო კედლის კონსტრუქციული ზომები აღებულია მეტრობით.

ქვისის ჰიდროელექტროძალოვანი მოწყობილობის (ტურბინები, გენერატორები, ქვესადგურები ტრანსფორმატორებით და სხვ.) ღირებულება განისაზღვრება შემდეგი ემპირიული ფორმულით

$$k_{აღ} = 2,7 \left[ \frac{2000}{N_{აგ}^{0,1} H^{0,3}} + 100 \right] N_{აგ}, \quad (2,34)$$

სადაც  $N_{აგ} = \eta_{აგ} \cdot N_{აგ}$ ,  $H$  — საფეხურზე მოსული (ნეტო) დაწნევა.

ქალაქის ფარგლებში შეტბორილი ბიეფების მოწყობასთან დაკავშირებული კომუნალურ ნაგებობათა რეკონსტრუქციის ღირებულება დაახლოებით ტოლი იქნება მთელი კასკადის სამშენებლო ღირებულების 30%.

ამრიგად, კასკადის სრული ღირებულება (კაპიტალური დაბანდება) ტოლი იქნება

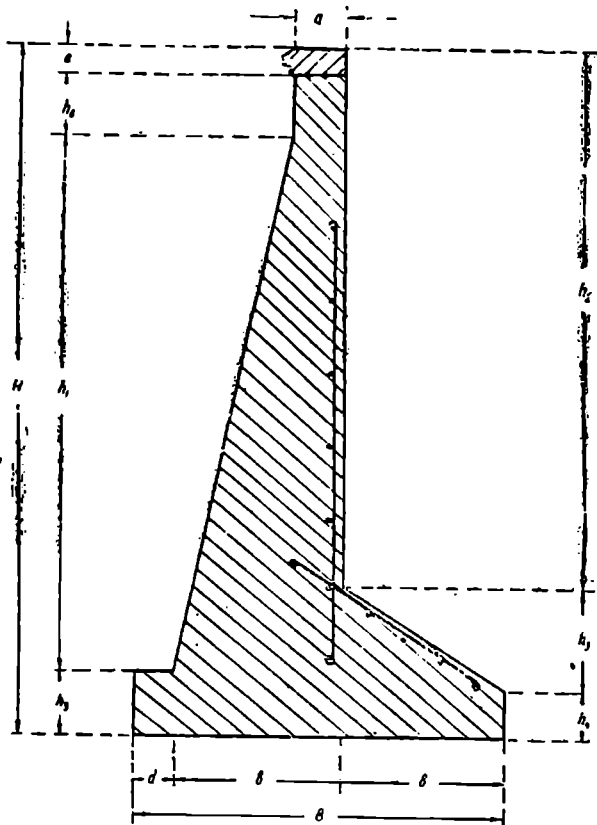
$$K = k_{აგ} + k_{აგ} + k_{აგ} + k_{აგ} + k_{აგ}. \quad (2,35)$$

აქ  $k_{აგ} = V_{აგ} a_1$  არის მიწის სამუშაოთა ღირებულება, სადაც  $V_{აგ}$  მიწის სამუშაოთა მოცულობაა;  $a_1$  — ერთეული სამუშაოს ფასი;  $k_{აგ} = V_{აგ} a_2$  არის ხანაპირო კედლების ღირებულება, სადაც  $a_2$  — ერთი კუბური მეტრი ბეტონის ფასია;

$k_{აგ} = (k_{აგ} + k_{აგ}) 0,3$  — კომუნალურ ნაგებობათა რეკონსტრუქციის ღირებულება;

$k_{აგ} = V_{აგ} \cdot a_3$  — ჰიდროძალოვანი კვანძის (კაშხალი, სადგურის შენობა) ღირებულება;

$k_{2c}$ —ჰიდროელექტროძალოვანი კვანძის მოწყობილობის ღირებულება. გამოყენების ოპტიმალური ვარიანტი უნდა იძლეოდეს მაქსიმალურ რენტაბელობას, რომელიც (2,25) ფორმულით გამოითვლება.



ნახ. 27. სანაპირო კედლის კონსტრუქცია.

მაგალითი 8. მოცემული გამოყენების უბნისათვის შედგენილია ერთი, ორი და სამსაფეხურიანი სქემები (ნახ. 22). ენერგო-ეკონომიური მაჩვენებლების მიხედვით შევარჩიოთ კასკადის რენტაბელური სქემა. კასკადის ჰიდრაულიკური ელემენტების სიდიდეები მოყვანილია მე-9 ცხრილში.

ამოხსნა: განვიხილოთ ერთსაფეხურიანი კასკადის სქემა (ნახ. 22). ენერგეტიკული მაჩვენებლების გამოსათვლელად ვიპოვოთ საფეხურის ვარდნის სიდიდე (ცხრილი 9).

$$H_1 = h_2 - h_1 = 12 - 2,8 = 9,2 \text{ მ.}$$

დაწნევის დანაკარგები საფეხურზე ტოლი იქნება

$$\Delta H = h_1 + i_0 \Delta S - h_2 = 2,8 + 0,002 \cdot 6000 - 12 = 2,8 \text{ წ.}$$

საფეხურის სიმძლავრე გამოითვლება (2,28) ფორმულით

$$N = 9,81 Q \eta \Sigma H \left[ 1 - \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^x \right],$$

სადაც  $\eta = 0,85$ ,  $x = 3,0$ , გვექნება

$$N = 9,81 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 9,2 \left[ 1 - \left( \frac{1,1}{2,8} \right)^{3,1} \right] = 7200 \text{ კვტ.}$$

თუ მივიღებთ, რომ საფეხურისათვის ტურბინები წლის განმავლობაში მუშაობენ  $T = 3500$  საათს, მაშინ ერთსაფეხურიანი ვარიანტის ენერჯის გამომუშავება (2,30) ფორმულის თანახმად, ტოლი იქნება

$$\Theta = 7200 \cdot 3500 = 25100000 \text{ კვტ-საათი.}$$

ყველა საფეხურის გამოთვლების შედეგები მოყვანილია მე-9 ცხრილში.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ერთი და იგივე სიგრძის უბნისათვის, სადაც ბრუტო ვარდნა მოცემულია, საფეხურების რიცხვის მომატებით ვარდნის დანაკარგების სიდიდე იზრდება, ხოლო კასკადის სიმძლავრე და ენერჯის გამომუშავება შესაბამისად მცირდება. ამრიგად, მარტო ენერგეტიკული მაჩვენებლებით რენტაბელური სქემის დადგენა შეუძლებელია, ამიტომ უნდა მივმართოთ ეკონომიურ გაანგარიშებებს (იხ. ქვემოთ).

ეკონომიური მაჩვენებლების დასადგენად გამოეთვალათ სამშენებლო სამუშაოთა მოცულობები. ყველა საჭირო ზომა მოყვანილია მე-10 თხრილში.

პირობით მივიღოთ, რომ ჩვენი სქემები ბალანსურია.

განვიხილოთ ერთსაფეხურიანი სქემა.

მიწის სამუშაოების მოცულობა გამოითვლება (2,32) ფორმულით. ამოცანის პირობის თანახმად  $b$  და  $h$  გამოყენების უბანზე არ იცვლება, ამიტომ დავწერთ

$$V_{\text{აფ}} = L[bh + ml^2],$$

სადაც  $L = 6000$  მ,  $b = 60$  მ,  $h = 0,6$  მ,  $m = 0,2$  (ცხრილი 10), მაშინ თხრილის მოცულობა

$$V_{\text{აფ}} = 6000[60 \cdot 0,6 + 0,2 \cdot 0,36] = 216432 \text{ მ}^3$$

მიწის ყრილის მოცულობა იგივე იქნება.



სანაპირო კედლის ბეტონის მოცულობა გამოითვლება მე-8 ცხრილის ან 26-ე ნახაზზე მოყვანილი მრუდების მიხედვით.

ერთსაფეხურიანი კასკადისათვის სანაპირო კედლის საშუალო სიმაღლე  $H=7,5$  მ. მე-8 ცხრილიდან ვპოულობთ: ერთი სიგრძივი მეტრი სანაპირო კედლის ბეტონის მოცულობაა  $9,5$  მ<sup>3</sup>; ბეტონის მთლიანი მოცულობა იქნება

$$V_{\text{სგ}} = 2 \cdot 6000 \cdot 9,50 = 114000 \text{ მ}^3.$$

გამოვთვალოთ ერთსაფეხურიანი კასკადის სამუშაოთა მთლიანი ღირებულება:

1) მიწის სამუშაოების ღირებულება

$$k_{\text{მწ}} = V_{\text{მწ}} a_1 + V_{\text{ყა}} a'_1,$$

სადაც  $V_{\text{მწ}}$  და  $V_{\text{ყა}}$  არის თხრილისა და ყრილის მოცულობა;

$a_1$  და  $a'_1$ —ერთი მ<sup>3</sup> თხრილისა და ყრილის ფასი.

პირობით მივიღოთ  $a_1=10$  მანეთი,  $a'_1=5$  მან., გვექნება:

$$k_{\text{მწ}} = 216432 \cdot 10 + 216432 \cdot 5 = 3,246 \text{ ათასი მან.}$$

2) სანაპირო კედლების ღირებულება

$$k_{\text{სგ}} = V_{\text{სგ}} \cdot a_2,$$

სადაც  $a_2=300$  მან.—1 მ<sup>3</sup> ბეტონის ფასია, გვექნება

$$k_{\text{სგ}} = 114000 \cdot 300 = 34,200 \text{ ათასი მან.}$$

3) კომუნალურ ნაგებობათა რეკონსტრუქციის ღირებულება

$$k_{\text{კმ}} = (k_{\text{მწ}} + k_{\text{სგ}}) 0,3 = (3246480 + 34200000) \cdot 0,3 = 11,234 \text{ ათასი მან.}$$

4) ჰიდროძალოვანი კვანძის ღირებულება

$$k_{\text{აღ}} = A \cdot n a_3 = 86000 \cdot 1 \cdot 300 = 25,800 \text{ ათასი მან.}$$

$A=86000$  მ<sup>3</sup> ბეტონი—ერთსაფეხურიანისათვის<sup>1</sup>

5) ჰიდროელექტროძალოვანი კვანძის მოწყობილობის ღირებულება (2,34) ფორმულით გამოითვლება ( $\gamma_{\text{აგ}}=0,8$ ):

$$k_{\text{აღ}} = 2,7 \left[ \frac{2000}{(0,8 \cdot 7200)^{0,1} 9,20^{\text{მ}}} + 100 \right] 7200 = 10,464 \text{ ათასი მან.}$$

ერთსაფეხურიანი კასკადის მთლიანი ღირებულება ტოლი იქნება

$$X = 3,246 + 34,200 + 11,234 + 25,800 + 10,464 = 84,91 \text{ ათასი მან.}$$

<sup>1</sup> ორ და სამსაფეხურიანისათვის  $A$  ბეტონის რაოდენობა პროპორციულად მცირდება.  $A=86000$  მ<sup>3</sup> აღებულია ორთავალქისის მიხედვით.



კაკაოდის სქემა	მომთავლოლი სიდიდეები			მომცემული სიდიდეები			გამოთვლილი სიდიდეები
	(ფ) 90/1 ეფლამინი რამბენი აყარევი	(ფ) 90/1 ეფლამინი -ან რამბენი რატი	(ფ) 90/1 ეფლამინი რამბენი რატი	(ფ) H ნამბენი რამბენი რამბენი აყარევი	III სიდიდე რამბენი -ან რამბენი რატი	(ფ) 1/1 ნამბენი რამბენი	
ერთსაფეხურიანი	114000	216432	216432	7,5	0,2	60	6000
ორსაფეხურიანი	32000	216432	216432	4,4	0,2	60	3000
სამსაფეხურიანი	24000	216432	216432	3,4	0,2	60	2000
							6000

კაკაოდის სქემა	გამოთვლილი სიდიდეები			ერთსაფეხურიანი	ორსაფეხურიანი	სამსაფეხურიანი
	(ფ) 90/1 ეფლამინი -ან რამბენი რატი	(ფ) 90/1 ეფლამინი -ან რამბენი რატი	(ფ) 90/1 ეფლამინი -ან რამბენი რატი			
	0,77.10 <sup>6</sup>	4,25.10 <sup>6</sup>	5,02.10 <sup>6</sup>	84,91.10 <sup>6</sup>	10,464	25,8.10 <sup>6</sup>
	0,81.10 <sup>6</sup>	2,7.10 <sup>6</sup>	3,51.10 <sup>6</sup>	54,01.10 <sup>6</sup>	8,25.10 <sup>6</sup>	25,8.10 <sup>6</sup>
	—0,33	2,29.10 <sup>6</sup>	1,96.10 <sup>6</sup>	43,88.10 <sup>6</sup>	5,5.10 <sup>6</sup>	25,8.10 <sup>6</sup>

კასკადის რენტაბელობის განსაზღვრისათვის პირობით მივიღოთ, რომ  $S_{გს} = 20$  კაპ.,  $p = 5\%$ , მაშინ ერთსაფეხურიანი კასკადის რენტაბელობა (2,25) ფორმულის საფუძველზე, ტოლი იქნება:

$$\Pi = 0,2 \cdot 25100000 - 84910000 \cdot 0,05 = 77 \text{ ათასი მან.}$$

ყველა საფეხურისათვის გამოთვლების შედეგები მოყვანილია მე-10 ცხრილში.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ჩვენ შემთხვევაში ეკონომიურად ხელსაყრელია ორსაფეხურიანი გამოყენების სქემა, რადგან ამ კასკადის რენტაბელობა ერთსაფეხურიან და სამსაფეხურიან სქემებთან შედარებით, მაქსიმალურია; ენერგეტიკული თვალსაზრისით კი ერთსაფეხურიანი სქემა იძლევა ენერჯის მაქსიმალურ გამომუშავებას. სამსაფეხურიანი სქემა წლიურ დანახარჯებსაც ვერ ფარავს, ამიტომ მისი რენტაბელობა უარყოფითი ნიშნისაა.

მოცემულ მაგალითში გამოყენების უბანი დაყოფილია თანაბარი სიგრძის საფეხურებად. ცხადია, ასეთი დაყოფა შემოვიღეთ მხოლოდ ამოცანის გადაწყვეტის გასამარტივებლად. სინამდვილეში გამოყენების უბნის საფეხურების სიგრძეები უნდა შევფარდოთ ქალაქის პირობებს, ამიტომ საფეხურები შეიძლება იყოს სხვადასხვა სიგრძის.

---

**ენერგიის მომხმარებლები და ჰესის დატვირთვა;  
ჰიდროელექტროსადგომები, წყალსამშენებლო და  
ჰიდროენერგეტიკული განვითარების**

თ ა ვ ი III

**ენერგიის მომხმარებლები და დატვირთვის  
გადაწყობა; ზედტვირთვით დატვირთვის  
ჰიდროელექტროსადგომების შესაბამისი  
წესდებულებები**

**§ 12. ენერგიის მომხმარებლები და  
ჰიდროელექტროსადგომების დატვირთვის გადაწყობა**

როგორც ცნობილია, სხვადასხვაგვარობის მომხმარებელთა ელექტროენერჯით მომარაგება ძირითადად ხორციელდება ენერგეტიკული სისტემებით ენერჯიის ცენტრალიზებული, ან ადგილობრივი (დამოუკიდებელი) გადაცემით. ცხადია, რომ კეძოდ ჰიდროენერგეტიკული სისტემებისათვის არაერთი მნიშვნელობა აქვს მასთან ჩართულ მომხმარებელთა ხასიათს, თავისებურებას. მიუხედავად ამისა, ელექტროენერჯიის ყველა მომხმარებელს ყოფენ სამ კატეგორიად:

1. მუდმივი მომხმარებლები, რომელთა მიერ ენერჯიის მოხმარება წლის განმავლობაში უცვლელია. ამ კატეგორიის მომხმარებელს მიეკუთვნება სამრეწველო დანიშნულების საწარმოები, რომლებიც თანაბრად ხარჯავენ ელექტროენერჯიას როგორც დღე-ღამის, ისე წლის განმავლობაში;

2. სეზონური მომხმარებლები, რომელთა დატვირთვა ატარებს სეზონურ ხასიათს, ე. ი. მომხმარებლის ეს კატეგორია ელექტროენერჯიას ხარჯავს მხოლოდ წლის განსაზღვრულ პერიოდში. ასეთ სეზონურ მომხმარებლებს მიეკუთვნებიან: სეზონურად მომუშავე სასოფლო-სამეურნეო მანქანა-დანადგარები (მაგალითად: საღებავი, საწარმოებელი, დამხარისხებელი მანქანები, ელექტროტრაქტორები და სხვ.), საირიგაციო სისტემის სატუმბო დანადგარები, რომლებიც მუშაობენ მორწყვის პერიოდში (მეტწილ შემთხვევაში—მაისი, ივნისი, ივლისი, აგვისტოს თვეებში) და სხვ.

3. მომხმარებლები სეზონურ-ცვლადი დატვირთვით. მომხმარებელთა ამ კატეგორიას მიეკუთვნება ზოგიერთი სასოფლო-სამეურნეო საწარმო, სადაც ხდება სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების გადამუშავება, საგარეუბნო რკინიგზები, წყალმომარაგება, ძირითადად კი განათება.

აღსანიშნავია, რომ განათების დატვირთვა მკვეთრად იცვლება დღე ღამისა და წლის განმავლობაში. დატვირთვის ასეთი ცვალებადობა დამოკიდებულია როგორც ღლისა ან ღამის ხანგრძლიობაზე, ისე საწარმოთა სპეციფიურობასა და მოსახლეობის საქმიანობის გვარობაზე.

აღნიშნულის თანახმად დავასკვნით, რომ ფაქტიურად ენერჯის მოხმარება დღე-ღამის და აგრეთვე წლის განმავლობაში მნიშვნელოვან ცვალებადობას განიცდის.

ანის გამო, მომხმარებელთა ელექტროენერჯით უზრუნველსაყოფად საჭიროა, რომ ჰიდროენერგეტიკულმა სისტემამ გამოიმუშაოს ენერჯის საჭირო რაოდენობა, ე. ი. სისტემა ისე უნდა დაიტვირთოს, რომ დაფაროს მომხმარებელთა მოთხოვნილება. ცხადია, ელექტროენერჯის არათანაბარი ხარჯვის გამო ჰიდროენერგეტიკული სისტემის დღეღამური გრაფიკით დატვირთვა ცვალებადი იქნება. ამ გრაფიკს დღე-ღამის გარკვეულ საათებში ექნება როგორც მინიმალური, ისე მაქსიმალური ორდინატები, რომლებსაც შეესაბამება სისტემის მინიმალური და მაქსიმალური, ანუ პიკური (პიკი) დატვირთვა.

როგორც დავინახეთ, ჰიდროენერგეტიკულ სისტემაში ჩართული ჰესების მუშაობა რთულ პირობებში, არათანაბარი დატვირთვით მიმდინარეობს. ამიტომ ჰიდროენერგეტიკული სისტემის მუშაობა ისეთნაირად უნდა იყოს აწყობილი, რომ მან სრული სიზუსტით გამოიმუშაოს ენერჯის ის მოთხოვნილება (დანაკარგების ჩათვლით), რომელიც გათვალისწინებულია დატვირთვის გრაფიკით. ამასთან დაკავშირებით ჰიდროენერგეტიკულ სისტემას წაეყენება შემდეგი მოთხოვნები: ელექტროენერჯის რაოდენობრივი უზრუნველყოფა მომხმარებელთა არათანაბარი მოთხოვნილების შესაბამისად; ელექტროენერჯის ხარისხობრივი უზრუნველყოფა, რაც გამოიხატება ელექტროდენის ძაბვისა და მისი სიხშირის უცვლელობაში; დაბოლოს, ელექტროენერჯის შეუწყვეტელი გადაცემა დროის ყოველ პერიოდში.

სტატისტიკური ცნობებით და სათანადო გაანგარიშებებით დადგენილია, რომ ჰიდროენერგეტიკული სისტემის მიერ გამოიმუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობა შემდეგნაირად ნაწილდება მომხმარებლისადმი:

1. სხვადასხვა სახეობის მასალათა მექანიკურ დამუშავებასა და ტრანსპორტირებაზე იხარჯება გამოიმუშავებული ელექტროენერჯის 20%.

ამ სახეობის საწარმოების ელექტროფიცირება შესაძლებელია მეტი სისრულით; მაგალითად, საბჭოთა კავშირში აღნიშნული საწარმოთა პროცენტები ელექტროფიცირებულია 75%-ით.

2. მაღალტემპერატურიან და ყველა ქიმიურ პროცესზე მოდის საერთო სამრეწველო ელექტროენერჯის თითქმის 80%.

3. განათებაზე იხარჯება მთლიანი საწარმოო ენერჯის მოხმარების 1%.

ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობის სწორად წარმართვისა და ანალიზისათვის საჭიროა დატვირთვის გრაფიკების შედგენა. ეს გრაფიკები შეიძლება იყოს დღელამური, დეკადური, სეზონური და წლიური დატვირთვის. ჩვენ ძირითადად განვიხილავთ როგორც სამრეწველო დანიშნულების, ისე სოფლის ჰესების დატვირთვის გრაფიკებს.

როგორც წესი, დღელამური დატვირთვის გრაფიკი უნდა აიგოს ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით, მაგალითად: ზამთრის, ზაფხულის, გაზაფხულისა და შემოდგომის დღეებისათვის. აგრეთვე სასურველია, რომ ჰესის სიმძლავრის წლიური გრაფიკები შედგეს როგორც ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით, ისე სიმძლავრეთა ზრდის თანმიმდევრობით. ამ გრაფიკების აგების დროს მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული ენერჯის დანაკარგები გადასემე ხაზებში და ქსელში.

დღელამური გრაფიკების აგება წარმოებს სხვადასხვა მეთოდით, მათ შორის აღსანიშნავია:

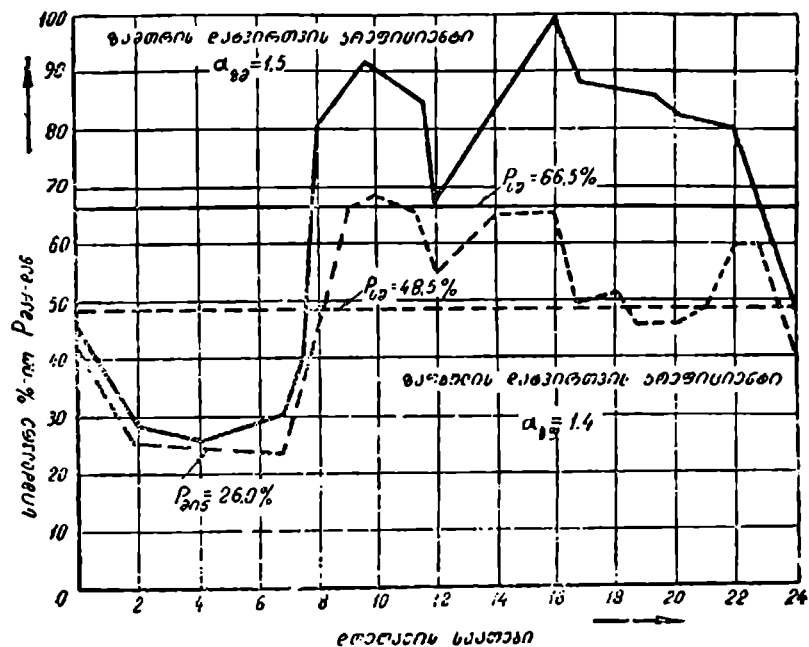
1. შეჯამება მომხმარებელთა მიხედვით. ეს მეთოდი შრომატევადია და მიზანშეწონილია მაშინ, როცა ხელთ გვაქვს საკმარისი ცნობები მომხმარებელთა შემადგენლობისა და სპეციფიურობის შესახებ. ამ მეთოდით შედგენილი გრაფიკის ცთომილება არ აღემატება 2,5%.

2. შეჯამება ჯგუფი მომხმარებლების მიხედვით. ეს მეთოდი მეტ გავრცელებას ჰპოვებს პერსპექტიული დაგეგმარების შემთხვევაში. ამ მეთოდით მომხმარებელთა ჯგუფებად დაყოფა უნდა მოხდეს მომხმარებელთა ენერგომომხმარების რეჟიმის ნიშნების მიხედვით. ცთომილება აღწევს 5÷10%.

3. დატვირთვის ტიპობრივი გრაფიკების გამოყენება. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ჰესების პერსპექტიული დაგეგმვისას, როცა ხანგრძლივი პერიოდისათვის არ გავაჩნია საკმარისი დასაბუთებული მონაცემები მომხმარებელთა ცალკეული ჯგუფებისათვის ენერგომომხმარების რეჟიმის შესახებ. ამ შემთხვევაში ცთომილება საგრძნობლად აღემატება ზემომოყვანილ ცთომილებათა სიდიდეს.

დატვირთვის გრაფიკის ასაგებად ვიყენებთ კოორდინატთა ლერძებს. თარზულ ლერძზე თუ გადავზომავთ დღე-ღამის საათებს (24 საათი). შევეულზე კი ჰიდროელექტროსადგურის შესაბამის დატვირთვებს კილო-

ვატობით, მივიღებთ ჰესის დღელამური დატვირთვის გრაფიკს. მიღებული გრაფიკის ფართობი, რომელიც შემოსაზღვრულია ლერძებისა და დატვირთვის წირით (იხ. ნახ. 29) და გაზომილია გრაფიკის მასშტაბით, მოგვცემს ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობას დღე-ღამის განმავლობაში.



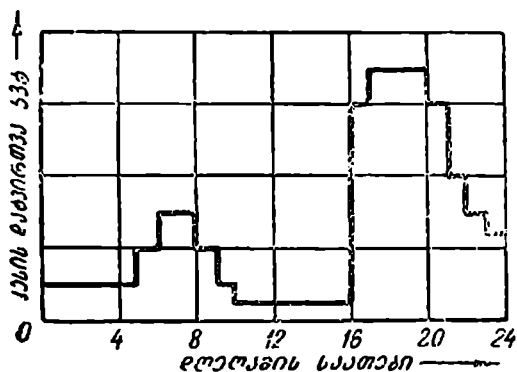
ნახ. 28. ერთ-ერთი სამრეწველო რაიონის ზამთრისა და ზაფხულის დღის დატვირთვის ტიპობრივი გრაფიკები.

დღელამური დატვირთვის გრაფიკის დახაზულობა დამოკიდებულია ენერგომომხმარებელთა თავისებურებაზე და მოხმარების რეჟიმზე. მაგალითად, იმ ჰესებს, რომლებიც მუშაობენ ძირითადად განათებაზე, აქვთ პატარა დატვირთვა დღითა და ღამით, ხოლო მკვეთრად გამოსახული საღამოს პიკით (ნახ. 29).

28-ე ნახაზზე მოყვანილია ჰესის ზაფხულის და ზამთრის დღის დატვირთვის დამახასიათებელი გრაფიკები მსხვილი სამრეწველო და დასახლებული პუნქტებისათვის. მოყვანილი ზამთრის დღის დატვირთვის ტიპობრივი გრაფიკი ხასიათდება ორი მაქსიმუმით (პიკით) და ორი მინიმუმით. დღის მინიმუმი შეესაბამებოდა დღის 12 საათს; ღამის მინი-

მუმი ჩვეულებრივ უფრო ხანგრძლივია, ვიდრე დღის მინიმუმი, რომელიც გამოწვეულია ყველა სახეობის მომხმარებელთა ნაწილობრივ ან სრული გამორთვით.

დღისა და საღამოს მაქსიმუმები წარმოქმნილია სამრეწველო და განათების დატვირთვების გავრცობით. მნიშვნელოვან პიკებს იძლევა განათების დატვირთვა, დილით ეს დატვირთვა ვარდება, სამაგიეროდ სამრეწველო დატვირთვა მკვეთრად იზრდება და ასე შემდეგ. მოყვანილი გრაფიკების ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია სიმძლავრის შესაბამისი მნიშვნელობები  $\%$ -ით გამოსახული მაქსიმალური (პიკის) სიმძლავრესთან შედარებით.



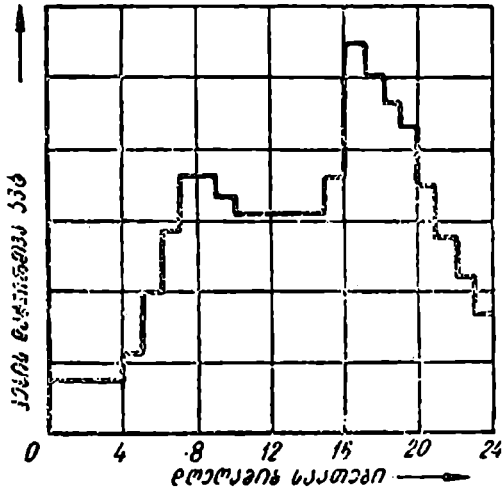
ნახ. 29. სოფლის ჰესის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი, რომელიც ძირითადად განკუთვნილია განათებისათვის.

სოფლის ჰესზე ღამის განმავლობაში ენერჯის მოხმარება მინიმალურია, ძირითადად იხარჯება განათებაზე. დილით სასოფლო-სამეურნეო საწარმოების, სამოტორო დანადგარების ამუშავებასთან დაკავშირებით, ჰესის დატვირთვა იზრდება დღით, შესვენების დროს, ენერჯის ხარჯვა რამდენიმე კლებულობს, შემდეგ ისევ იზრდება და ზამთრის ღამის დროისათვის აღწევს მაქსიმალურ სიდიდეს, რადგან ამ დროის შუალედში შეთავსებულია საწარმოო და მთლიანი განათების დატვირთვები. 29-ე ნახაზზე მოცემულია სოფლის ჰესის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი, რომელიც ძირითადად განათებაზეა განკუთვნილი.

როცა მომხმარებელთა რიცხვში ჩართულია სასოფლო-სამეურნეო საწარმოები, მაშინ დღელამური დატვირთვის გრაფიკი უფრო სრული მოცულობისაა (ნახ. 30).

სოფლის ენერჯოსისტემაში ჩართულ მომხმარებელთა ენერჯის მოთხოვნილება წლის განმავლობაში ცვალებადია. მაგალითად, ზამთარში

ენერჯის მოთხოვნილება განათებაზე დღის ხანგრძლიობის საგრანობლად შემცირების გამო მნიშვნელოვნად გაზრდილია, ზაფხულსა და შემოდგომაზე კი გაზრდილია სასოფლო-სამეურნეო და საწარმოთა დატვირთვები. იმისათვის, რომ მეტი სიზუსტით აღინუსაოს გრაფიკზე მომხმარებელთა დატვირთვის ცვალებადობა წლის სხვადასხვა პერიოდისათვის, საჭიროა წლის თითოეული დამახასიათებელი სეზონისათვის—გაზაფხულის, ზაფხულის, შემოდგომისა და ზამთრის დღეებისათვის აიგოს დატვირთვის გრაფიკები.



ნახ. 30. სოფლის ჰესის დღელამური დატვირთვის გრაფიკი, როცა სისტემაში ჩართულია სასოფლო-სამეურნეო საწარმოები.

დატვირთვის გრაფიკი ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით:

- ა) მაქსიმალური სიმძლავრით, ე. ი. პიკის სიმძლავრით ( $P_{\text{პიკ}}$ ),
- ბ) საშუალო დღელამური სიმძლავრით ( $P_{\text{შაღ}}$ ) და
- გ) დღელამური დატვირთვის ანუ დღელამური უთანაბრობის კოეფიციენტით ( $\alpha$ ).

მაქსიმალური სიმძლავრე შეესაბამება პიკის დატვირთვის ორდინატს (ნახ. 28), ხოლო საშუალო დღელამური დატვირთვა

$$P_{\text{შაღ}} = \frac{\Theta}{T},$$

სადაც  $\Theta$  არის გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობა (დატვირთვის გრაფიკის ფართობი) დღე-ღამეში;  $T=24$ —საათების რაოდენობა დღე-ღამეში.



ჰესის მაქსიმალური დატვირთვის შეფარდება საშუალო დღელამურ დატვირთვისთან გვაძლევს დღელამური დატვირთვის კოეფიციენტის მნიშვნელობას, ე. ი.

$$\alpha = \frac{p_{\text{მაქს.}}}{p_{\text{საშ.}}}$$

ამრიგად, გამომუშაებული ენერჯის რაოდენობა დღე-ღამის განმავლობაში (კილოვატ-საათებით) ტოლი იქნება

$$\Theta = \frac{24 \cdot p_{\text{მაქს.}}}{\alpha} \quad (3.1)$$

დღელამური დატვირთვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია როგორც მომხმარებელთა თავისებურებაზე, ისე წლის განსახილველ პერიოდზე (სეზონზე). მაგალითად, სამრეწველო დატვირთვის გრაფიკებისათვის ზაფხულის პერიოდისათვის  $\alpha=1,4$ ; ხოლო ზამთრისათვის  $\alpha=1,5$ . სოფლის ჰესებისათვის დღე-ღამის დატვირთვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა  $1,5 \div 3$  ფარგლებში მერყეობს.

როგორც მოყვანილი გრაფიკებიდან ჩანს, სახმარი ენერჯის გამომუშაებისათვის საჭიროა წყლის არათანაბარი მიწოდება ჰიდროტურბინებში დღე-ღამის განმავლობაში. ჩვენ თუ დაეუშვებთ, რომ დღე-ღამის განმავლობაში წყლის ხარჯი მდინარეში უცვლელია, ამასთან არა გვაქვს მოწყობილი წყალსაცავი ჩამონადენის რეგულებისათვის, მაშინ, ცხადია, გარკვეულ პერიოდში გვექნება წყლის სიჭარბე, ჰესის მცირე დატვირთვის საათებში, წყლის ნაკლებობა კი ჰესის მაქსიმალური დატვირთვისას (ნახ. 31). ჰესის ასეთნაირი მუშაობა მიგვიყვანს იქამდე, რომ საჭირო შეიქნება, ჰესის მცირე დატვირთვისას, ჭარბი წყლის უსარგებლოდ გადაგდება ქვემო ბიეფში, ხოლო ჰესის მაქსიმალური დატვირთვის დროს, წყლის ნაკლებობის გამო, შეუძლებელი იქნება გამოვიმუშაოთ გრაფიკით გათვალისწინებული ენერჯის რაოდენობა.

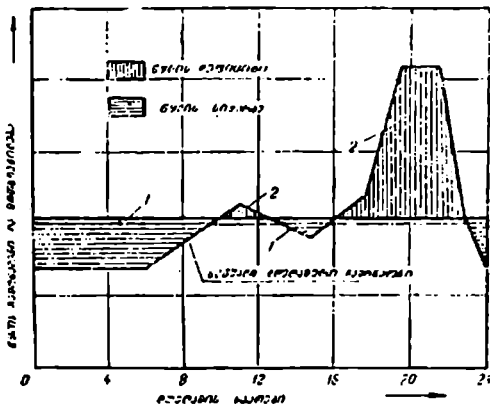
წლის განმავლობაში აგრეთვე ადგილი აქვს შეუსაბამობას წყლის ჩამონადენისა და ენერჯის მოთხოვნილებას შორის. სახელდობრ, გაზაფხულზე და ზოგჯერ ზაფხულშიც მდინარე ხასიათდება მაქსიმალური წყლიანობით, და მამასაღამე, საშუალება გვაქვს გამოვიმუშაოთ ამ პერიოდში ზედმეტი ელექტროენერჯია, მაგრამ ხშირად ამ პერიოდში ენერჯის მოთხოვნილება შედარებით მცირეა. ამის გამო იძულებული ვართ ეს ჭარბი წყალი უსარგებლოდ გადავადოთ ქვემო ბიეფში. შებრუნებულ სურათს აქვს ადგილი შემოდგომისა და ზამთრის პერიოდში; რადგან ენერჯის მოთხოვნილება გაზრდილია, ხოლო მდინარე ხასიათდება

პირვე წელიწადში, ამიტომ აღნიშნული პერიოდები განიცდის ელექტროენერჯის ნაკლებობას, დეფიციტს.

ჰიდროელექტროსადგურების მუშაობის რეჟიმის გასაუმჯობესებლად როგორც გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობის მიხედვით, ისე მომხმარებლებისადმი ენერჯის თავის დროზე გაცემისათვის, საჭიროა მდინარის ჩამონადენის რეგულაცია (სადაც შესაძლებელია) ბუნებრივი პირობების გამოყენებით, ანდა ხელოვნური ნაგებობების მოწყობით, ე. ი. წყალსაცავების საშუალებით.

მდინარის ჩამონადენის რეგულაცია შეიძლება იყოს დელამური, დეკადური, სეზონური და მრავალწლიური.

წყლის უსარგებლოდ გადაგდების, ე. ი. წყლის დანაკარგების თავიდან აცილება დატვირთვის მინიმუმის საათებში, შეიძლება მხოლოდ დელამური რეგულაციის გზით. ე. ი. მინიმალური დატვირთვის პერიოდში დაგროვილ წყალს (წყალსაცავში) გამოვიყენებთ მაქსიმალური დატვირთვის დროს. დელამური რეგულაციისას უნდა ვეცადოთ, რომ არ დაეკარგოთ გრაფიკით გათვალისწინებული ენერჯის გამომუშავების შესაძლებლობა, ამიტომ უნდა მავალწლით ჩვენს განკარგულებაში არსებული წყალსაცავის ტევადობის უკეთეს გამოყენებას, ე. ი. უზრუნველყოთ დელამის ყველა პერიოდში საანგარიშო ხარჯის მიწოდება ჰიდროდინამიკაში.



ნახ. 31. მდინარის დელამური ჩამონადენისა და წყლის დელამური მოთხოვნილების გრაფიკული.

### § 13. სახმარი ენერჯის ნორმატივები სხვადასხვა სახეობის მომხმარებელთათვის

ჰიდროენერგეტიკული სისტემის გრაფიკის შესადგენად წინასწარ უნდა გამოვთვალოთ მოცემული რაიონის ენერჯის მოთხოვნილება. სახმარი ენერჯის რაოდენობის გამოთვლისათვის უნდა ვიცოდეთ ელექტროენერჯის მომხმარებელთა ხასიათი, მათი პერსპექტიული ზრდა და სხვა სპეციფიკურობანი. ამასთან დაკავშირებით, სხვადასხვა სახეობის მომხმარებელთა რაოდენობრივი შეფასებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ეგრეთ წოდებული ენერჯის მოხმარების კუთრი (ხვედრი-

თ) ნორმებით. ეს კუთრი ნორმები სამრეწველოებისათვის ჩვეულებრივ აიღება ერთეულ წლიური პროდუქციისათვის (კუბურ მეტრებში ან ტონობით და სხვ.) როცა კი პროდუქციის სახეობა მრავალნაირია, ამ შემთხვევაში კუთრი ნორმა გამოითვლება წლიური პროდუქციის ღირებულების (1000 მანეთობით) მიხედვით. სოფლის მეურნეობაში ენერგომომხარების ეს კუთრი ნორმა აიღება დასამუშავებელი მიწის ფართობის ერთი ჰექტარისათვის (ჰა), საქონლის ერთეულზე და ასე შემდეგ. კომუნალურ მეურნეობაში მიღებული ნორმა განკუთვნილია ერთ მოსახლეზე.

ჰიდროელექტროსადგურების დაპროექტების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს ენერჯის მომხმარებელთა დადგენა. თუ წინასწარ არა გვაქვს გამოთვლილი ენერჯის მოთხოვნილება, ისე შეუძლებელია ჰესის დატვირთვის გრაფიკის შედგენა. ენერჯის მომხმარებლების მიხედვით წინასწარ გამოითვლება დატვირთვის სიდიდე. ამასთან, უნდა გავითვალისწინოთ მომხმარებელთა პერსპექტიული ზრდა და აგრეთვე დატვირთვის გრაფიკის მოსალოდნელი შეცვლა. დატვირთვის სიდიდისა და ზრდის განსაზღვრა შესაძლებელია სხვადასხვა ხერხით, რომელთა შორის ყველაზე ზუსტია ცალკეული სახეობის მომხმარებელთა დატვირთვების უშუალო გამოთვლა. ეს გამოთვლები დამყარებული იქნება წარმოების, ტრანსპორტის, სოფლის მეურნეობისა და პერსპექტიული განვითარების გეგმებზე.

სახალხო მეურნეობის დარგების განვითარების კუთრი ნორმები არასტაბილურია და დროთა განმავლობაში ცვალებადობას განიცდის. ელექტროენერჯის მომხმარების ნორმების დადგენა ჩვეულებრივ ხდება საანგარიშო მონაცემებისა და შესაბამის გაანგარიშებათა გამოკვლევის საფუძველზე. გარდა ამისა, ფართო გავრცელებას ჰპოვენ სტატისტიკური წესით დადგენილი ნორმები. სტატისტიკურ ნორმებს ის ნაკლი აქვთ, რომ ჯერ ერთი, არ ამჟღავნებენ ნორმის გადიდების ან შემცირების ტენდენციას, მეორეც ის, რომ არ ითვალისწინებენ ახალ ტექნიკას. ამიტომ უფრო მიზანშეწონილად ჩაითვლება სათანადო ცდების და პრაქტიკულ დაკვირვებათა საფუძველზე დადგენილი ენერგომომხმარების ნორმები.

ქვემოთ მე-11 და მე-12 ცხრილში მოყვანილია ენერჯის მომხმარების კუთრი ნორმები სხვადასხვაგვარი მომხმარებლებისათვის და დღეღამური გრაფიკების ასაგებად მიღებული დატვირთვის განაწილება დღეღამის საათების მიხედვით.

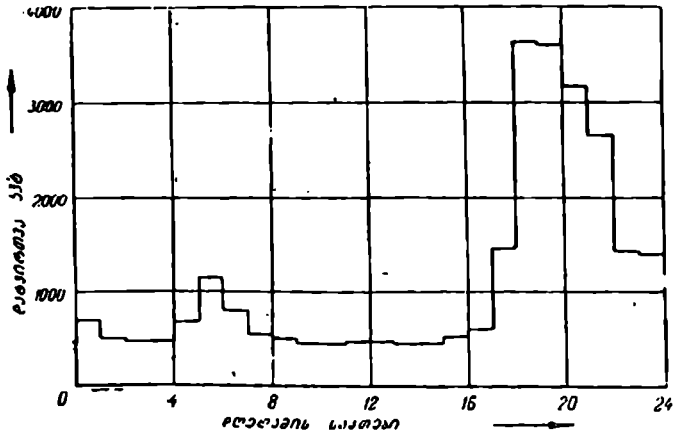
მე-11 ცხრილში მოცემული ნორმები შეიცავენ საშუალო მნიშვნელობებს და შეგვიძლია გამოვიყენოთ ენერგომომხმარების წინასწარი გაანგარიშებისათვის.

## ენერგომომხარების კუთრი ნორმები

№ რიგზე	ენერგომომხარებლის დასახელება	ერთეულის განხორციელება	კუთრი ნორმა კილოვატ-საათობით
<b>I. განათების დატვირთვა</b>			
1	საცხოვრებელი ბინები	იატაკის ფართობის 1 მ <sup>2</sup> -ზე წლის განმავლობაში	8,9 ÷ 11,0
2	უმალესი სასწავლებლები, ტექნიკუმი	„	13,4 ÷ 15,5
3	სკოლები	„	3,3 ÷ 8,8
4	საავადმყოფოები	„	4,2 ÷ 21,8
5	მუზეუმები, ბიბლიოთეკები, თეატრები, დაწესებულებები		5,5 ÷ 55,0
<b>II. ხამრეწველო დატვირთვა</b>			
1	ქვანახშირის მრეწველობა	1 ტონა მოკოვებულ ქვანახშირზე	8,5 ÷ 17,4
2	ნავთის მრეწველობა	1 ტონა მოკოვებულ ნავთობზე	20 ÷ 32
3	ნავთობის გადამამუშავებაზე		3,5
<b>III. შავი მეტალურგია</b>			
1	თუჯის წარმოება	1 ტონა თუჯზე	35 ÷ 40
2	კომპლექსურ მეტალურგიულ ქარხნებში	1 ტონა ლითონზე	200 ÷ 245
<b>IV. ფერადი ლითონები</b>			
1	ალუმინის წარმოებაზე	1 ტონა ალუმინზე	3820
2	სპილენძზე	1 ტონა სპილენძზე	2885 ÷ 3800
<b>V. ქიმიურ მრეწველობაში</b>			
1	კარბიდზე	1 ტონა კარბიდზე	800
2	ქლორზე	1 ტონა ქლორზე	3300
3	გოგირდმკვებაზე	1 ტონა გოგირდმკვებაზე	82
4	სუფთა ოქროზე	1 ტონა ოქროზე	420
5	ნიკელზე	1 ტონა ნიკელზე	360

№ რიცხუ	ენერგომომხმარებლის დასახელება	ერთეულის განზომილება	კუთრი ნორმა კილოვატ-სათობით
<b>VI. მანქანათმშენებლობა</b>			
1	ელექტრომრეწველობა	მიღებული პროდუქციის ღირებულების 1000 მანეთზე	130
2	სატრანსპორტო ამწეები	მიღებული პროდუქციის ღირებულების 1000 მანეთზე	190
3	სატრაქტორო ამწეები .		210
4	კვების საფეიქრო, სასოფლო-სამეურნეო სატუმბო საკომპარესორო წარმოება		230 ÷ 340
<b>VII. კუსტარული ხაწარმოსათვის</b>			
1	ავეჯის მრეწველობისათვის და სხვ . .	მცხოვრებთა რიცხვის მიხედვით 1000 მცხოვრებზე	4 ÷ 8
<b>VIII. საყოფაცხოვრებო დატვირთვა</b>			
1	საყოფაცხოვრებო საკიროებისათვის .	1 მცხოვრებზე წლის განმავლობაში	25 ÷ 80
<b>IX. სასოფლო-სამეურნეო დატვირთვა განათებაზე</b>			
1	კოლმეურნის საცხოვრებელი სახლი	ერთ ეზოზე წლის განმავლობაში	127 ÷ 225
2	საყოფაცხოვრებო საკიროების	"	75 ÷ 125
3	სახოგადოებრივი სათავსოები (კანტორა, სასადილო, სკოლა, კლუბი, საავადმყოფო, საბავშვო ბაღი და სხვ.)	1 მ <sup>2</sup> -ზე წელიწადში	7,2 ÷ 12,0
	საწარმო სათავსოები (წისკვილი, სახელოსნო, სამკედლო, ქარხანა და სხვ.)		2 ÷ 9,0
5	საქონლის სათავსოები (გომური, საღორე, საჯინიბო, ფარები და სხვ.) . . .		1,0 ÷ 4,0
6	საწყობები (ხორბლის შესანახი, საწვავის. მანქანათ ნაწილების და სხვ.) . .		0,4 ÷ 2,0
<b>X. სასოფლო-სამეურნეო ხმანქანო დატვირთვა</b>			
	სალეწი მანქანა .	1 ჰექტარზე წელიწადში	6,9
2	სანიავებელი მანქანა № 5		5,9

№ რიგზე	ენერგომომხმარებლის დასახელება	ერთეულის დასახელება	კუთრი ნორმა კილოვატ-საათობით
4	ელექტროტრაქტორის აგრევატი	1 ჰექტარზე წელიწადში	45,0
5	თეითმავალი ელექტროკომბინი		30,0
5	სილოსის დამკრეული მანქანა		1,12
6	სეპარატორი „ურალი-6“		0,15
	ცხვრის საპარსი აგრევატი		0,05
	უნივერსალური წისკვილი (ხორბლის დასაფქვევი)		22,4



ნახ. 32. დღელამური დატვირთვის გრაფიკი (მაგალითი 9).

განათებისა და საყოფაცხოვრებო დატვირთვის დღედაწილი განაწილება მომხმარებელთა ჯგუფების მიხედვით  
(%-ით მაქსიმალური დატვირთვიდან) სსრკ-ს ევროპული წყლისათვის (საქართველს ჩათვლით)

მომხმარებელთა ჯგუფები და სტრუქტურები	წილი																								
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
<b>1. სტეფირებული სახლები</b>																									
ა) გაზაფხული	15	10	10	15	25	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	30	80	80	70	60	30	30	
ბ) ზაფხული	15	10	20	15	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	10	10	30	80	70	30	50	40	30	
გ) შემოდგომა	15	10	10	15	25	20	15	10	5	5	5	5	5	5	5	10	15	30	80	70	60	50	30	30	
დ) ზამთარი	15	10	10	10	25	20	40	30	20	15	15	15	15	15	20	50	80	100	90	80	70	60	50	30	
<b>2. საყოფაცხოვრებო დატვირთვა</b>																									
ა) გაზაფხული	—	—	—	—	20	25	25	25	30	30	40	50	40	25	25	30	100	35	25	20	20	—	—	—	
ბ) ზაფხული	—	—	—	—	25	25	30	30	30	40	50	40	25	25	30	100	35	25	20	20	—	—	—	—	
გ) შემოდგომა	—	—	—	—	—	25	25	30	30	40	50	40	25	25	30	80	100	35	20	20	—	—	—	—	
დ) ზამთარი	—	—	—	—	—	—	25	30	30	40	50	40	25	25	20	80	100	30	20	20	—	—	—	—	
<b>3. ქუჩების განათება</b>																									
ა) გაზაფხული	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	100	100	100	100	100	
ბ) ზაფხული	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
გ) შემოდგომა	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
დ) ზამთარი	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
<b>4. საწვავალტერბივი სათავსოები</b>																									
ა) გაზაფხული	20	15	10	10	10	10	15	15	10	10	5	5	5	5	5	10	10	20	40	75	70	50	35	30	
ბ) ზაფხული	1	15	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	15	50	35	30
გ) შემოდგომა	20	15	10	10	10	10	15	15	10	5	5	5	5	5	5	10	10	25	40	75	70	50	35	30	
დ) ზამთარი	25	20	10	10	10	10	15	25	50	30	25	25	25	25	30	60	100	90	80	70	60	50	35	30	
<b>5. საწარმოო, მესაქონლეობისა და საწვავალტერბივი სათავსოები</b>																									
ა) გაზაფხული	15	15	15	15	20	40	50	30	20	10	10	5	5	10	10	30	65	65	90	60	50	30	20	15	
ბ) ზაფხული	15	15	20	30	25	15	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	20	50	35	15	
გ) შემოდგომა	15	15	15	15	25	30	20	10	10	10	5	5	5	5	5	5	10	15	20	60	50	30	20	15	
დ) ზამთარი	15	15	15	15	20	50	70	40	25	10	10	10	10	10	10	60	70	70	100	90	60	50	30	15	

**მაგალითი 9.** ერთ-ერთ სასოფლო რაიონისათვის გამოვთვალთ საყოფაცხოვრებო საკურორტებისათვის ელექტროენერგიის წლიური მოთხოვნილება განათებაზე და ავაგოთ დღელამური დატვირთვის გრაფიკი. მომხმარებელთა ჯგუფები შეადგენს:

- 1) კოლმეურნეთა საცხოვრებელი სახლები . 5600 ეზო;
- 2) საზოგადოებრივ შენობათა საერთო ფართობი . 8000 მ<sup>2</sup>;
- 3) სასოფლო-სამეურნეო საწარმოთა საერთო ფართობი 10000 „
- 4) საქონლის სათავსოების საერთო ფართობი 6000
- 5) საწყობების სათავსოების საერთო ფართობი . . . 5000 „.

ამოხსნა: მოცემული რაიონისათვის ელექტროენერგიის მოთხოვნილების გამოსათვლელად ვისარგებლოთ მე-11 ცხრილით (IX. სასოფლო-სამეურნეო დატვირთვა განათებაზე). გამოთვლების შედეგები მოცემულია მე-13 ცხრილში.

ცხრილი 13

№ რიგზე	ენერგომომხმარებლების დასახელება	ერთეულის განხილვა	რაოდენობა	კუთრი ნორმა კვტ-სათი წელიწადში	მოთხოვნილება წლის განმავლობაში კვტ-სათი წელიწადში	მოთხოვნილება დღე-ღამეში კვტ-სათი
<b>I. დატვირთვა განათებაზე</b>						
1	კოლმეურნეთა საცხოვრებელი სახლები	ეზო	5600	225,0	1460000	4050
2	საზოგადოებრივი შენობები	მ <sup>2</sup>	8000	12,0	96000	262
3	საწარმოო შენობები	„	10000	9,0	90000	247
4	საქონლის შენობები	„	5000	4,0	24000	66
5	საწყობების შენობები	„	5000	2,0	10000	27
<b>ს უ ლ .</b>					1680000	4652

გაზაფხულის პერიოდისათვის ავაგოთ დღელამური დატვირთვის გრაფიკი, ვისარგებლოთ ჩატარებული გამოთვლებით და დატვირთვის საათობრივი განაწილების მნიშვნელობები გამოვთვალოთ მე-12 ცხრილის საშუალებით. გამოთვლების შედეგები მოცემულია მე-14 ცხრილში.



	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
მომხმარებელთა ჯგუფები																									
გაჯანმრთლებლის პერიოდი																									
1. საცხოვრებელი სახლები	608	405	405	405	608	1013	608	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405
2. საზოგადოებრივი შენობები	52	39	26	26	26	26	39	39	26	26	13	13	13	13	13	26	26	52	104	195	192	131	91	79	
3. საწარმოო, საკონლისა და საწოლები სათავსოები	51	51	51	51	68	136	170	102	68	34	34	17	17	34	34	102	137	22	36	204	170	102	68	51	
ს უ ლ . .	711	495	482	482	702	1178	817	546	499	465	452	435	435	452	452	533	618	1458	2010	2170	2157	2061	1573	1314	

მე-14 ცხრილში მოყვანილი შეჯამებული დატვირთვის დღეღამური გრაფიკი წარმოდგენილია 32-ე ნახსენ. (იხ. გვ. 95).

## § 14. წყლის ენერჯის წყაროები და მათი ვასესინათმებლები

ცნობილია, რომ წყლის ენერჯის ძირითად წყაროდ მდინარეები ჩაითვლება. მდინარეები როგორც თავიანთი ქსელია განვითარებით, ისე წყლიანობით, ისეთივე მრავალფეროვნებით ხაიათდებიან. როგორც საერთოდ ტერიტორიების ფიზიკურ-გეოგრაფიული ბუნება. ასეთი პირობების გამო, ტერიტორიებია ცალკეული ნაწილები ჰიდროლოგიური თვისებების მიხედვით ერთმანეთისაგან აკაფიოდ განახევდებიან. ზღვების სხვადასხვაგვარი გავლენა ტერიტორიის ცალკეულ ნაწილებზე, სიმაღლეთა შორის დიდი განსხვავება და, მასთან დაკავშირებით, კლიმატის მრავალტიპიანობა წარმოქმნიან მდინარეთა სხვადასხვა წყლიანობას და რეჟიმს.

საქართველოს ბუნებრივი პირობების მრავალფეროვნებას განსაკუთრებით კარგად აღბეჭდავენ მდინარეთა ხედრითი წყლიანობის დიდი ამპლიტუდები საქართველოს ტერიტორიაზე. ჰიდროგეოლოგიურ პირობებთან დაკავშირებით საქართველოში ერთი მხრით გვხვდება ისეთი მდინარეები, რომლებიც წლის განმავლობაში უხვად საზრდოობენ მიწისქვეშა წყლებით (მდ. რეჩხა, შაორა, შავწყალა და სხვ.) და გამოირჩევიან ბუნებრივად მოწესრიგებული ჩამონადენით, ხოლო მეორე მხრით ისეთი მდინარეები, რომელთა მიწისქვეშა საზრდოობა უმნიშვნელოა და გვალვის პერიოდში ხშირად შრებიან (მდ. თეზამი, ლოქინი და სხვ.).

საერთოდ შეგვიძლია მივიღოთ მდინარეთა შემდეგი კლასიფიკაცია:

1. ვაკის მდინარეები, რომლებსაც მიეკუთვნება საბჭოთა კავშირის მდინარეების მეტი ნაწილი. ეს მდინარეები გამდინარეობენ ვაკის პირობებში, ხასიათდებიან მდოვრი დინებით და მათი კვება ძირითადად ხდება ზედაპირული წყლების ანგარიშზე (თოვლის დნობითა და ატმოსფერული ნალექებით).

2. მთის მდინარეები, რომლებიც ხასიათდებიან მკვეთრად გამოსახული მძაფრი მოძრაობით, მათი კვების ძირითად წყაროს წარმოადგენენ ყინვარები და ყაშირწყლები.

ჰიდროლოგიურ ლიტერატურაში არაა დადგენილი პრინციპი მდინარეთა კატეგორიებად დაყოფის შესახებ. მაგალითად პროფ. ვ. როდევიჩი მდინარეების ასეთ კატეგორიებს იძლევა (ცხრილი 15).

ცხრილი 15

მდინარეთა კატეგორია	სიგრძე, კმ	ხარჯი წყალმცირობისა მ <sup>3</sup> /წმ
პატარა (მცირე)	< 400	< 10
საშუალო .	400 ÷ 1000	10 ÷ 100
დიდი	1000 ÷ 2000	100 ÷ 500
ძალიან დიდი .	> 2000	> 500

ცხადია, ასეთი დაყოფა ძალზე მიახლოებითაა და ზოგჯერ, მდინარეთა კატეგორიების დადგენისას, შეუსაბამობას იწვევს. მაგალითად, მდ. მტკვრის სიგრძე დაახლოებით 680 კმ, ხოლო მისი ხარჯი (წყალმცირობისას) მერყეობს  $55 \div 100$  მ<sup>3</sup>/წმ ფარგლებში. ამიტომ ეს მდინარე უნდა მიეკუთვნოს მდინარეთა საშუალო კატეგორიას; მდ. არაგვის სიგრძე არ აღემატება 85 კმ, მაგრამ მისი ხარჯი კი  $10 \div 15$  მ<sup>3</sup>/წმ, ამიტომ ეს მდინარეც ზემომოყვანილი ცხრილის საფუძველზე უნდა მიეკუთვნოს საშუალო კატეგორიას. როგორც მოყვანილი მაგალითიდან ჩანს, მდინარეთა ასეთნაირი დაყოფა არ იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგს და მოითხოვს დაზუსტებას სხვა დამახასიათებელი ჰიდროლოგიური და ჰიდროგრაფიული ელემენტების გათვალისწინებით.

პატარა მდინარეების კატეგორიებად დაყოფა სამდინარო გზების თვალსაზრისით ხდება მათი სიღრმეების მიხედვით, მაგალითად:

I კატეგორიის მდინარეებს უნდა ჰქონდეს გემსავალი გარანტირებული სიმაღლე არა ნაკლები  $0,7 \div 0,6$  მ.

II კატეგორიის მდინარეებს უნდა ჰქონდეს გემსავალი გარანტირებული სიმაღლე არა ნაკლები  $0,6 \div 0,5$  მ.

III კატეგორიის მდინარეებს უნდა ჰქონდეს გემსავალი გარანტირებული სიმაღლე არა ნაკლები  $0,5 \div 0,4$  მ.

IV კატეგორიის მდინარეებს უნდა ჰქონდეს გემსავალი გარანტირებული სიმაღლე არა ნაკლები  $0,4$  მ.

ცხადია, რომ პატარა მდინარეთა ეს კლასიფიკაციაც პირობითია. საქართველოს მდინარეთა კლასიფიკაცია მიღებულია მათი ენერგეტიკული ეფექტიანობის მიხედვით. მე-16 ცხრილში მოყვანილია საქართველოს მდინარეთა კატეგორიებად დაყოფა ენერგეტიკული მაჩვენებლების მიხედვით. თუ მივიღებთ, რომ სიმძლავრის თეორიული მარაგის ათვისება შესაძლებელია  $70-75\%$ -ით, მაშინ სიმძლავრის ტექნიკური მარაგი და ჰესების ზღვრული სიმძლავრე სხვადასხვა კატეგორიის მდინარეებისათვის შემდეგი მნიშვნელობის იქნება

ცხრილი 16

მდინარეების კატეგორია	ცალკეული ჰესის შესაძლებელი ზღვრული სიმძლავრე ათასი კვტ.	ცალკეული ჰესის შესაძლებელი ზღვრული გამომუშავება მილიონი კვტ-საათი	შესაძლებელი შეჯამებითი სიმძლავრე მოცემულ მდინარეზე ათასი კვტ.
I	150	300	4000
II	25—150	80—300	2500
III	5—25	12—120	950
IV	0,4—5	2—20	950
V	0,4	2	500

საქართველოს სოფლია ელექტროფიკაციისათვის გამოყენებულია III, IV და V კატეგორიის მდინარეები (მდ. კელასური, გალიზგა, ხობი, არაგვი, ქსანი, ლიხვი, ალგეთი, იორი, სუფსა, მაშავერა და სხვ.). ამ მდინარეთა რიცხვი საქართველოს ტერიტორიაზე 100-ზე მეტია.

I და II კატეგორიის მდინარეებზე (მდ. რიონი, კოდორი, ბზიბი, მტკვარი, ენგური, ცხენისწყალი, ტეხური, ლაჯანური და სხვ.) აგებულია და გეგმარდება საქართველოს ენერგოსისტემაში მომუშავე მსხვილი ჰესები (რიონჰესი, ზაჰესი, შენდება გუმათჰესი, ლაჯანურჰესი და სხვ.).

ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია აგრეთვე მთის ტბების ენერგეტიკული გამოყენება, თუ საამისო ტოპოგრაფიული და ჰიდროგეოლოგიური პირობები გვაქვს. მთის ტბები, როგორც წესი, იკვებებიან თოვლითა და ყინვარებით. სპეციალური დაკვირვებებით დადგენილია, რომ მთის ტბების დონეების რყევას დიდი აშალიტუდები არ ახასიათებს. მთის ტბები უმეტესად გაუმდინარეა. ბუნებრივ წყალსატევში ჩადინებული ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები ნაწილობრივ მიწაში იჟონება (ფილტრაცია), ნაწილობრივ კი ორთქლდება. წყლის გაჟონვის ინტენსივობა დამოკიდებულია წყალსატევის გეოლოგიურ და ნიადაგობრივ აღნაგობაზე. ხოლო აორთქლებული წყლის რაოდენობა წლის განმავლობაში—ტბის თავისუფალი ზედაპირის ფართობის სიდიდეზე და კლიმატურ პირობებზე (ხშირი ქარები, მაღალი საშუალო ტემპერატურა, ატმოსფეროს ტენიანობა და სხვ.). მაგალითად, საქართველოს პირობებში აორთქლებული წყლის ფენის სისქე წლის განმავლობაში აღწევს  $1000 \div 1400$  მმ. ბ. პოლიაკოვის მიხედვით წლიური აორთქლების ფენის სისქე განისაზღვრება  $40^\circ$  განედისათვის დაახლოებით 1400 მმ,  $50^\circ$ -თვის—80 მმ, ხოლო  $55^\circ$ -თვის—40 მმ.

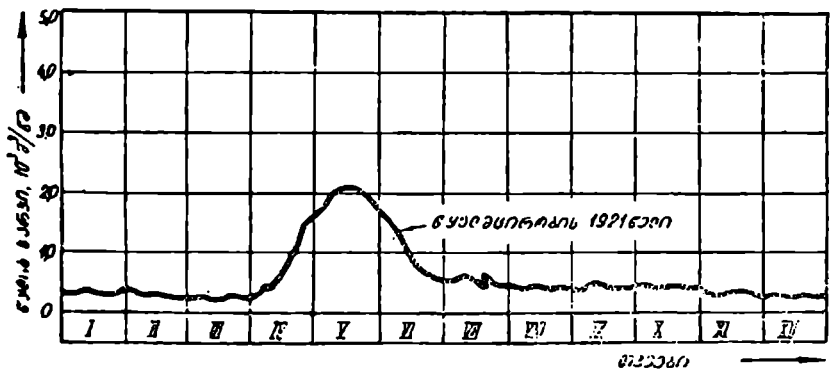
ამრიგად, მთის ტბების ენერგეტიკული გამოყენებისას, გარდა ტოპოგრაფიული და ჰიდროგეოლოგიური გამოკვლევისა, საჭიროა ტბების რეჟიმის (ტბების ნაწილობრივი დაცლა, ე. ი. წყლის დონის დაწვევა, ჩალამვა და სხვ.) შესწავლა და ტბების წყლის ბალანსის დადგენა (აორთქლება, ქარის გავლენა, მიწისქვეშა წყლებით კვება, ფილტრაცია და სხვ.).

მთის ტბების ენერგეტიკული გამოყენების ერთ-ერთ მაგალითს წარმოადგენს სევანის (გოგჩია) ტბის კასკადი. მთელი რიგი გამოკვლევებისა და ჰიდროლოგიურ, ჰიდროგეოლოგიურ და ჰიდრაულიკურ გაანგარიშებათა საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ სევანის ტბის დონის დაწვევით გარკვეულ ნიშნულამდე (დაახლოებით 50 მ სიღრმემდე) შესაძლებელია წყლის განსაზღვრული რაოდენობის ( $Q = 75$  მ<sup>3</sup>/წმ) ენერგეტიკული გამოყენება (სევანის 7 საფეხურიანი კასკადი) სევანის ტბის სიღრმის შემცირებით შესაბამისად იზრდება მიწისქვეშა წყლების დებიტი ტბაში (მით-

უმეტეს მაშინ, როცა მიწისქვეშა წყლები არტეზიული წარმოშობისაა); გარდა ამისა, საგრძნობლად ძვირდება ფილტრაციისა და აორთქლების ზედაპირის ფართობები, ე. ი. წყლის დანაკარგები. სახელდობრ, სევანის ტბისათვის წყლის დონის 50 მ სიღრმეზე დაწევის შემთხვევაში გაანგარიშებებით დადგენილია, რომ წყლის ყველა დანაკარგი შემცირდება 75მ<sup>3</sup>/წმ. სწორედ ამ ხარჯზეა გაანგარიშებული სევანის კასკადის ბუაობა.

მდინარეთა ჩამონადენი (ხარჯი) განუწყვეტლივ იცვლება წლის განმავლობაში. ამასთან თითოეულ წელს აქვს ჩამონადენის ცვალებადობის თავისი ზღვრები. მდინარის ხარჯის ცვალებადობა გამოისახება ჰიდროგრაფით, ე. ი. ხარჯების ცვალებადობის წლიური გრაფიკით, რომელზედაც აგრეთვე აღნიშნულია (გადაზომილია) დღეღამური ხარჯის საშუალო სიდიდეები.

ვაკის მდინაოეების ხარჯების ცვალებადობის წლიური გრაფიკის მაგალითს წარმოადგენს მდ. ვოლგის ჰიდროგრაფი (ნახ. 33). როგორც გრაფიკიდან ჩანს, მდ. ვოლგის ჩამონადენის მაქსიმუმი გადის მაისისა და ივნისის თვეებში. ბოლომდე ჰიდროგრაფი შეესაბამება ნიტრე-წყლიან წელიწადს. მიუხედავად ამისა, მდინარის მაქსიმალური ხარჯი 2·10<sup>12</sup> მ<sup>3</sup>/წმ დაახლოებით ათჯერ აღემატება მინიმალურ ხარჯს. დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე დადგენილია, რომ მრავალწლიან წელიწადში მდ. ვოლგის მაქსიმალური ხარჯი აღწევს 5·10<sup>12</sup> მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო საშუალოწლიანი წელიწადისას—2,8·10<sup>12</sup> მ<sup>3</sup>/წმ.



ნახ. 33. მდ. ვოლგის ჰიდროგრაფი ქ. სტალინგრადთან.

მთის მდინარეების ჩამონადენის განაწილება აგრეთვე არათანაბარია წლის განმავლობაში. საქართველოს მდინარეთა—არაგვის, ლიხვისა და ალაზნის ჰიდროგრაფები წარმოდგენილია 34-ე ნახაზზე. როგორც ჰიდროგრაფებიდან ჩანს, მთის მდინარეებისათვის დამახასიათებელია რამ-



2. წყალშემკრები აუზის კლიმატური მახასიათებლები, რომელთა შორის მნიშვნელოვანია ნალექების რაოდენობა, მათი განაწილება წლის განმავლობაში მოცემული აუზის ტერიტორიაზე და აორთქლების ინტენსივობის განმსაზღვრელი ფაქტორები (ტემპერატურის მსვლელობა წლისა და დღე-ღამის განმავლობაში, ტენიანობა და სხვ.);

3. აუზის გეოლოგიური და ნიადაგობრივი აღნაგობა.

ცხადია, რომ მდინარეში ხარჯის ცვალებადობასთან დაკავშირებულია დონის ანუ წყლის სიღრმის რყევები. ჰესის გაანგარიშებისათვის სათანადო მნიშვნელობა ენიჭება წყლის დონის რყევების ზღვრებს. ამიტომ საჭიროა ვიცოდეთ მდინარის დამახასიათებელი დონეები ანუ ჰორიზონტები. სახელდობრ: გაზაფხულის წყალდიდობის, ზაფხულის, შემოდგომისა და ზამთრის დონეები. ამ პერიოდებისათვის უნდა ვიცოდეთ აგრეთვე ყველაზე მაღალი, საშუალო და დაბალი ჰორიზონტები. მცირე სიმძლავრის ჰესების დაპროექტებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მდინარეების საშუალო ჰორიზონტებს, აგრეთვე მდინარის საშუალო (დამყარებულ) ხარჯებს.

## § 15. დასაბამი ჰიდროლოგიური მონაცემები

ცნობილია, რომ დასაბამი ჰიდროლოგიური მახასიათებლების დადგენისას ჯეროვანი ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოს რომელშიაც იმყოფება მოცემული ობიექტი. აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ ჰიდროლოგიური ანალიზის ძირითად მიზანს უნდა შეადგენდეს იმ გარემოს შესწავლა, რომელშიაც მიმდინარეობენ მეტეოროლოგიური, ჰიდროგრაფიული და სხვა პროცესები.

აღსანიშნავია, რომ დიდი მდინარეები შედარებით ფართოდაა შესწავლილი ჰიდროლოგიური თვალსაზრისით და დადგენილია რიგი განზოგადოებები და კანონზომიერებანი მათი ჰიდროლოგიური რეჟიმის შესახებ. ამ მხრივ პატარა მდინარეები ნაკლებადაა შესწავლილი, ამიტომ ამ მდინარეთა ჰიდროლოგიური მონაცემების მიღება, ჩვეულებრივ, ძნელი ხდება. გარდა ამისა, დიდი მდინარეებისათვის დადგენილი კანონზომიერებანი გამოუსადეგარია პატარა მდინარეებისათვის; სახელდობრ, დიდი მდინარეებისათვის მიღებული ჩამონადენის ნორმების, ჩამონადენის მოცულობათა (რაოდენობის) ცვალებადობის, ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილების, მიწისქვეშა წყლების დებიტისა და სხვ. სიდიდეთა გამოსათვლელი ფორმულები არ იძლევიან პატარა მდინარეებისათვის შესაბამის მნიშვნელობებს.

პატარა მდინარეებზე ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაპროექტებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ზემოჩამოთვლილი ჰიდროლოგიური მონაცე-

მები, მაგრამ აღნიშნული მონაცემების შეგროვება ან გამოთვლა მეტად გაძნელებულია. ამიტომ პატარა მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმის დადგენა ჯერჯერობით მიახლოებითია, ზოგჯერ კი მცდარიც. ამის გამო საჭიროა, გავითვალისწინოთ პატარა მდინარეთა თავისებურება, დაკვირვებათა მასალების საჭირო რაოდენობის უქონლობა. ამიტომ ნაგებობათა დაპროექტებისას ინჟინერს მართებს მეტი სიფრთხილე და საკითხის მრავალმხრივი შესწავლა.

მიუხედავად ამ სიძნელებისა, მოცემული მდინარის ჰიდროლოგიური მახასიათებლების მეტი სისრულით შესწავლისათვის საჭიროა გვექონდეს სათანადო რუკა, რომელზედაც თვალნათლივ იქნება წარმოდგენილი მდინარის რელიეფის, მისი წყალშემკრები აუზისა და ჰიდროგრაფიული ქსელის განვითარების სურათი. გარდა ამისა, სასურველია აგრეთვე გვექონდეს ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების ამსახველი რუკები: ნიადაგის, გეოლოგიის, მცენარეულობისა და სხვ. აღნიშნული რუკებისა და ჰიდროლოგიური მონაცემების საფუძველზე გამოცდილ ჰიდროლოგს შეუძლია მოგვეცეს (დასაშვები სიზუსტით) მოცემული მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმის შესახებ შესაფერისი დახასიათება. მაგრამ, ამ მასალების გაცნობასთან პარალელურად თუ მოხდება მოცემული ტერიტორიის ადგილზე დათვალიერება, მაშინ მეტი სიზუსტით შეგვიძლია ავსახოთ მდინარის ჰიდროლოგიური პირობები და თავისებურებანი.

ჩამონადენის რაოდენობის დასადგენად აგრეთვე საჭიროა გვექონდეს მრავალი წლის (10—15 წლის მაინც) დაკვირვებები წყლის აორთქლებისა და მოსული ნალექების ფენის სისქის შესახებ წლის განმავლობაში; გარდა ამისა, საშუალო წლიური ტემპერატურისა და ქარების ინტენსივობის მსვლელობის ცხრილები ან გრაფიკები.

მნიშვნელოვან ჰიდროლოგიურ მონაცემს წარმოადგენს მყარი ჩამონადენი, ანუ მონატანების ჩამონადენი. მყარი ჩამონადენის მოცულობის დადგენა საჭიროა იმისათვის, რომ განესაზღვროთ წყალსაცავის მონატანებით ავსების ვადა და დავსახოთ შესაბამისი ღონისძიებანი მონატანების ასაცილებლად.

მყარი ფაზის (ჩამონადენის) საერთო რაოდენობა, რომელიც მოაქვს ნაკადს, დამოკიდებულია ტერიტორიის ყოველწლიურ დადაბლებაზე, რაც გამოწვეულია მიწის ზედაპირის დაშლითა და გარეცხვით.

დაკვირვებებით დადგენილია, რომ მოცემული წყალშემკრები აუზის თითოეული უბნისათვის არსებობს წყალგამყოფიდან დაშორების რაღაც მინიმალური მანძილი, რომელიც უზრუნველყოფს ზედაპირული წყლების დინების წარმოქმნას და საკმაოდ ძლიერი ეროზიის დაწყებას. ამ მანძილის კრიტიკული სიგრძე დამოკიდებულია ფერდობების დაქანებაზე,



ჩადინების ინტენსივობაზე, ინფილტრაციის (გაჟონვის) ფენის სისქესა და ნიადაგის აღნაგობაზე. ამიტომ განსახილველი აუზის სხვადასხვა უბნებიდან ჩამორეცხილი მყარი ფაზის რაოდენობა სხვადასხვა იქნება. ამით აიხსნება, რომ მონატანების განაწილება მდინარეში არათანაბარი და მერყეული წლის განმავლობაში. აღსანიშნავია აგრეთვე ერთი საგულისხმო ფაქტიც: ჩვეულებრივ მაქსიმალური ხარჯის გავლის პერიოდში, მყარი ფაზის მაქსიმალური რაოდენობა რამდენიმედ ივვიანებს, ე. ი. მყარი ჩამონადენის მაქსიმუმი არ ემთხვევა წყლის ხარჯის მაქსიმუმს ეს გარემოება იმითაა გამოწვეული, რომ მეტი წილი ნიადაგებისა პირველ მომენტში ეწინააღმდეგება ეროზიას. ამიტომ ჩამონადენის პიკი ვერ ასწრებს ინტენსიურ გარეცხვას და უსწრებს მყარ ჩამონადენს. პაგრამ შედარებით ხანგრძლივი წვიმებით (და თოვლის დნობის შედეგად) წარმოქმნილი ზედაპირული ნაკადები, მათი ხანგრძლივი ზემოქმედების შედეგად, აღწევენ ნიადაგების ინტენსიურ გარეცხვას. სწორედ ამ პერიოდში მყარი ხარჯი მაქსიმალურია მდინარეში, ხოლო წყლის მაქსიმალური ხარჯი უკვე გავლილია. 34-ე ნახაზზე წარმოდგენილი მდინარეების ალაზნისა და ლიახვის მყარი ჩამონადენის ჰიდროგრაფები გვიდასტურებენ აღწერილ მოვლენას. გამონაკლისს წარმოადგენს მდინარე რიონის აუზი, სადაც მყარი ჩამონადენის მაქსიმუმი უსწრებს მდინარის მაქსიმალურ ხარჯს. ეს გარემოება აიხსნება ამ აუზის ნიადაგობრივი აღნაგობისა და რელიეფის თავისებურებებით.

## § 16. ჩამონადენის ძირითადი მახასიათებლები

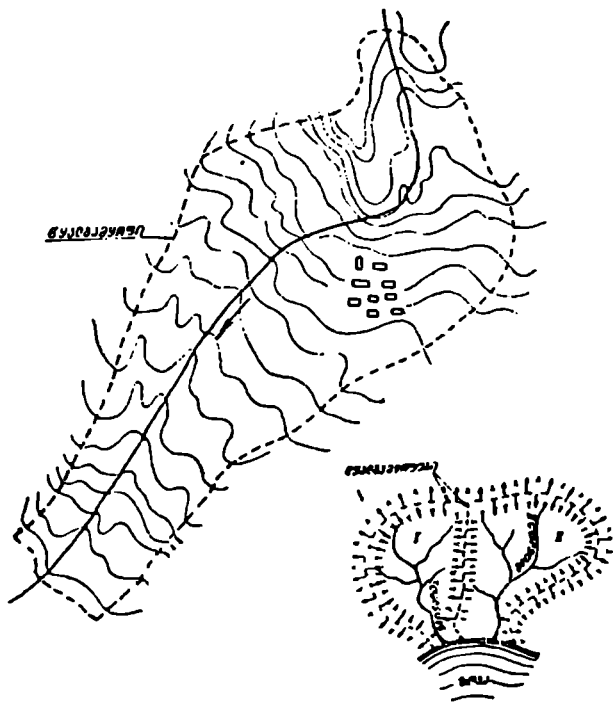
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მდინარის ჩამონადენის რაოდენობა დამოკიდებულია რიგ ჰიდროლოგიურ, ჰიდროგეოლოგიურ და სხვა ფაქტორებზე. როგორც წესი, მდინარის ჩამონადენი წლების განმავლობაში მერყეობს მნიშვნელოვან ზღვრებში. ჩამონადენის მოცულობის (გარკვეული პერიოდის, მაგ. წლის განმავლობაში) განსაზღვრისათვის მოცემული უნდა გვექონდეს მდინარისა და წყალშემკრები აუზის ძირითადი ელემენტების მნიშვნელობები.

წყალშემკრები აუზი ეწოდება იმ ტერიტორიას, საიდანაც წარმოებს წყლის ჩადინება მდინარეში; წყალშემკრები აუზი შემოფარგლულია წყალგამყოფებით, რომელთა განსაზღვრა ჰორიზონტალებიანი რუკის მიხედვით ხდება (ნახ. 35).

მდინარის ძირითად ელემენტებს შეადგენს: მდინარის საერთო სიგრძე, მდინარის ცალკეული უბნების ქანობები და მდინარის საშუალო ქანობი.

წყალშემკრები აუზის დამახასიათებელი ელემენტებია:

1) წყალშემკრები აუზის საშუალო სიმაღლე, რომელიც ასე გამოისახება



ნახ. 35. მდინარეების წყალშემკრები აუზები.

$$H_{\text{ს}} = \frac{V_0}{F}, \quad (3,2)$$

სადაც  $V_0$  არის აუზის მოცულობა;

$F$ —აუზის მთლიანი ფართობი. წყალშემკრები აუზის საშუალო სიმაღლე გეიხასიათებს არა მარტო ტოპოგრაფიას, არამედ აუზის ჰავასაც.

2) წყალშემკრები აუზის ზედაპირის საშუალო ქანობი, რომლის მნიშვნელობა შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით განისაზღვრება

$$I = \frac{H}{V F}, \quad (3,3)$$

ხოლო ხეობის საშუალო ქანობი

$$I_{\text{აზ}} = \frac{H}{L}$$

აქ  $H$  არის წყალშემკრები აუზის უმაღლესი და უდაბლესი წერტილების ნიშნულების სხვაობა;

$L$ —წყალშემკრები აუზის სიგრძე (კმ).

3) წყალშემკრები აუზის საშუალო სიგანე ტოლია

$$B = \frac{F}{L}. \quad (3,4)$$

მდინარის ჩამონადენი, გარდა წლიური რყევებისა, რომელიც გამოწვეულია თანმიმდევრული ჰიდროლოგიური პროცესებით, აგრეთვე მერყეობს წლის განმავლობაში მეტეოროლოგიურ პირობებთან (ინტენსიური, ხანგრძლივი წვიმები და სხვ.) დამოკიდებულებით.

ჩამონადენის წლიური მოცულობა ( $V$ ) წარმოადგენს მდინარეში გადინებული წყლის რაოდენობას წლის განმავლობაში. ხშირად ჩამონადენის დასახასიათებლად საჭიროა გამოითვალოს<sup>2</sup> მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი, ე. ი.

$$Q = \frac{V}{T} \text{ მ}^3/\text{წმ}, \quad (3,5)$$

სადაც  $T$  წამების რიცხვია წელიწადში.

წყალშემკრები აუზის ფართობზე თანაბრად განაწილებული წლიური ჩამონადენის ფენის სისქე ( $x$ ) განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$x = \frac{1000 V}{F} \text{ მმ}. \quad (3,6)$$

აქ წყალშემკრები აუზის  $F$  ფართობი გაზომილია მ<sup>2</sup>-ით.

ჩამონადენის მოცულობის განსაზღვრისათვის, გარდა ზემომოყვანილი ელემენტებისა, საჭიროა ვიცოდეთ:

1) ჩამონადენის კოეფიციენტის სიდიდე, რომელიც წარმოადგენს ჩამონადენის ფენის  $x$  სისქის შეფარდებას წლის განმავლობაში მოსული ნალექების სიმაღლესთან

$$\alpha = \frac{x}{h}. \quad (3,7)$$

2) ჩამონადენის მოდული, ანუ წყალშემკრები აუზის ფართობის 1 კმ<sup>2</sup>-ზე მოსული კუთრი საშუალო წლიური ხარჯი

$$M = \frac{1000 V}{FT} = \frac{1000 Q_0}{F} \left[ \frac{\text{ლ}/\text{წმ}}{1 \text{ კმ}^2} \right], \quad (3,8)$$

და 3) მოდულური კოეფიციენტი, რომელიც გამოითვლება შემდეგი შეფარდებიდან

$$K = \frac{M}{M_0} = \frac{Q}{Q_0} = \frac{x}{x_0}, \quad (3,9)$$

სადაც  $M_0$ ,  $Q_0$  და  $X_0$  შეესაბამება მრავალწლიური ჩამონადენის მოდულის, ხარჯისა და ჩამონადენის ფენის სისქის საშუალო მნიშვნელობებს.

წყალშემკრები აუზის ტერიტორიაზე წლის განმავლობაში მოსული ნალექების რაოდენობის გარკვეული ნაწილი წარმოქმნის ზედაპირულ ჩამონადენს, დარჩენილი ნაწილი კი ორთქლდება როგორც მიწის ზედაპირიდან, ისე ნიადაგიდან. ამიტომ აუზის წყლის ბალანსის განტოლება ასეთნაირად შეგვიძლია გამოვსახოთ

$$h = x + z, \quad (3,10)$$

სადაც  $h$ ,  $x$  და  $z$ —შესაბამისად ნალექების, ზედაპირული ჩამონადენისა და ორთქლების ფენების სისქეა (მმ-ით). წყლის ბალანსის გაანგარიშებისას მიღებულია, რომ  $h$ ,  $x$  და  $z$  ფენის სისქე თანაბრად განაწილებულია წყალშემკრები აუზის ფართობზე.

თუ გავითვალისწინებთ (3,7) გამოსახულებას, მაშინ ორთქლების ფენის სისქე შემდეგი გამოსახულების იქნება

$$z = (1 - \alpha) h, \quad (3,11)$$

სადაც  $(1 - \alpha)$  კოეფიციენტს, ჩამონადენის კოეფიციენტის ანალოგიურად, შეგვიძლია ვუწოდოთ ორთქლების კოეფიციენტი. ცხადია, რომ ორთქლების ფენის სისქე დამოკიდებულია მოსული ნალექების რაოდენობაზე წლის განმავლობაში. მაგალითად, მცირე ტენიანობისას ორთქლება წელიწადში მაქსიმალური იქნება, ხოლო მაქსიმალური ტენიანობისას—მინიმალური. ამიტომაც, რომ წლიური ნალექების ცვალებადობა სათანადო გავლენას ახდენს ჩამონადენის წყლიანობაზე.

ჩამონადენის ცვალებადობის დამახასიათებლად მიღებულია ეგრეთ წოდებული წლიური ჩამონადენის ვარიაციის ანუ ცვალებადობის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა შემდეგი ფორმულით გამოითვლება

$$C_0 = \sqrt{\frac{\sum (K - 1)^2}{n - 1}}. \quad (3,12)$$

ამ გამოსახულებაში  $n$  დაკვირვებათა წლების რიცხვია, ხოლო  $K$ —მოდულური კოეფიციენტი, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა შევადაროთ ერთმანეთს ორი სხვადასხვა აუზის მდინარის ჩამონადენის ცვალებადობა.

როგორც დადგენილია, ჩამონადენის რაოდენობა მერყეობს წლიდან წლამდე. იმ წელიწადს, როცა ჩამონადენი აღწევს მაქსიმალურ სიდიდეს, უწოდებენ მრავალწელიან წელიწადს, ხოლო მცირე ჩამონადენის წელიწადს—მცირეწელიან წელიწადს.

ჩამონადენის მნიშვნელოვან დამახასიათებელ ელემენტს წარმოადგენს მყარი ანუ მონატანების ჩამონადენი. ნაკადის ნიერძოტანილი მყარი ფაზის საერთო რაოდენობა ძირითადად დამოკიდებულია ეროზიის მოდულზე, რაც გულისხმობს წლიური ჩამონარეცხვის იმ მოცულობას, რომელიც მოდის წყალშემკრები აუზის ერთეულ ფართობზე. ეროზიის მოდულის სიდიდე განისაზღვრება მხოლოდ ზედაპირის სასიათით, ე. ი. მცენარეულობით, ნიადაგის თვისებებით და ასე შემდეგ. ეროზიის მოდულის სიდიდე (იზომება ნმ-ით) თავის მხივ დამოკიდებულია გეოლოგიურ ფაქტორებზე, ნალექების ფენის სიმაღლეზე და წყალშემკრები აუზის საშუალო ქანობზე.

მყარი ჩამონადენის მოცულობის დადგენა საკიროა იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ როგორც წყალსაცავის მონატანებით ამოვსების ვადა, წყალსაცავის მკედარი მოცულობა, ისე ჰესის მუშაობის საექსპლოატაციო რეჟიმი (გარეცხვის, წყლის გადაღების პერიოდების შერჩევა, რეგულება და სხვ.). ამასთან უნდა გაითვალისწინოთ იმ ტექნიკურ ღონისძიებათა დადგენა, რომლებიც შეამცირებენ მონატანების მოხვედრას ჰიდროსადგურის ნაგებობებში.

შეწონილი მონატანები უარყოფითად მოქმედებენ ჰიდროსადგურის ექსპლოატაციაზე, რადგან ავსებენ შეტბორილ ბიეფებს, ამცირებენ მარეგულებელ ტევადობას. გარდა ამისა, ჰიდროტურბინებში გავლის დროს ნაადრევად ცვეთავენ მუშა ბორბლის ფრთებსა და მოძრავ ნაწილებს. ფსკერის მონატანები თავის მხრით ქმნიან დიდ დაბრკოლებებს დერივაციულ ნაგებობებსა და ქვემო ბიეფში მოხვედრის შემთხვევაში, რაც იწვევს წყალგამყვან ნაგებობათა ცოცხალი კვეთისა და წყალსატევის ტევადობის მნიშვნელოვან შემცირებას.

შეწონილი და ფსკერული მონატანების რაოდენობა გამოითვლება ბ. პოლიაკოვის ფორმულით

$$P_{\text{ან}} = \rho \frac{MF}{\gamma_1} \cdot 31,5 \left( 1 + \frac{\beta}{\gamma_2} \right) m^2 / \text{წელი}, \quad (3,13)$$

სადაც  $\rho = \alpha k \sqrt{T}$ , ხოლო  $\alpha$  ფიზიკურ-გეოგრაფიული პარამეტრია, რომელიც გვიხასიათებს სიმღვრივის ინტენსივობას. საბჭოთა კავშირის მეტი წილი ტერიტორიისათვის  $\alpha = 0,5 \div 10$ ;  $M$  არის განსახილველი წყალშემ-

კრები აუზის საშუალო წლიური საერთო მოდული  $\left[ \frac{u}{130^2} \right]$ ;  $\gamma_1 = 1,1 \div$   
 $\div 1,2$ —შეწონილი მონატანების ერთეული მოცულობის წონა წყალში, ხო-  
 ლო  $\gamma_2 = 1,5$ —იგივეა ფსკერის მონატანებისათვის;  $F$ —აუზის ფართობი კმ<sup>2</sup>;  
 $\beta$ —შეწონილი მონატანების წილი ფსკერის მონატანებთან შეფარდებით:  
 $k = 10^{-4}$ —გადამყვანი კოეფიციენტი.

ფსკერული მონატანების ხარჯის განსაზღვრისათვის აგრეთვე გა-  
 მოიყენება ლ. გველესიანის მიერ შემოღებული ემპირიული ფორ-  
 მულა

$$G_{\text{ფსკ}} = \frac{12,95 \cdot du_0}{ly \left( \frac{12D+d}{d} \right)^2} \left( \frac{u^2}{u_0^2} - 1 \right) \left( \frac{u}{u_0} - 1 \right) \text{ კგ/წმ,} \quad (3,13')$$

სადაც  $d$  და  $D$  არის მონატანების მინიმალური და მაქსიმალური დია-  
 მეტრები მეტრობით;  $u_0$  და  $u$ —ზღვრული (ფსკერული) და განიკვეთში  
 საშუალო სიჩქარეები.

დაკვირვებათა შედეგების საფუძველზე დადგენილია, რომ წყალნაკა-  
 ლებში (მდინარეებში) შეწონილი მონატანების ძირითადი მასა (40÷90%)  
 შედგება 0,05 მმ სიმსხოს ნაწილაკებისაგან, ხოლო შეწონილი მონატანე-  
 ბის დანარჩენი ნაწილი 0,05÷0,50 მმ სიმსხოს ნაწილაკებისაგან, იშვია-  
 თად კი 1 მმ სიმსხოსი.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაპროექტებისას დიდი პრაქტიკული  
 მნიშვნელობა ენიჭება საშუალო წლიური ხარჯის დადგენას. იმ შემთხვე-  
 ვაში, როცა ჩამონადენის უშუალო დაკვირვებათა პერიოდი (წლების  
 რიცხვი) ძალზე მცირეა, ან არა გვაქვს ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა  
 მონაცემები, მაშინ უნდა ვიციოდეთ წყალშემკრები აუზის ფართობი და  
 ჩამონადენის საშუალო მრავალწლიური მოდული, რომელიც განისაზღვ-  
 რება სპეციალურ ლიტერატურაში მოყვანილი რუკების საშუალებით.

ამრიგად, მცირე წყალშემკრები აუზებისათვის (ფართობით 60კმ<sup>2</sup>)  
 საშუალო წლიური ხარჯი ტოლი იქნება

$$Q_{\text{სა}} = \frac{M_0 F}{1000} \text{ მ}^3/\text{წმ,} \quad (3,14)$$

ხოლო ჩამონადენის წლიური მოცულობა

$$V = \frac{M_0 F T}{1000} \text{ მ}^3, \quad (3,15)$$

სადაც  $F$  არის წყალშემკრები აუზის ფართობი კმ<sup>2</sup>-ით;  $M_0$ —ჩამონადე-  
 ნის საშუალო მრავალწლიური მოდული;  $T = 31,54 \cdot 10^6$ —წამების რიცხვი  
 წელიწადში.

ჩამონადენის მოდული დამოკიდებულია ნალექების მერყეობაზე ჰიდროლოგიური წლის განმავლობაში ( 1 ოქტომბრიდან—1 სექტემბრამდე), ჰაერის ტემპერატურის მერყეობაზე იმავე პერიოდში, წყალშემკრები აუზის სიდიდეზე, მის რელიეფსა და ფორმაზე, მცენარეულობაზე და ნიადაგობრივ-გეოლოგიურ ფაქტორებზე.

ზოგადად ჩამონადენის მოდული ასე გამოისახება

$$M = Ca, \quad (3,16)$$

სადაც  $C$  კოეფიციენტი გვიხასიათებს მოცემული რაიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებსა და ადგილობრივი წვიმის ჩამონადენის ინტენსივობას ( $მ^3/წმ$  1 კმ<sup>2</sup>-დან);

$a$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია წყალშემკრები აუზის სიგრძესა და მის საშუალო სიგრძივ ქანობზე.

როგორც ცნობილია, მდინარის ჩამონადენი გარდა საშუალო წლიური ხარჯისა, ხასიათდება აგრეთვე მაქსიმალური ხარჯით. მდინარის მაქსიმალური ხარჯის დადგენას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს წყალგამყვან ნაგებობათა ჰიდრაულიკური გაანგარიშებებისას.

მდინარის ჩამონადენი ხასიათდება მაქსიმალური ხარჯით ხანგრძლივი კოკისპირული წვიმების დროს და გაზაფხულის წყალდიდობისას თოვლის დნობის პერიოდში.

მდინარის მაქსიმალური ხარჯის განსაზღვრა კოკისპირული წვიმების დროს.

ხანგრძლივი და ინტენსიური წვიმების შედეგად წარმოქმნილი ზედაპირული ჩამონადენი წყალშემკრები აუზის ფერდობებიდან ჩაედინება მდინარეში. ამ ჩამონადენის ნამატით მდინარის ხარჯი მკვეთრად იზრდება და აუზის ბოლო უბანში (მდინარის მოძრაობის მიმართულებით) აღწევს მაქსიმალურ სიდიდეს.

მდინარის მაქსიმალური ხარჯის განსაზღვრისათვის საბჭოთა მეცნიერების მიერ წარმოდგენილია რიგი საანგარიშო ფორმულები. აქ მოგვყავს მხოლოდ ის ფორმულები, რომლებიც უფრო ადვილი გამოსაყენებელია და პრაქტიკაში მეტი გავრცელება პპოვეს.

### 1. გზათა სახალხო კომისარიატის ფორმულა (1926 წელი)

$$Q_{\Sigma} = CaF\psi, \quad (3,17)$$

სადაც  $Q_{\Sigma}$  არის მაქსიმალური ხარჯი;  $C$ — ადგილობრივი წვიმების ჩამონადენის კოეფიციენტი (1 კმ<sup>2</sup> ფართობზე მოსული ჩამონადენის რაოდენობა  $მ^3/წმ$ -ით, როცა  $a=1$ );

α კოეფიციენტი დაშოკიდებულია აუზის სიგრძესა და მის სიგრძივ ქანობზე;  $F$ —წყალშემკრები აუზის ფართობი კმ<sup>2</sup>-ით;  $\psi$ —შემკირების კოეფიციენტი, რომელიც აღნუსავეს მოცემული აუზის ზედაპირის ინფილტრაციის პირობებს.

საბჭოთა კავშირის სხვადასხვა რაიონისათვის  $C$  კოეფიციენტის მნიშვნელობები გამოითვლება ასეთნაირად:

$$\text{ჩრდილოეთ რაიონებისათვის } \frac{C}{16} = 0,5;$$

$$\text{მოსკოვის რაიონებისათვის } \frac{C}{16} = 0,75;$$

$$\text{სამხრეთის რაიონებისათვის } \frac{C}{16} = 1,5;$$

$$\text{სოლო კავკასიისათვის (ფოთი) } \frac{C}{16} = 2,5.$$

გარდა ამისა. სსრკ-ს ევროპული ნაწილისათვის დამუშავებულია  $C$  კოეფიციენტის იზოწირებიანი რუკა, საიდანაც შეიძლება ავიღოთ რომელიმე განსახილველი რაიონისათვის  $C$  კოეფიციენტის შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობა.

α კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა აიღება ქვემოთოყვანილ მე-17 და მე-18 ცხრილებიდან, როცა  $C \leq 12$  და  $C > 12$ , წყალშემკრები აუზის სხვადასხვა სიგრძისა ( $L$ ) და ქანობისათვის.

პრაქტიკამ დაგვანახვა, რომ (3,17) ფორმულა იძლევა გადამეტებულ მნიშვნელობებს, ამიტომ საჭირო შეიქნა  $\psi$  შემკირების კოეფიციენტის შემოღება, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა აიღება შემდეგი პირობების მიხედვით:

ა) როცა ნიადაგი ძალზე ქვიშიანი ან ხრეშოვანია და სხვ., მაშინ  $\psi = 0,5$ ;

ბ) წყალშემკრები აუზისათვის, როცა  $F \leq 20$  კმ<sup>2</sup> და მისი ტერიტორია დაფარულია ტყით  $\psi = 0,8 \div 0,6$ ;

გ) როცა აუზის ტერიტორიის მეტი წილი ფართობი წარმოადგენს მთლიან კლდეს (უბზარებოდ) ან მსუყე თიხას და სხვ., ამ შემთხვევაში  $\psi = 1,3$ .



α კოეფიციენტის მნიშვნელობები, როცა C &lt; 12

$\lambda \setminus l$	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,010	0,015	0,020	0,050	0,100
0	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,15	1,2	1,25
1	0,18	0,225	0,270	0,36	0,450	0,54	0,72	0,90	0,990	1,035	1,08	1,125
2	0,15	0,188	0,225	0,30	0,375	0,45	0,60	0,75	0,825	0,863	0,80	0,938
3	0,11	0,138	0,165	0,22	0,275	0,33	0,44	0,55	0,605	0,633	0,66	0,688
4	0,083	0,104	0,135	0,18	0,225	0,27	0,36	0,45	0,495	0,518	0,54	0,563
5	0,066	0,083	0,108	0,144	0,185	0,222	0,296	0,37	0,407	0,426	0,444	0,463
6	0,055	0,069	0,090	0,120	0,154	0,185	0,254	0,317	0,349	0,365	0,380	0,396
7	0,047	0,059	0,077	0,103	0,132	0,159	0,318	0,272	0,308	0,322	0,336	0,350
8	0,041	0,052	0,068	0,090	0,116	0,139	0,191	0,238	0,270	0,282	0,300	0,313
10	0,033	0,041	0,054	0,072	0,093	0,110	0,152	0,100	0,216	0,225	0,240	0,250
12	0,028	0,035	0,045	0,060	0,077	0,093	0,127	0,159	0,180	0,188	0,200	0,209
14	0,024	0,030	0,039	0,051	0,066	0,079	0,109	0,136	0,154	0,161	0,171	0,179
16	0,021	0,026	0,034	0,045	0,058	0,069	0,095	0,119	0,135	0,141	0,150	0,157
18	0,018	0,023	0,030	0,040	0,051	0,062	0,085	0,106	0,120	0,125	0,133	0,139
20	0,017	0,021	0,027	0,036	0,046	0,056	0,076	0,095	0,108	0,113	0,120	0,125

α კოეფიციენტის მნიშვნელობები, როცა C &gt; 12

$\lambda \setminus l$	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,010	0,015	0,020	0,050	0,100
0	0,20	0,25	0,30	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,15	1,2	1,25
1	0,18	0,225	0,270	0,36	0,45	0,54	0,72	0,90	0,990	0,035	1,06	1,125
2	0,15	0,188	0,225	0,30	0,375	0,45	0,60	0,75	0,825	0,863	0,90	0,938
3	0,11	0,138	0,165	0,22	0,275	0,32	0,44	0,55	0,605	0,633	0,66	0,688
4	0,09	0,113	0,135	0,18	0,225	0,27	0,36	0,45	0,495	0,518	0,54	0,563
5	0,074	0,093	0,111	0,148	0,185	0,222	0,296	0,37	0,407	0,426	0,444	0,463
6	0,063	0,079	0,095	0,127	0,159	0,190	0,254	0,317	0,349	0,365	0,380	0,396
7	0,056	0,070	0,084	0,112	0,140	0,168	0,224	0,280	0,308	0,322	0,336	0,350
8	0,050	0,063	0,075	0,100	0,125	0,150	0,200	0,250	0,275	0,288	0,300	0,313
10	0,042	0,053	0,063	0,084	0,105	0,126	0,168	0,210	0,231	0,242	0,252	0,263
12	0,035	0,046	0,055	0,073	0,092	0,110	0,146	0,183	0,201	0,210	0,220	0,229
14	0,030	0,039	0,049	0,066	0,082	0,098	0,131	0,164	0,180	0,189	0,197	0,205
16	0,026	0,035	0,043	0,060	0,075	0,090	0,120	0,150	0,165	0,173	0,180	0,188
18	0,023	0,031	0,038	0,053	0,068	0,082	0,109	0,136	0,150	0,156	0,163	0,170
20	0,021	0,028	0,034	0,048	0,061	0,075	0,100	0,125	0,138	0,144	0,150	0,156

## 2. პროფ. მ. შ. პროტოდიაკონოვის ფორმულა (1938 წელი)

პროფ. მ. პროტოდიაკონოვის მიერ დამუშავებულმა მეთოდმა მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა წვიმის ჩამონადენის გაანგარიშებათა მეთოდის განვითარებაში, საფუძვლად დაედო ახალ (1950 წ.) საანგარიშო

ნორმების გადაანგარიშებასა და ფართო გამოყენება ჰპოვა საინჟინრო პრაქტიკაში.

მდინარის მაქსიმალური ხარჯის დასადგენად პროფ. მ. პროტოდიაკონოვი შემდეგ დაშვებებს ლებულობს:

ა) კოკისპირული წვიმა ერთდროულად გავრცელებულია წყალშემკრები აუზის მთლიან ტერიტორიაზე;

ბ) წვიმის ჩამონადენი თანაბრად განაწილებულია აუზის  $F$  ფართობზე;

გ) წვიმის ხანგრძლიობის  $t$  დრო მნიშვნელოვნად აღემატება ფერდობებიდან ზედაპირული წყლების მდინარეში ჩადინების დროს ( $t > \tau$ ). ამიტომ წყალშემკრები აუზის ბოლო უბანში მდინარეს ექნება მაქსიმალური ხარჯი, რომლის მნიშვნელობაც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება

$$Q_{E3} = 16,67 (ak - j) \varphi F, \quad (3,18)$$

სადაც  $a$  არის წვიმების საანგარიშო ინტენსივობა:

$k$ —კლიმატური გადასაყვანი კოეფიციენტი;

$j$ —ინფილტრაციის (გაჟონვის) ინტენსივობა<sup>1</sup>;

$\varphi$ —ჩამონადენის ერთდროულობის ანუ სისრულის კოეფიციენტი;

$F$ —წყალშემკრები აუზის ფართობი.

პროფ. პროტოდიაკონოვის მიხედვით, წვიმის საანგარიშო ინტენსივობა გამოითვლება შემდეგი განტოლებით

$$a = \frac{5}{1 + 0,06t} \text{ მმ/წთ.} \quad (3,19)$$

აქ  $t$  წვიმის ხანგრძლიობის საანგარიშო დროა, რომელიც განისაზღვრება ასეთნაირად

$$t = 16,67 \left( \sqrt{\frac{5k}{j}} - 1 \right) \text{ წთ.} \quad (3,20)$$

კლიმატური გადასაყვანი კოეფიციენტის მნიშვნელობას შემდეგი შეფარდებიდან ვიპოვით

$$k = \frac{M_1}{68}, \quad (3,21)$$

სადაც  $M_1$  ნალექების დღელამური მაქსიმუმია მოცემული რაიონისათვის.

<sup>1</sup> რ. ხორთონის აზრით ზედაპირული წყლების ნიადაგში გაჟონვის ინტენსივობა დამოკიდებულია აგრეთვე ნიადაგის ზედაპირზე დაკავებული წყლის ფენის სისქესა და ზედაპირული ჩადინების სიჩქარეზე.

გაჟონვის ინტენსივობის მნიშვნელობა აიღება ქვემოთმოყვანილ მე-19 ცხრილიდან.

ც ხ რ ი ლ ი 19  
ინფულტრაციის ინტენსივობა

ნიადაგის (ყამირის) დასახელება	<i>j</i> მმ/წთ
თიხა და მძიმე თიხნარები	0,10 ÷ 0,75
ქვიშნარები ჩვეულებრივი	0,75 ÷ 0,50
შავი მიწა	0,50 ÷ 2,50
ქვიშნარი	3,00 ÷ 7,00

ჩამონადენის ერთდროულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აიღება კლიმატიური დარაიონებისა და წყალშემკრები აუზის ტერიტორიის სიდიდის მიხედვით. საშუალოდ, მცირე აუზებისათვის ამ კოეფიციენტის სიდიდე მერყეობს  $\varphi = 0,2 \div 0,8$  ფარგლებში.

### 3. მდინარის მაქსიმალური ხარჯის განსაზღვრა გაზაფხულის წყალდიდობის პერიოდში (თოვლის დნობის დროს)

გაზაფხულის ჩამონადენი დამოკიდებულია ფაქტორების ორ ჯგუფზე:

ა) მეტეოროლოგიურ ფაქტორებზე, რომლებიც განსაზღვრავენ თოვლის დნობის ინტენსივობასა და დანაკარგებს აორთქლებაზე;

ბ) სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ ფაქტორებზე, რომლებზედაც დამოკიდებულია თოვლის განაწილების ხასიათი აუზის ზედაპირზე, მდნარი წყლის დინება თოვლის ქვეშ და ნაკადის კალაპოტში, წყლის ნიადაგში გაჟონვა და სხვ.

მიუხედავად იმისა, რომ საბჭოთა კავშირის ტერიტორიის მეტ ნაწილზე გაზაფხულის წყალდიდობის მაქსიმუმში აღემატება წვიმების მაქსიმუმს და კაშხალებისა და ხიდების აგებისას გაზაფხულის ჩამონადენს გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს, გაზაფხულის ჩამონადენის გაანგარიშების თეორია ნაკლებად დამუშავებულია წვიმების მაქსიმუმების გაანგარიშების თეორიასთან შედარებით.

გაზაფხულის წყალდიდობის მაქსიმუმების განსაზღვრისათვის მიღებულია რიგი ფორმულები, მათ შორის აღსანიშნავია:

1. პროფ. დ. ლ. სოკოლოვის ფორმულა (1937 წ.)

$$Q_{\text{მაკ}} = k A_{\text{მაკ}} \varphi F, \quad (3.23)$$

სადაც  $k = 0,28$  არის კლიმატური გადამყვანი კოეფიციენტი;  $A_{\text{მაკ}}$  — ფი-

ზიკური პარამეტრი, რომელიც წარმოადგენს თოვლის დნობისა და ჩამონადენის ზღვრულ ინტენსივობას ელემენტურ ფართობზე. ეს პარამეტრი განისაზღვრება მეტეოროლოგიური ფაქტორებით; შედგენილია სათანადო რუკები, რომლებზედაც დატანილია  $A$  პარამეტრის მნიშვნელობები იზოწირების სახით. საბჭოთა კავშირის აზიური ნაწილისათვის და კავკასიისათვის ამ პარამეტრის მნიშვნელობა აიღება  $A_{აკკ} = (5 \div 9)$  მმ/სთ ფარგლებში:

ფარაერთდროულობის კოეფიციენტი და მისი სიდიდე მით ნაკლებია, რამდენადაც დიდია აუზის  $F$  ფართობი, ეს კოეფიციენტი წარმოადგენს მაქსიმალური მოდულის შეცირების კოეფიციენტს აუზის ფართობის ზრდასთან დამოკიდებულებით. ყოველთვის  $\varphi < 1$ .

თოვლის დნობით გამოწვეულ გაზაფხულის წყალდიდობას შეიძლება ერთდროულად დაემთხვეს გაზაფხულის წვიმებიც. ამ შემთხვევაში წყალდიდობისა და წვიმების შეჯამებული ჩამონადენი ანუ, როგორც უწოდებენ, შერეული ჩამონადენი, განისაზღვრება პროფ. პროტოდიაკონოვის ფორმულით

2. პროფ. მ. მ. პროტოდიაკონოვის ფორმულა

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{თოვ}} + Q_{\Sigma}, \quad (3,24)$$

სადაც  $Q_{\text{თოვ}}$  არის თოვლის დნობით მიღებული ხარჯი;  $Q_{\Sigma}$ —გაზაფხულის წვიმების ხარჯი.

(3,24) ფორმულის საბოლოო სახე პროფ. მ. მ. პროტოდიაკონოვის ნიერ ასეთნაირადაა წარმოდგენილი

$$Q_{\Sigma} = (16,67\alpha\beta k + M)F, \quad (3,25)$$

სადაც  $\alpha$  და  $\beta$  კოეფიციენტების მნიშვნელობა მე-20 ცხრილიდან აიღება.  $k$  არის ვადამყვანი კლიმატური კოეფიციენტი (იხ. ზემოთ);  $M$ —გაზაფხულის ჩამონადენის მაქსიმალური მოდული, რომლის მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი გაროსახულებით

$$M = \frac{A}{\sqrt{F+1}} \delta \cdot \delta', \quad (3,26)$$

სადაც  $A$  ჩამონადენის ინტენსივობაა ელემენტურ ფართობზე,  $\delta$  და  $\delta'$  ტყიანობის, ტბების და ჭაობების აღმწესხავე კოეფიციენტებია.

$\delta$  და  $\delta'$  კოეფიციენტების მიახლოებითი რიცხვითი მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$\delta = 1,0 - 0,7 \lg(1 + f_{\delta} + 0,2f_{\delta}), \quad (3,27)$$

ა და ზ კოეფიციენტის მნიშვნელობები

აუზის სიგრძე კმ	აუზის ქანობი		β
0.5	0.001	1.0	0,185
1.0	0,002	0,916	0,250
2.0	0,003	0,750	0,311
3.0	0,004	0,582	0,373
4.0	0,005	0,500	0,500
7.0	0,007	0,250	0,875
10,5	0,01	0,186	1,300
14,0	0,05	0,125	1,500

სადაც  $f_{აა}$  და  $f_{აბ}$  ტბებისა და ქაობების ფართობია პროცენტობით წყალშემკრების ფართობთან შეფარდებით.

$$\delta' = 1,0 - \gamma \lg(f_{აა} + 1), \quad (3,28)$$

სადაც  $f_{აა}$  წყალქონადი ნიადაგების ფართობია პროცენტობით წყალშემკრების ფართობთან შეფარდებით.

**მაგალითი 10.** განესაზღვროთ ზედაპირული ჩამონადენის მაქსიმალური ხარჯი კოკისპირული წვიმების დროს მოცემული წყალშემკრები აუზისათვის, რომელიც ხასიათდება შემდეგი ჰიდროგრაფიული მონაცემებით: წყალშემკრები აუზის ფართობი  $F = 17,3$  კმ<sup>2</sup>; სიგრძე  $L = 9,618$  კმ,

საშუალო სიგანე  $B = \frac{F}{L} = \frac{17,3}{9,618} = 1,8$  კმ; წყალშემკრები აუზის უმაღლესი და უმდაბლესი წერტილების ნიშნულების სხვაობა  $H = 6,18$  მ, ამიტომ

აუზის საშუალო ქანობი  $I = \frac{H}{L} = \frac{6,18}{9,618} = 0,00062$ . ნალექების წლიური რაოდენობა  $h = 517,3$  მმ, საშუალო დღელამური  $M_2 = 60$  მმ, ხოლო მაქსიმალური დღელამური  $M_1 = 80$  მმ. კლიმატური კოეფიციენტი

$k = \frac{M_1}{68} = \frac{80}{68} = 1,17$ . ნიადაგში გაუონვის კოეფიციენტი  $j = 0,05$  მმ/წმ,

შემცილების კოეფიციენტი კი  $\varphi = 0,86$ .

ამოხსნა: მაქსიმალური ხარჯის გამოთვლისათვის ვიპოვოთ შემდეგი ჰიდროლოგიური ელემენტები:

ა) წვიმის საანგარიშო ხანგრძლიობა [(3,20) ფორმულა]:

$$t = 16,67 \left( \sqrt{\frac{5k}{j}} - 1 \right) = 16,67 \left( \sqrt{\frac{5 \cdot 1,17}{0,05}} - 1 \right) = 382 \text{ წთ};$$

ბ) წვიმის საანგარიშო ინტენსივობა [(3,19) ფორმულა:]

$$a = \frac{5}{1+0,06t} = \frac{5}{1+0,06 \cdot 382} = 0,21 \text{ მმ/წმ};$$

ჩამონადენის მაქსიმალური ხარჯი გამოვთვალოთ პროტოლიაკონოვის (3,18) ფორმულით

$$Q_{\text{წვი}}^I = 16,67(ak-j)\varphi F = 16,67(0,21 \cdot 1,17 + 0,05) \cdot 0,86 \cdot 17,3 = 64 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ჩამონადენის მაქსიმალური ხარჯის გამოთვლა გზათა სახალხო კომისარიატის (3,17) ფორმულით

$$Q_{\text{წვი}}^{II} = CaI' \cdot \psi = 24 \cdot 0,252 \cdot 17,3 \cdot 0,6 = 63 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სადაც  $C = 1,5 \cdot 16 = 24$ ;  $\alpha = 0,252$  (მე-18 ცხრილიდან),  $\varphi = 0,6$ .

საშუალო საანგარიშო ხარჯი ტოლი იქნება

$$Q_{\text{საშ}} = \frac{Q_{\text{წვი}}^I + Q_{\text{წვი}}^{II}}{2} = \frac{64 + 63}{2} \approx 63,5 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

## § 17. ჩამონადენის რეგულაციის ძირითადი სახეები

1. ჩამონადენის რეგულაციის კლასიფიკაცია დანიშნულების მიხედვით. როგორც აღვნიშნეთ, მდინარეთა ბუნებრივი წყლიანობის რეჟიმი ხასიათდება წყლის ხარჯის უთანაბრობით წლის განმავლობაში და წლიდან-წლამდე. მაგალითად, გაზაფხულის წყალმეტობისას 2—3 თვის განმავლობაში ვაკის მდინარეებში გადის წლიური ჩამონადენის  $60 \div 70\%$ , ე. ი. საშუალოდ ერთი თვის განმავლობაში ათჯერ მეტი, ვიდრე მცირეწყლიან თვეებში. ჩამონადენის ასეთგვარი უთანაბრო განაწილება არ ეთანხმება სახალხო მეურნეობის მოთხოვნილებებს; წყალმცირობის პერიოდში მკვეთრად ვარდება ელექტროენერჯის გამომუშავება და იგრძნობა წყლის ნაკლებობა ირიგაციისა და წყალმომარაგებისათვის როგორც დღე-ღამის, ისე განსაზღვრული დროის განმავლობაში.

ამიტომ ზედაპირული წყლების ჩადინების უთანაბრო რეჟიმი ხშირად გვაიძულებს მიემართოთ მდინარეთა ჩამონადენის რეგულაციას.

ჩამონადენის რეგულაციის ძირითად ამოცანას შეადგენს წყალმცირობის პერიოდში ჰიდროდინამიკისათვის საანგარიშო ხარჯის მიწოდების უზრუნველყოფა, ან წყალდიდობის შემთხვევაში ჰიდრონაგებობიდან ზედმეტი წყლის აცილება. ამრიგად, პირველ შემთხვევაში ჩამონადენის რე-

კულებით ვაღწევთ წყლის ხარჯის გაზრდას, მეორე შემთხვევაში კი ხარჯის შემცირებას.

მდინარეთა ჩამონადენის რეგულება წარმოებს წყალსაცავებით, მაგრამ მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმითა და განსხვავებული კონსტრუქციის წყალგამყვან და წყალგადამღებ ნაგებობათა საშუალებით.

ხშირად არის შემთხვევები, როცა ცალკეული მომხმარებელი ჩამონადენის რეგულებას ერთმანეთის საწინააღმდეგო სხვადასხვა მოთხოვნას უყენებს. ასე მაგალითად, მთიან ადგილებში მოწყობილი ჰიდროენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავებს შეუძლიათ გაასწორონ მდინარის წლიური ჩამონადენი თითქმის მუდმივ ხარჯზე წლის განმავლობაში, ხოლო მდინარის დინების ქვემო მდებარე მიწების მორწყვისათვის ასეთნაირად დარეგულებული ჩამონადენი ვერ უზრუნველყოფდეს მაქსიმალური ხარჯის მიწოდებას ვეგეტაციის პერიოდში. ასეთი გარემოება იწვევს ჩამონადენის მეორედ დარეგულების საჭიროებას, ე. ი. ორმაგი რეგულებით შეიძლება დაეთართოს ჰიდროენერგეტიკისა და ირიგაციის მოთხოვნილებები. ორმაგი რეგულება შეიძლება განვახორციელოთ ორი წყალსაცავით, რომელთაგანაც ზემო წყალსაცავი ჩამონადენს დაარეგულებს ჰიდროენერგეტიკის საჭიროებისათვის; მეორე, ჰესის ქვემოთ მდებარე წყალსაცავი კი დააკავებს წლის განმავლობაში თანაბრად განაწილებულ ჩამონადენის გარკვეულ ნაწილს და ამით უზრუნველყოფს ვეგეტაციის პერიოდში მაქსიმალური ხარჯის მიწოდებას საირიგაციო სისტემაში. ორმაგი რეგულების მაგლითს წარმოადგენს სამგორის სარწყავი სისტემა: სიონის წყალსაცავით ხდება მდ. იორის დარეგულება ჰიდროენერგეტიკული მიზნებისათვის, ხოლო „თბილისის ზღვით“ გათვალისწინებული სამგორისა და რუსთავის ველების მორწყვა.

2. ჩამონადენის რეგულების კლასიფიკაცია ხანგრძლიობის მიხედვით. რეგულების ხანგრძლიობის მიხედვით ვარჩევთ შემდეგ სახეობას:

ა) დღელამური რეგულება გამოწვეულია წყლის უთანაბრო ხარჯვით დღე-ღამის განმავლობაში. დღელამური რეგულება შესაძლებელია თითქმის ყველა კაშხალური ტიპის ჰესზე. ამისათვის უნდა მოეწყოს სპეციალური წყალსაცავი. მსხვილი ჰესების დღელამური რეგულებისათვის საჭირო ტევადობა უნდა იყოს მდინარის (მცირე წყლიანი წლის) დღელამური ჩამონადენის მოცულობის სამი მეოთხედი, ე. ი.  $V_{\text{დღ}} = 0,75V_{\text{დღ}}$  (სადაც  $V_{\text{დღ}}$  მდინარის დღელამური ჩამონადენის მოცულობაა). სოფლის კაშხალური ჰესისათვის წყალსაცავის ეს ტევადობა აიღება  $V_{\text{დღ}} = 0,25V_{\text{დღ}}$ . დერივაციული ტიპის ჰესებში, როცა არა გვაქვს წყალსატევების საჭირო ტევადობა, შესაძლებელია დერივაციული არხის ტევადობის ნაწილობრივი გამოყენება, ან ჰესის შენობასთან ახლოს უნდა მოეწყოს სპეციალური მარეგულებელი აუზი (საწნეო აუზი).

ბ) დეკადური რეგულება საჭიროა იმ შემთხვევაში, როცა მოცემული მომხმარებელთა ჯგუფი გამოსასვლელ დღეს არ მუშაობს, რის გამოც წყლის ხარჯვა მნიშვნელოვნად მცირდება. კარბი წყლის რაოდენობა დაგროვილი გამოსასვლელი დღის განმავლობაში შეგვიძლია დახარჯოთ თანდათანობით სამუშაო დღეებში, რაც საწვალუბას მოგვცემს გამოვიმუშაოთ დამატებითი ელექტროენერგია.

3. სეზონური (წლიური) რეგულება წარმოადგენს ჩამონადენის რეგულების გავრცელებულ სახეობას და გამოიყენება წყალსამეურნეო და ჰიდროენერგოტექნიკის ყველა დარგში. სეზონური რეგულება უზრუნველყოფს ენერჯის გამომუშავების გაზრდას წლის წყალმცირობის პერიოდში გაზაფხულისა და ზაფხულის თვეებში დაგროვილი წყლის მარაგის გაზარჯვის ანგარიშზე. ასეთი სახის რეგულებისათვის საჭიროა დიდი ტევადობის წყალსაცავების მოწყობა. ეკონომიური თვალსაზრისით სეზონური რეგულების წყალსაცავი უნდა განლაგდეს მდინარის ზემო ზონაში, იმისათვის, რომ დარეგულებული ჩამონადენი უკეთ გამოვიყენოთ როგორც ჰესისათვის, ისე სხვა წყალსამეურნეო დანიშნულებისათვისაც.

დადგენილია, რომ დღელამური (ზოგჯერ სეზონური) რეგულებისას წლის სხვადასხვა პერიოდში წყლის დონეები წყალსაცავში მერყეობენ სხვადასხვა ზღვარში, ე. ი. წყალსაცავში დონეების აწევასა და დაწევას, როგორც წესი, არა აქვთ ზუსტი გამეორებები დღე-ღამის, სეზონისა და წლის განმავლობაში.

არსებობს კიდევ ჩამონადენის მრავალწლიური რეგულება, რომელსაც ჩვენ არ განვიხილავთ, რადგან რეგულების ეს სახეობა წარმოადგენს შესწავლის სპეციალურ საგანს.

დაბოლოს აღვნიშნავთ, რომ ყოველგვარი რეგულების ძირითად ამოცანას შეადგენს: წყალსაცავის ტევადობის, წყალსაცავში წყლის დონის რხევების, ჰიდროსადგურის რეჟიმის და ჩამონადენის საერთო ბალანსის განსაზღვრა (დაწვრილებით იხ. § 19 და 20).

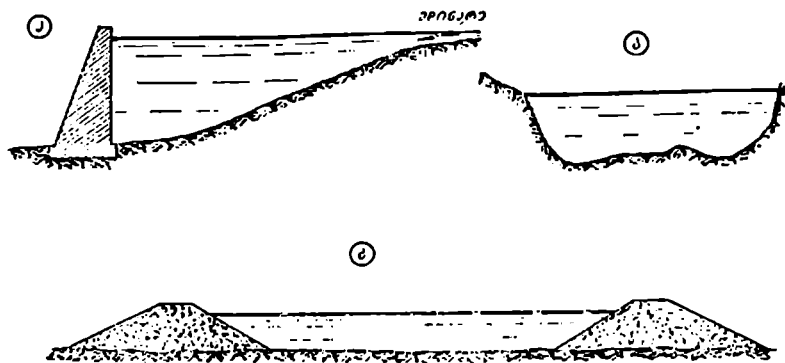
## § 18. წყალსაცავები და მათი გაანგარიშების ელემენტები

ჩვენ ზემოთ უკვე განვმარტეთ, რომ მდინარის ჩამონადენის მაქსიმალურად გამოყენებისა და ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობის რეჟიმის გასაუმჯობესებლად საჭიროა ჩამონადენის დღელამური და სეზონური (ზოგჯერ კი მრავალწლიური) რეგულება წყალსაცავების საშუალებით.

წყალსაცავის მოსაწყობად მეტწილ შემთხვევაში იყენებენ მოცემული მდინარის ხეობის (კალაპოტის) ხელსაყრელ ნაწილს, ან დიდი ტე-



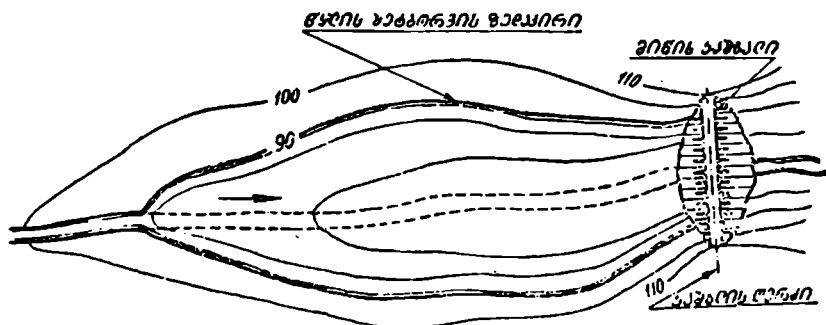
ვადობის ბუნებრივ ქვაბულს, უკიდურეს შემთხვევაში კი მიწის ყრილისაგან შემოფარგლულ ღია აუზს (ნახ. 36). ძალიან ხშირად წყალსაცავის მოსაწყობად იგება კაშხალი მდინარის მიმართულების განივად (ნახ. 37). კაშხალის დანიშნულებაა წყლის შეტბორვა, დონის აწევა საან-



ნახ. 36. წყალსაცავის ტიპები:

- ა—მდინარის ხეობის ნაწილის გამოყენება; ბ—ბუნებრივი ქვაბულის გამოყენება;  
 ვ—მიწის ყრილისაგან (დამბები) შემოფარგლული აუზი.

გარიშო ნიშნულამდე და გარკვეული მოცულობის წყლის დაგროვება წყალსაცავში. კაშხალები თავისი დანიშნულების მიხედვით იყოფა ორ ტიპად: ა) წყალამწევ და ბ) წყალდამჭერ კაშხალებად.



ნახ. 37. წყალსაცავი კაშხალით.

წყალამწევი კაშხალის დანიშნულებაა ზემო ბიეფში წყლის დონის აწევა<sup>1</sup> იმ მიზნით, რომ შესაძლებელი იყოს საანგარიშო ხარჯის აღე-

<sup>1</sup> ზოგჯერ დონის აწევა მდინარეში ნაკარნახევია აგრეთვე ნაოსნობისა და ხე-ტყის დაცურების მიზნებისათვის.

ბა წყალსაცავიდან და ჰესისათვის გარკვეული დაწნევის შექმნა. წყალ-  
ამწვევ კაშხალს არ მოეთხოვება სარეგულაციო მოცულობის შექმნა.

წყალდამჭერი კაშხალის დანიშნულებაა დააგროვოს გარკვეული მო-  
ცულობის წყალი წყალსაცავში ჩამონადენის რეგულაციისათვის.

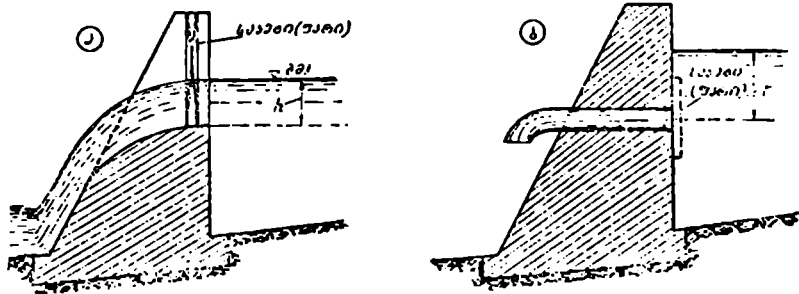
თანამედროვე პირობებში წყალსაცავებს აქვთ კომპლექსური გამოყუ-  
ნება: ჰიდროენერგეტიკის, წყალმომარაგების, ირიგაციის, ნაოსნობის,  
წყალდიდობის საწინააღმდეგო და სხვა სამეურნეო მიზნებისათვის (იხ.  
თავი 11, § 10).

წყალსაცავების ტევადობა შეიძლება მერყეობდეს დიდ ზღვრებში.  
რაც დამოკიდებულია როგორც წყლით შევსების სიმაღლეზე, ისე იერო-  
ბის რელიეფსა და შეტბორვის გავრცელების მანძილზე.

როცა წყალსაცავის თავისუფალი ზედაპირის ფართობი, ე. ი. სა-  
კის ფართობი არ აღემატება 300 ჰექტარს, მას უწოდებენ პატა-  
რა წყალსაცავს, როცა საკისის ფართობი 300÷5000 ჰა ფარგლებ-  
შია—საშუალოს, 5000÷60000 ჰა ფართობისას—დიდს, ხოლო 60000 ჰა-  
ზე ზევით—მსხვილ წყალსაცავებს.

მაგალითად: სამგორის წყალსაცავი „თბილისის ზღვა“ საშუალო სი-  
დიდის წყალსაცავია, რადგან მისი საკისის ფართობი 7000 ჰა-მდე  
აღწევს. რუსეთში: რიბინსკის წყალსაცავი, რომლის საკისის ფართობია  
460 ათასი ჰა, კალუსკის—100 ათასი ჰა, კუიბიშევსკის 708 ათასი ჰა—  
წარმოადგენენ მსხვილ წყალსაცავებს.

წყალსაცავში დაგროვილი წყლის აღება ხორციელდება წყალნი-  
ღები ნაგებობებით. წყალსაცავიდან წყლის აღება ხდება, რო-  
გორც თვითღინებით (უწნეო რეჟიმით), ისე დაწნევის ქვეშ (ნახ. 38).



ნახ. 38. წყალმიღები ნაგებობის სქემები:  
ა) წყალსაშვები; ბ) წყალგამომშვები მილი.

პირველ შემთხვევაში წყალმიღები ნაგებობა წარმოადგენს წყალსაწვევს.  
მეორე შემთხვევაში კი—წყალგამომშვებ მილს. ეს ნაგებობები მოწყობილია

კაშხალის ტანში, ან კაშხალის ქვეშ, ან კიდევ კაშხალიდან დაცილებით გარკვეულ ნიშნულზე. წყლის ხარჯის რეგულება სრულდება საკეტების (ფარების) საშუალებით.

წყალმიმღებ ნაგებობათა ჰიდრავლიკური გაანგარიშება წარმოებს შემდეგი ფორმულით:

წყლის გადადინებისას წყალსაშვებიდან

$$q = m_1 \cdot b h^{1/2}, \quad (3,29)$$

ხოლო ნაკადის წნეებითი გადინებისას წყალგამომშვებ მილში

$$q = m_2 a h^{1/2}, \quad (3,30)$$

სადაც  $q$  არის საანგარიშო ხარჯი;  $m_1 = \frac{2}{3} \mu \sqrt{\frac{2}{3} g}$  და  $m_2 = \mu \sqrt{2g}$

წყალსაშვებისა და წყალგამომშვები მილის ხარჯის კოეფიციენტები, რომელთა მნიშვნელობა განისაზღვრება საკეტების (ფარების) გაღების სისრულის მიხედვით;  $b$ —წყალსაშვების სიგანე;  $a$ —წყალგამომშვები მილის განიკვეთი;  $h$ —მოქმედი დაწნევა (იხ. ნახ. 38). წყალსაცავის მუშაობის ყოველ მომენტში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს  $q$  ხარჯის გატარება წყალმიმღებ ნაგებობებში, რაც სრულდება ფარების გაღების შესაბამისი მანევრირებით.

განვიხილოთ ის მომენტი, როცა წყალსაცავში წყლის დონე დაიწევს ზღვრულ ნიშნულამდე (მდინარის წყალმცირობის პერიოდში). დაუშვათ, რომ ამ მომენტში ჰესი უნდა უზრუნველყვოდ  $q$  ხარჯით, მაშინ (3,29) და (3,30) განტოლებების დასაკმაყოფილებლად საჭირო იქნება ფარების მთლიანად გაღება. მაშასადამე, ზემოდაწერილი გამოსახულებები განსაზღვრავენ ნაგებობათა ზომებისა და წყალსაცავში ზღვრული დაწვევის დონეს შორის იმ დამოკიდებულებას, რომელიც გათვალისწინებული უნდა იყოს წყალსაცავის დაპროექტებისას. თითოეული განტოლება შეიცავს ორ ცვლად სიდიდეს ( $q$  მოცემულია), ამიტომ შეუძლებელი ხდება მათი განსაზღვრა მოცემული ფორმულით, მაგრამ თუ ერთ-ერთი ცვლადი სიდიდე ჩვენს მიერ იქნება წინასწარ შერჩეული, მაშინ ამ განტოლებებით შეიძლება ვიპოვოთ მეორე ცვლადი სიდიდის ზღვრული მნიშვნელობა. მაგალითად, თუ ვიცით, წყალგამომშვების განიკვეთის ზომები, და დანიშნულია მილის განლაგების ნიშნული, მაშინ (3,30) ფორმულით განვსაზღვრავთ  $h$  დაწნევას, ე. ი. ზღვრულ დაბალ დონეს წყალსაცავში, რომლის ქვემოთაც არ შეიძლება წყლის დონის დაწევა, რასაც მოჰყვება  $q$  ხარჯის შემცირება. წყლის ის მოცულობა, რომელიც მოთავსებულია წყალსაცავში ამ დონის ქვემოთ, გამოუყენებელი რჩება; ამიტომ ამ მოცულობას წყალსაცავის გამოუყენებელი ან მკვდარი მოცუ-

ლობას (გმან  $W_{გა}$ ) უწოდებენ, ხოლო მის შესაბამის დონეს გამოთვლი-  
ნებელი მოცულობის კორიზონტს (გმპან  $H_{გპ}$ ).

წყალსაცავის გმპ-ს ზემოთ თავსდება სასარგებლო ანუ გამოსაყენებ-  
ლი მოცულობა ( $W_{სარგ}$ ), რომლის დაგროვება წარმოადგენს წყალდამ-  
კერ წყალსაცავის მიზანს. იმ კორიზონტს, რომლის დროსაც წყალსა-  
ცავში დაგროვდება სრული სასარგებლო მოცულობა, ეწოდება ნორმა-  
ლური შეტბორვის კორიზონტი ან წყალსაცავის მუშა კო-  
რიზონტი (მპ).

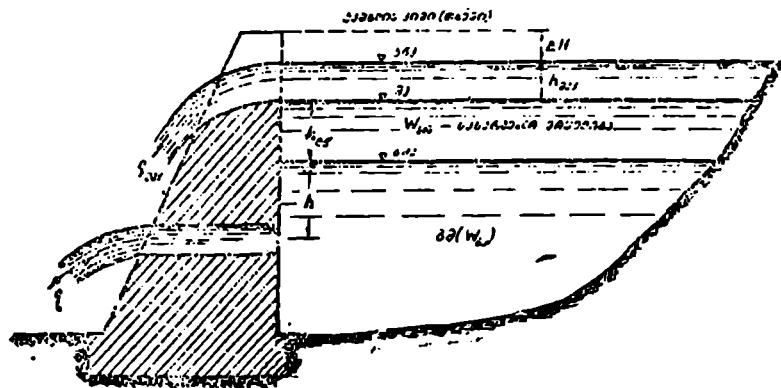
წყალსაცავის სრული ტევადობა ( $W_{სა}$ ) შეესაბამება ნორმალური შეტ-  
ბორვის კორიზონტისა (მპ) და წყალსატევის ხეობას შორის მოთავსე-  
ბულ მთლიან მოცულობას. ცხადია, რომ წყალსაცავის სასარგებლო ტე-  
ვადობა, რომელიც გამოიყენება ჩამონადენის რეგულებისათვის, ასე გა-  
მოსახება

$$W_{სარგ} = W_{სა} - W_{გა}, \quad (3.31)$$

რომელიც მოთავსებულია მპ და გმპ-ს შორის. ამ სასარგებლო მოცუ-  
ლობის გამოყენებისას ადგილი აქვს წყლის დონის დაწვევას. დონის და-  
წვევის ეს სინაულე ტოლი იქნება

$$h_{დ} = მპ - გმპ. \quad (3.32)$$

მდინარის ჩადინება წყალსაცავში წარმოებს არათანაბრად. იმ  
შემთხვევაში, როცა წყალსაცავი ავსებულია წყლით და ამ დროს  
მოსალოდნელია მდინარის ადიდება, შეიძლება მოხდეს წყალსაცავის



ნახ. 39. წყალსაცავის ძირითადი ელემენტების სქემა.

გადავსება და წყლის გადმოდინება. ამ ავარიის თავიდან ასაცილებლად  
დამატებით ეწყობა წყალგადამგდები ნაგებობები. ამ ნაგე-

აობებით შეიძლება ზედმეტი ჩამონადენის გადაგდება წყალსაცავში წყლის დონის აუწევლად, ან დონის აწევით ფრიალ შეზღუდულ ნიშნულამდე. ამ დონეს უწოდებენ კატასტროფული წყალდიდობის ჰორიზონტს (კწპ) (ნახ. 39).

წყალსაცავის კწპ-ს ზევით კაშხალის თხემამდე (ქიმამდე) დატოვებული უნდა იყოს განსაზღვრული სიდიდის  $\Delta H$  სიმაღლე, რომლის მნიშვნელობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$\Delta H = c + z, \quad (3,33)$$

სადაც  $c$  არის ქარის მიერ წარმოქმნილი ტალღის სიმაღლე;  $z$  — კონსტრუქციული სიმაღლის მარაგი, რომელიც აიღება  $0,25 \div 0,75$  მ ფარგლებში.

ტალღის სიმაღლე განისაზღვრება ე. ან დ რ ი ა ნ ო ვ ი ს ფორმულით

$$c = 0,0208 v^{3/4} L^{1/3}, \quad (3,34)$$

სადაც  $c$  ტალღის სიმაღლეა მეტრობით;  $v$  — ქარის სიჩქარე მ/წმ;  $L$  — ტალღის გარბენის სიგრძე წყალსაცავის წყლის თავისუფალ ზედაპირზე კნ-ობით.

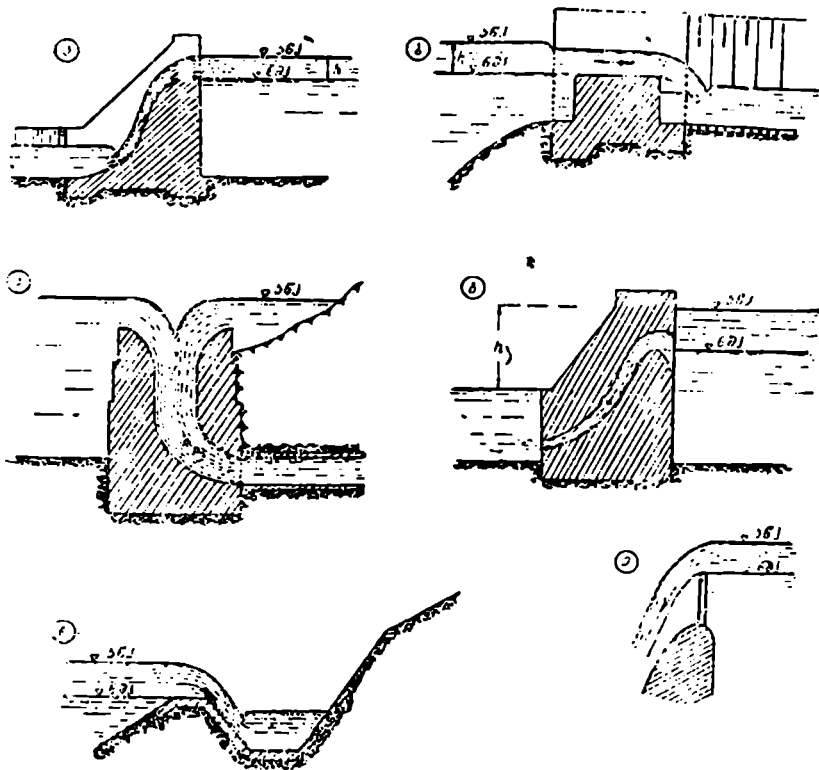
წყალგადამგდები ნაგებობები ეწყობა ორი ძირითადი ტიპის: ფსკერის წყალგამშვებები და ყრუ წყალსაშვებები. ამ ნაგებობათა დანიშნულებაა წყალსაცავიდან ზედმეტი წყლის გადაგდება და აგრეთვე პერიოდულად წყალსაცავის დაცლა, ან გარეცხვა, ე. ი. დაღეწილ მონატანების ნაწილობრივ მოშორება.

წყალგადამგდებ ნაგებობათა გაანგარიშება წარმოებს (3,29) და (3,30) ფორმულებით. ამ ნაგებობის ჰიდრავლიკური გაანგარიშების მიზანია განიცდეთის ზომების ( $\omega$ ) დადგენა, მოცემული  $h$  დაწნევისას, ან შებრუნებით: მოცემული  $\omega$  ფართობისას  $h$  დაწნევის განსაზღვრა, ე. ი. წყლის კწპ დადგენა. ჩვენ თუ მაქსიმალურად გამოვიყენებთ ნშპ-ის დაწნევას. შევიძლია შევარჩიოთ ისეთი  $\omega$  ფართობი, რომელიც უზრუნველყოფს  $\omega_{\text{კწპ}}$  გატარებას წყალსაცავში წყლის დონის აუწევლად.

ფსკერის წყალგამშვებები წარმოადგენენ კაშხალის ტანში დატოვებულ ზვრეტებს საკეტებით (ფარებით), ან წყალგამომშვებ მილებს (ნახ. 38,ა) ფსკერის წყალგამომშვები ეწყობა წყალსაცავის ყველაზე დაბალ ნიშნულზე, იმიტომ, რომ შესაძლებელი იყოს წყალსაცავის დაცლა ან გარეცხვა დიდი დაწნევის ქვეშ.

ყრუ წყალსაშვებები წარმოადგენენ შედარებით გავრცელებულ წყალგადამგდებ ნაგებობას. თითქმის ყველა მსხვილი წყალსაცავები აღჭურვილია ამ ნაგებობებით. ყრუ წყალსაშვებები მრავალი კონსტრუქ-

კვისა გეხედება, მათ შორის აღსანიშნავია ყრუ წყალსაშვი კაშხლის ტანში (ნახ. 40, ა), ან ზღურბლი, რომელიც მოწყობილია წყალგადაზღვრები არხის დასაწყისში (ნახ. 40, ბ), ან კიდევ შახტური



ნახ. 40. წყალგადაზღვრები ნაგებობები:

ა—ყრუ წყალსაშვიები; ბ—ზღურბლიანი წყალსაშვიები; ვ—შახტური წყალსაშვიები;  
 ჰ—სიფონური წყალსაშვიები; დ—ტრანშეიანი წყალსაშვიები; ე—ფარეხიანი წყალსაშვიები.

წყალსაშვიები (ნახ. 40, ვ). წყალსაშვიებში წყლის დონის დასაწევად ხშირად გამოიყენებულია სიფონური წყალსაშვიები (ნახ. 40, ჰ), რომელიც ეწყობა ნაპირულზე კაშხალში ან კოტა მოშორებით. ამ ბოლო დროს წარმატებით გამოიყენება ტრანშეიანი წყალსაშვიები (ნახ. 40, დ), რომლის ზღურბლი დიდი სიგრძისაა (ხშირად რამდენიმე ათეულ მეტრს აღწევს). ზღურბლის ნიშნული შეესაბამება ნაპირულში. ამიტომ ნაპირულის დონის ნაკლები აწევა გამოიწვევს წყლის გადადინებას ზღურბლზე და არხში ჩადინებას. ზღურბლის სიგრძე დამოკიდებულია წყლის დონის აწევის

(დაშვებულ) სიმალლეზე და წყალსატევის ქვაბულის ტოპოგრაფიულ პირობებზე.

ხშირად, მიუხედავად დიდი მარაგით გაანგარიშებულ წყალგადამგდებ ნაგებობათა მოწყობისას, კატასტროფული წყალდიდობისას წყლის დონემ შეიძლება შეცრად აიწიოს. ავარიის თავიდან ასაცილებლად ან კახალი უნდა იყოს შედარებით დიდი სიმალლის, რაც ტექნიკურ-ეკონომიური თვალსაზრისით არახელსაყრელია ანდა კაშხალზე უნდა მოეწყოს ფარები (ნახ. 40.ე), რომლებიც უზრუნველყოფენ წყლის ნმპ დონეს წყალსაცავში.

აღსანიშნავია, რომ თითქმის ყველა სრულყოფილ წყალსაცავის კაშხალზე მოწყობილია როგორც წყალგადამგდები ნაგებობები, ისე წყალგამშვები ფარები. როცა ეს ფარები ღრმად ჩაქრილია კაშხალის ტანში, მაშინ კაშხალს ეწოდება დასაშლელი კაშხალი.

ამრიგად, წყალგადამგდები ნაგებობისა და წყალგამშვები ფარების გაღებით უზრუნველყოფთ კატასტროფული ხარჯის გადაგდებას ქვემო ბიეფში. ამ ნაგებობათა ერთდროული მოქმედება თავიდან გვაცილებს წყლის დონის შეცარ აწევას წყალსაცავში. პრაქტიკიდან დადგენილია, რომ ყველა წყალგადამგდებ ნაგებობათა ჩართვის შედეგად წყლის დონის აწევა ძალზე უმნიშვნელოა, ამიტომ კაშხალის სიმალლე ნმპ დონიდან აიღება საშუალოდ  $(0,8 \div 1,2 \text{ მ})$  ფარგლებში.

---

## წყალსამეურნეო გაანგარიშებები

### § 19. ზოგადი მითითებანი

ჰიდროენერგეტიკულ გაანგარიშებათა სრული ციკლის ჩასატარებლად საჭიროა შევასრულოთ რიგი გამოთვლები წყალსაცავის მახასიათებელი—მაჩვენებლების დასადგენად, როგორცაა: წყალსაცავის ტევადობის განსაზღვრა, წყალსაცავის წყლით შევსების დონის ნიშნულის შერჩევა, წყალსაცავის თავისუფალი ზედაპირის ანუ მისი საკრის ფართობის გამოთვლა, სასარგებლო ხარჯისა და წყლის დანაკარგების დადგენა. ასეთი მაჩვენებლების გამოთვლებს ეწოდება წყალსამეურნეო გაანგარიშებები.

ჰიდროსადგურის მუშაობის რეჟიმის განსაზღვრისას წყალსამეურნეო გაანგარიშებებს არა აქვთ დამოუკიდებელი მნიშვნელობა და ამ სახის გამოთვლები ექვემდებარება ჰიდროენერგეტიკულ გაანგარიშებებს. წყალსამეურნეო გაანგარიშებათა დამოუკიდებლად ჩატარება შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა არაჰიდროენერგეტიკული ხასიათის ობიექტის მუშაობის რეჟიმის განსაზღვრა. მაგალითად, საირიგაციო სისტემების, სამდინარო ტრანსპორტის, წყალმომარაგებისა და სხვა წყალსამეურნეო ობიექტების დაპროექტების შემთხვევაში.

ზოგჯერ ჰესის დაპროექტებისას, მოხერხებულობისა და შრომატევადი გამოთვლების გამარტივების მიზნით, წყალსამეურნეო გაანგარიშებები ცალკე სრულდება, ხოლო მიღებული შედეგები გამოიყენება ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებების დროს.

### § 20. წყალსაცავის მახასიათებლები

ჰიდროენერგეტიკულ ნაგებობათა დაპროექტებისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა წყალსაცავის ნუშაობის რეჟიმის შერჩევას, ე. ი. წყალსაცავის სასარგებლო (გამოსაყენებელი) ტევადობის განსაზღვრას, წყალსაცავის ოპტიმალური დონეების რეჟიმის დადგენას, გარდა ამისა, არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება წყალსაცავის ავსებასა და დაცლას; უფრო სწორად, გამოსაყენებელი მოცულობის და-



ლის დროის განსაზღვრას. ადვილი წარმოსადგენია, რომ წყალსაცავის შევსების ან დაკლის დრო დამოკიდებულია ჩამონადენის ხასიათზე, წინარის დარეგულების ხარისხზე, წყალსაცავიდან გადინებული წყლის რაოდენობასა (განსაზღვრულ დროში) და რიგ ოროპიდროგრაფიულ ფაქტორებზე.

ამრიგად, წყალსაცავის მუშაობის რეჟიმის შესარჩევად საჭიროა თითოეული პერიოდისათვის თანმიმდევრობით წყლის მოცულობის ბალანსის შედგენა. ბალანსის შემოსავალ წყაროდ ჩაითვლება ზედაპირული ჩამონადენი (ძირითადად მდინარისა), გასავალად კი წყლის სასარგებლო ხარჯვა (ხარჯი), დანაკარგები აორთქლებზე, ფილტრაციასა და უსარგებლო გადაგდებაზე. იმ შემთხვევაში, როცა წყალსაცავის ხეობის (ხევი) ზედაპირი წყალუფრონო ყამირია და კაშხალიც აღჭურვილია ფილტრაციის საწინააღმდეგო მოწყობილობებით (ეკრანი, გული, კბილი და სავ.), მაშინ ფილტრაციული დანაკარგების სიდიდე პრაქტიკულად უმნიშვნელო იქნება.

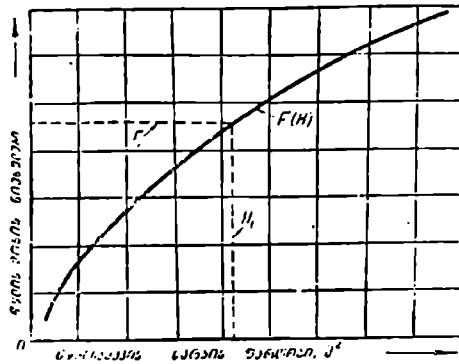
წყალსაცავის წყლის ბალანსი შეგვიძლია გამოვსახოთ ასეთი დამოკიდებულებით

$$\Delta W = V_{ჩა} - V_{გა}, \quad (4,1)$$

სადაც  $\Delta W$  არის წყალსაცავის შევსების ნაზარდი საანგარიშო დროის შუალედში;  $V_{ჩა}$  — მდინარის ჩამონადენის მოცულობა იმავე დროში;  $V_{გა}$  — წყალსაცავიდან გადენილი (გასული) წყლის მოცულობა.

დაბოლოს აღსანიშნავია, რომ წყალსაცავის წყალსამეურნეო გაანგარიშებასთან დაკავშირებით საჭიროა არა მარტო სასარგებლო და უსარგებლო ტევადობათა განსაზღვრა, არამედ წყლის მოცულობისა და სარკის ფართობის დადგენა, როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, წყლის დონის (ნიშნულის) ცვალებადობასთან დამოკიდებულებით. ასეთი დამოკიდებულების დადგენის გასაადვილებლად უნდა აიგოს წყალსაცავის გრაფიკული მახასიათებლები მრუდების სახით. გრაფიკული მახასიათებლების შესადგენად უნდა გვექონდეს წყალსაცავის აგების ფართობის ტოპოგრაფიული გეგმა იზოჰიპსებით. ამ გეგმაზე წინასწარ შეირჩევა წყალსაცავის მოწყობის ადგილი, გადაიზომება ასაგები კაშხალის ღერძი და წყლის საანგარიშო შეტბორვის ნიშნულის (მპ) ნიხედვით შემოიწერება წყლის ნორმალური შეტბორვის ფართობი ჰორიზონტალებით. წყალსაცავის სარკის ფართობი, რომელიც შემოსისაზღვრება ჰორიზონტალითა და კაშხალის ღერძით, გამოითვლება პლანიმეტრის საშუალებით. ამრიგად, თითოეული მიმდევრო ჰორიზონტალისათვის ნაპოვნი სარკის ფართობის უნიშვნელობას თუ გადავზომავთ სათანადო მასშტაბში გრაფიკზე, მივიღებთ წყალსაცავის სარკის ფართობების მრუდს

(ნახ. 41). მიღებულ მრუდს ეწოდება წყალსაცავის სარკის ფართობების მახასიათებელი.



ნახ. 41. წყალსაცავის სარკის ფართობების  $F(H)$  მახასიათებელი.

წყალსაცავის სარკის ფართობი ნებისმიერ სიღრმეზე გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

$$F = F_0 (\alpha + H)^m, \quad (4,2)$$

სადაც  $m$  და  $\alpha$  არის მუდმივი სიდიდეები, რომლებიც წყალსაცავის ფორმას ახასიათებენ;  $F_0$ —მოცემული მუშა ჰორიზონტის სარკის ფართობი.

წყალსაცავის მოცულობის მახასიათებლის (ნახ. 42), ე. ი. ტევადობის მრუდის ასაგებად საჭიროა თანმიმდევრობით განვსაზღვროთ ყოველ ორ მომდევნო ჰორიზონტალს შორის მოთავსებული წყლის ცალკეული ფენის მოცულობა

$$\Delta W = \frac{F_1 + F_2}{2} \Delta H; \quad (4,3)$$

უფრო ზუსტად

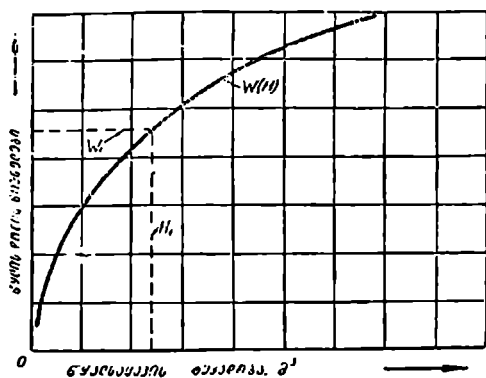
$$\Delta W = \frac{1}{3} (F_1 + \sqrt{F_1 \cdot F_2 + F_2}) \Delta H, \quad (4,4)$$

სადაც  $F_1$  და  $F_2$  მოსაზღვრე ჰორიზონტალებს შორის ფართობებია. ხოლო  $\Delta H = \Delta_1 - \Delta_2$ —ამ ჰორიზონტალებს შორის შვეული მანძილი.

42-ე ნახ-ზე მოცემულია წყალსაცავის ტევადობის მახასიათებელი—მრუდი. აღნიშნული მრუდები იძლევიან წყალსაცავის ტოპოგრაფიულ

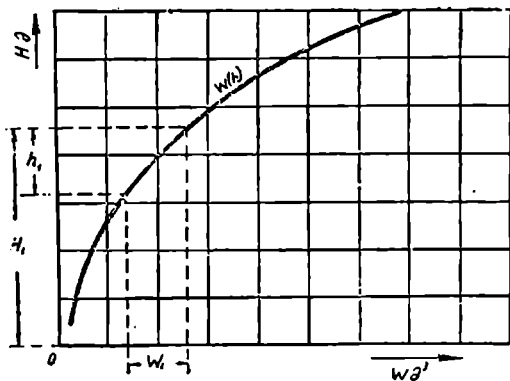
დახასიათებას, ამიტომ ამ მრუდებს ხშირად ტოპოგრაფიულ მახასიათებლებს უწოდებენ.

წყალსაცავის ტოპოგრაფიული მახასიათებლების საშუალებით შეგვიძლია ვიპოვოთ ყოველ ნებისმიერ  $H_1$  ღონის შესაბამისი წყლის თა-



ნახ. 42. წყალსაცავის მოცულობის  $W(H)$  მახასიათებელი.

ვისუფალი ზედაპირის  $F_1$  ფართობი, ამავე დროს შეგვიძლია განვსაზღვროთ ამ  $H_1$  ღონისათვის წყალსაცავის  $W_1$  ტევადობა (იხ. ნახ. 41 და 42).



ნახ. 43. წყალსაცავის ღონის დაწვევის სიღრმის შესაბამისი ტევადობის განსაზღვრისათვის.

წყალსაცავის ტევადობის მახასიათებლით შეგვიძლია აგრეთვე გადავწყვიტოთ ასეთი ამოცანაც: ვთქვათ წყალსაცავი შევსებულია  $H_1$  სიმაღლემდე, ამავე დროს მოცემულია წყლის ღონის დაწვევის  $h_1$  სი-

ღრმე და უნდა ეიპოვი: ამ დაწვევის სიღრმის შესაბამისი წყალსაცავის ნარეგულბელი II, მოცულობა. ამ ამოცანის გრაფიკული გადაწყვეტა მოცემულია 43-ე ნახაზზე.

მოცემული წყალსაცავის სარკის ფართობისა და ტევადობის მრუდებით შეგვიძლია გადავწყვიტოთ რიგი წყალსამეურნეო ამოცანები მაგალითად: ეიპოვოთ წყალსაცავის გარკვეული ტევადობისათვის, მისი შესაბამისი წყლის დონე, ან კიდევ მპ-მდე შევსებულ წყალსაცავისათვის განვსაზღვროთ წყლის დონის დაწვევის სიღრმე წყალსაცავის გამოუყენებელი დონის ნიშნულამდე და ასე შემდეგ.

მცირე სიმძლავრის ჰესების დაპროექტებისას, ხშირად წყალსაცავის დასადგენად მიმართავენ მიახლოებით ფორმულას

$$W = \frac{BHL}{k}, \quad (4,5)$$

სადაც  $B$  არის წყალსაცავის სარკის სიგანე კაშხალთან;

$H$  — კაშხალის ნორმალური შეტბორვის სიმაღლე;

$L$  — წყალსაცავის სიგრძე;

$k = 2,7 \div 3,2$  ტაპოგრაფიული კოეფიციენტი.

წყალსაცავის გამოსაყენებელი მოცულობა გამოითვლება აგრეთვე ნიახლოებითი ფორმულით

$$W_{საგ} = \frac{1}{2k} (B_1 H_1 - B_2 H_2) (L_1 + L_2), \quad (4,6)$$

სადაც  $B$  და  $H$  მპ-ს და გმპ-ის ფართობების სიგანეები და სიმაღლეებია.

წყალსამეურნეო გაანგარიშებების საფუძველზე წყალსაცავისათვის შერჩეული ადგილმდებარეობა საბოლოოდ უნდა შემოწმდეს ეკონომიური გაანგარიშებებით. ამ გაანგარიშებათა გასაადვილებლად საჭიროა აიგოს წყალსაცავის სამშენებლო ღირებულების (კაპდაბანდება) მრუდი წყალსაცავის შევსების სხვადასხვა დონისა და გამოსაყენებელი მოცულობისათვის. წყალსაცავის სამშენებლო ღირებულება, წყლის შევსების სხვადასხვა დონისას, გამოითვლება არსებული გამსხვილებული ნორმატივების ფასებისა და საესკიზო პროექტების მიხედვით.

წყალსაცავის საერთო ღირებულება შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: კაშხალისა და მასთან მოწყობილ ნაგებობათა ღირებულებისა და წყალსაცავის შეტბორვასთან დაკავშირებული ტერიტორიის ათვისების ხარჯებისაგან (მოსახლეთა გადასახლება, ყრილების მოწყობა ნაპირებისა და ფერდობების გამაგრება და სხვ.).

აღნიშნული მრუდი უნდა წარმოადგენდეს წყალსაცავის ეკონომიურ მახასიათებელს. ამ მრუდის საშუალებით შეგვიძლია

დავადგინოთ წყალსაცავის შევსების ხელსაყრელი დონე. რომელსაც შეესაბამება წყალსაცავის 1 მ<sup>3</sup> სასარგებლო (გამოსაყენებელი) მოცულობის მინიმალური ღირებულება.

## § 21. წყალსაცავიდან წყლის დანაკარგები

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, წყალსაცავიდან წარმოებს წყლის სასარგებლო ხარჯვა და უსარგებლო ხარჯის გადაგდება. გარდა ამისა, წყალსაცავის წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან ხდება წყლის აორთქლება და ადგილი აქვს წყლის გაეონეხს (ფილტრაციას) ყამირში. წყლის სასარგებლო ხარჯვა და უსარგებლო გადაგდება ხდება პერიოდულად, საკიროებისამებრ, აორთქლება და ფილტრაცია კი მუდმივად, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ აორთქლებისა და ფილტრაციის ინტენსივობა წლის სხვადასხვა პერიოდში და წყალსაცავის სხვადასხვა შევსებისას ცვალებადია. ეს დანაკარგები მაქსიმალურია სახელდობრ ზაფხულის პერიოდში, წყალსაცავის შევსებისას მუშა ჰორიზონტამდე.

ზემომოყვანილ (4,1) ფორმულაში შემავალი  $V_{\text{გე}}$  წვერი შედგება შემდეგი ჯამისაგან

$$V_{\text{გე}} = V_{\text{სრგ}} + V_{\text{უსრ}} + V_{\text{აორთ}} + V_{\text{ფილ}}, \quad (4,7)$$

აბ

$$V_{\text{სრგ}} = V_{\text{გე}} - V_{\text{ფილ}}$$

სადაც  $V_{\text{სრგ}}$  არის სასარგებლო ხარჯვა;  $V_{\text{გე}}$  — წყლის ბალანსის გასავალი ნაწილი წლის განმავლობაში, ხოლო

$$V_{\text{ფილ}} = V_{\text{უსრ}} + V_{\text{აორთ}} + V_{\text{აქტ}} - \text{დანაკარგები.}$$

წყლის სასარგებლო ხარჯვისა და უსარგებლო გადაგდების წლიური მოცულობა შეგვიძლია გამოვთვალოთ ჰესის წლიური დატვირთვის გრაფიკისა და მოცემული მდინარის ჰიდროგრაფის საშუალებით (§ 12—15). რაც შეეხება დანაკარგებს აორთქლებასა და ფილტრაციაზე, მათი მოცულობის დადგენა წარმოადგენს წყალსამეურნეო გაანგარიშებების ერთ-ერთ ამოცანას. მართალია, წყალსაცავის ბალანსისათვის გარკვეული მნიშვნელობა აქვს აორთქლებისა და ფილტრაციის დანაკარგებს, მაგრამ ეს დანაკარგები არ კარნახობენ წყალსაცავის ექსპლოატაციის პირობებს. ჰიდროდინამიკის მუშაობის რეჟიმში, ცხადია, დამყარებულია წყალსაცავის ბალანსზე, მაგრამ ექსპლოატაციის სქემა განისაზღვრება წყალსაცავის ენერგეტიკული ეფექტიანობით, სახელდობრ — წყალსაცავში წყლის მაღალი დონეების შერჩევით.

დანაკარგები აორთქლებაზე. აორთქლების ინტენსივობა წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან, რომელიც გამოისახება ჩვეულებრივ აორთქლების ფენის სისქით, დამოკიდებულია ატმოსფეროს ტემპერატურ-

რახე, ტენიანობისა და ქარის სიჩქარეზე. ამ სიდიდეთა მომატებით აორთქლების ინტენსივობა შესაბამისად იზრდება. ცდებითა და სავლე დაკვირვებებით დადგენილია, რომ წყალსაცავის სარკის ფართობისა და შეესების სიღრმის გაზრდით აორთქლება რამდენიმედ მცირდება, მაგრამ ამ მოვლენის რაოდენობრივი დამოკიდებულების დადგენა დღემდე არაა დამთავრებული.

წყალსაცავის გაანგარიშებისას აორთქლების სიდიდე განისაზღვრება ან უახლოესი ნეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების საფუძველზე, ანდა არსებული საანგარიში ფორმულით.

ხშირად აორთქლების ფენის სისქე გამოითვლება ტიხომიროვისა და მეიერის ფორმულით

$$\delta_{\Sigma} = d(15 + 3C_9), \quad (4.8)$$

ან ს. კრიცკის, მ. მენკელისა და კ. რასინსკის ფორმულით

$$\delta_{\Sigma} = 9(e_0 - e_2) \sqrt{1 + 0,15C_9}, \quad (4.9)$$

სადაც  $\delta_{\Sigma}$  არის აორთქლების ფენის სისქე თვის (30 დღე) განმავლობაში მმ-ით;

$d$ —საშუალო თვიური ტენიანობის დეფიციტი მმ-ით;

$C_9$ —ქარის სიჩქარე 9 მეტრის სიმაღლეზე (ნეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით), მ/წმ;

$e_0$ —წყლის ორთქლის დრეკადობა წყლის ზედაპირის მოცემული ტემპერატურისას;

$e_2$ —იგივეა 2 მ სიმაღლეზე წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან.

მოცემული საანგარიშო წლისათვის აორთქლების ფაქტიური დანაკარგები გამოითვლება უფრო მარტივად, თუ ვიცით აორთქლებისა და მოსული ნალექების ფენების სიდიდე იმავე დროის განმავლობაში

$$\Delta z = z - x, \quad (4.10)$$

სადაც  $\Delta z$  არის აორთქლებაზე დანაკარგების ფენის სისქე, მმ/წელი;

$z$ —აორთქლება წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან, მმ/წელი;

$x$ —მოსული ნალექების ფენის სისქე, მმ/წელი. •

მაგალითისათვის მოვიყვანოთ  $\Delta z$ -ის რიცხვითი მნიშვნელობები: გორკის რაიონისათვის საშუალოდ  $\Delta z = 100$  მმ/წელი, კუბიშვეისათვის—400 მმ/წელი, ხარკოვისა და როსტოვის ოლქებისათვის 500 მმ/წელი; საქართველოს ზღვისპირა რაიონებისათვის  $600 \div 640$  მმ/წელი, აღმოსავლეთ საქართველოსათვის კი  $1000 \div 1200$  მმ/წელი.

აორთქლებაზე გაანგარიშებებისას აგრეთვე უნდა გავითვალისწინოთ წყალსაცავის სარკის ფართობის ცვალებადობა წყლის დონის დაწევა-

აწვევასთან დაკავშირებით. ამიტომ უფრო მოსახერხებელია აორთქლებაზე დანაკარგები გამოვთვალოთ თითოეული თვისათვის, როგორც წყლის ხარჯი

$$Q_{\text{აორთ}} = \frac{\Delta z_{\text{თვ}}}{30 \cdot 86,4} \quad (4,11)$$

სადაც  $Q_{\text{აორთ}}$  არის საშუალო თვიური ხარჯი მოცემული თვისათვის, მ<sup>3</sup>/წმ;

$\Delta z_{\text{თვ}}$  — იგივე დანაკარგები ფენის სახით, მმ/თვე;

$S$  — წყალსაცავის სარკის ფართობი, კმ<sup>2</sup>.

ცხადია, რომ აორთქლებაზე დანაკარგების რაოდენობა წლის განმავლობაში ასე გამოისახება

$$W_{\text{აორთ}} = \sum_1^{12} V_{\text{თვ}} \quad (4,12)$$

სადაც  $\sum_1^{12} V_{\text{თვ}}$  საშუალო თვიური აორთქლების მოცულობათა ჯამია

წლის განმავლობაში.

აღსანიშნავია, რომ სამხრეთ (ცხელ და გვალვიან) რაიონებისათვის მოსული ნალექების რაოდენობა წყალსაცავის თავისუფალ ზედაპირზე პრაქტიკულად უმნიშვნელოა და წყლის ბალანსზე გავლენას არ ახდენს. ჩრდილოეთ რაიონებისათვის კი შებრუნებით, აქ წლიური ნალექების რაოდენობა მნიშვნელოვნად აღემატება საანგარიშო აორთქლებას. ამიტომ აორთქლების დანაკარგები შეგვიძლია უგულებელვყოთ წყალსაცავის გაანგარიშებისას. აორთქლების სიდიდე აგრეთვე იცვლება ცალკეულ წლებში. ამიტომ ისმის საკითხი, სახელდობრ აორთქლების რომელი სიდიდე მივიღოთ გაანგარიშების დროს. დადგენილია, რომ სეზონური რეგულაციისათვის უნდა ავიღოთ მაქსიმალური წლიური აორთქლება, ხოლო დეკადური და დღელამური რეგულაციისას — საშუალო წლიური აორთქლება.

დანაკარგები ფილტრაციაზე. წყლის ფილტრაცია წყალსაცავიდან შესაძლებელია კაშხალის ტანიდან, მის ფუძიდან, კაშხალის ტანის მდინარის ნაპირებთან შეუღლების ადგილებიდან და რაც მთავარია, ფილტრაცია წყალსაცავის ხეობის იმ ყაშირში, რომელსაც დაგროვილი წყალი ეხება.

კაშხალებისა და მასზე მოწყობილ ნაგებობათა დაპროექტების, მშენებლობის თანამედროვე ხერხებისა და ფილტრაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებათა გამოყენებით (დიდი სიგრძის პონურების (საყვინთი) მოწყობა, ეკრანი, ცემენტაცია და სხვ.) მიღწეულია ფილტრაციის დანაკარგების მნიშვნელოვანი შემცირება კაშხალის ტანიდან და მისი ფუ-

ძიდან. ამიტომ ამ სახის დანაკარგები მეტწილ შემთხვევაში გაანგარიშებისას მბედველობაში არ მიიღება.

ფილტრაციული დანაკარგები წყალსაცავის ხეობიდან (ყამირში გაეონვა) ძნელი გამოსათვლელია. არსებობს რიგი ემპირიული ფორმულა და ხერხი, რომელთა მეშვეობით შეგვიძლია დაახლოებით გამოვთვალოთ დანაკარგები ფილტრაციაზე წლის განმავლობაში, მაგალითად: ლ. კუსკოვი იძლევა ასეთი სახის ფორმულას

$$V_{ფრ} = 2,5k.S.H, \quad (4,13)$$

სადაც  $V_{ფრ}$  არის ფილტრაციის დანაკარგები წყალსაცავიდან ყამირში (მილიონ მ<sup>3</sup> წელიწადში);

$k$ —ყამირის ფილტრაციის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ყამირის ვითარებაზე. მაგალითად: მსხვილ მარცვლიანი ქვიშნარი ყამირისათვის  $k=26$  მ/დღ, წვრილმარცვლიანისათვის კი 6,05 მ/დღ, თიხნარისათვის — 0,04 მ/დღ, თიხაყამირისათვის  $k=0.01$  მ/დღ;

$S$ —წყალსაცავის სარკის ფართობი;

$H$ —წყალსაცავის საშუალო სიღრმე, რომელიც გამოითვლება (3,2) ფორმულით.

საველე დაკვირვებებით დადგენილია, რომ მეტწილ მსხვილ და საშუალო წყალსაცავების წლიური დანაკარგები ფილტრაციაზე არ აღემატება ზედაპირული ჩამონადენის 1—2%-ს, ხოლო პატარა წყალსაცავებისათვის — 0,5%.

ფილტრაციული დანაკარგების მიახლოებითი გამოთვლისათვის მიღებული ნორმატივები (გამოსახული პროცენტობით), პოტაპოვისა და ოგიეესკის მიხედვით, შემდეგია:

1) კარგი ჰიდროლოგიური პირობებისათვის (წყალუფონო ჯიშები და სხვ.) ფილტრაციული დანაკარგები შეადგენს წყალსაცავის მოცულობის 5÷10%-ს წელიწადში, ან 0,5÷1%-ს თვეში;

2) საშუალო პირობებისათვის — 10÷20% — წელიწადში, ან 1÷1,5% — თვეში;

3) ცუდი ჰიდროგეოლოგიური პირობებისათვის კი 20÷40%—მდე წელიწადში, ან 1,5÷3% — თვეში.

მიღებულ ფილტრაციულ დანაკარგებს (გამოსახულს მ<sup>3</sup>-ით) თუ გადავიყვანთ ფენებში წყალსაცავის სარკის ფართობზე, გვექნება:

1) კარგი ჰიდროგეოლოგიური პირობებისათვის 0,5 მ წელიწადში,

2) საშუალო პირობებისათვის 0,5÷1 მ „

3) ცუდი პირობებისათვის 1—2 მ „

ფილტრაციული დანაკარგები გამოითვლება წყლის დონის საშუალო მდებარეობისა და ერთი თვისათვის. ამრიგად მიღებული საშუალო



თვიური დანაკარგები გამოსახული წყლის ფენით, ან პროცენტობით წყალსაცავის მოცულობიდან, მიიღება მუდმივად მთელი წლის ყველა თვისათვის (წლიური დანაკარგების დასადგენად). ფილტრაციული დანაკარგების სიდიდზე მნიშვნელოვანია წყალსაცავის ექსპლოატაციის პირველ წლებში, შემდეგში კი ფილტრაციის ინტენსივობა კლებულობს ხეობის ყამირისა და მიწის კაშხალის ტანის კალმატაციის შედეგად.

## § 22. წყალსაცავის მოშრობის ვადის განაზღვრება

მდინარის ხეობაზე მოწყობილ წყალსაცავით ნაკადის მოძრაობის პირობები მკვეთრად იცვლება, რადგან შეტბორვის გავრცელების ზონაში, წყლის მასის მოძრაობა არათანაბარი რეჟიმით ხდება, ნაკადის საშუალო სიჩქარე თანდათან მცირდება და კაშხალთან ახლოს ნულს უახლოვდება. სამაგიეროდ შეტბორვის სიღრმეები შესაბამისად იზრდება.

წყალსაცავში მოხვედრილი ფსკერული და შეწონილი მონატანები ილექება შეტბორილი ხეობის ფსკერზე, ამასთან ადგილი აქვს მონატანების დახარისხებას ფრაქციების (სიმსხოს) მიხედვით. მაგალითად, წყალსაცავის ფარგლებში მონატანები დაახლოებით ასეთნაირად ნაწილდება: წყალსაცავის საწყის ნაწილში—მსხვილი ფრაქციის მონატანები (ლორღი, ხრეში და სხვ.), შუა ნაწილში—ქვიშა, ხოლო უფრო ქვევით შეწონილი მონატანები (სილა, თიხა). ამრიგად, წყალსაცავის მოცულობა დროთა განმავლობაში თანდათანობით ამოივსება დალექილი მონატანებით და შეიძლება საესებით დაკარგოს ჩამონადენის სარეგულაციო ტევადობა. მაგალითად: მდინარე მტკვრისა და არაგვის შესართავთან განლაგებული ზაჭესის წყალსაცავის საერთო ტევადობა იყო  $12 \cdot 10^6$  მ<sup>3</sup>, რომელიც საესებით აკმაყოფილებდა დღელამურ რეგულებას. წყალსაცავის შეტბორვის გავრცელების ზონა მტკვრის ხეობაში აღწევდა 7,5 კმ, არაგვისაში კი 2,5 კმ. ამჟამად წყალსაცავის ეს მოცულობა ამოვსებულია მონატანებით და წყალსაცავი უკვე აღარ ასრულებს თავის დანიშნულებას. ამასთან წყალსაცავის ფარგლებში ფაქტიურად შეწყვეტილია მონატანთა მასიური დალექვის პროცესები.

აღსანიშნავია აგრეთვე მთის მდინარეზე მოწყობილი ძორაჰესის წყალსაცავის მონატანის ამოვსების მიმდინარეობა. მაგალითად, წყალსაცავის ტევადობა, მისი გაშვების პერიოდში თუ შეადგენდა  $0,27 \cdot 10^6$  მ<sup>3</sup>, სამი წლის შემდეგ ეს ტევადობა შემცირდა  $65\%$ -ით.

წყალსაცავში დალექილი მონატანების რაოდენობა და განაწილების ხასიათი განისაზღვრება წყალსაცავის სიგრძითა და მისი კონფიგურაციით, წყლის შეტბორვის სიმაღლით, მდინარის მყარი ჩამონადენითა და მონატანების სიმსხოთი, დაბოლოს წყალსაცავის გამდინარეობით.

როგორც ვხედავთ, მონატანთა რაოდენობრივი შეფასება, ან კიდევ წყალსაცავის გარკვეული მოცულობის ამოვების დროის განსაზღვრა, რომელიც დამოკიდებულია რიგ ჰიდროლოგიურ, ტოპოგრაფიულ, ჰიდრაულიკურ და ეროზიულ პირობებზე, წარმოადგენს რთულ გადასაწყვეტ ამოცანას.

წყალსაცავის მუშაობის სანგარიშო ვადის განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ წყალსაცავის მონატანებით ამოვების გაანგარიშება. შემოვიღოთ წყალსაცავის მონატანებით ამოვების ინტენსივობის ცნება, რომელიც გ. შამოვის მიხედვით წარმოადგენს მონატანებით ამოვების ინტენსივობის მაჩვენებელს. ეს ინტენსივობა შეგვიძლია მივიღოთ წყალსაცავის მოცულობის შეფარდებით  $V_{\text{მოვ}(g)}$  წლიური მყარი ჩამონადენის რაოდენობასთან ( $მ^3$ -ით). მთელ რიგ წყალსაცავების გამოკვლევათა საფუძველზე დადგინილია, რომ ერთი წლის განმავლობაში დაღეკლ მონატანთა რაოდენობა  $V_{\text{მოვ}(g)}$  გამოსახული პროცენტობით წყალსაცავის მოცულობიდან, დაახლოებით ასეთნაირად გამოისახება (იხ. ცხრილი 21).

ცხრილი 21

$\frac{W}{V_{\text{მოვ}(0)}}$	წლიური დაღეკვა $\frac{V_{\text{მოვ}(0)}}{W}$	$\frac{W}{V_{\text{მოვ}(g)}}$	წლიური დაღეკვა $\frac{V_{\text{მოვ}(g)}}{W}$
1000—200	0,5	20,0—10,0	5,0—10,0
200—100	0,5—1,0	10,0—5,0	10,0—20,0
100—50	1,0—2,0	5,0—1,0	20,0—10,0
50—20	2,0—5,0	—	—

წყალსაცავის მუშაობის ვადა (ხანგრძლიობა) ეწოდება წელთა იმ რაოდენობას, რომლის დროსაც წყალსაცავის გამოუყენებელი (მკედარი) მოცულობა ამოივსება მონატანებით. თუ  $W_{\text{გა}}$  იქნება წყალსაცავის გამოუყენებელი მოცულობა, მაშინ წყალსაცავის მუშაობის ვადა განისაზღვრება ასეთი პირობიდან

$$W_{\text{გა}} = V_{\text{მოვ}(0)} T,$$

საიდანაც

$$T = \frac{W_{\text{გა}}}{V_{\text{მოვ}(0)}}. \quad (4,14)$$

აქ  $T$  არის წყალსაცავის მუშაობის ვადა (წლებით);  $V_{\text{მოვ}(0)}$ —წლიური მყარი ჩამონადენის რაოდენობა ( $მ^3$ );  $V_{\text{მოვ}(0)}$  განისაზღვრება მდინარის მყარ ხარჯზე ჰიდრომეტრიულ დაკვირვებათა საფუძველზე, ანდა ნიახლოებითი სანგარიშო ფორმულებით.

## § 23. წყალსაცავის გმ და გმპ განსაზღვრა

წყალსაცავის გამოუყენებელი მოცულობა (გმ) არაერთარ მონაწილეობას არ ღებულობს ჩამონადენის რეგულებაში, მაგრამ მისი სიდიდის დადგენას არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება წყალსამეურნეო გაანგარიშებისას. როგორც ვიცით, გამოუყენებელი მოცულობის განსაზღვრისათვის საჭიროა დაენიშნოს მისი ჰორიზონტის (გმპ) ნიშნული, რომელიც დამოკიდებული იქნება რიგ მოსაზრებებზე. მაგალითად, როცა ექსპლოატაციის პირობების მიხედვით, შეუძლებელია წყალსაცავის პერიოდული გარეცხვა (სრული სეზონური რეგულაციისას და სხვ.), მაშინ წყალსაცავის მუშაობის ვადის გადიდების ერთ-ერთ საშუალებას წარმოადგენს ამ გამოუყენებელი მოცულობის გაზრდა იმ ზომამდე, რომელიც უზრუნველყოფს მონატანების აკუმულაციას წყალსაცავში გარკვეული (საანგარიშო) დროის განმავლობაში. ცხადია, გამოუყენებელი მოცულობის გაზრდა გამოიწვევს გმპ ნიშნულის აწევას, რაც არაბელსაყრელია ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობისათვის. როდესაც ჰესი მუშაობს წყალსაცავის შექმნილ დაწნევაზე, მაშინ გმპ განსაზღვრავს სადგურის მინიმალურ დაწნევას. რაც უფრო მაღალი იქნება გმპ ნიშნული, მით მეტი სიმძლავრის იქნება ჰიდროსადგური. მაგრამ თუ შეუძლებელია წყალსაცავის მუშა ჰორიზონტის მპ აწევა არაბელსაყრელი გეოლოგიური და სხვა პირობების გამო, მაშინ გმპ აწევა გამოიწვევს გამოსაყენებელი (სასარგებლო) მოცულობის შემცირებას; მაშასადამე, წყალსაცავის რეგულაციის შესაძლებლობის შემცირებას. ამრიგად, გმპ-ს დანიშვნა უნდა ემყარებოდეს ჰიდროენერგეტიკულ ეფექტიანობასა და ტექნიკურ-ეკონომიურ მაჩვენებლებს (იხ. ქვემოთ).

---

## ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებანი

### § 24. ზოგადი ცნებანი

ჰიდროენერგეტიკულ გაანგარიშებათა ციკლი შეიცავს ყველა იმ გამოთვლას, რომელიც საჭიროა დასაპროექტებელი<sup>1</sup> ჰესის სიმძლავრის განსაზღვრისათვის, მისი მუშაობის რეჟიზიაა და გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობის უზრუნველყოფილობის დასადგენად.

როგორც ვიცით, ჰესის სიმძლავრე განისაზღვრება (2,8) ფორმულით

$$N_{\text{ჰეს}} = 9,81 Q H \eta_{\text{ჰეს}}$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ჰიდროდანადგარების სიმძლავრის გამოსათვლელად წინასწარ უნდა იყოს დადგენილი ჰესის საანგარიშო ხარჯი, დაწნევა და მარგი ქმედების კოეფიციენტი. მაგრამ მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენის ცვალებადობის გამო, ჰესის სიმძლავრე ვერ ინარჩუნებს მუდმივ სიდიდეს. აქედან გამომდინარე, არ უნდა შევიზღუდოთ ჰესის მხოლოდ ერთი სიმძლავრის მნიშვნელობის განსაზღვრით, არამედ საჭიროა ჰესის სიმძლავრის რეჟიმის, ე. ი. სიმძლავრის ცვალებადობის დადგენა გარკვეული დროის განმავლობაში.

აღნიშნული პირველადი მონაცემები შეგვიძლია დავყოთ სამ თანრიგად: პირველ თანრიგს მიეკუთვნება მდინარისა და მისი ხეობის ჰიდროლოგიური და ტოპოგრაფიული მასალები (იხ. ზემოთ). მეორე თანრიგს კი მონაცემები ენერჯის მოხმარების შესახებ (§ 13). ამ მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრება ჰესის სიმძლავრე და გამომუშავებული ენერჯის უზრუნველყოფილობა. დაბოლოს, მესამე თანრიგის მონაცემები წარმოადგენენ ჰიდროენერგეტიკული კვანძის, მისი სრული სქემისა და ცალკეული ნაგებობის მახასიათებლებს. ეს მახასიათებლები არ იძლევიან ჰიდროენერგეტიკული სქემის საბოლოო გადაწყვეტას, რადგან მათი შედგენისას ძირითადად გათვალისწინებულია გამოსაყენებელი უბნის მხოლოდ ბუნებრივი პირობები, ამიტომ დაზუსტებას მოითხოვენ სათანადო

<sup>1</sup> ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებები აგრეთვე ტარდება არსებული ჰესების ტექნიკური ექსპლუატაციის გუმის შედგენისას.

ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებებითა და სხვადასხვა ვარიანტის ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე. დაბოლოს, ჰესის ეკონომიური ეფექტიანობის განსაზღვრისათვის უნდა ვიცოდეთ ის ძირითადი სიდიდეები, რომლებზედაც დამოკიდებულია მისი მუშაობის ეკონომიურობა, სახელდობრ: ჰესის და დამატებითი სიმძლავრე, ენერჯის წლიური გამომუშავება, ჰიდროკვანძის ნაგებობათა სრული სამშენებლო ღირებულება და სადგურის საექსპლოატაციო დანახარჯები.

ჰესის დადგმული სიმძლავრე ეწოდება მისი ყველა აგრეგატის ნომინალური სიმძლავრეების ჯამს. ამასთან თითოეული აგრეგატის სიმძლავრე განისაზღვრება გენერატორების მიხედვით. დადგმული სიმძლავრე წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს მოცემული ჰესისათვის. ცხადია, რომ ჰესის სრული სიმძლავრე მდინარის ჩამონადენის მიხედვით შეზღუდულია დადგმული სიმძლავრით. ამ ორ სიმძლავრეთა შეფარდება სხვადასხვა ჰესისათვის იცვლება დროის მიხედვით არაერთნაირად. პრაქტიკაში ვხვდებით ისეთ ჰესებს, რომელთათვისაც სრული სიმძლავრე ყოველთვის ტოლია დადგმული სიმძლავრის; ან ისეთ ჰესებსაც, სადაც სრული სიმძლავრე გარკვეული დროის პერიოდში რაზდენიმედ მცირდება დადგმულ სიმძლავრესთან შედარებით. დაბოლოს, არის ისეთი ჰესებიც, რომლების სრული სიმძლავრე არასოდეს არ აღწევს აგრეგატების შეჯამებულ დადგმულ სიმძლავრის ოდენობას. აღნიშნული გარემოებანი აიხსნება იმით, რომ ჰესის ძირითადი პარამეტრები—ხარჯი და დაწნევა იცვლებიან როგორც დროსთან დამოკიდებულებით, ისე არათანაბარი დატვირთვისა და მიღებული რეგულაციების რეჟიმის მიხედვით.

ჰესის მუშაობაში არის ისეთი პერიოდები, როცა მას არ შეუძლია განაეითაროს თავისი სრული სიმძლავრე. ამისი მიზეზია მაგალითად: წყლის ნაკლებობა, ან დაწნევის შემცირება, რომელიც გამოწვეულია წყალდიდობის პერიოდში ქვემო ბიფეში წყლის დონის აწევით, ანდა ზემო ბიფეში დონის მკვეთრი დაწევით წყალსაცავის დაცლის შედეგად. მაშასადამე, საჭიროა წინასწარ შევარჩიოთ ჰესის მუშაობის ისეთი რეჟიმი, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემას ენერჯის განსაზღვრული რაოდენობით, რომლის ქვემოთ ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერჯია არასოდეს არ დეარდება. მუშაობის ასეთ რეჟიმს ხშირად უწოდებენ ჰესის მუშაობის უზრუნველყოფილობას.

როცა ჰესს აქვს წყალსაცავი, რომლითაც ვარეგულებთ მდინარის ჩამონადენს, მაშინ ჰიდროსადგურის სიმძლავრე განისაზღვრება მიღებული რეგულაციების რეჟიმის მიხედვით. უნდა ითქვას, რომ წყალსაცავიანი ჰიდროსადგურისათვის უნდა შეირჩეს რეგულაციების ისეთი რეჟიმი, რომელიც მოგვცემს მეტ ენერგეტიკულ ეფექტს. ამრიგად, ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშება მოითხოვს იმ ელემენტების განსაზღვრას, რომ-

ლებზედაც დამოკიდებულია ჰესის სიმძლავრე. ცხადია, იირითად ელემენტებად ჩაითვლება ხარჯი და დაწნევა. რაც შეეხება 715 კოეფიციენტს, მისი სიდიდე გამოითვლება წყალგამყვან ნაგებობათა სახეობის, ტურბინისა და გენერატორის ტიპისა და მარკის მიხედვით.

მსხვილი ჰიდროსადგურების დაპროექტებისას ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებების ძირითად მიზანს შეადგენს ენერგეტიკულ პარამეტრებს, წყალსაცავის მახასიათებლებსა და ჰიდროდინამიკის სიმძლავრეს შორის დამოკიდებულებათა დადგენა. ეს დამოკიდებულებები წარმოადგენენ იმ დასაყრდენ პირველად მასალას, რომელიც საჭიროა ეკონომიკური ანალიზისათვის საპროექტო ამოცანის გადასაწყვეტად და ჰესის ძირითადი პარამეტრების საბოლოო შერჩევისათვის.

## § 25. ჰიდროსადგურის მუშაობის უზრუნველყოფა

როგორც აღენიშნეთ, მდინარეების ჰიდროლოგიური რეჟიმის თავისებურებით გამოწვეული შიგაწლიური ჩამონადენის არათანაბარი განაწილება ვერ უზრუნველყოფს ჰესის საანგარიშო სიმძლავრეზე მუშაობას რომელიღაც ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში, ე. ი. ადგილი აქვს სიმძლავრის რყევებს, წყვეტილობას. ჰესის მუშაობის ასეთი წყვეტილობის სრულიად აცილება შეუძლებელია მაშინაც კი, როცა ჰიდროსადგურს აქვს დიდი მოცულობის წყალსაცავი. ამიტომ საჭიროა, დავადგინოთ ჰესის მუშაობის უზრუნველყოფილობა, რათა მივიღოთ გარანტირებული, წლის ყოველ პერიოდში. გარკვეული ოდენობის სიმძლავრე და ენერჯის გამომუშავება.

დასაპროექტებელი ჰესის სიმძლავრის საანგარიშო უზრუნველყოფილობის განსაზღვრა წარმოადგენს რთულ ამოცანას იმის გამო, რომ ჰესის ყველა ძირითადი პარამეტრი, რომლებიც დამოკიდებულია შესარჩევ საანგარიშო უზრუნველყოფილობაზე, დაპროექტების სტადიაში ჯერ კიდევ არაა ცნობილი. აქაც, სიმძლავრის უზრუნველყოფილობის ყველა შესაძლებელი მნიშვნელობიდან უნდა მივიღოთ ის, რომელიც იძლევა მეტ ენერგეტიკულ და ეკონომიურ ეფექტს. მიუხედავად იმისა, რომ ჰესის დაპროექტებისას საანგარიშო უზრუნველყოფილობის დადგენას დიდი მნიშვნელობა აქვს, დღემდე არაა შემუშავებული კონკრეტული ზეთოდი და მითითებანი და ამ ამოცანის გადაწყვეტისას მიმართავენ ზოგად მოსაზრებებს. მეტწილ შემთხვევებში სიმძლავრის საანგარიშო უზრუნველყოფილობის სიდიდე მიიღება უკვე დადგენილი ტრადიციის მიხედვით. ჩვეულებრივ, საშუალო და მსხვილი ჰესებისათვის საანგარიშო უზრუნველყოფილობის მნიშვნელობა აიღება ჰიდროდინამიკის სრული სიმძლავრის  $85 \div 95\%$ . როგორც ვხედავთ, სიმძლავრის საანგარიშო უზრუნველყოფილობა დამოკიდებულია წყალსაცავის ძირითად პარამეტრებზე: ნორმალური დონის შეტბორვის (მშ) ნიშნულსა და გამოსაყენე-

ბელ ტევადობაზე ( $W_{სგ}$ ). ამ პარამეტრების შეცვლასთან ერთად იცვლება აგრეთვე წყლის დონის დაწევის სიღრმეც. ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ ზოგად მოსახრებებს აღნიშნულ პარამეტრების საანგარიშო მნიშვნელობების შერჩევის შესახებ.

## § 26. შეტბორვის ნიშნულის შემჩვევა

ნორმალური შეტბორვის ჰორიზონტი (მპ) ეწოდება წყლის იმ ზღვრულ დონეს ზემო ბიეფში, რომელიც მყარდება ჰესის ნორმალური მუშაობის დროს. ამიტომ მპ ნიშნულის დადგენა წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად ელემენტს. მპ ნიშნულის შერჩევა ხდება რიგი ვარიანტების შედარების საფუძველზე, ის ვარიანტი ჩაითვლება მიღებულად, რომელიც მოგვეცემს კაპიტალურ დაბანდებათა და სხვა დანახარჯების მინიმალურ სიდიდეს, ამავე დროს მეტ ენერგეტიკულ ეფექტს. აპრიგად, მპ შერჩევისათვის საჭიროა წინასწარ დაეუშვათ ჰესის სიმძლავრისა და წყალსაცავის დონის დაწევის განსახილველი მნიშვნელობები, რომლებიც აიღება ჰესის დადგმული სიმძლავრისა და მისი დატვირთვის გრაფიკის შესაბამისად; ამის შემდეგ პირობით შერჩეულ მუშა ჰორიზონტებისათვის უნდა ჩაეტაროთ ტექნიკურ-ეკონომიური გამოთვლები და მიღებული მაჩვენებლების მიხედვით შეგვიძლია დავადგინოთ ის საანგარიშო მპ ნიშნული, რომელიც აკმაყოფილებს როგორც ეკონომიკურ, ისე ენერგეტიკულ მოთხოვნას.

როცა ჰესი მუშაობს ყოველგვარი რეგულების გარეშე, მაშინ მისი მპ ნიშნული უცვლელია, ეს მუშა ჰორიზონტი ყოველთვის უზრუნველყოფილია წყალმომლბთან მოწყობილი კაშხალით. მაგრამ წყალსაცავიანი ჰესის მუშაობისას, როცა შერჩეულია რეგულების გარკვეული რეჟიმი (მაგალითად დღელამური), მპ ნიშნული იცვლება როგორც დღელამეში, ისე გარკვეული პერიოდის განმავლობაში. ცხადია, ჰესის მუშაობის რომელიღაც პერიოდში წყლის შეტბორვის მაქსიმალურმა ჰორიზონტმა უნდა მიაღწიოს საანგარიშო (შერჩეულ) მპ ნიშნულს, სწორედ ამ მომენტში ჰესი ავითარებს თავის სრულ (მაქსიმალურ) სიმძლავრეს, ე. ი. ამ პერიოდში ჩართულია ჰესის ყველა აგრეგატი. მაგრამ, როცა წყალსაცავში დაგროვილი წყლის მარაგი ნაწილობრივ დაიხარჯება და წყლის მპ დაიწევს გარკვეულ ნიშნულამდე, მაშინ ყველა ეს ჩართული აგრეგატი ვეღარ მოგვეცემს სრულ სიმძლავრეს დაწნევისა და წყლის ხარჯის ნაწილობრივად შემცირების გამო. ამიტომ ამ მომენტში საჭირო ხდება რომელიმე აგრეგატის გამორთვა, რათა ჩართული აგრეგატებისათვის უზრუნველყოთ დროის გარკვეულ შუალედში სტაბილური დაწნევა და წყლის ბარჯი.

როცა მოცემულია ჰესის დატვირთვის გრაფიკი, აგრეთვე მოცემულად ჩაითვლება თითოეული აგრეგატის მუშაობის ხანგრძლიობა. ამიტომ ამ დატვირთვის გრაფიკის შესაბამისად შეგვიძლია ჩავერთოთ და გამოვერთოთ აგრეგატები წყალსაცავში წყლის დონის აწვევ-დაწვევასთან დამოკიდებულებით იმ ანგარიშით, რომ თითოეულმა ჰიდროტურბინმა იმუშაოს სრული დატვირთვით და მოგვეცეს მაღალი წარგი ქმედების კოეფიციენტი.

მკნიშნული აგრეთვე კარნახობს კაშხალის სიმაღლეს. ამ ნიშნულთ-ვე განისაზღვრება ჰესის საანგარიშო დაწნევა, წყალსაცავის სარეგულაციო ტევადობა, ჰიდროდინამიკის საანგარიშო ხარჯი, სიმძლავრე და გამოიმუშავებული ენერჯის რაოდენობა.

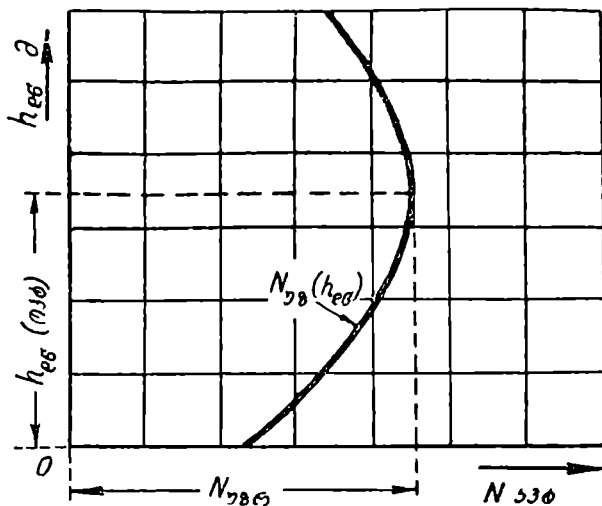
## § 27. წყალსაცავის დონის დაწვევის სიღრმის შერჩევა

წყალსაცავის დონის დაწვევის სიღრმის ( $H_{\text{дн}}$ ) გაზრდით შესაბამისად იზრდება მისი გამოსაყენებელი ტევადობა ( $V_{\text{საგ}}$ ), და მაშასადამე დარეგულებული ხარჯიც, სამაგიეროდ მცირდება დაწნევა. წყლის დონის დაწვევის ხელსაყრელი სიღრმის შერჩევის ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს წყალსაცავის გეომეტრიული ფორმა, გარდა ამისა, რეგულაციის რეჟიმიც. ყველაზე ზოგადი ხერხი, რომელიც გამოიყენება წყლის დონის დაწვევის ეფექტური სიღრმის დასადგენად, მეტად მარტივია. ჩვენ თუ მივიღებთ დაცლის ზღვრული სიღრმეების რამდენიმე მნიშვნელობას, ამასთან ერთად გამოვთვლით წყალსაცავის სასარგებლო ტევადობის შესაბამის მნიშვნელობებსაც (§ 20) და თითოეული ამ ვარიანტისათვის ვიპოვით ჰესის მიერ გამოიმუშავებული ენერჯის რაოდენობას (§ 28) და უზრუნველყოფილ საშუალო დღეღამურ სიმძლავრეს რეგულაციის მოცემული პერიოდისათვის, შეგვიძლია შევარჩიოთ დონის დაწვევის ოპტიმალური სიღრმე [ $H_{\text{დн(ობ)}}$ ]. აღწერილი გაანგარიშებების მსვლელობა შეგვიძლია გამოვსახოთ გრაფიკულად (ნახ. 44), ე. ი. უზრუნველყოფილი სიმძლავრისა და წყლის დონის დაწვევის ზღვრული ნიშნულის დამოკიდებულების მრუდით, რომელიც ხასიათდება მაქსიმუმით.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, სწორედ წყლის დონის დაწვევის ის ზღვრული ნიშნული, რომელსაც შეესაბამება უზრუნველყოფილი სიმძლავრის მაქსიმუმი, წარმოადგენს დონის დაწვევის ხელსაყრელი სიღრმის ნიშნულს, ანუ დაწვევის ოპტიმალურ სიღრმეს.

მცირე სიმძლავრის ჰესებისათვის წყალსაცავის დონის დაწვევის სიღრმე არ აღემატება ჰესის სრული დაწნევის  $10 \div 15 \%$ .





ნახ. 44. წყალსაცავის დონის დაწვევის სიღრმისა და ჰესის უზრუნველყოფილი სიმძლავრის დამოკიდებულების გრაფიკი.

### § 28. დღელამური და სეზონური რეგულაცია

დღელამური რეგულაცია. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ (§ 17), დღელამური რეგულაციის ძირითად ამოცანას შეადგენს ჰიდროდინამიკისათვის საანგარიშო ხარჯის მიწოდების უზრუნველყოფა დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით დღელამის განმავლობაში. ამ ამოცანის გადაწყვეტა შიშველი ჩამონადენისა და წყლის მოხმარების ბალანსის დადგენასა და დღელამური სარეგულაციო ტევადობის განსაზღვრას.

წყლის ხარჯი მოცემული დატვირთვისათვის აღებული რომელიმე ნებისმიერ დროის შუალედში (დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით) გამოთვლება (2,8) ფორმულიდან

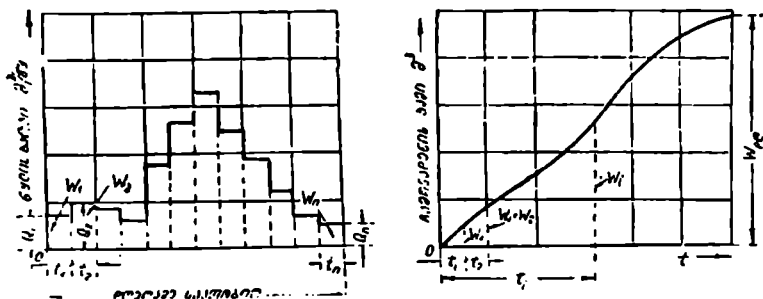
$$Q = \frac{P}{9,81 H_{\text{სეგ}}}$$

სადაც  $Q$  არის ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ;

$P$  — დატვირთვა კვტ-ობით მოცემული დროის შუალედში.

მოცემული ფორმულით შეგვიძლია გამოვთვალოთ თითოეული  $t_1, t_2, \dots, t_n$  ინტერვალისათვის ჰესისათვის საჭირო  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  ხარჯები და ავაგოთ გრაფიკი (ნახ. 45), რომელიც მოგვცემს გრაფიკულ სურათს წყლის საანგარიშო ხარჯის დღელამური განაწილების შესახებ.

ანის შემდეგ, თითოეული  $t_1, t_2, \dots, t_n$  ინტერვალისათვის შეგვიძლია ვიპოვოთ შესაბამისი  $W_1 = Q_1 t_1, W_2 = Q_2 t_2, \dots, W_n = Q_n t_n$  წყლის მოცულობები, აგრეთვე  $t_1, (t_1 + t_2), \dots, (t_1 + t_2 + \dots + t_n)$  დროის შუალედებისათვის გამოვთვალოთ  $W_1, (W_1 + W_2), \dots, (W_1 + W_2 + \dots + W_n)$  თანმიმდევრობით შეჯამებული მოცულობები. ამ სიდიდეთა გრაფიკული გამოსახვა დროსთან დამოკიდებულებით მოგვცემს შეჯამებულ ანუ ინტეგრალურ მრუდს (ნახ. 45). როგორც გრაფიკიდან ჩანს, შეჯამე-



ნახ. 45. ხარჯის დღელამური განაწილების გრაფიკი და შეჯამებული მრუდი.

ბული მრუდის მაქსიმალური ორდინატა შეესაბამება დღელამური დატვირთვის შესაბამის  $W_{\text{დ}}$  მოცულობას.

შეჯამებული მრუდის საშუალებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ მოცემული დროის მომენტში საჭირო წყლის ხარჯი, ე. ი.

$$Q_i = \frac{W_i}{t_i}, \quad (5.1)$$

სადაც  $Q_i$  წყლის ხარჯია მ<sup>3</sup>/წმ;  $t_i$  დროისათვის ანალოგიური გრაფიკები შეგვიძლია ავაგოთ მდინარის ჩამონადენისათვის. ამ გრაფიკებით აგრეთვე შეგვიძლია ვიპოვოთ წყლის ხარჯი და ჩამონადენის მოცულობა (რაოდენობა) განსაზღვრული დროის განმავლობაში.

(2,8) ფორმულიდან განსაზღვრული წყლის მოხმარება (ხარჯვა) დღელამის ყველა საათში საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ საშუალო დღელამური ხარჯვა, ანუ საშუალო დღელამური ჩამონადენი მ<sup>3</sup>/წმ-ით, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს მოცემული დატვირთვის გრაფიკის დაფარვა. წყლის ეს რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით

$$Q_{\text{საშლ}} = \frac{\sum_1^n Q_t}{n}, \quad (5,2)$$

სადაც  $\sum_1^n t$  შეესაბამება დღე-ღამის 24 საათს, ან 86400 წმ. როდესაც

საღ წყლის ხარჯი მდინარეში ( $Q_{\text{მე}}$ ) ტოლია ან მეტია (5,2) ფორმულით გამოთვლილ  $Q_{\text{საშლ}}$  ხარჯზე, ე. ი.  $Q_{\text{მე}} \geq Q_{\text{საშლ}}$ , მაშინ ჰიდროსადგურს შეუძლია უზრუნველყოს დატვირთვის გრაფიკით გათვალისწინებული ელექტროენერჯიის გამომუშავება. თავისთავად იგულისხმება, რომ, როცა  $Q_{\text{მე}} > Q_{\text{საშლ}}$ , გვექნება ხარჯის შეტობა, რომელიც საშუალოდ დღე-ღამეში ტოლი იქნება

$$\Delta Q = Q_{\text{მე}} - Q_{\text{საშლ}}$$

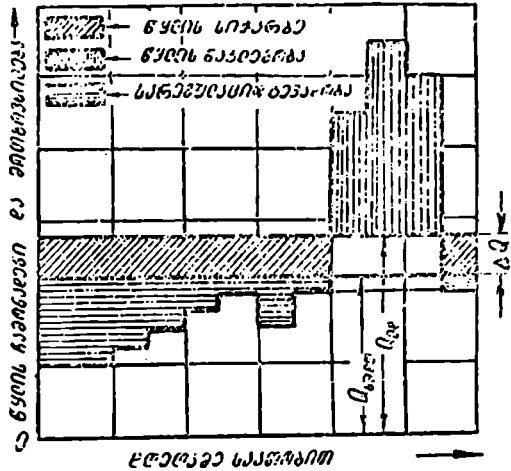
წინააღმდეგ შემთხვევაში, თუ  $Q_{\text{მე}} < Q_{\text{საშლ}}$ , მაშინ საჭიროა დღელამური დატვირთვის გრაფიკი გადავაკეთოთ წყლის უზრუნველყოფილობის მიხედვით, ე. ი. უნდა გამოვრიცხოთ (გამოვროთ) ენერჯიის მომხმარებლების ნაწილი იმ ანგარიშით, რომ მივიღოთ ტოლობა  $Q_{\text{მე}} = Q_{\text{საშლ}}$ . აქ აღწერილი შემთხვევები გრაფიკულად წარმოდგენილია 46-ე და 47-ე ნახაზზე.

დღელამური რეგულაციისათვის საჭირო ტევადობის ( $W_{\text{საგ}}$ ) განსაზღვრისათვის მიემართოთ ქვემოთაღნიშნულ გრაფიკებს.

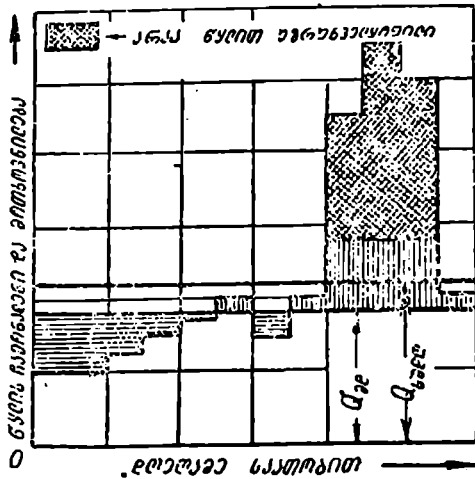
პირველ შემთხვევაში, როცა  $Q_{\text{მე}} \geq Q_{\text{საშლ}}$ , წყალსაცავის გამოსაყენებელი (სარეგულაციო) ტევადობა შეესაბამება ხარჯის დღელამური განაწილების ტეხილი წირისა (გრაფიკსა) და  $Q_{\text{საშლ}}$  ხარჯის შესაბამის თარზულ წირს შორის მოთავსებულ (თარზულად დაშტრიხულ) ფართობს, რომელიც ტოლია ხარჯის წირის ზემოთ მოთავსებული ხარჯის დღელამური განაწილების გრაფიკის ნაწილის (შვეულად დაშტრიხულ) ფართობისა. ზედმეტი წყლის რაოდენობა, რომელსაც შეესაბამება დახრილად დაშტრიხული ფართობი, გადაგდებული იქნება ქვემო ბიეფში (ნახ. 46).

როცა კი  $Q_{\text{მე}} < Q_{\text{საშლ}}$ , მაშინ მდინარის დღელამური ჩამონადენი ვერ უზრუნველყოფს დღელამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვას, ამიტომ საჭიროა  $Q_{\text{საშლ}}$  ხარჯის თარზული წირის ზემოთ მოთავსებულ გრაფიკის ნაწილს მოვაცილოთ ისეთი მონაკვეთი, რომელიც მოგვცემს გრაფიკზე თარზულად და შვეულად დაშტრიხული ფართობების ტოლობას. ნახაზზე ორმაგად დაშტრიხული გრაფიკის ნაწილი შეესაბამება მოცი-

ლებულ მონაკვეთს. ამ მონაკვეთის შესაბამისად უნდა გამოირთოს განსაზღვრული დროის შუალედში ნაწილი მომხმარებლებისა.



ნახ. 46. წყალსაცავის გამოსაყენებელი ტევადობის განსაზღვრა დღელამური რეგულაციისას, როცა  $Q_{მგ} > Q_{სმგ}$ .



ნახ. 47. წყალსაცავის გამოსაყენებელი ტევადობის განსაზღვრა დღელამური რეგულაციისას, როცა  $Q_{მგ} < Q_{სმგ}$ .

ხშირად, წყალსაცავის ტევადობის განსაზღვრის გარდა, საჭიროა ვიცოდეთ ენერჯის რა მარაგი შეესაბამება მის გამოსაყენებელ ტევადობას. ენერჯის ეს მარაგი გამოითვლება ასეთნაირად: მივიღოთ სიმძლავრე  $N=1$  კვტ და მისი შესაბამისი წყლის ხარჯი გამოვთვალოთ (2,8) ფორმულიდან

$$q = \frac{1}{9,81 H_{\text{ბ.გ.}} \eta_{\text{ს}}} \quad (5,3)$$

ერთი კილოვატ-საათის ენერჯის გამომუშავებისათვის საჭიროა აგრეთვე გავატაროთ წყლის შემდეგი რაოდენობა

$$w = 3600 q = \frac{367}{H_{\text{ბ.გ.}} \eta_{\text{ს}}} \quad (5,4)$$

სადაც  $w$  მოცულობას ეწოდება წყალსაცავის კუთრი მოცულობა. (ტევადობა), რომელიც საჭიროა 1 კვტ-საათი ენერჯის გამომუშავებისათვის. როცა მოცემულია წყალსაცავის  $W_{\text{ს.გ.}}$  მოცულობა, მაშინ მასში დაგროვილი წყლის რაოდენობით შეგვიძლია გამოვიმუშაოთ ენერჯის შემდეგი რაოდენობა

$$\Theta = \frac{W_{\text{ს.გ.}}}{w} = \frac{W_{\text{ს.გ.}} \cdot H_{\text{ბ.გ.}} \eta_{\text{ს}}}{367} \text{ კვტ-საათი.} \quad (5,5)$$

მაგალითი 11. ვიპოვოთ წყალსაცავის კუთრი ტევადობა და ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობა თუ მოცემულია  $H = 40$  მ,  $\eta_{\text{ს}} = 0,70$ ,  $W_{\text{ს.გ.}} = 350000 \text{ მ}^3$ .

ამოხსნა: გამოვთვალოთ კუთრი ტევადობა (5,4) ფორმულით

$$w = \frac{367}{H_{\text{ბ.გ.}} \eta_{\text{ს}}} = \frac{367}{40 \cdot 0,7} = 13,10 \text{ მ}^3.$$

ვიპოვოთ  $W_{\text{ს.გ.}}$ -ით გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობა

$$\Theta = \frac{W_{\text{ს.გ.}}}{w} = \frac{350000}{13,10} = 26717 \text{ კვტ-საათი.}$$

სეზონური რეგულაცია. ჩამონადენის სეზონური რეგულაცია ითვალისწინებს წყლის დაგროვებას წყალსაცავში წყალდიდობის პერიოდში და დახარჯვას წყალმცირობის დროს, ძირითადად ზამთრის თვეებში, როცა ჩამონადენი ძალზე მცირეა, ხოლო ენერჯის მოთხოვნილება გაზრდილი. სეზონური რეგულაციების განხორციელებისათვის საჭიროა დიდი ტევადობის წყალსაცავის შერჩევა, რომელსაც ექნება სარკის მნიშვნელო-

ვანი ფართობი და წყლის დონის დაწვევის გარკვეული სიღრმე. ასეთი წყალსაცავის დაპროექტებისას ერთ-ერთ ძირითად საკითხს წარმოადგენს  $W_{სა}$  გამოსაყენებელი ტევალობის განსაზღვრა და წყლის დონის დაწვევის სიღრმის შერჩევა. სეზონური რეგულების გაანგარიშებები წარმოებს ან ანალიზური, ანდა გრაფიკული ხერხებით. ეს გაანგარიშებები რამდენიმედ რთულდება წყლის სხვადასხვა დანაკარგების გამოთვლებთან დაკავშირებით.

### § 29. ჰიდროსადგურის დაწნევა

დაწნევის რყევები (ცვალებადობა) გამოწვეულია ჩამონადენის რეგულების შედეგად, ზემო ბიეფში დონის აწევ-დაწვეით წყალსაცავის ავსებისა და დაცლის დროს. წყალდიდობის პერიოდში ზედმეტი წყლის გადაგდებისას, ქვემო ბიეფში დონის აწვევის გამო, ჰესის დაწნევა მცირდება. დაწნევის რყევები შეიძლება მიმდინარეობდეს ნელა (მდოვრედ)-ან სწრაფად. მაგალითად, ჩამონადენის წლიური რეგულებისას დაწნევის მერყეობა ნელია, დღელამური რეგულებისას კი სწრაფი.

წყალდიდობის პერიოდში, ხშირად კაშხალური ტიპის ჰესები არ მუშაობენ, რადგან წყლის დონე ქვემო ბიეფში საგრძნობლად აწეულია. რის გამოც ჰესის დაწნევა მნიშვნელოვნად შემცირებულია. დერივაციული ტიპის ჰესის მუშაობაზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენს ქვემო ბიეფში წყლის დონის აწევა, რადგან ქვემო ბიეფის შეტბორვა უმნიშვნელოა. ჰესის დაწნევასთან შედარებით. ამიტომ წყალდიდობის პერიოდში დერივაციული ჰესები განაგრძობენ მუშაობას.

ჰესის საანგარიშო დაწნევა აიღება საშუალო-თვიური დაწნევების ჯამის საშუალო არითმეტიკული სიდიდე და განისაზღვრება (5,2) ფორმულის ანალოგიურად

$$H_{სა} = \frac{\sum_{1}^{12} H t}{\sum_{1}^{12} t}, \quad (5.6)$$

სადაც  $H$  არის საშუალო თვიური დაწნევა:

$t$  — დაწნევების უცვლელობის ხანგრძლიობა.

მიღებულ  $H_{სა} = H_{სა}$  დაწნევას ეწოდება სრული ანუ ბრუტო დაწნევა (§ 2). ნეტო დაწნევა კი განისაზღვრება (1,17) ფორმულით

$$H_{ეგ} = H_{სა} - \sum H_{ეგ}.$$

სადაც  $\sum H_{ეგ}$  ჰიდრავლიკური დანაკარგების ჯამია, რომელიც განოთვლება (1,26) ფორმულით. მიახლოებითი გაანგარიშებისას დერივაციული ჰესისათვის დანაკარგების სიდიდე აიღება  $(0,10 \div 0,15) H_{სა}$ .

სოფლის კაშხალური ჰესისათვის კი  $(0,05 \div 0,10) H_{სა}$ .

მაგალითი 12. დერივაციული ჰესისათვის ვიპოვოთ ბრუტო და ნეტო დაწნევა, თუ მოცემულია 6 თვის დაკვირვების შედეგად გამოთვლილი საშუალო თვიური დაწნევების მნიშვნელობები  $H_1 = 30$  მ,  $H_2 = 34$  მ,  $H_3 = 39$  მ,  $H_4 = 43$  მ,  $H_5 = 37$  მ,  $H_6 = 40$  მ.

შესაბამისად:  $t_1 = 10$  დღ,  $t_2 = 12$  დღ,  $t_3 = 8$  დღ,  $t_4 = 5$  დღ,  $t_5 = 11$  დღ;  $t_6 = 9$  დღ; დანაკარგები  $\sum h_{\text{ღვ}} = 0,10 H_{\text{ბგ}}$ .

ამოხსნა: ვიპოვოთ ჰესის ბრუტო დაწნევა (5,6) ფორმულით

$$H_{\text{ბგ}} = \frac{\sum_1^6 H_i}{\sum_1^6 t_i} = \frac{30 \cdot 10 + 34 \cdot 12 + 39 \cdot 8 + 43 \cdot 5 + 37 \cdot 11 + 40 \cdot 9}{10 + 12 + 8 + 5 + 11 + 9} = 36,4 \text{ მ.}$$

ჰესის ნეტო დაწნევა იქნება

$$H_{\text{ღვ}} = H_{\text{ბგ}} - \sum h_{\text{ღვ}} = 36,4 - 0,1 \cdot 36,4 = 36,76 \text{ მ.}$$

### § 30. ჰიდროსადგურის საანგარიშო ხარჯის დადგენა

მსხვილი სამრეწველო ჰიდროსადგურებისათვის საანგარიშო ხარჯის შერჩევა ხდება ჩამონადენის რეგულების სახეობის მიხედვით და წყალსაცავისათვის შედგენილი წყლის ბალანსის საფუძველზე; ძირითადად კი წარმოადგენს ტექნიკურ-ეკონომიურ ამოცანას. მიუხედავად აღნიშნულისა, გაანგარიშების დასაყრდენად მიღებულია განსაზღვრული უზრუნველყოფილობის წყლის ხარჯი, რომლის დადგენაც დამოკიდებულია სამეურნეო-ტექნიკურ მომხმარებელთათვის ელექტროენერჯის გაწარმოებაზე მიწოდებაზე.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ მცირე სიმძლავრის სოფლის ჰესების უმეტეს ნაწილს არა აქვთ სეზონური და მით უმეტეს მრავალწლიური რეგულება. ვაკის მდინარეებზე აგებული კაშხალები მდინარის კალაპოტის ფარგლებში ქმნიან შეტბორილ ბიეფებს მცირე მარეგულბელი პრიზმით, რომლითაც შეიძლება მხოლოდ ჩამონადენის დღელამურა რეგულება. მთის მდინარეებზე აგებულ დერივაციულ ჰესებს კი იშვიათად აქვთ დღელამური რეგულების წყალსაცავი. მცირე სიმძლავრის ჰესების ამ თავისებურებას, რომელიც განსაზღვრავს მათი მუშაობის რეჟიმს, ემატება კიდევ ერთი ის თავისებურებაც, რომ როცა პატარა ჰესი ემსახურება სოფლის მეურნეობას, მისი დატვირთვა წლის სხვადასხვა პერიოდში (სეზონში) ხასიათდება მომხმარებელთა მკვეთრი, ცვალებადობით, ე. ი. ენერჯის მოთხოვნილების პიკებით. აქამდე, ჩვეულებრივ, დატვირთვია და ენერჯის მოხმარების პიკის განსაზღვრა ხდებოდა ზამთრის დღისათვის, შემდეგ, როცა მეტი მასშტაბით განხორციელდა შრომატევადი სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოების (მოხვნის ჩათვლით)

ელექტროფიკაცია. ენერჯის მაქსიმალური მოხმარება და სიმძლავრის პიკიც გადაადგილდა გაზაფხულ-ზაფხულის ან ზაფხულ-შემოდგომის პერიოდისათვის. სოფლის ჰესების ასეთი თავისებურება არსებით გავლენას ახდენს ძირითადი პარამეტრების შერჩევაზე, კერძოდ კი საანგარიშო ხარჯზე, ე. ი. იმ ხარჯზე, რომელმაც უნდა მოგვეცეს ჰესის სრული დადგმული სიმძლავრე (დატვირთვის პიკის დასაფარავად). იმ შემთხვევაში, როცა ჰესს აქვს დღელამური რეგულების წყალსაცავი, მაშინ დანადგარის საანგარიშო ხარჯი უნდა აღემატებოდეს მდინარის საშუალო დღელამურ ხარჯს; წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე. ი. დღელამური რეგულების უქონლობისას, საანგარიშო ხარჯის სიდიდე უნდა ემთხვეოდეს მდინარის ამ ხარჯს (რამდენადაც ჩამონადენის უთანაბრობა დღელამის განმავლობაში პრაქტიკულად უმნიშვნელოა). ცხადია, რომ პირველ შემთხვევაში მდინარის საშუალო დღელამური ხარჯი შეესაბამება დღელამური მონმარების გრაფიკს და განსაზღვრავს ენერჯის შესაძლებელ გამომუშავებას დღელამეში. მეორე შემთხვევაში მდინარის საშუალო დღელამური ხარჯი უშუალოდ განსაზღვრავს გრაფიკის პიკს. მაშასადამე, როგორც ვაკის, ისე მთის პირობებში გამდინარე ნაკადის საშუალო დღელამური ხარჯი წარმოადგენს ისეთ სიდიდეს, რომელიც განსაზღვრავს ჰესის ძირითად პარამეტრებს (საანგარიშო ხარჯი, სიმძლავრე, ენერჯის გამომუშავება) მოცემულ დაწინებისას.

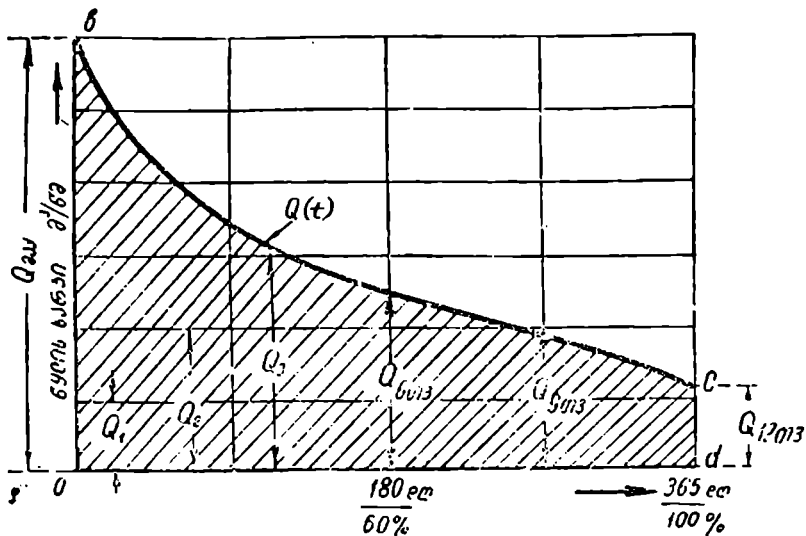
ჩვეულებრივ, სოფლის ჰიდროსადგურებისათვის საანგარიშო ხარჯი მიღებულია 50%-იანი უზრუნველყოფილობით, როცა ჰესი ჩართულია ენერგეტიკულ სისტემაში, ხოლო ჰესის იზოლირებული მუშაობისას საანგარიშო ხარჯი მიიღება 75%-იანი უზრუნველყოფილობისა. ცხადია, ასეთი უზრუნველყოფილობის ხარჯების შერჩევისათვის უნდა გვექონდეს მდინარის გამოსაყენებელი უბნის ფარგლებში ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემები არა ნაკლებ 5-10 წლისა.

ხშირად, წყალსამეურნეო და ჰიდროლოგიურ მოსაზრებათა საფუძველზე, პატარა ჰესების დაპროექტებისას ძირითად საანგარიშო ხარჯებზე მიიღება აგვისტოსა და იანვრის თვეების მდინარის საშუალო ხარჯები იმ მოსაზრებით, რომ წყალნაკადების ჰიდროგრაფები მეტწილად ამ პერიოდებში გვიჩვენებენ წყლიანობის მინიმუმს, ხოლო სოფლის მეურნეობის მიერ ელექტროენერჯის მოხმარება—გარკვეულ მაქსიმუმს.

საანგარიშო ხარჯის შესარჩევად საჭიროა ვიცოდეთ მდინარის დანახასიათებელი ხარჯების ხანგრძლიობა ანუ უზრუნველყოფილობა. ზემოთყვანილი მდინარეების ჰიდროგრაფები გამოსახავენ (ნახ. 34) ცალკეული ხარჯების ქრონოლოგიურ გრაფიკს, იმ თანმიმდევრობით, რომლებიც მიღებული იყო დაკვირვებათა პერიოდის მიხედვით. ჰიდროგრაფი, როგორც ჩანს, საერთო წარმოდგენას გვაძლევს ჩამონა-



დენის რყევების შესახებ, მაგალითად: წლის ან რომელიღაც დროის განმავლობაში. ხშირად, მთელ რიგ გაანგარიშებათა ჩასატარებლად. კერძოდ კი საანგარიშო ხარჯის დასადგენად, უფრო მოსახერხებელია მდინარის ხარჯები დავალაგოთ მათი სიდიდის რიგით, ასეთი გრაფიკის აგებისათვის საჭიროა ამ ხარჯების ხანგრძლიობის განსაზღვრა. ამისათვის ორდინატთა ღერძზე გადაიზომება მოცემული მდინარის ჰიდროგრაფიდან აღებული  $Q_{max}$  მაქსიმალური ხარჯი. ამ ხარჯის შესაბამის ორდი-



ნახ. 48. წლის ხარჯის ხანგრძლიობის (უზრუნველყოფილობის) მრუდი.

ნატს დაეყოფთ  $n$  თანასწორ ნაწილად; თითოეული დანაყოფი შეესაბამება  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  ხარჯებს. ამის შემდეგ ჰიდროგრაფის საშუალებით განვსაზღვრავთ იმ დღეთა რაოდენობას გრაფიკზე აღებული ხარჯებისათვის, რომელთა ოდენობა არ ვარდება  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  ხარჯებზე ქვემოთ. ამრიგად, აღებული ხარჯების ხანგრძლიობა შეგვიძლია გამოვსახოთ მრუდით (ნახ. 48).

საანგარიშო ხარჯების დამახასიათებელ ხანგრძლიობად მიღებულია:

$Q_{12}$  არის თორმეტოვანი ხანგრძლიობის (365 დღ.) ხარჯი,

100%-იანი უზრუნველყოფილობით;

$Q_{75}$  — ცხრათვიანი ხანგრძლიობის (270 დღ.) ხარჯი, 75%-იანი უზრუნველყოფილობით;

და  $Q_5$  — ექვსთვიანი ხანგრძლიობის (180 დღ.) ხარჯი, 50%-იანი უზრუნველყოფილობით.

როგორც 48-ე ნახაზიდან ჩანს, თითოეული მდინარის (თითოეული წლისათვის) დამახასიათებელ ხარჯებად ჩაითვლება  $Q_{აა}$  — წყლის მაქსიმალური ხარჯი,  $Q_{აბ}$  — მინიმალური ხარჯი და  $Q_{აგ}$  — საშუალო (წლიური) ხარჯი, რომელიც ტოლია

$$Q_{აგ} = \frac{W_{5c}}{T},$$

სადაც  $W_{5c}$  არის წლიური ჩამონადენი მ<sup>3</sup>;  $T$  — წელიწადში წამების რაოდენობა.

როგორც ვიცი, წლის განმავლობაში ჩადინებული წყლის რაოდენობა შეესაბამება მოცემული ჰიდროგრაფის OBCD ფართობს (ნახ. 34), რომელიც ტოლია წყლის ხარჯის ხანგრძლიობის გრაფიკზე მოცემულ obcd ფართობისა (ნახ. 48).

### § 31. ჰიდროსადგურის სიმძლავრის შერჩევა

ჰიდროსადგურის სიმძლავრის ანუ ჰიდროდანადგარის დადგენილი სიმძლავრის შერჩევა უნდა მოხდეს ეკონომიურ მოსაზრებათა საფუძველზე. როგორც დადგენილია, მეტწილ შემთხვევებში ჰიდროსადგურის სიმძლავრის გაზრდით, მისი სამშენებლო ღირებულება იზრდება. გარკვეულ ზღვრამდე ღირებულების ეს ზრდა ბიმდინარეობს ნელა, ვიდრე დადგენილი სიმძლავრისა. ამის შედეგად 1 კვტ სიმძლავრეზე მოსული სამშენებლო დანახარჯები უმნიშვნელო იქნება, აგრეთვე მცირე იქნება გასაცემი ენერჯიის ფასიც.

ჰესის სიმძლავრის გაზრდა, როგორც უკვე ცნობილია, წინა აღწერიდან, შესაძლებელია დაწინაურების მომატებით ან საანგარიშო ხარჯის გაზრდით ანდა ამ ორივე მაჩვენებლის შეხამებული გაზრდით.

მთიან რაიონებში მოწყობილი სოფლის ჰესებს თითქმის არა აქვთ დღელამური რეგულაციის წყალსაცავები, ამიტომ მათი მუშაობა მიმდინარეობს რეგულაციის გარეშე. ამ ჰესებისათვის უზრუნველყოფილი დადგენილი სიმძლავრის პონა შეიძლება დღელამური სიმძლავრის საანგარიშო უზრუნველყოფილობის მრუდის საშუალებით (ნახ. 49).

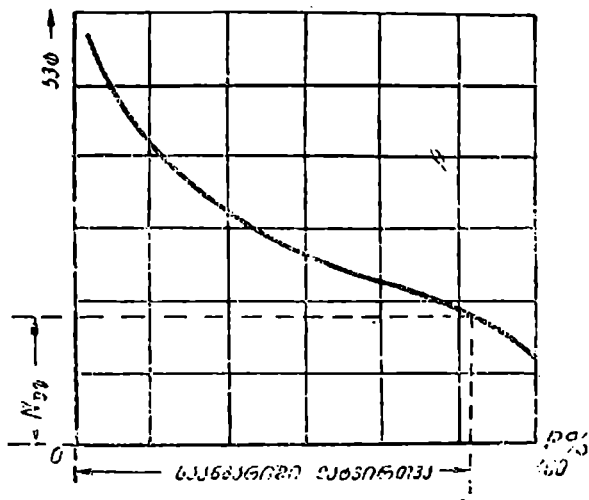
როცა ჰესი მუშაობს მნიშვნელოვანი დაწინაურებით და ქვემო ბიფეში დონეების რყევები უგულვებელყოფილია, მაშინ სიმძლავრის უზრუნველყოფილობის მრუდის მაგიერ შეგვიძლია გამოვიყენოთ დღელამური ხარჯების უზრუნველყოფილობის მრუდი. ცხადია, ჰესის რეგულაციის გარეშე მუშაობისას ჩამონადენის ენერჯიის მნიშვნელოვანი ნაწილი გამოიყენებული რჩება.

ჰესის სიმძლავრე გამოითვლება (2,8) ფორმულით

$$N_{\text{ს}} = 9,81 Q_{\text{ს}} H_{\text{აგ}} \cdot \eta_{\text{ს}},$$

სადაც  $Q_{\text{ს}}$  არის მდინარის საშუალო თვიური ხარჯი, ზამთრის მცირე-წყლიანი თვისათვის (75÷90%-იანი უზრუნველყოფილობით);

$H_{\text{აგ}}$ —სრული დაწნევა, რომელიც პრაქტიკულად უცვლელია ბიე-ღებში წყლის დონის უმნიშვნელო რყევათა გამო.



ნახ. 49. არარეგულებული ჰესისათვის დადგმული სიმძლავრის განსახლრა.

დღელამური რეგულების წყალსაცავიანი ჰიდროსადგურისათვის საშუალო დღელამური უზრუნველყოფილი სიმძლავრის მნიშვნელობა და-ნოკიდებული იქნება მხოლოდ მდინარის ჰიდროლოგიურ მახასიათებლებზე და საანგარიშო უზრუნველყოფილობის პოვნა შეიძლება დღელამური სიმძლავრის მრუდის მიხედვით (ან ხარჯების უზრუნველყოფილობის წრუდით ნახ. 48).

ჰესის სიმძლავრე ამ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით

$$N_{\text{ს}} = 9,81 \alpha Q_{\text{ს}} H_{\text{აგ}} \eta_{\text{ს}}, \quad (5,7)$$

სადაც  $\alpha = 1,5 \div 3,0$  დღელამური დატვირთვის უთანაბრობის კოეფიციენტი;

$Q_{\text{ს}}$ —საშუალო თვიური ხარჯი იანვრის თვეში ან საშუალო არით-ნეტრიკული ხარჯი გამოთვლილი დეკემბრის, იანვრის და თებერვლის თვეების შეჯამებული ხარჯებიდან.

(5,7) ფორმულით შეგვიძლია გამოვითვალოთ ჰესის სიმძლავრის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები, თუ მივიღებთ  $\alpha$  კოეფიციენტის 1,5 და 3,0 მნიშვნელობებს და  $\eta_{\text{ს}} = 0,70$ , გვექნება

$$N_{\text{ს(მინ)}} = 10,3 Q H_{\text{ს}}, \quad (5.8)$$

$$N_{\text{ს(მაქს)}} = 20,6 Q H_{\text{ს}}. \quad (5.9)$$

ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერგია საანგარიშო დღე-ღამის განმავლობაში შეადგენს

$$\Theta = N_{\text{ს}} t \quad \text{კვტ-საათი}, \quad (5.10)$$

სადაც  $t = 24$  საათია.

მაგრამ თუ გვინდა განვსაზღვროთ წლიური ენერჯიის რაოდენობა, უნდა ვიცოდეთ აგრეგატების მუშაობის საათების რაოდენობა წელიწადში. მუშა საათების რაოდენობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$T = \frac{P_{\text{წ}}}{N_{\text{ს}}}, \quad (5.11)$$

სადაც  $P_{\text{წ}}$  არის ენერჯიის წლიური მოთხოვნილება დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით;  $N_{\text{ს}}$  — ჰესის სიმძლავრე.

თეორიულად, აგრეგატების თანაბარი დატვირთვით მუშაობისას ერთი წლის საათების რაოდენობა ტოლი იქნება  $T_{\text{თ}} = 8760$  საათი პრაქტიკულად, საბჭოთა კავშირის ენერგოსისტემებისათვის  $T_{\text{ს}} = 5 \div 6$  ათას საათს (სოფლის ჰესებისათვის კი  $T_{\text{ს}} = 3 \div 4$  ათასი საათი): ამ სიდიდეთა ფარდობა გვაძლევს დატვირთვის გრაფიკის შემჭიდროვების კოეფიციენტის მნიშვნელობას

$$K_{\text{შეჭ}} = \frac{T_{\text{ს}}}{T_{\text{თ}}}, \quad (5.12)$$

სადაც  $K_{\text{შეჭ}} = 0,4 \div 0,7$  ფარგლებში იცვლება.

საბოლოოდ, ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერჯიის რაოდენობა წლის განმავლობაში გამოითვლება ფორმულით

$$\Theta_{\text{წ}} = 8760 K_{\text{შეჭ}} \cdot N_{\text{ს}}, \quad (5.13)$$

სადაც  $\Theta_{\text{წ}}$  ენერჯიის წლიური გამომუშავებაა კვტ-საათობით.

## § 22. ჰიდროსადგურის მენეჯმენტის ანალიზის პრინციპი

როგორც აღნიშნული იყო, საპროექტო ამოცანის საბოლოო გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ ეკონომიური ანალიზის საფუძველზე. მა-

შასადადამე, ორ (ან რამდენიმე) შესადაარებელ ვარიანტიდან, რომელთაც ერთი და იგივე ენერგეტიკული ეფექტიანობა აქვთ, შეირჩევა ის ვარიანტი, რომელიც ხასიათდება მეტი რენტაბელობით, ანუ უკეთესი ეკონომიური მაჩვენებლებით. ეს კი ნიშნავს იმას, რომ ჰიდროენერგეტიკული ობიექტი ისე უნდა იყოს დაპროექტებული, რომ მის კომპლექსში შემავალი ნაგებობათა საშენებლო ხარჯები (კაპდაბანდებანი) და საექსპლოატაციო ყოველწლიური შეჯამებული დანახარჯები მინიმალური იყოს, ენერჯის გამომუშავება კი მაქსიმალური.

ჰიდროსადგურის რენტაბელობის (სარგებლიანობის) დასადგენად ვისარგებლოთ ეფექტურობის კრიტერიუმით [(2,25) ფორმულა, § 11]:

$$\Pi = S_{გს} \cdot \mathcal{M}_{ნ} - K_{სპ}$$

აქ  $\Pi$  არის რენტაბელობა;  $S_{გს} \cdot \mathcal{M}_{ნ}$  — წლიური სოციალისტური დაგროვება. სადაც  $S_{გს}$  ენერჯის ერთეულის გასასყიდი ფასია;  $\mathcal{M}_{ნ}$  — ენერჯის წლიური გამომუშავება;  $K_{სპ}$  — წლიური დანახარჯები, სადაც  $k_{სპ}$  ჰიდროობიექტის სრული ღირებულებაა (კაპდაბანდება);  $p$  — წლიური ხარჯების წილი კაპდაბანდებებთან შეფარდებით ( $p \approx 5\%$ ).

როგორც აღენიშნეთ,  $K_{სპ}$  წარმოადგენს ჰესის წლიურ საექსპლოატაციო დანახარჯებს. ეს დანახარჯები შედგება პირდაპირი და არაპირდაპირი საექსპლოატაციო ხარჯებისგან. პირდაპირი ხარჯები წარმოადგენენ უშუალო დანახარჯებს ჰესის ექსპლოატაციისას (მაგალითად: მუდმივი მომსახურე პერსონალის ხელფასი, მიმდინარე რემონტის ხარჯები და სხვ.). არაპირდაპირი ხარჯები არაა დაკავშირებული ჰესის ექსპლოატაციის პროცესთან. იგი შედგება წლიური ანარიცხებისაგან, რომელიც საჭიროა ამორტიზაციისა და კაპიტალური რემონტისათვის. ზოგადად კი მთლიანი წლიური საექსპლოატაციო დანახარჯები გამოისახება  $K_{სპ}$  ნამრავლით.

ჩვენ თუ გამოვთვლით ჰესის სხვადასხვა ვარიანტისათვის სრულ ღირებულებას, მივიღებთ, რომ ჰესის დადგმულ სიმძლავრესა და კაპდაბანდებას შორის არსებობს სწორწლიური (პირდაპირი) დამოკიდებულება, რომელიც ასეთნაირად გამოისახება

$$K_{სპ} = a N_{სპ} + K_0, \quad (5,14)$$

სადაც  $a N_{სპ}$  არის ღირებულების ის ნაწილი, რომელიც სიმძლავრის პროპორციულია;  $a$  პროპორციულობის კოეფიციენტს ეწოდება დამატებითი კილოვატის ღირებულება. მაგალითად, დანადგარის სიმძლავრეს თუ გავზრდით 1 კვტ-ით, მაშინ ეს დამატებითი კილოვატი ეღირება  $a$  მანეთი.  $K_0$  კაპდაბანდების მუდმივი ნაწილია, რომელიც დამოკიდებულია ადგილობრივ პირობებზე: მდინარის სიგანეზე კაშხალის

აგების ადგილას კალაპოტის სიგრძეზე ქანობზე, გეოლოგიურ პირობებზე და სხვ.

ჰესის ეკონომიურობის მაჩვენებლად აგრეთვე ჩაითვლება დადგმული სიმძლავრის 1 კვტ-ის ღირებულება, რომელიც მიიღება ჰესის სრული ღირებულების მის დადგმულ სიმძლავრეზე გაყოფის შედეგად, ე. ი. (5,14) გამოსახულებას თუ გავყოფთ  $N_{\text{ს}}$ -ზე, მივიღებთ

$$S_{\text{ეს}} = a + \frac{K_{\text{ო}}}{N_{\text{ს}}}, \quad (5,15)$$

სადაც  $S_{\text{ეს}}$  1 კვტ დადგმული სიმძლავრის ღირებულებაა.

როგორც (5,15) გამოსახულებიდან ჩანს, დადგმული სიმძლავრის 1 კვტ-ის ღირებულება ტოლია დამატებითი კილოვატის ღირებულებას მიმატებული ნაგებობათა მუდმივი ნაწილის  $K_{\text{ო}}/N_{\text{ს}}$  ღირებულება. როგორც ჩანს, რაც უფრო მეტია  $N_{\text{ს}}$ , მით ნაკლებია ჰესის დადგმული კილოვატის ღირებულება. ამიტომ მთელ რიგ შემთხვევებში, არახელსაყრელია მცირე სიმძლავრის ჰესის აგება. მაშასადამე, რაც უფრო მეტია ჰესის დადგმული სიმძლავრე, მით დადგმული კილოვატის ღირებულება ნაკლები იქნება; ეს მაჩვენებელი კი გვიჩვენებს ობიექტის ეკონომიურობას. გარდა ამისა, მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ ჰესის წინასწარ შერჩეული სიმძლავრის შემდგომი გაზრდით ენერჯის გამომუშავება უმნიშვნელოდ იზრდება. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა ჰიდროსადგურის ეკონომიურობის დასაბუთებისათვის დადგმული კილოვატის ღირებულების გარდა, აგრეთვე განისაზღვროს წლიური გამომუშავების ერთ კილოვატ-საათზე მოსული კაპდაბანდებათა ღირებულება, ე. ი. კუთრი კაპდაბანდება, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$S_{\text{კ}} = \frac{K_{\text{ს}}}{\Xi_{\text{ე}}}, \quad (5,16)$$

სადაც  $S_{\text{კ}}$  არის კუთრი კაპდაბანდება;  $\Xi_{\text{ე}}$ —ენერჯის წლიური გამომუშავება კვტ-საათობით.

პრაქტიკაში მიღებულია, რომ მეტად ხელსაყრელი ჰიდროსადგურები იძლევიან  $S_{\text{კ}} = (25 \div 50)$  კაპ/კვტ-საათი, საშუალოდ ხელსაყრელია, როცა  $S_{\text{კ}} = (50 \div 100)$  კაპ/კვტ-საათი. როცა კი  $S_{\text{კ}} = (100 \div 150)$  კაპ/კვტ-საათი, ჰესი ეკონომიური თვალსაზრისით არახელსაყრელია და ასეთი ვარიანტი მისაღებია მხოლოდ ისეთი რაიონებისათვის, სადაც სხვა იაფი ენერჯის მისაღები წყარო არ მოიპოვება.

ჰიდროსადგურის ეკონომიურობის ყველაზე ხელსაყრელ მაჩვენებელს წარმოადგენს ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერჯის თვითღირე-

ბულება. ენერჯის თვითღირებულება მიიღება წლიური საექსპლოატაციო დანახარჯების ჰესის მიერ წლის განმავლობაში გამომუშავებული ენერჯის რაოდენობაზე გაყოფით, ე. ი.

$$S_{\text{თვლ}} = \frac{K_{\text{აქ}} p}{\Xi_{\text{ტე}}} \quad (5,17)$$

და წარმოადგენს იმ დანახარჯებს, რომელიც საჭიროა 1 კილოვატ-საათი ენერჯის გამოსამუშავებლად.

აქ  $S_{\text{თვლ}}$  არის ენერჯის თვითღირებულება;  $K_{\text{აქ}} p$ —წლიური საექსპლოატაციო დანახარჯები, ხოლო  $\Xi_{\text{ტე}}$ —ენერჯის წლიური გამომუშავება. ყველაზე სწორია თვითღირებულების გამოთვლა იმ ენერჯის სხედველობაში მიღებით, რომელიც სინამდვილეში გადაეცა მომხმარებელს, ე. ი. მოხმარებული ენერჯის რაოდენობა. მაგრამ მნიშვნელობა აქვს მთლიანი, გამომუშავებული ენერჯის ერთეულის თვითღირებულებასაც, ე. ი. გენერატორის მომქერებზე გამომუშავებული ენერჯის თვითღირებულებას.

საქართველოს პირობებში სხვადასხვა მდინარეზე აგებული ერთი და იგივე სიმძლავრის ჰესის ენერჯის ერთეულის თვითღირებულება მნიშვნელოვან ფარგლებში მერყეობს: ამიტომ საქართველოს განსაკუთრებული ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობების გამო, ჰიდროენერგეტიკული საკითხის გადაწყვეტისას ჰესის სიმძლავრესთან დამოკიდებულებით, უნდა ვეცადოთ, რომ მდინარის მოცემული უბანი გამოვიყენოთ მეტი ენერგეტიკული ეფექტურობით. აღნიშნულის თანახმად ცხადია, რომ სახალხო მეურნეობისა და სამრეწველოების ელექტროფიკაციისათვის მიზანშეწონილია მცირე რაოდენობის მსხვილი (დიდი სიმძლავრის) ჰესების აგება, რაც შეეხება სოფლის მეურნეობის ელექტროფიკაციას, პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ სასოფლო-სამეურნეო დატვირთვის დაფარვა უფრო მოსახერხებელია დიდი რაოდენობის მცირე სიმძლავრის ჰესების საშუალებით, რადგან სოფლის მეურნეობის საეკონომიკური და მომხმარებელთა არათანაბარი განლაგება მოითხოვს ელექტროენერჯის განაწილებას კოლმეურნეობათა დასახლების სიმჭიდროვისა და ელექტროენერჯის მოთხოვნილების მიხედვით.

ცხადია, რომ მცირე სიმძლავრის ჰესების აგება საშუალებას მოგვცემს წლიდან-წლამდე გადავცეთ სოფლის მეურნეობებს, მათი მოთხოვნილებისა და გეგმების მიხედვით, ახალი სიმძლავრეები. მცირე სიმძლავრის ჰესების აგება აგრეთვე მოსახერხებელია იმ მხრივაც, რომ ობიექტების მშენებლობის პროცესში შესაძლებელია კოლმეურნეობათა მუშახელის მოხმარება და სახალხო მშენებლობის ნეთოდების გამოყენება.

ამ მხრივ ეკონომიურობის ანალიზის პრინციპი მთელ რიგ შემთხვევებში არ იძლევა შესაფერის გადაწყვეტას, ამიტომ მთიან რაიონებისათვის მცირე სიმძლავრის ჰესების დაპროექტებისას ძირითად საფუძველს წარმოადგენს ადგილობრივი და ტექნიკურ-სამეურნეო პირობები, ხოლო ეკონომიური გაანგარიშებანი წარმოადგენენ დამხმარე, დასამოწმებელ ღონისძიებას.

ქვემოთ 22-ე ცხრილში მოყვანილია ჰესის ძირითადი ენერგოეკონომიურობის მაჩვენებლების დასახელებანი.

ც ხ რ ი ლ 22

ჰესის ძირითადი ენერგოეკონომიური მაჩვენებლები

ჰესის დასახელება	დაწვევა ბურჯი (ბ)	დაწვევა ნეგო (მ)	სიმძლავრე კვტ	დადგენილი მნიშვნელოვანი საშუალო თყოფი	ენერჯის წლიური გამოშვება მჯ (კვტ-საათი)	დადგენილი ბეტონის მოცულობა (მ <sup>3</sup> )	ჰესის სრული ღირებულება კ.ს (მან.)	ჰესის წლიური საექსპლუატაციო დანაბარები კ.ს.პ (მან.)	დადგენილი სიმძლავრის ერთეულის ღირებულება ან (მან.)	წლიური კვტ-საათის ღირებულება (კეთრი კაპიტალის ღირებულება) ა.თ. (მან.)	ენერჯის ფიცილირებულება ა.ჯ (კვტ.)
	$H_{ბ} = V_1 - V_2$	$H_{ნ} = H_{ბ} - \sum h_{ტ}$	$N_{ს} = \frac{N \cdot \eta}{102}$		$E_{მჯ} = N_{ს} T \cdot 8760, K = 0,6 \div 0,7$	$V = \sum A \cdot n$	$K_{ს} = K_0 + n N_{ს}$	$K_{ა.ს.პ} = K_{ს} \cdot p$	$S_{ტ} = a + \frac{K_0}{N_{ს}}$	$A_{კეთ} = \frac{K_{ს}}{E_{მჯ}}$	$A_{ფიცი} = \frac{K_{ა.ს.პ}}{E_{მჯ}}$

ენერგოეკონომიური გაანგარიშების პრაქტიკულ მაგალითზე გამოყენება ზემომოყვანილ მე-8 მაგალითის ანალოგიურად ხდება.



**ჰიდროელექტროსადგურების სქემები**

**თ ა ვ ი VI**

**ჰიდროელექტროსადგურების ტიპები**

**§ 33. ჰიდროელექტროსადგურების კლასიფიკაცია**

ჰიდროელექტროსადგურების საერთოდ მიღებული, საბოლოოდ ჩამოყალიბებული კლასიფიკაცია არ არსებობს. ამის მიზეზად ჩაითვლება ჰიდროტექნიკური საკითხების გადაწყვეტის მრავალფეროვნება და ჰესებისადმი წარდგენილი ენერგეტიკულ მოთხოვნილებათა სხვადასხვაობა. ქვემოთ მოყვანილია ჰიდროსადგურების ყველაზე გავრცელებული კლასიფიკაცია შემდეგი ნიშნების მიხედვით.

1. დადგმული სიმძლავრისა და ენერჯის წლიური გამომუშავების მიხედვით (ცხრილი 23).

ცხრილი 23

კლასიფიკაციის მაჩვენებელი	ჰესის თანრიგი			
	I	II	III	IV
	უდიდესი სიმძლავრის	დიდი სიმძლავრის	საშუალო სიმძლავრის	მცირე სიმძლავრის
ენერჯის წლიური გამომუშავება მილიონ კვტ-საათი	> 500	> 100	> 20	< 20
დადგმული სიმძლავრე ათას-კვტ	> 150	150 ÷ 25	25 ÷ 5	< 5

მოყვანილი ცხრილით ჰესის თანრიგის ძირითად მაჩვენებლად ჩაითვლება ენერჯის წლიური გამომუშავება. მაგალითად, თუ ჰესის სიმძლავრე აღემატება 25 ათას კვტ-ს, ხოლო ენერჯის წლიური გამომუშავება 100 მილიონ კვტ-საათზე ნაკლებია, ასეთი ჰიდროსადგური მიეკუთვნება საშუალო სიმძლავრის თანრიგს.

2. დაწნევისა და ხარჯის მიხედვით (ცხრილი 24).

ჰესის თანრიგი

მაჩვენებელი	I	II	III
	მაღალდაწვევიანი	საშუალოდაწვევიანი	დაბალ- დაწვევიანი
დაწვევა, მ	100	100 ÷ 15	15
ხარჯი, მპ/წმ.	დიდი ხარჯიანი	საშუალო ხარჯიანი	მცირე ხარჯიანი
	200	200 ÷ 50	50

3. კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით ვარჩევთ: ა) კაშხალური ტიპის ჰესებს, რომლებშიც დაწვევა ძირითადად შექმნილია კაშხალის საშუალებით; ბ) დერივაციული ტიპის ჰესებს, სადაც დაწვევის უმთავრესი ნაწილი შექმნილია დერივაციით, დაბოლოს, გ) შერეული ტიპის ჰესებს.

კაშხალით შექმნილი დაწვევა აღნიშნოთ  $H_{კა}$ -თი, დერივაციით კი  $H_{დ}$ , მაშინ  $H_{კა} : H_{დ}$  თარღობა გვიხასიათებს ჰესის ტიპს. მაგალითად პროფ. მ. მოსტკოვის მიხედვით კაშხალური ჰესისათვის ამ თარღობის მნიშვნელობა შეგვიძლია მივიღოთ  $> 5$ , დერივაციულისათვის —  $< 0,2$ , ხოლო შერეული ტიპის ჰესისათვის —  $0,2 ÷ 5$ .

4. ჰიდროელექტროსადგურები რეგულაციის სახეობის მიხედვით შეგვიძლია დავყოთ: არარეგულბულ და დარეგულბულ ჰესებად. პირველ შემთხვევაში სადგური მუშაობს ბუნებრივ ჩამონადენზე რეგულაციის გარეშე; ასეთ სადგურებს მეტწილად ვხვდებით მთიან რაიონებში. მეორე შემთხვევაში, ჰესს აქვს სათანადო წყალსაცავი, რომლითაც ხდება ჩამონადენის რეგულაცია. ასეთი ტიპის სადგურებს მიეკუთვნება მსხვილი, სამრეწველო დანიშნულებისა და ვაკის მდინარეებზე აგებული ჰესები.

მიუხედავად იმისა, რომ ჰიდროელექტროსადგურების კლასიფიკაცია წარმოებს სხვადასხვა მაჩვენებლისა და მახასიათებლის მიხედვით და დადგენილი არაა თანრიგებად დაყოფის საბოლოო სქემა, წარმოდგენილი კლასიფიკაცია მაინც საჭიროა სადგურის ტექნიკურ-ენერგეტიკული ანალიზისათვის. ჰესების თანრიგებად (ჯგუფებად) დაყოფა საშუალებას გვაძლევს თითოეულ ჰიდრონაგებობისათვის ვიპოვოთ ზოგადტექნიკური ვალაწყვეტის მეთოდები.

უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ზემომოყვანილი კლასიფიკაციის თანრიგებს შეიძლება მიეკუთვნოს როგორც კაშხალური და დერივაციული, ისე შერეული ტიპის ჰესები. ეს დამოკიდებულია, რასაკვირველია, ცალკეული ჰესის ენერგეტიკულ და ჰიდრავლიკურ მაჩვენებლებზე.

სახალხო მეურნეობისა და მრეწველობის აღორძინება-განვითარებასა და მატერიალური ბაზის შექმნაში განსაკუთრებული უპირატესობა ენიჭებათ მსხვილ, ანუ დიდი სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურებს, რომლებიც გაერთიანებული არიან ენერგოსისტემებში. მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურები ხასიათდება როგორც მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლებით (სიმძლავრე, გამომუშავება), ისე მნიშვნელოვანი კონსტრუქციული ზომებით (დიდი მოცულობის წყალსაცავით, მაღალი კაშხალით, დიდი სიგრძის წყალგამყვანი ნაგებობებითა და სხვ.).

მსხვილი ჰიდროელსადგურები მეტწილ შემთხვევებში შეიცავენ წყალსაცავებს სეზონური, ან მრავალწლიური სარეგულაციო ტევადობით. თანამედროვე პირობებში, მსხვილი ჰესების იზოლირებულად (დამოუკიდებლად, განმარტოვებით) მუშაობა გაუმართლებელი და არახელსაყრელია. ამიტომ თითოეული მსხვილი ჰიდროელექტროსადგური გაერთიანებულია ენერგოსისტემაში მომუშავე სხვა ჰესებთან და მათ მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგია ნაწილდება ცენტრალიზებული წესით. საერთო დატვირთვის გრაფიკის შესაბამისად, სისტემაში ჩართულ მომხმარებლებს შორის. ჩვენ აქ არ განვიხილავთ ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობას ენერგოსისტემაში და ენერჯის ცენტრალიზებული განაწილების წესებს, რადგან აღნიშნული საკითხები წარმოადგენენ შესწავლის სპეციალურ საგანს, მაგრამ მოკლედ ვიტყვი, რომ ახალი ჰიდროენერგეტიკული დაგეგმვისას, აგრეთვე ცალკეული ჰიდროელექტროსადგურის სისტემაში მუშაობის ხასიათის დადგენისას საჭიროა განისაზღვროს ჰიდრავლიკური ენერჯის რაციონალური განლაგება ენერგოსისტემის დატვირთვის საერთო გრაფიკში, რაც გულისხმობს, მოცემული რაიონის (ან ოლქის) ჰიდროენერგორესურსების გამოყენებას ადგილობრივი პირობების, ენერჯის მომხმარებელთა სიმჭიდროვისა და სპეციფიკურობის გათვალისწინების შესაბამისად. დაბოლოს, ამ საკითხის სრული გადაჭრა ემყარება ენერგო-ეკონომიური გაანგარიშებათა ანალიზს. რაც შეეხება ენერგეტიკულ სისტემაში ენერჯის ცენტრალიზებული წესით განაწილებას, იგი წარმოადგენს ენერგოსისტემის მართვის ძირითად სახეობას. ენერჯის ცენტრალიზებული წესით განაწილება გულისხმობს ელექტროენერჯის რაციონალურად გამოყენებას. მაგალითად, დატვირთვის დაძაბულ პერიოდში მომხმარებელთა ჩართვა-გამორთვა უნდა მოხდეს ობიექტების სერიოზულობისა და დანიშნულების მიხედვით. ცხადია, პირველ რიგში გამოირთვება ის ობიექტი, რომელიც არ ასრულებს სამეუ-

ჩნეო და სამრეწველო დანიშნულების ფუნქციას, ე. ი. არსებით გავლენას არ ახდენს რაიონის ეკონომიკაზე.

ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ სხვადასხვა კონსტრუქციული გაფორმების ჰიდროელექტროსადგურების სქემებს.

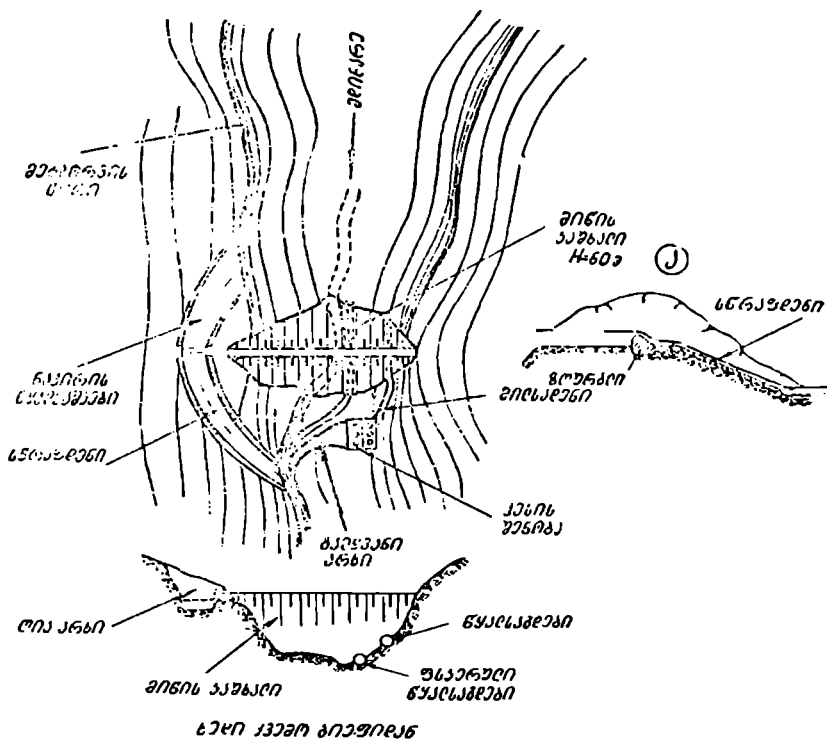
### § 34. კაშხალური ტიპის ჰესები

50-ე ნახაზზე მოყვანილია კაშხალური ტიპის მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურის სქემა. ჰესს აქვს სეზონური რეგულების წყალსაცავი, რომლის სრული მოცულობა  $V = 165$  მილიონი მ<sup>3</sup>, ხოლო სასარგებლო (სარეგულაციო) ტევადობა  $W_{\text{სარ.}} = 120$  მილიონი მ<sup>3</sup>. როგორც ნახაზიდან ჩანს, წყალსაცავი შექმნილია მდინარის ხეობაში მიწის კაშხალით, რომლის სიმაღლე 60 მეტრია. ნორმალური შეტბორვის სიმაღლე 52,5 მ, შეტბორვის გავრცელების ზონა (წირი) მდინარის ხეობის გასწვრივ აღწევს 6,8 კმ. ჰესის საანგარიშო ხარჯი  $Q = 50$  მ<sup>3</sup>/წმ, სიმძლავრე  $N = 20$  ათას კვტ-ს, ენერჯიის წლიური გამომუშავება  $E_{\text{წლ.}} = 120$  მილიონ კვტ-საათს. ჰესის შენობა განლაგებულია ქვემო ბიეფში მდინარის კალაპოტის მარცხენა ნაპირზე. წყლის ნიყვანა ტურბინებთან განხორციელებულია მცირე საგრძის მილსადენით. კაშხალის ტანში მოწყობილია ორი წყალსაგდები ნაგებობა: ფსკერული და გარკვეულ სიმაღლეზე მოწყობილი წყალგამომშვები (იხ. ხედი ქვემო ბიეფიდან). გარდა ამისა, კაშხალთან ახლო, ზემო ბიეფში მოწყობილია ღია ნაპირის წყალსაშვები (ნახ. 50, ა), რომელიც გაანგარიშებულია კატასტროფული ხარჯის გატარებაზე და უზრუნველყოფს წყალსაცავში შეტბორვის ნორმალური დონის დამყარებას. ღია წყალსაშვები შედგება ორი ნაწილისაგან: ა) ღია არხისაგან ზღურბლიანი წყალსაშვით და ბ) წყალსაგდებისაგან, რომელიც წარმოადგენს სწრაფდენს.

ქვემომოყვანილ 51-ე ნახაზზე წარმოადგენილია საშუალო დაწნევიანი უდიდესი სიმძლავრის დნებროჰესის სქემა. ეს ჰიდროელექტროსადგური აგებულია მდინარე დნებროზე ქალაქ დნებროპეტროვსკთან ახლო. დნებროჰესი ელექტროდენს აწვდის დონეცისა და კრივიოროვსკის ქარხნებს, დნებროპეტროვსკისა და ზაპოროჟიეს რაიონებს. ამ სადგურის აგებით გადაწყვეტილია დნებროვსკის რაიონების მიწების მორწყვა.

ჰესი განლაგებულია მდინარის ყველაზე შევიწროებულ ადგილას, აგებული ბეტონის კაშხალის საშუალებით მიღებულია წყლის საშუალო შეტბორვა 35,5 მ. მრავალწლიური დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით, მდინარე დნებროს ხარჯი მერყეობს  $300 \div 24500$  მ<sup>3</sup>/წმ ფარგლებში, ხოლო საშუალო წლიური ხარჯი შეადგენს  $1600$  მ<sup>3</sup>/წმ. ამ ხარჯის დროს დაწნევა იცვლება 30,8 მ-დან—38,5 მ-მდე.

ნახაზის თანახმად ჰესი შედგება ძირითადად კაშხალისა და სადგურის შენობისაგან. კაშხალს აქვს თალური ფორმა. კაშხალის სიგრძეა 76მ,5 მ, სიგანე—40 მ და უდიდესი სიმაღლე—62 მ.

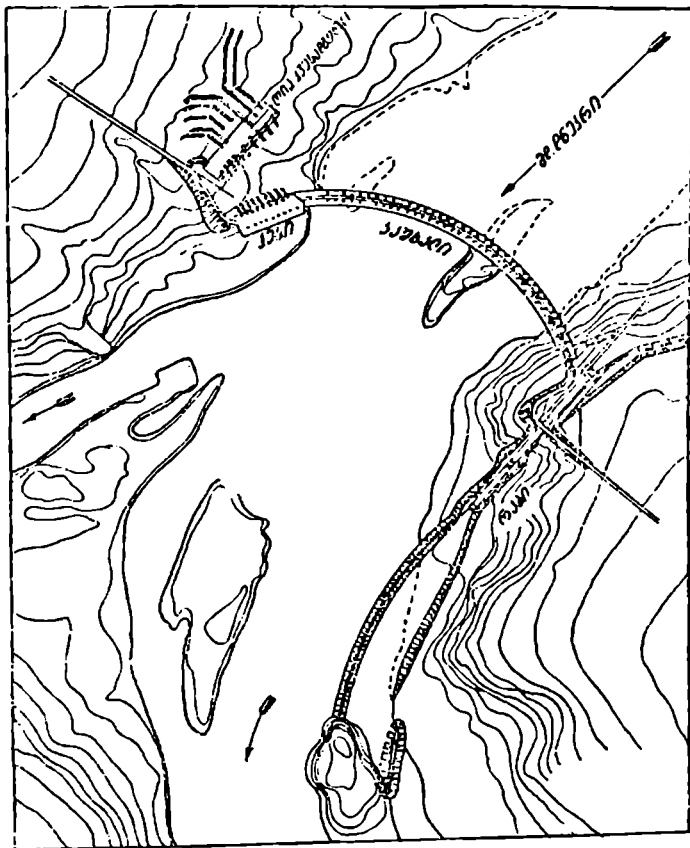


ნახ. 50. კაშხალური ტიპის მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურის სქემა.

კაშხალის თალური ფორმა (გეგმაში) ნაკარნახევია არა მარტომდგრადობის პირობებით, არამედ ჰესის შენობისა და კაშხალის ტანის უკეთ შეუღლების, კაშხალის ზემო წყალსაშვები ნაწილის გამტარუნარიანობის გაზრდისა და მიწის (კლდის) საწეშაოების მოცულობის შემცირების მიზნით.

კაშხალის განივი კვეთი წარმოადგენს წყალსაშვებს, რომლის ქიმზე მოწყობილია 47 ფარი ბურჯებით. წყალსაშვიანი ნაწილის სიგრძეა 611 მ. წყალსაშვზე გადადენილი წყლის ფენის მაქსიმალური სისქე აღწევს 9 მეტრს.

კაშხალის მარჯვენა მხარეზე მიდგმულია ჰესის შენობა, რომელშიაც დადგმულია 9 ტურბინი, თითოეული 66000 კვტ სიმძლავრის. ჰესის სრული დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 560000 კვტ.



ნახ. 51. დნეპროჰესის ჰიდროდინამიკური ხედი.

ჰესის შენობის სიგრძეა 231 მ, სიგანე—50 მ, სიმაღლე—19,75 მ.

52-ე ნახაზზე მოცემულია კაშხალური ტიპის დაბალწნევიანი, უდიდესი სიმძლავრის ქვემო-სვირის ჰიდროელექტროსადგურის სქემა. ჰესი აგებულია მდინარე სვირზე. სვირჰესი ჩართულია ლენინგრადის რაიონის ენერგოსისტემაში და ელექტროდენს აწვდის ქალაქ ლენინგრადს.

ჰესს აქვს ბეტონის დასაშლელი ტიპის კაშხალი, რომლის თხემზე მოწყობილია წყალგადასაშვები ფარები, აგრეთვე კაშხალის მარცხენა ნა-

წილში მოთავსებულია წყლის გამოსაშვები რაბები. ფარების საშუალებით წარმოებს დაწნევის რეგულება და ტურბინებში საანგარიშო ხარჯის მიწოდება. წყალდიდობის პერიოდში ფარები და რაბები გაღებულია, რომელთა გამტარუნარიანობა საცესებით უზრუნველყოფს კატასტროფული ხარჯების გატარებას და ჰიდროელექტროსადგურის შეუფერხებელ მუშაობას.

ჰესის შენობა წარმოადგენს კაშხალის ტანის გაგრძელებას. შენობაში დადგმულია 4 აგრეგატი. თითოეული აგრეგატის სიმძლავრეა 27500 კვტ. ჰესის ბრუტო დაწნევაა 11 მ, ყველა აგრეგატით მიღებული მაქსიმალური სიმძლავრის მისაღებად საჭიროა გავატაროთ წყლის ხარჯი 1100 მ<sup>3</sup>/წმ, რომელიც შეესაბამება აგრეგატების ოპტიმალური დატვირთვის პირობებს (მდინარეში წყლის ხარჯი იცვლება 100—2400 მ<sup>3</sup>/წმ ფარგლებში). ამრიგად, აგრეგატების 110000 კვტ დადგმული სიმძლავრისას შესაძლებელია მივიღოთ მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენის სრულად გამოყენებისას (საშუალო და მრავალწყლიანი წლის პირობებში) ჰესის გამომუშავება 540 მილიონი კვტ-საათი. ამასთან 1 კვტ-საათის თვითღირებულება კ. ლენინგრადისათვის—1,70 კაპ., ხოლო 1 კვტ დადგმული სიმძლავრის ღირებულება აღწევს 1200 მანეთს. ჰესის შენობის წინ, ზემო ბიეფში მოწყობილია ყინულსაცავი კედელი. აქვე გათვალისწინებულია წყალგამყვანი არხი წყლის გადასაგდებად ქვემო ბიეფში ტურბინების რემონტის, ან უეცარი გაჩერებისა და აუარიის შემთხვევაში.

კაშხალური ტიპის მაღალდაწნევიანი ჰესის მაგალითს წარმოადგენს 53-ე ნახაზზე წარმოდგენილი სქემა. ორი მთის მდინარის შესართავთან გათვალისწინებულია 105 მ სიმაღლის წყალშეკერი კაშხალის აგება. ამ კაშხალით შექმნილ წყალსაცავს უჭირავს ორი მდინარის კალაპოტისა და სეობის მნიშვნელოვანი არე. წყალსაცავის სრული ტევადობაა  $W_{\text{სრ}} = 185$  მილიონი მ<sup>3</sup>, ხოლო გამოსაყენებელი (სასარგებლო)  $W_{\text{სრგ}} = 160$  მილიონი მ<sup>3</sup>.

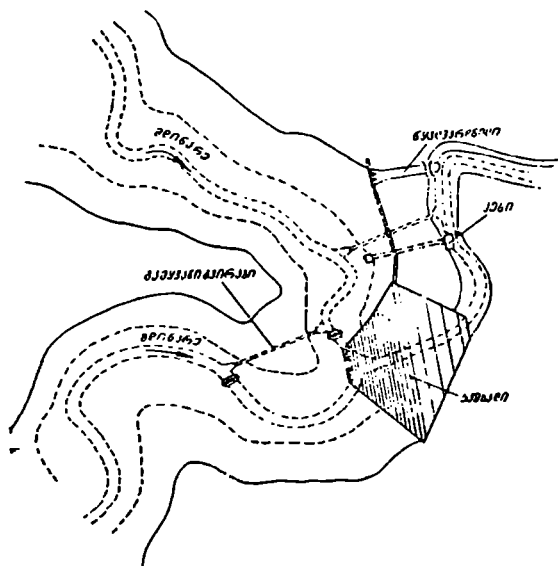
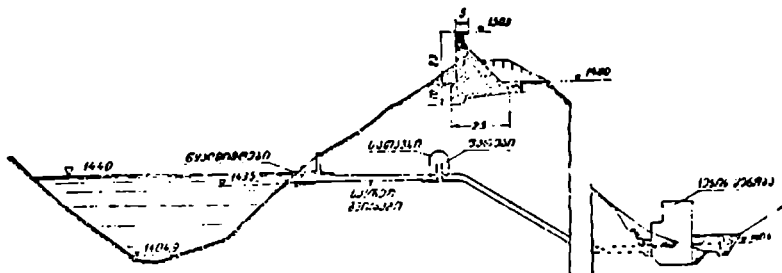
კაშხალის ქვემოთ განლაგებულია ჰესი. ჰესის შენობაში დაიდგმება ორი სხვადასხვა სიმძლავრის აგრეგატი, მაგრამ ერთი და იგივე საანგარიშო ხარჯზე ( $Q = 30$  მ<sup>3</sup>/წმ) გაანგარიშებული. ორი აგრეგატის დადგმა გამოწვეულია იმ მოსაზრებით, რომ ჰესის მუშა დაწნევა, ზემო ბიეფში წყლის დონის დაწვეასთან დაკავშირებით მერყეობს  $54 \div 34$  მეტრის ფარგლებში. პირველი აგრეგატის მუშაობა გათვალისწინებულია  $96 \div 66$  მ დაწნევისას, მისი სიმძლავრეა  $N_1 = 24$  ათასი კვტ.

როდესაც წყალსაცავის მაქსიმალური დონე ( $\nabla 1500$  მ) დაიწვეს 30 მეტრზე ქვემოთ, ამ მომენტიდან გამოირთვება პირველი აგრეგატი და ჩაირთვება მეორე, რომლის სიმძლავრეა  $N_2 = 16,5$  ათასი კვტ.





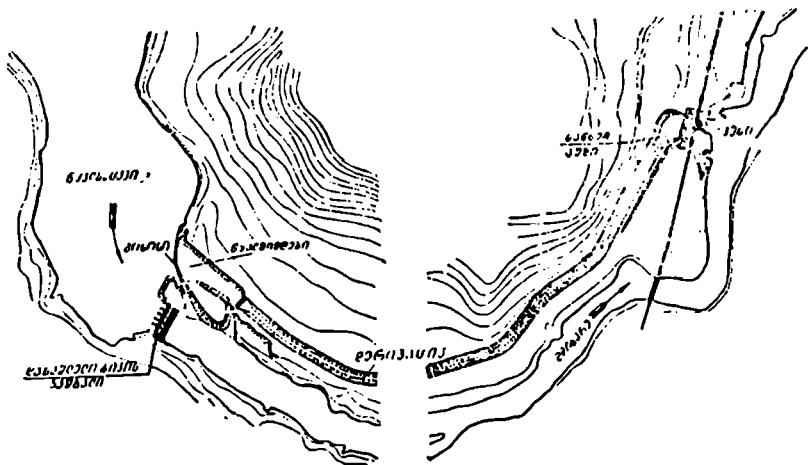
ორივე აგრეგატის დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 40000-მდე კვტ-ს, მაგრამ ჰესის სასარგებლო ანუ გამოყენებული სიმძლავრე მერყეობს  $7,5 \div 24$  ათას კვტ-მდე, ხოლო საშუალო წლიური გამომუშავება  $95 \div 100$  მილიონი კვტ-საათია. ჰესის შენობისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა განლაგება ნაჩვენებია 53-ე ნახაზზე.



ნახ. 53. კაშხალური ტიპის ჰესი.

წყალსაცავიდან წყლის აღება განხორციელებულია წყალმიმღებით, რომლის ფსკერის ნიშნულია 1435 მ. წყალმიმღებთან შეერთებულია 195 მ სიგრძის საწნეო გვირაბი. საკეტების (ურდულეების) სათავსოდან დაწყებული გვირაბის შიგნით გაყვანილია ლითონის მილსადენი, რომელიც ჰესის შენობასთან ახლოს ორ განშტოებად იყოფა.

წყალსაგდები ნაგებობები გათვალისწინებულია მდინარის მარცხენა ნაპირზე, რომელიც გაანგარიშებულია 350 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯის გატარებაზე; წყლის ეს რაოდენობა შეესაბამება მოცემული მდინარეების შეჯამებულ კატასტროფულ (1 "ი. უზრუნველყოფილობის) ხარჯს, რომელიც მეორდება 100 წელიწადში ერთხელ. გარდა ამისა, გათვალისწინებულია ნახევრადფსკერული და ფსკერული წყალსაგდებები. ამ ნაგებობათა წყალმიმღებები განლაგებულია ერთმანეთთან ახლოს, რაც საშუალებას გვაძლევს ერთ სათავსოში დაედგათ საკეტი მოწყობილობები.



ნახ. 54. საშუალოდაწნევიანი დერივაციული (ზაპესი) ჰიდროსაჯგურის სქემა.

ჰესის შენობიდან წყლის ჩაშვება ქვემო ბიეფში სრულდება გამყვანი გალერით.

### § 5. დერივაციული და შერაეული ტიპის ჰესები

დერივაციული ტიპის ჰესს წარმოადგენს ზემო ავქალის ჰიდროელექტროსადგური (ნახ. 54) (ზაპესი), რომელიც აგებული იყო 1927 წელს. ეს სადგური ექსპლოატაციის პირველ წლებში ელექტროდენს აწვდიდა ქ. თბილისს, შემდეგ კი ახლომახლო განლაგებულ დასახლებულ პუნქტებსაც. ამჟამად კი ზაპესი მუშაობს „საქენერგოს“ სისტემაში, რომელშიც გაერთიანებულია საქართველოს დიდი და საშუალო სიმძლავრის ელექტროსადგურები (ზაპესი, რიონჰესი, ხრამჰესი, სოხუმჰესი, ჩითახევჰესი და სხვ.).

ზაჰესი საინტერესოა იმ მხრივ, რომ ეს ჰიდროდანადგარი წარმოადგენს ერთ-ერთ საშუალო სიმძლავრის ჰიდროსადგურს. ზაჰესისათვის შერჩეული მდ. მტკვრის გამოყენების უბანი ხასიათდება დიდი ქანობით, ამიტომ შედარებით მოკლე დერივაციული არხის საშუალებით გამოყენების უბნის ბოლოში შექმნილია დამატებითად მნიშვნელოვანი ვარდნა (დაწნევა). აღნიშნული ჰიდროდანადგარი შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან: სათავე ნაგებობისაგან, დერივაციული ნაწილისაგან, ძალოვანი კვანძისაგან.

სათავე ნაგებობებით აგრეთვე შექმნილია მნიშვნელოვანი დაწნევა (14,8) დღელამური რეგულების წყალსატევი (ამჟამად ამოღებულია), ამასთან სათავე ნაგებობა გაანგარიშებულია წყალდიდობის პერიოდში მაქსიმალური ხარჯის გატარებაზე (გადადგება ქვემო ბიფეში).

გამოყენებულ მდინარეთა ჩამონადენი ხასიათდება იმ თავისებურებებით, რომ ზაფხულის პერიოდში თოვლის დნობისას მდ. არაგვის წყლის ხარჯი მაქსიმალურია. მდ. მტკვრის ჩამონადენი კი მინიმალური. ამიტომ ამ ორი მდინარის შეხამებული გამოყენება იძლევა წყლის ხარჯის გასწორებას და საშუალოდ მერყეობს 49 მ<sup>3</sup>/წმ-დან—787 მ<sup>3</sup>/წმ-მდე.

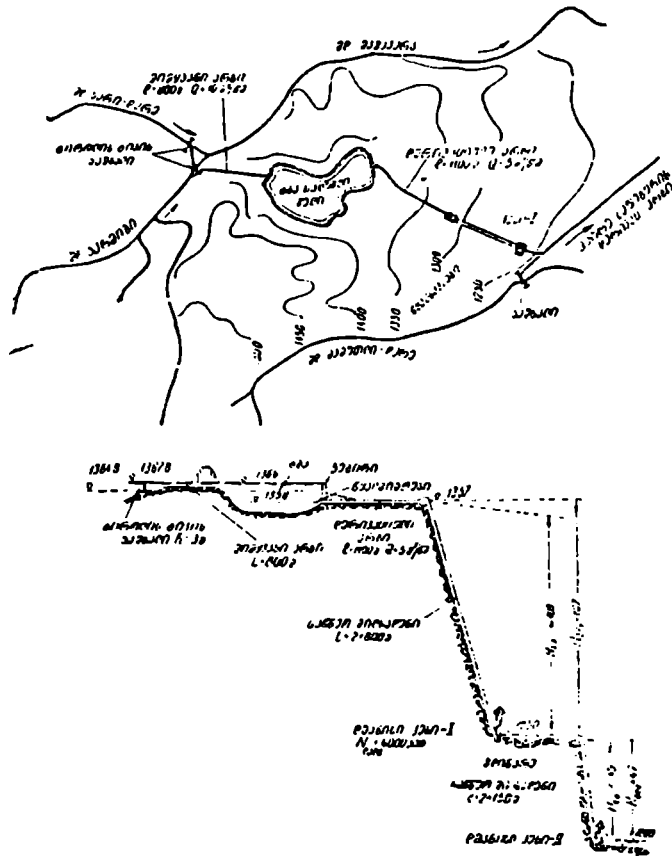
დერივაციული არხი გაანგარიშებულია 160 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯზე. არხის სიგრძე 3 კმ აღწევს. დერივაციით შექმნილი დამატებითი დაწნევა 9 მეტრია.

ძალოვანი კვანძი წარმოადგენს საწნეო აუზს, საწნეო მილსადენს და ჰესის შენობას. თითოეული მილსადენის დიამეტრის ზომა 3,7 მეტრია, სიგრძე—24 მ. ჰესის შენობის სიგრძეა 35,5 მ, სიგანე—12 მ, სიმაღლე—14,4 მ. ჰესის სრული დაწნევაა 23,8 მ, საანგარიშო ხარჯი 160<sup>3</sup>/წმ, დადგმული სიმძლავრე 38 ათასი კეტ-საათია. აღნიშნული მონაცემების საფუძველზე ზაჰესი ელექტროენერჯის გამომუშავების მიხედვით მიეკუთვნება დიდი სიმძლავრის, ხოლო დაწნევის მიხედვით—საშუალო დაწნევიანი ჰესების თანრიგს.

მაღალდაწნევიანი სოფლის ჰიდროსადგურის მაგალითს წარმოადგენს ორსაფეხურიანი დმანისი ჰესის სქემა (ნახ. 55). მთის ორი მდინარის, სარი-დერე და კარმიზი-ბულას შერთვის ადგილზე მოწყობილი კაშხალის საშუალებით განხორციელებულია ამ მდინარეების გადმოგდება მიმყვანი არხით ტბა სალუგლი-გელში, რომლის სრული ტევადობა 3,5 მილიონ კუბურ მეტრს აღემატება. ეს ბუნებრივი წყალსატევი სავსებით აკმაყოფილებს როგორც დღელამური, ისე დეკადური რეგულების მოთხოვნილებას. ამ ტბის ნაპირის ყველაზე მოხერხებულ ადგილას მოწყობილია წყალმიმღები, საიდანაც იწყება დერივაციული არხი. ამ არხის სიგრძე 1100 მეტრია, მისი გამტარუნარიანობა კი

5 მ<sup>3</sup>/წმ. დერივაციული არხის ბოლოში მოწყობილია საწნეო აუზი, რომელ-  
თანაც შეერთებულია საწნეო მილსადენის ორი ხაზი (თითოეული მილ-  
სადენის სიგრძე 800 მეტრია, დიამეტრი—1,2 მ).

ჰესის ბრუტო დაწნევა 107 მ, ნეტო დაწნევა—100 მ, საანგარი-  
შო ხარჯი—5 მ<sup>3</sup>/წმ.



ნახ. 55. ორსაფეხურიანი დერივაციული ჰესის სქემა.

ჰესის შენობა განლაგებულია 1250 ნიშნულზე, სადაც დადგმულია ორი ჰიდროაგრეგატი 4000 კეტ დადგმული სიმძლავრით. ენერჯის წლიური გამომუშავება—10,5 მილიონი კეტ-საათია. დადგმული კილოვატის ღირებულება 4395 მან., წლიური კილოვატ-საათის ღირებულე-

ბა—1,67 მანეთი, ენერჯის თვითღირებულება 11,1 კაპ. ჰესის სამშენებლო ღირებულება 17,6 მილიონი მანეთია.

მოყვანილი სქემით აგრეთვე გათვალისწინებულია მეორე საფეხური (დმანისი ჰესი II), რომელიც წარმოადგენს დმანისი ჰესი I-ის გაგრძელებას. მეორე საფეხურის ჰესს, მართალია, ნაკლები ენერგეტიკული მონაცემები აქვს, სამაგიეროდ ხასიათდება უკეთესი ეკონომიური მაჩვენებლებით.

მეორე საფეხურის სათავე ნაგებობას წარმოადგენს პირველი საფეხურის გამყვანი არხი, რომელიც უერთდება დერივაციულ არხს. ამ არხის ზემოთ მდ. მამუთლი-დერეს კალაპოტში გათვალისწინებულია 2 მ სიმაღლის ბეტონის კაშხალის აგება, რომლის საშუალებით შეიძლება ამ მდინარის გარკვეული ნაწილის გადაგდება მეორე საფეხურის დერივაციაში. დმანისი ჰესის მეორე საფეხურის საანგარიშო ხარჯია 5,5 მ<sup>3</sup>/წმ. დერივაციის სიგრძე—2,8 კმ, საწნეო მილსადენისა—150 მ. ბრუტო დაწნევაა 47 მ, ნეტო დაწნევა—45 მ. დმანისი ჰესი II-ის დადგმული სიმძლავრეა 2000 კვტ. ენერჯის გამომუშავება—6 მილიონი კვტ-საათი. მეორე საფეხურის სამშენებლო ღირებულება 7,95 ათასი მანეთია, დადგმული კილოვატ-საათის ღირებულება—3975 მან., ხოლო წლიური კილოვატ-საათის ღირებულება 1,32 მანეთი. ამ ორივე საფეხურის ჰესის აგება გათვალისწინებულია უახლოეს წლებში.

56-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ორსაფეხურიანი საშუალო და დაბალდაწნევიანი დერივაციული ტიპის სოფლის ჰიდროსადგურის სქემა. ამ სქემით გათვალისწინებულია მდ. ტეხურის ერთ-ერთი უბნის ჰიდროენერგეტიკული გამოყენება. მდ. ტეხურისა და მდ. გურძელიას შერთვის ადგილას გათვალისწინებულია ორი წყალსაშვიანი კაშხალის აგება. კაშხალების სიმაღლე 3 მეტრია; თითოეულის სიგრძე კი არ აღემატება 30 მეტრს. მდ. ტეხურაზე აგებული კაშხალით ვალწევთ წყლის დონის აწევას საანგარიშო ნიშნულამდე, რათა უზრუნველყოთ საანგარიშო ხარჯის მიწოდება წყალმიმღებში. მდ. გურძელიაზე მოწყობილი კაშხალით კი მდინარის მთლიან ჩამონადენს არხის საშუალებით ვაგდებთ დერივაციულ არხში, რომელიც უერთდება სალექარს, ეს უკანასკნელი კი უწნეო გვირაბს. გვირაბის სიგრძე 2200 მეტრია, მისი გამტარუნარიანობა—24,5 მ<sup>3</sup>/წმ. გვირაბის ბოლო ნაწილი წარმოადგენს საწნეო აუზს. საწნეო მილსადენის ორი ხაზი უერთდება პირველი საფეხურის ჰესის შენობაში დადგმულ ჰიდროაგრეგატებს. თითოეული მილსადენის სიგრძე—22 მ, დიამეტრი—2,3 მ. პირველი საფეხურის ჰესის ბრუტო დაწნევა—17 მ, ნეტო დაწნევა კი 16,8 მ. დადგმული სიმძლავრე 3 280 კვტ, ენერჯის წლიური გამომუშავება 25 მილიონი კვტ-საათი. ობიექტის სამშენებლო ღირებულებაა 19,7 მილიონი მანეთი, დადგმული კვტ-ის ღირებულება

რებულემა—6,050 მანეთი, წლიური კვტ-საათის ღირებულემა—79 კაპ., ხოლო ენერჯის თვითღირებულემა—4,52 კაპ.

ტეხური ჰესი II წარმოადგენს დაბალდაწნევიანი დერივაციული ტიპის ჰიდროსადგურს. ტეხური ჰესი I-ის გამყვანი არხი მეორე საფეხურისათვის წარმოადგენს დერივაციულ არხს, რომელიც ბოლოვდება მილსადენის ორი ხაზით. თითოეული მილსადენის სიგრძე 34 მ, დიამეტრი—2,3 მ. ტეხური ჰესი II-ის ბრუტო დაწნევა 11,6 მ, ნეტო დაწნევა კი 9,8 მ, საანგარიშო ხარჯი—24,5 მ<sup>3</sup>/წმ. დადგმული სიმძლავრე—2200 კვტ, ენერჯის წლიური გამომუშავება—17.7 მილიონი კვტ-საათი. ორივე საფეხური წლის განმავლობაში უზრუნველყოფილია საანგარიშო ხარჯით, რადგან მდ. ტეხურის მინიმალური ჩამონადენი მნიშვნელოვნად აღემატება 24,5 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯს. ამიტომ ამ ორივე ჰიდროსადგურს შეუძლიათ იმუშაონ წლის ყოველ პერიოდში სრული დატვირთვით და გამოიმუშაონ წლიური საანგარიშო ენერჯია.

როგორც ვხედავთ, მეორე საფეხური წარმოადგენს პირველი ჰესის გაგრძელებას. ამიტომ უკვე აღარაა საჭირო სათავე კვანძისა და სხვა დამხმარე ნაგებობათა აგება. მეორე საფეხურის სამშენებლო ღირებულემა (6,5 მილიონი მანეთი) და სხვა ეკონომიური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად შემცირებულია. მაგალითად: დადგმული კვტ-ის ღირებულემა 2800 მანეთია, წლიური კვტ-საათის—37 კაპ.

საქართველოს პირობებში ზოგჯერ ვხვდებით კარსტული წარმოშობის მდინარეებს, რომელთა ენერგეტიკული გამოყენება მეტად ხელსაყრელია იმ მხრივ, რომ მათი ჩამონადენი შედარებით სტაბილურია, არ შეიცავენ მონატანებს, ხასიათდებიან მნიშვნელოვანი ვარდნებით და არ მოითხოვენ რთული და დიდი ღირებულების სათავე ნაგებობათა კვანძის მოწყობას.

კარსტული წარმოშობის მდინარის მაგალითს წარმოადგენს მდ. რეჩხა (გალის რაიონი), რომლის ენერგეტიკული გამოყენება ნაუარაუდევია ორსაფეხურიანი კასკადით. ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ კასკადის პირველი საფეხურის სქემას (ნახ. 57). მდ. რეჩხას ჩამონადენი მერყეობს  $2,2 \div 5,6$  მ<sup>3</sup>/წმ-ის ფარგლებში. საანგარიშო ხარჯად მიღებულია ცხრათვიანი უზრუნველყოფილობის ხარჯი—3 მ<sup>3</sup>/წმ.

პირველი საფეხურის გამოყენების უზნის სიგრძე არ აღემატება 500 მეტრს, მიუხედავად ამისა, ვალწევთ დაწნევის მნიშვნელოვან კონცენტრაციას. გამოყენების უზნად აღებულია მდინარის ზემო წელი.

კლდის ორი ნაპრალიდან გადმოვარდნილი ორი ანკარა ნაკადი ერთ-მანეთს ერთვის დაბლა, მეტად ვიწრო ხეობაში და ქმნიან ერთ მძლავრ ნაკადს—მდ. რეჩხას. ამ ნაკადების შერთვის ადგილას გათვალისწინებულია წყალამწვევი კაშხალი. კაშხალის კონსტრუქცია მეტად მარტივია, იგი

წარმოადგენს ყრუ კედელს, რომლის სიმაღლეა 6 მ, სიგრძე—27 მ. წყალმიმღები წარმოადგენს 5 მეტრი სიგრძის ღია არხს, რომელიც შეერთებულია მთის სიღრმეში გამავალ უწნეო გვირაბთან. გვირაბის სიგრძე 370 მეტრია, მისი განივიკვეთის ზომები კი აღებულია დასაშვები მინიმალური. გვირაბი თავდება საწნეო აუზით, რომელთანაც შეერთებულია 72 მ სიგრძის საწნეო მილსადენი ( $D=1,0$  მ). ჰესის შენობა გათვალისწინებულია სოფ. ცხირიდან 1 კმ დაშორებით. ჰესის შენობაში დადგმულია ერთი აგრეგატი (ტურბინი და გენერატორი). ჰესის დადგმული სიმძლავრეა 880 კვტ, ენერჯის წლიური გამომუშავება 6,3 მილიონი კვტ-საათი, დაწნევა ბრუტო—36,8მ, დაწნევა ნეტო—36,1 მ. ჰესის სრული სამშენებლო ღირებულებაა—2,64 მილიონი მანეთი, დადგმული კვტ-ის ღირებულება—3,020 მან., წლიური კვტ-საათის ღირებულება—42 კაპ., ხოლო ენერჯის თვითღირებულება—5,38 კაპ.

ერთი მდინარის ჩამონადენის ნაწილის მეორე მდინარეში გადაადგების ჰიდროენერგეტიკული გამოყენების მაგალითს წარმოადგენს კელასური ჰესის პროექტი, რომელიც დაპროექტებულია მდ. კელასურის ჩამონადენის ნაწილის გადაადგებაზე მდ. ბესლეთში. ამ ორი მდინარის დონეების ნიშნულთა მნიშვნელოვანი სხვაობა საშუალებას იძლევა შეექმნათ კონცენტრირებული (140წ) დაწნევა შედარებით უზნიშვნელო სიგრძის (4 კმ) დერივაციულ ნაგებობათა მოწყობით. მდ. კელასურის ჩამონადენის მდ. ბესლეთში გადაადგებით ენერგეტიკის საკითხებთან პარალელურად გადაწყვეტილია ქ. სოხუმისათვის მეტად მნიშვნელოვანი საკითხი, სახელდობრ, მდინარე ბესლეთის სანიტარული მდგომარეობის გაუმჯობესება მისი ჩამონადენის გადიდებით, რაც უზრუნველყოფს ამ მდინარის სიჩქარის გაზრდასა და გამდინარობის გაუმჯობესებას.

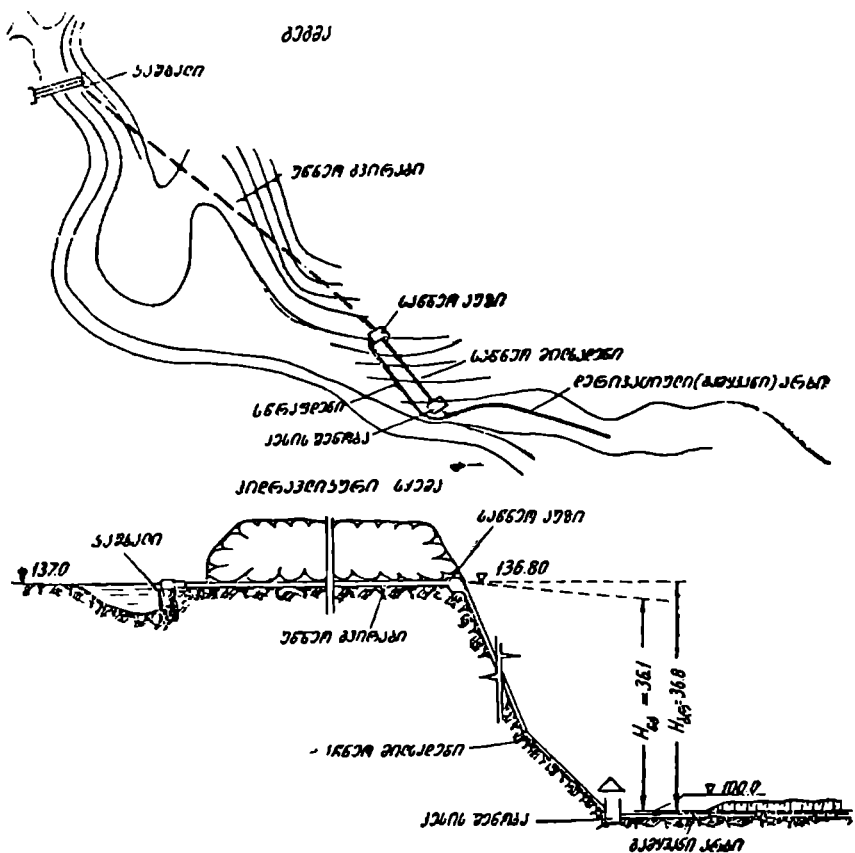
კელასური ჰესი მიეკუთვნება მაღალდაწნევიანი დერივაციული ტიპის ჰესს (ნახ. 58). სათავე ნაგებობათა კვანძი წარმოადგენს კაშხალს, გრძელ თარზულ გისოსიან წყალმიმღებს, ხრეშდამჭერს, მიმყვან გალერეასა და სალექარს. კაშხალი გაანგარიშებულია 80% უზრუნველყოფილობის მაქსიმალურ ხარჯზე  $Q_{აკს} = 660 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ . დერივაციში მიღებული საანგარიშო ხარჯი  $Q = 6,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ .

სალექარიდან წყლის ნაკადი გადადის უწნეო დერივაციულ გვირაბში, რომლის სიგრძეა 2005 მ, განივი ზომები კი: სიგანე  $b=1,9$  მ, სიმაღლე  $h=1,9$  მ. წყლის შევსების სიღრმე, როცა  $Q=6,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ , არ აღემატება  $h=1,35$  მ. გვირაბის ფსკერის ქანობი მიღებულია  $i=0,0024$ , წყლის მოძრაობის სიჩქარე  $v=2,37 \text{ მ}/\text{წმ}$ . გვირაბი წყალგამყოფი ქედიდან გამოსვლისას უერთდება ღია დერივაციულ არხს, რომლის სრული სიგრძეა 230 მ. დერივაციული არხი თავდება საწნეო აუზით, საი-





დანაც იწყება 303 მ სიგრძის საწნეო მილსადენის ორი ხაზი. მილების დიამეტრის ზომა მიღებულია  $d=1,1$  მეტრი. სადგურის შენობაში დადგმულია ორი ტურბინი გენერატორით.



ნახ. 57. საშალოდაწნევიანი დერივაციული ტიპის სოფლის ჰესის სქემა.

კელასური ჰესი ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებითა და ენერგეტიკული მონაცემებით.

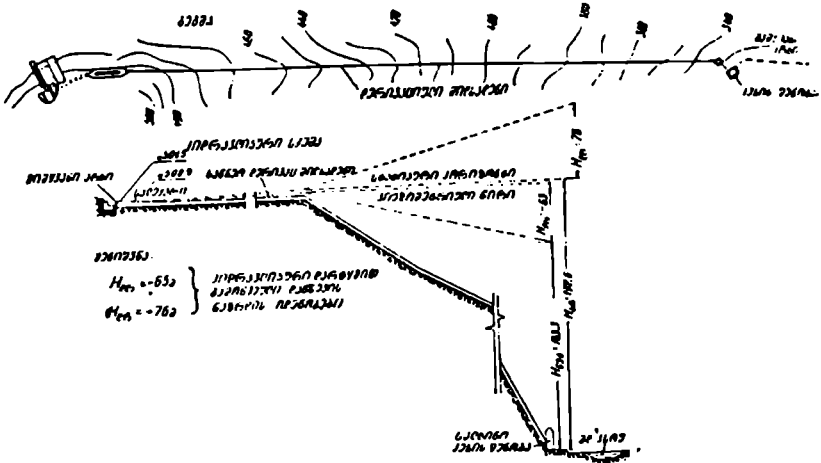
ჰესის მუშა დაწნევა 108 მ, საანგარიშო ხარჯი—6,0 მ<sup>3</sup>/წმ. ჰესის დადგმული სიმძლავრე 5420 კვტ. ენერჯის წლიური გამომუშავება—36 000 ათასი კვტ-საათი.

ჰესის სამშენებლო ღირებულება 20.942,5 ათასი მანეთია, ერთი



ნის საწნეო დერივაციითა და 805 მ სიგრძის საწნეო მილსადენის საშუალებით წყლის ნაკადი გადის ჰიდროტურბინებში. აქედან კი 140 მ სიგრძის გამყვანი არხის საშუალებით ჩადის ქვემო ბიფეში (ნახ. 59).

სალხინო ჰესში გამოყენებული მუშა დაწნევა  $H=161,9$  მ, საანგარიშო ხარჯი  $Q=0,2$  მ<sup>3</sup>/წმ; ჰესის დადგმული სიმძლავრე  $N=320$  კვტ; ენერჯის წლიური გამომუშავებაა  $\Sigma=185$  მილიონი კვტ-საათი.



ნახ. 59. მაღალდაწნევიანი სოფლის ჰესის სქემა.

### § 36. სარწყავ არხებზე მოწყობილი ჰესები

საქართველოს ზოგიერთ სარწყავ სისტემაზე მოწყობილია სოფლის ელექტროფიკაციისათვის განკუთვნილი ჰიდროსადგურები. მაგალითად: მეჯვრისხევი ჰესი აგებულია (გორის რაიონი) ტირიფონის მაგისტრალური არხის წყალსადგებზე სოფ. მეჯვრისხევთან ახლოს; მისაქციელი ჰესი—ლამი-მისაქციელის მაგისტრალური არხის წყალსადგებზე. ალაზნის ჰესის I და II საფეხურები კი აგებულია ალაზნის მაგისტრალური არხის წყალსადგებებზე.

ქვემოთ განვიხილავთ მხოლოდ მისაქციელი ჰესის სქემას.

მისაქციელი ჰესი დაპროექტებულია მუხრანის არსებული სარწყავი სისტემის ლამი-მისაქციელის არხის წყალსადგებზე (ნახ. 60). ჰესის ნაგებობებს შეადგენს: მაგისტრალის ზემო რაბი—გამანაწილებელი, რომლითაც შეგვიძლია წყალი მივაწოდოთ მოკლე არხის საშუალებით ჰესის საწნეო აუზს, საიდანაც სათავეს იღებს საწნეო მილსადენი. საწნეო აუზის მარცხენა კედელი წარმოადგენს გვერდით წყალსაშვებს. აუზის ბოლოში დადგმულია გამრეცი ფარი. ფარის შემდეგ მოწყობილია 1,5 მ

სიმაღლის ზღურბლი. გვერდითი წყალსაშვებიდან გადაღინებული ზედ-  
მეტი წყალი არსებული სწრაფდენის საშუალებით ეშვება ჩამქრობ ქა-  
ში, საიდანაც დაწყნარებული ნაკადი გაიყვანება არხის საშუალებით  
ქვემო ბიეფში (მდ. არაგვში). საწნეო მილსადენის ორი ხაზი (თითოეუ-  
ლი 90 მ სიგრძის) უერთდება სადგურის შენობაში დადგმულ ორ ჰიდ-  
რაულიკურ ტურბინს. ჰესის შენობა განლაგებულია წყალგამყვან არხ-  
თან ახლოს და მისი ფასადი ებჯინება ამ არხის მარჯვენა კედელს. ჰე-  
სის შენობის სათავსოები განკუთვნილია სამანქანო დარბაზისათვის, გა-  
მანაწილებელი მოწყობილობისა და დამხმარე სახელოსნოსათვის. აღწე-  
რილი ჰესის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კონსტრუქციების ყველა ძი-  
რითადი ზომა მოცემულია მე-60 ნახაზზე.

მისაქციელი ჰესი ხასიათდება შემდეგი მუშა პარამეტრებით და  
ენერგეტიკული მონაცემებით. ჰესის დაწნევა 42,8 მეტრია, საანგარიშო  
ხარჯი—5,5 მ<sup>3</sup>/წმ. ჰიდროაგრეგატების დადგმული სიმძლავრე 1880 კვტ,  
წლიური გამომუშავება კი 14,6 მილიონი კვტ-საათი.

---

## ჰიდრავლიკური ტურბინები

თ ა ვ ი VII

### ჰიდრავლიკური ტურბინების ტიპები და კლასიფიკაცია. ტურბინების მუშაობის თეორიული საფუძვლები

#### § 37. ზოგადი ცნობები

წყლის ენერჯის გამოყენებას უხსოვარი დროიდანვე ეძლეოდა დიდი მნიშვნელობა, რადგან სამეურნეო და ეკონომიური თვალსაზრისით ენერჯის ეს სახეობა ყოველთვის ხელსაყრელი იყო, ამასთან ეფექტური.

XIX საუკუნის მიწურულში მიღებულმა ელექტროფიკაციის ხერხების გაუმჯობესებამ, ე. ი. ელექტროენერჯის დიდ მანძილზე გადაცემის შესაძლებლობამ სათანადო პირობები შეუქმნა ისეთი მდინარეების ენერჯეტიკულად გამოყენებას, რომელიც რამდენიმე ათეული კილომეტრით იყვნენ დაშორებული მსხვილ სამრეწველო ცენტრებსა და ქალაქებს. ამ გარემოებამ უფრო მეტად გაზარდა წყლის ენერჯის უტილიზაციის საკითხების მნიშვნელობა, ამასთან ყურადღების ცენტრში დააყენა სრულყოფილი ჰიდრავლიკური მანქანების — ჰიდრავლიკური ტურბინების შექმნა, რომლებიც მაქსიმალურად გამოიყენებდნენ ნაკადის ენერჯიას.

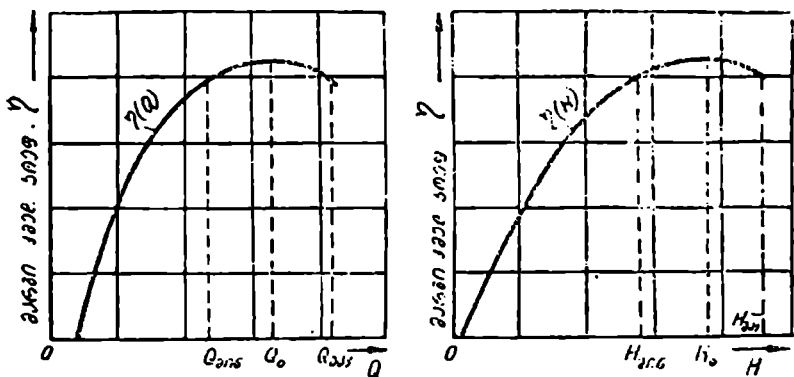
ჰიდრავლიკური ტურბინების გამოჩენამ XIX საუკუნის დასაწყისში უკანა პლანზე დააყენა წყლის ბორბლები. ეს მარტივი ჰიდრავლიკური მანქანები სწრაფად განიღვენა სახალხო მეურნეობის მეტწილ დარგიდან, განსაკუთრებით მრეწველობიდან და წარმატებით დაშვიდრდა ჰიდრავლიკური ტურბინები.

დროთა განმავლობაში ტურბინების კონსტრუქციამ განიცადა ტექნიკური პროგრესი. ჰიდრავლიკური ტურბინი ამჟამად წარმოადგენს ერთ-ერთ სრულყოფილ ჰიდრავლიკურ მანქანას, რომელიც ხასიათდება ხალხი მარგი ქმედების კოეფიციენტით. ტურბინებში მიღწეული მუშა ბორბლების დიდი ბრუნვითი სიჩქარეები საგრძნობლად ამცირებენ დანადგარის ზომებს, ამასთან ზრდიან ტურბინის სიმძლავრეს.

თანამედროვე ჰიდრავლიკური ტურბინების კონსტრუქცია ხასიათდება მაღალი სრულყოფილობით. ბოლო ხანებში ჩატარებულ საკვლეო და საკონსტრუქტორო სამუშაოების შედეგად, ჩვენს ქვეყანაში შექმნილია მაღალხარისხოვანი მუშა ბორბლები და მსხვილი სატურბინო დანადგარების ორიგინალური კონსტრუქციები.

თანამედროვე ჰიდრავლიკური ტურბინი, რომელიც გამოყენებულია ელექტროდენატივის მიზნებისათვის, მუშაობს მეტად რთულ პირობებში. მდინარის ჩამონადენის ცვალებადობა, ელექტროენერგიის ხარჯვის უთანაბრობა დღე-ღამისა და წლის განმავლობაში ჰიდრავლიკური ტურბინების წინაშე აყენებენ შემდეგ მოთხოვნებს:

1. ტურბინების მუშაობა უნდა იყოს შესაძლებელი ყველა დაწნევისა და წყლის ხარჯისას;



ნახ. 61. ტურბინის  $\eta(Q)$  და  $\eta(H)$  მახასიათებლები.

2. ტურბინებში წყლის ენერგიის გამოყენება უნდა სრულდებოდეს მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით როგორც ნორმალურ პირობებში მუშაობისას, ისე ცვლადი რეჟიმის შემთხვევაში.

ჰიდრავლიკური ტურბინების მუშაობის ცვლადი პირობები (ხარჯი და დაწნევა) იწვევენ ჰიდრავლიკური რეჟიმისა და დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვალებადობას. ამასთან დაკავშირებით საკიროა დავადგინოთ ტურბინებისათვის ხარჯისა და დაწნევის რყევების დასაშვები ზღვრები.

ჰიდრავლიკური ტურბინების  $\eta$  მარგი ქმედების კოეფიციენტსა,  $Q$  ხარჯსა და  $H$  დაწნევას შორის არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება, რომელიც შეგვიძლია გამოვსახოთ ეგრეთ წოდებული მუშა მახასიათებლებით (ნახ. 61). აღნიშნული მრუდები გვიჩვენებენ, რომ სა-

ანგარიშო  $Q$  და  $H$  პარამეტრების შერჩევით შეგვიძლია მნიშვნელოვნად გავზარდოთ ნაკადის ენერჯის ეფექტიანობა. მაგალითად, როცა ტურბინებს ვამუშავებთ  $\eta(\rho)$  და  $\eta(H)$  მახასიათებლების ზემო ზონაში, მაშინ ხარჯისა და დაწნევის საანგარიშო მნიშვნელობები მიიღება მინიმუმსა და მაქსიმუმს შორის მდებარე  $Q_0$  და  $H_0$  სიდიდეები. ამრიგად, დავასკვნით, რომ ტურბინის ოპტიმალური რეჟიმი უნდა ხასიათდებოდეს მაქსიმალური მარგი ქმედების კოეფიციენტით, რომელიც შეესაბამება დაწნევის უცვლელობის რაც შეიძლება ხანგრძლივ პერიოდს.

როგორც აღვნიშნეთ, დაწნევა წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს ჰიდრაულიკური ტურბინის ენერგეტიკულ ხარისხსა და მუშაობის რეჟიმს. ამიტომ სიუიროა შევჩერდეთ ამ ენერგეტიკულ მაჩვენებელზე და დავაზუსტოთ მისი მნიშვნელობა. მაგალითად. ჰესის მუშაობისას ჩვეს ვარჩევთ რამდენიმე დაწნევას [იხ. თავი 1, § 2], რაც მოითხოვს გარკვევას ჰესის დაპროექტებისა და ტურბინის ტიპის სწორედ შერჩევისათვის.

ჰიდროელექტროსადგურის სრული ანუ ბრუტო დაწნევა განსაზღვრავს წყალნაკადის თეორიულ (ბრუტო) სიმძლავრეს გამოყენების უბანზე. როგორც ვხედავთ, ბრუტო დაწნევა არ წარმოადგენს უშუალო პარამეტრს ჰიდრაულიკური ტურბინისათვის. თუ განვიხილავთ ნეტო დაწნევას, რომელიც შეესაბამება ტურბინის შესასვლელთან შექმნილ დაწნევას, ეს პარამეტრი განსაზღვრავს ტურბინთან მიყვანილ წყალნაკადის სიმძლავრეს. დაბოლოს, აღსანიშნავია მექანიკური ანუ მუშა დაწნევა ( $H$ ), რომელიც დამახასიათებელი პარამეტრია ჰიდრაულიკური ტურბინისათვის. მუშა დაწნევა გამოითვლება (1,18) ფორმულით და განსაზღვრავს ტურბინის მუშა ლილვზე მიღებულ მექანიკურ სიმძლავრეს. სხვანაირად, მუშა დაწნევა წარმოადგენს ენერჯის იმ რაოდენობას, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ტურბინებში.

მოუწესრიგებელ (არარეგულებულ) მცირე სიმძლავრის ჰესებში, სადაც დადგმულია თითო ტურბინი,  $H$  მუშა დაწნევა წარმოადგენს ცვლად პარამეტრს, რომელიც დამოკიდებულია ზემო და ქვემო ბიეფში წყლის დონეების მერყეობის ამპლიტუდაზე, ე. ი. წყალნაკადის ხარჯის ცვალებადობაზე. ამ შემთხვევაში მუშა დაწნევა საანგარიშო პერიოდისათვის გამოითვლება საშუალო არითმეტიკული წესით. ცხადია, რომ მოუწესრიგებელ ჰესებში ტურბინების დადგმული სიმძლავრის გამოყენების ხარისხი შედარებით დაბალი იქნება, ვიდრე მსხვილ, მოწესრიგებულ ჰესებში, სადაც წყალნაკადის ხარჯის მკვეთრად დავარდნისას გამოირთვება ერთი (ან რამდენიმე) ტურბინი, ან წყალსაცავიდან შეივსება საანგარიშო ხარჯის დეფიციტი, რათა საწნეო რეზერვუარში წყლის დონე

საანგარიშო ნიშნულს დაუახლოვდეს და მოქმედმა ტურბინებმა იმუშაონ სრული შესაძლებლობით.

ჰიდრაულიკური ტურბინების ძირითად პარამეტრად ჩაითვლება აგრეთვე მისი ბრუნთა რიცხვი წუთში ( $n$  ბრ/წთ), რომელიც დამოკიდებულია ტურბინის ტიპზე, მუშა ბორბლის კონსტრუქციასა და ზომებზე, აგრეთვე დაწნევის სიდიდეზე. ტურბინის ტიპის შერჩევა, მათი მუშა ბორბლის კლასიფიკაცია და სხვადასხვა ტიპის ტურბინების მუშაობის შედარება წარმოებს ეგრეთწოდებული კუთრი ბრუნთა რიცხვის ანუ სწრაფმავლობის ხარისხის მიხედვით, რომელიც ხასიათდება სწრაფმავლობის კოეფიციენტით ( $n_s$ )

$$n_s = \frac{n \sqrt{N}}{H \sqrt{H}}, \quad (7.1)$$

სადაც  $n$  არის ბრუნთა რიცხვი;

$N$  — ტურბინის ლილვზე მიღებული ჰექანიკური სიმძლავრე;

$H$  — მუშა დაწნევა.

ზოცემულ (7.1) ფორმულაში თუ შევიტანთ  $N=1$  ც. დ. და  $H=1$  მ ნივთივით, რომ  $n_s=n$ . ამრიგად. სწრაფმავლობის კოეფიციენტი წარმოადგენს მოცემული ტიპის ტურბინის იმ კუთრი ბრუნთა რიცხვს, როჟელიც 1 მ დაწნევისას იძლევა 1 ც. დ. (ანუ 0,736 კეტ) სიმძლავრეს. როგორც ცნობილია, თითოეული მუშა ბორბლის (ან ტურბინის) ტიპი ხასიათდება სწრაფმავლობის კოეფიციენტის განსაზღვრული მნიშვნელობით.

ჰიდროელექტროსადგურების მუშაობის ცვლადი პირობები აგრეთვე კარნახობენ ტურბინების განსაზღვრული რიცხვის შერჩევას. ცხადია, რაც უფრო მეტი ტურბინების რაოდენობა იქნება დადგმული ჰესის შენობაში, მით მეტად უზრუნველყოფილია ჰესის მდგრადი მუშაობა დატვირთვის დაეარდნისას, ან მდინარის წყალმცირობის პერიოდში. სახელდობრ, ზოგიერთი აგრეგატის<sup>1</sup> გამორთვით უზრუნველყოფთ ზემო ბიეფში წყლის დონის ურყეობასა და საანგარიშო ხარჯის მიწოდებას, რათა მივალწიოთ თითოეული მოქმედი ტურბინის ოპტიმალური რეჟიმით მუშაობას, ე. ი. აგრეგატის მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტს.

მაგრამ ისიც უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ტურბინების (აგრეგატების) რიცხვის ზედმეტად გაზრდა არახელსაყრელია როგორც ეკონომიური, ისე საექსპლუატაციო მოსაზრებებით.

ჰიდროელექტროსადგურის შეუწყვეტელი მუშაობა მოითხოვს, რომ ჰესის შენობაში დადგმული გვექონდეს რეზერვი ტურბინების რემონტის

<sup>1</sup> აგრეგატის ქვეშ იგულისხმება: ტურბინი, ჯენერატორი და გადამცემი მოწყობილობა.



ან აეროის დროს ჩართვისას. იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰესის შენობაში დადგმულია რამდენიმე აგრევატი, მაშინ არასავალდებულოა რეზერვი აგრევატის დადგმა, მით უმეტეს მაშინ, თუ ჰესი მუშაობს ენერგეტიკულ სისტემაში. ხშირად, როცა მცირე სიმძლავრის ჰესი ჩართულია მძლავრ ენერგეტიკულ სისტემაში, შეიძლება დაიდგას მხოლოდ ერთი აგრევატი.

ტურბინების მუშაობის რეჟიმის რეგულება წარმოებს ავტომატიზაციის სხვადასხვა ხერხით, რომელთა შერჩევა მჭიდროდ დაკავშირებულია აგრევატის რიცხვთან და დამოკიდებულია ტურბინების ტიპზე.

ჰიდრავლიკური ტურბინი წარმოადგენს სწრაფმავალ ძრავს. იგი შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისაგან: ა) სტატორისაგან, რომელიც წარმოადგენს ორი რგოლისებური ფორმის სპირალური კამერისა და მიმმართველი აპარატისაგან შემდგარ ორგანოს. სპირალური კამერის დანიშნულებაა წყალი თანაბრად მიაწოდოს ტურბინის მიმმართველი აპარატის მთლიან პერიმეტრზე. მიმმართველი აპარატით კი წარმოებს ნაკადის სიჩქარეების რეგულება და გარკვეული მიმართულების მიცემა, აგრეთვე ტურბინში გამავალი წყლის ხარჯის მოწესრიგება, ე. ი. ტურბინის სიმძლავრის რეგულება: ბ) როტორისაგან, (რომელიც წარმოადგენს ლილვზე დამაგრებულ მბრუნავ მუშა ნაწილს სპეციალური ფორმის ფრთებით. ამ მბრუნავ ნაწილს უწოდებენ მუშა ბორბალს). როტორის დანიშნულებაა მიიღოს მოძრავი ნაკადის ენერგია და გარდაქმნას ტურბინის ბრუნვის მექანიკურ ენერგიად. ტურბინში დიდი სიჩქარით გამავალი წყლის ნაკადი მუშა ბორბალში გასვლისას იცვლის მოძრაობის მიმართულებას, რაც წარმოქმნის რეაქციის ძალებს, რომლებიც მოქმედებენ მუშა ბორბლის ფრთებზე და იწვევენ ბორბლის ბრუნვით მოძრაობას. ტურბინის მუშა ლილვი მარტივი გადაცემით შეერთებულია გენერატორთან; უფრო სწორედ, ტურბინი და გენერატორი დამჯდარია ერთ საერთო მუშა ლილვზე და ტურბინის მუშა ბორბლის ბრუნვითი მოძრაობა უშუალოდ გადაეცემა გენერატორის როტორს, ხოლო გენერატორში განთავსებული ელექტროენერგია სათანადო ტრანსფორმაციის შემდეგ გადამცემი ქსელით მიეწოდება მომხმარებლებს.

## § 35. ჰიდრავლიკური ტურბინების ტიპები და კლასიფიკაცია

ჰიდრავლიკური ტურბინები, მათი მოქმედების პრინციპის მიხედვით დაიყოფა ქარბწნევიანი (რეაქტიული) და თავისუფალქავრილიანი (აქტიური) ტიპის ტურბინებად.

აღნიშნული ტიპის ტურბინები მოქმედებენ მექანიკის ერთი და

იგივე პრინციპით — მოქმედებისა და უკუმოქმედების კანონის საფუძველზე. მაგალითად, ქარბწნევიან ტურბინებში ნაკადის ენერგია ერთდროულად გადაეცემა მუშა ბორბლის ყველა ფრთას. ფრთებს შორის წარმოქმნილი მრუდი მოხაზულობის ღარებში გამავალი ნაკადი მიმართულებას თანდათან იცვლის, ამასთან იზრდება ნაკადის სიჩქარეები ღარების განივი კვეთის შეპკირების გამო. ცხადია, ნაკადის მიმართულების შეცვლა გამოიწვევს რეაქციის ძალების წარმოქმნას, იოლო სიჩქარეების გაზრდა — ცენტრიდანულ ძალებს. აღნიშნული ორივე ძალა წარმოადგენს რეაქციის ძალებს, რომელთა შეჯამებული მოქმედება მუშა ბორბლის ფრთებზე გამოიწვევს მბრუნავი მომენტის წარმოქმნასა და ბორბლის ბრუნვით მოძრაობას.

ქარბწნევიან ტურბინებში ნაკადის პოტენციური ენერგია მნიშვნელოვნად აღემატება მის კინეტიკურ ენერგიას და მუშა ფრთებზე წარმოქმნილი რეაქციის ძალები ძირითადად დამოკიდებულია ამ ქარბ დაწნევაზე.

თავისუფალქავრილიან ტურბინებში მუშა ბორბლის ბრუნვითი მოძრაობა წარმოებს მხოლოდ ნაკადის კინეტიკური ენერგიის გარდაქმნის ანგარიშზე, ე. ი. ამ ტიპის ტურბინებში ნაკადის ენერგია მთლიანად გადადის კინეტიკური ენერგიის სახეობად, რომელიც შემდგომ ტურბინის მუშა ნაწილებით გარდაიქმნება მექანიკურ ბრუნვით ენერგიად.

თავისუფალქავრილიან ტურბინებში მუშა დაწნევა, სანამ ნაკადი შეეხებოდეს ტურბინის როტორს, გადადის კინეტიკურ ენერგიად და ნაცემიდან, ე. წ. საქშენიდან გამოტყორცნილი კონცენტრირებული ქავრილის სახით მოქმედებს რიგრიგობით მუშა ბორბლის ფრთებზე და წარმოქმნის მბრუნავ მომენტს.

საქშენიდან გამოტყორცნილი ქავრილის სიჩქარე დაწნევის სიდიდესთან დამოკიდებულებით შეიძლება იყოს 30-დან — 160 მ/წმ-მდე. მუშა ბორბლის ფრთაზე დიდი სიჩქარით მოხვედრილი ქავრილი თითქმის იგივე სიჩქარით უკანვე გამოიტყორცნება ფრთიდან, ამიტომ რეაქციის ძალები წარმოიქმნება არა სიჩქარეების სხვაობის შედეგად, არამედ მათი მიმართულების შეცვლის გამო.

ქარბწნევიანი ტურბინები გამოიყენება სულ მცირე 5 მ და 300 მ დაწნევაზე. ამ ტიპის განხორციელებული ტურბინების სიმძლავრე აღწევს 100 ათას კეტ-ს. ქარბწნევიანი ტურბინები დადგმულია დნებარის ვოლხოვის, ზემოაეჟალის, ძორასა და სხვა ჰესებზე.

თავისუფალქავრილიანი ტურბინების გამოყენება მიზანშეწონილია მაღალდაწნევიან ჰესებში. მაგალითად, აღნიშნული ტიპის ტურბინები დადგმულია ხრამის, გიზელდონის და სხვ. ჰესებზე. ამჟამად ჩვენი ქარ-

ხნების მიერ ათვისებულია და მზადდება 50 ათასი კვტ სიმძლავრის თავისუფალდაწნევიანი ტურბინები.

მოცემული ჰესისათვის ტურბინის ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია რიგ პირობებზე. ძირითადად კი დაკავშირებულია წყლის ხარჯსა და კონცენტრირებული დაწნევის სიდიდესზე. სახელდობრ, როდესაც წყლის ხარჯი მნიშვნელოვანია, ხოლო დაწნევა ( $5 \div 300$ ) მ ფარგლებშია, მაშინ უნდა შეირჩეს ჰარბწნევიანი ტურბინის ტიპი. წინააღმდეგ შემთხვევაში კი თავისუფალჰავრილიანი ტურბინი. გარდა ამისა, ტურბინის ტიპის შერჩევისას უნდა გავითვალისწინოთ ჰესის რიგი პარამეტრები და მონაცემი, რომელთა უგულებელყოფა დაუშვებელია (იხ. ქვემოთ).

განიილული ჰიდრავლიკური ტურბინების ტიპების კლასიფიკაცია მიღებულია კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით. მაგალითად: ჰარბწნევიანი ტურბინები დაიყოფა რადიალურ-ღერძულ, მბრუნავ-ფრთიან და პროპელურ ტურბინებად. ხოლო თავისუფალჰავრილიანი ტურბინები—ჰავრილ-ციცხვიან და ორჯერად ტურბინებად.

მუშა ლილვის განლაგების მიხედვით ვარჩევთ თარხულ და შვეულ ტურბინებს. დიდი სიმძლავრის ტურბინები, როგორც წესი, მზადდება შვეული ლილვით, ხოლო მცირე და საშუალო სიმძლავრის ტურბინები — თარხული ლილვით. შვეული აგრეგატების მონტაჟი და დემონტაჟი უფრო მოსახერხებელია, მომსახურებაც—გაადვილებული.

ყველა ჩამოთვლილი ტურბინი სწრაფმავლობის მიხედვით დაიყოფა ნელმავალ, საშუალომავალ და სწრაფმავალ ტურბინებად. მაგალითად, ჰავრილ-ციცხვიანი ტურბინები მიეკუთვნება ნელმავალ ტურბინებს და მათი გამოყენება წარმოებს დიდი დაწნევისა და მცირე ხარჯისას. ჰარბწნევიანი ტურბინები მეტწილ შემთხვევაში გვხვდება სწრაფმავალი. ამასთან, რაც უფრო მცირეა ტურბინის მუშა დაწნევა და მნიშვნელოვანია ტურბინის მიერ გატარებული ხარჯი, მით მეტი სწრაფმავალი უნდა იყოს ტურბინი.

ქვემოთ მოყვანილ 25-ე ცხრილში მოცემულია ჰიდრავლიკური ტურბინების კლასიფიკაცია სწრაფმავლობის კოეფიციენტის მიხედვით.

## § 39. ჰიდრავლიკური ტურბინების მუშაობის თეორიული საფუძვლები

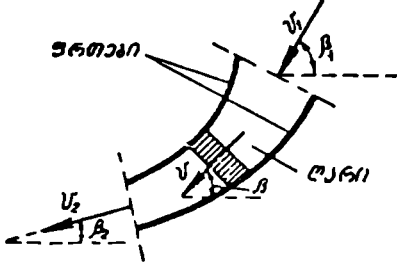
ჰარბწნევიან ტურბინებში წყლის ნაკადის შედინება რადიალური ნიმართლებით ხდება. შემდეგ მუშა ბორბალში შემოსული ნაკადი თანდათან მიმართულებას იცვლის და როცა უკვე ნაკადი სტოვებს მუშა ბორბალს, მისი მოძრაობის მიმართულება ემთხვევა ტურბინის ღერძის ნიმართულებას და გადის ქვემო ბიეფში.

ჰიდრავლიკური ტურბინების კლასიფიკაცია სწრაფმავლობის  
კოეფიციენტის მიხედვით

№ რიგზე	ტურბინის ტიპი	სწრაფმავლობის კოეფიციენტი $\mu_s$		გამოყენების ფარგულში დაწნევის მიხედვით
		მცირე	უდიდესი	
1	ქვერილ-ციცხვიანი	10	50	200—2000
2	რადიალურ-ღერძული ნელმავალი . .	70	150	120—300
3	რადიალურ-ღერძული საშუალომავალი	150	250	50—120
4	რადიალურ-ღერძული სწრაფმავალი . .	250	400	20—50
5	პროპელური და მბრუნველფორთიანი ნელ- მავალი .	350	550	22—40
6	იგივე საშუალომავალი	550	750	12—22
7	იგივე სწრაფმავალი .	750	950	5—12

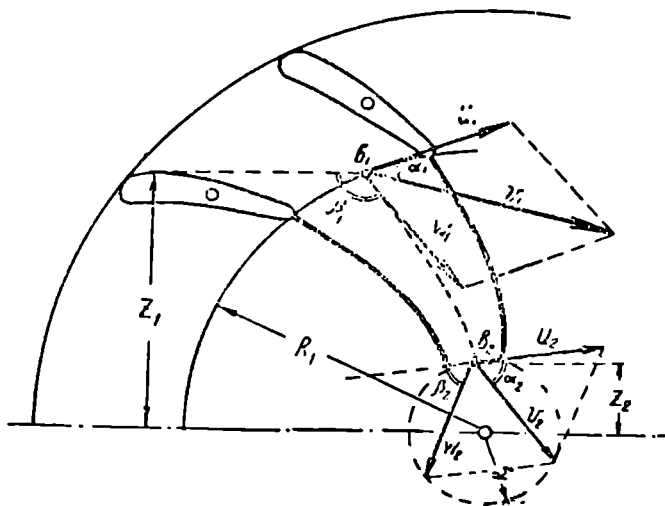
როგორც ზემოაღწერილდან ჩანს, მუშა ბორბლის ღარში ნაკადის მოძრაობა რთული ხასიათისაა: იგი შედგება აბსოლუტური და ფარდობითი მოძრაობისაგან. განვიხილოთ თითოეული მოძრაობა ცალ-ცალკე; ეპოვოთ მათი შესაბამისი ენერგიების გამოსახულება და შეჯამებული შედეგი, რომელიც უნდა შეესაბამებოდეს ნაკადის მიერ უშუალოდ გადაცემულ ენერგიის მნიშვნელობას.

განვიხილოთ ნაკადის დამყარებული რეჟიმის აბსოლუტური მოძრაობა. წარმოვიდგინოთ მუშა ბორბლის ერთ-ერთი ღარი [ნახ. 62 და 63] დაუშვათ, რომ მასში ნაკადი სწორივი ტრაექტორიებით მოძრაობს. მუშა ბორბალში მიმპართველი აპარატიდან შემოსული ნაკადის სიჩქარე აღვნიშნოთ  $v_1$ -ით, რომელიც წარმოადგენს ნაკადის აბსოლუტურ სიჩქარეს ღარის საწყის (შესასვლელ) კვეთში. ვთქვათ, მუშა ბორბლის ღარიდან გამოსული ნაკადი  $v_2$  აბსოლუტური სიჩქარით მოძრაობს. განვსაზღვროთ სითხის ის კუთრი ენერგია რომელიც ნაკადს მუშა ბორბალში შესვლამდე ჰქონდა და ის ენერგია, რომელიც შერჩა ნაკადს მუშა ბორბალში გაელის შემდეგ. მუშა



ნახ. 62. მუშა ფრთებს შორის შექმნილი ღარის სქემა.

ღარის  $b_1$  საწყის და გამოსასვლელი  $b_2$  კვეთებისათვის შევადგინოთ ბერნული განტოლება [ნახ. 63].



ნახ. 63. მუშა ბორბლის სქემა და ნაკადის სიჩქარეების განაწილება ღარის საწყის და გამოსავალ კვეთებში.

$b_1$  კვეთისათვის ასეთი გამოსახულება გვექნება

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}, \quad (ა)$$

სადაც  $z_1$  გეომეტრიული სიმაღლეა ნებისმიერად აღებულ შედარების სიბრტყიდან;  $p_1$  — მუშა ბორბალში შესვლამდე ნაკადის წნევა.

$b_2$  კვეთისათვის კი

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{გვ}} \quad (ბ)$$

აქაც  $z_2$  შედარების სიბრტყიდან გეომეტრიული სიმაღლეა;  $p_2$  — მუშა ბორბლიდან გამოსული ნაკადის შემციირებული წნევა;  $v_2$  — ნაკადის აბსოლუტური სიჩქარე გამოსასვლელ  $b_2$  კვეთში, ხოლო  $h_{\text{გვ}}$  კი ჰიდრაული დანაკარგებია მუშა ღარში.

(ა) და (ბ) გამოსახულებათა სხვაობა გვაძლევს იმ ენერგიის მნიშვნელობას, რომელიც ნაკადმა, მუშა ბორბალში გავლისას, დასტოვა. მაშასადამე, გვექნება

$$E_{\text{კთ}} = z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - h_{\text{გვ}}, \quad (7,2)$$

სადაც  $E_{\text{კ}}$  არის ის კუთრი ენერგია, რომელიც ნაკადმა გადასცა მუშა ბორბლის ფრთებს ლარში გადინებისას.

განვიხილოთ ნაკადის ფარდობითი მოძრაობა მუშა ბორბლის ლარში.  $b_1$  და  $b_2$  კვეთებისათვის ფარდობითი და გადატანითი (წრეწირული) სიჩქარეები აღვნიშნოთ  $w_1$ ,  $w_2$  და  $u_1$ ,  $u_2$  ასობით. როგორც 63-ე ნახაზიდან ჩანს,  $w_1$  და  $w_2$  აბსოლუტური სიჩქარეები განისაზღვრებიან  $w_1$ ,  $w_2$  და  $u_1$ ,  $u_2$  სიჩქარეების ვექტორებზე აგებული პარალელოგრამის დიაგონალებით.

როგორც ცნობილია, გადატანითი ანუ წრეწირული სიჩქარეები წარმოქმნიან ცენტრიდანულ ძალებს:  $I = m\omega^2 r$ , სადაც  $m$  არის სითხის მასა;  $\omega$  — კუთბური სიჩქარე;  $r$  კი განსახილველი კვეთიდან მუშა ბორბლის ცენტრამდე დაშორების მანძილი.

ცენტრიდანული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა  $m$  მასის მქონე სითხისათვის, რომელიც გადაადგილდება მუშა ბორბლის საწყისი კვეთიდან ბოლო კვეთამდე, ასე გამოისახება:

$$\int_{R_2}^{R_1} m\omega^2 r dr = \frac{1}{2} m\omega^2 (R_1^2 - R_2^2). \quad (7,3)$$

რადგან

$$\omega R_1 = u_1 \text{ და } \omega R_2 = u_2, \quad (7,4)$$

ამიტომ ცენტრიდანული ძალის მუშაობა ასე გადაიწერება

$$A = m \cdot \frac{u_1^2 - u_2^2}{2}, \quad (7,5)$$

ხოლო იგივე მუშაობა მოსული ერთეულ წონაზე

$$A' = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g}. \quad (7,6)$$

აქ  $A'$  კუთრი ენერგიაა ერთეული მასის მქონე მოძრავი სითხისა, რომელიც გადაეცა მუშა ბორბლის ფრთებს.

ენერგიის მდგომარეობის განტოლება ნაკადის ფარდობითი მოძრაობისას, ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად გამოისახება.  $b_1$  კვეთისათვის გვექნება

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g}, \quad (8)$$

ხოლო  $b_2$  კვეთისათვის

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} + h'_{\text{გვ}}. \quad (9)$$

(გ) და (დ) გამოსახულებების სხვაობა იძლევა იმ კუთრი მუშაობის მნიშვნელობას, რომელიც ცენტრიდანულმა ძალამ შეასრულა და გადასცა მუშა ბორბალს, რაც გამოისახა მისი ბრუნვითი მოძრაობით, ე. ი.

$$\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} = \tau_1 - \tau_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} - h'_{\epsilon\epsilon}, \quad (7,7)$$

სადაც  $u$  არის გადატანითი სიჩქარე;

$w$  — ფარდობითი სიჩქარე;

$h'_{\epsilon\epsilon}$  — დანაკარგები გამოწვეული ფარდობითი მოძრაობის შედეგად. მიღებული (7,2) და (7,7) განტოლებები წვერობრივად რომ გამოკლოთ ერთმანეთს, მივიღებთ

$$E_{\text{კო}} - \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} - (h_{\epsilon\epsilon} + h'_{\epsilon\epsilon}),$$

საიდანაც

$$E_{\text{კო}} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - (h_{\epsilon\epsilon} + h'_{\epsilon\epsilon}); \quad (7,8)$$

მიღებული განტოლება ასეც შეგვიძლია გამოვსახოთ

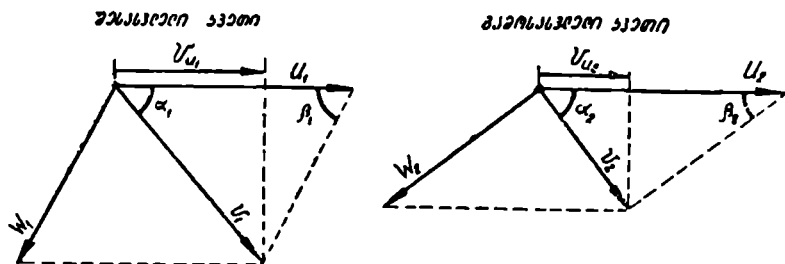
$$\eta_{\text{ბ,კ}} H = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g}. \quad (7,9)$$

(7,9) განტოლება გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა მუშა დაწნევის, მარგი ქმედების კოეფიციენტსა და მუშა ბორბლის ფრთებზე არსებულ ცირკულაციას შორის დამოკიდებულების შესახებ. უნდა აღინიშნოს, რომ  $\eta_{\text{ბ,კ}}$  წარმოადგენს ეგრეთ წოდებულ ტურბინის ჰიდრავლიკურ მარგი ქმედების კოეფიციენტს. იგი არ აღნუსხავს მოცულობით დანაკარგებს (მუშა ბორბლის გარეთ გადინებული წყლის რაღაც რაოდენობის დანაკარგებს) ტურბინში და დანაკარგებს მექანიკურ (ლითონების ზედაპირზე) ხახუნზე.

ფარდობითი სიჩქარეების განსაზღვრისათვის მივმართოთ სიჩქარეების სამკუთხედებს აგებულს ლარის შესასვლელ და გამოსასვლელ კვეთებისათვის (ნახ. 64).

მუშა ბორბალში გადინებული თხევადი ნაწილაკის ტრაექტორიის ყოველ წერტილში აბსოლუტური სიჩქარე შეგვიძლია დავშალოთ მდგენელ სიჩქარეებად. ამ სიჩქარეების ვექტორები, როგორც ნახაზიდან ჩანს, წარმოქმნიან შეკრულ სამკუთხედს, რომელსაც უწოდებენ სიჩქარეების სამკუთხედს.

გარკვეულ ინტერესს იმსახურებს სიჩქარეების სამკუთხედები აგებული მუშა ბორბლის შესასვლელი და გამოსასვლელი კვეთებისათვის (ნახ. 64).



ნახ. 64. სიჩქარეების სამკუთხედები ლარის შესასვლელ და გამოსასვლელ კვეთებზე.

როგორც წესი,  $v_1$  აბსოლუტური სიჩქარე განისაზღვრება კონცენტრირებული დაწნევით, ტურბინში გამავალი წყლის ხარჯით, ხოლო მისი მიმართულება მიიღება მიმმართველი აპარატის ფრთების მდებარეობის შესაბამისად, ამ  $v_1$  სიჩქარით შეედინება მუშა ნაკადი მუშა ბორბლის ღარებში.

გადატანითი სიჩქარის ( $u$ ) სიდიდე და მიმართულება ეთანადება მუშა ბორბლის წრეწირულ სიჩქარეს.

ფარდობითი სიჩქარე ( $w$ ) წარმოადგენს იმ სიჩქარეს, რომლითაც თხევადი ნაწილაკი მოძრაობს მუშა ბორბლის ფრთების ზედაპირის გასწვრივ.

შესასვლელ და გამოსასვლელ კვეთებში გადატანითი სიჩქარეები შეიძლება ერთი და იგივე იყოს მიმართულებით, ხოლო განსხვავებული — სიდიდით. ფარდობითი სიჩქარეების მიმართულება და სიდიდე შესასვლელ და გამოსასვლელ კვეთებში დამოკიდებულია მუშა ბორბლის კონფიგურაციაზე.

სიჩქარეების სამკუთხედებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ  $w_1$  და  $w_2$  ფარდობითი სიჩქარეები (ნახ. 64):

$$w_1^2 = v_1^2 + u_1^2 - 2u_1v_1 \cos \alpha_1, \quad (7, 10)$$

$$w_2^2 = v_2^2 + u_2^2 - 2u_2v_2 \cos \alpha_2.$$

სიჩქარეების გამოსახულებიდან აგრეთვე ვპოულობთ

$$v_1 \cos \alpha_1 = v_{u1}, \quad v_2 \cos \alpha_2 = v_{u2}, \quad (7, 11)$$



ხოლო (7,10) გამოსახულების გათვალისწინებით (7,9) განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს

$$\eta_{\delta,1}H = \frac{u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (7,12)$$

ჩვეულებრივად, თუ ტურბინების გაანგარიშებისას  $v_2$  აბსოლუტური სიჩქარის მიმართულებას  $u_2$  სიჩქარის პერპენდიკულარულს მივიღებთ, ე. ი. როცა კუთხე  $\alpha_2 = 90^\circ$  (სადაც  $\alpha_2$  კუთხე  $v_2$  და  $u_2$  სიჩქარეების ვექტორებს შორის შექმნილი კუთხეა), მაშინ (7,12) განტოლება გამარტივებულ სახეს მიიღებს

$$\eta_{\delta,1}H = \frac{u_1 v_1 \cos \alpha_1}{g}, \quad \text{ან} \quad \eta_{\delta,1}H = \frac{u_1 v_{u1}}{g} \quad (7,13)$$

მიღებული (7,13) გამოსახულება ჰიდრავლიკური ტურბინის ძირითად განტოლებას წარმოადგენს. ამ განტოლების თეორიული გამოკვლევა პრაქტიკული მნიშვნელობის დასკვნებს გვაძლევს. აღნიშნული განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ჰიდრავლიკურ ტურბინებში შექმნილი დაწნევის სიდიდე  $v_1$  და  $u_1$  სიჩქარეებზე და მათ მიმართულებაზე დამოკიდებული, რაც  $\beta_1$  კუთხის სიდიდესთანაა დაკავშირებული. ამასთან როდესაც  $u_1$  წრეწირულ სიჩქარესა და ბორბლის გარე  $R_2$  რადიუსს ვზრდით, მაშინ დაწნევა შესაბამისად იზრდება. აქედან ცხადია, თუ მოცემულია მუშა ბორბლის ლარების ზომები, მაშინ დაწნევის სიდიდე მუშა ფრთების ფორმაზე იქნება დამოკიდებული, ე. ი.  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$  კუთხეებსა და ლარის შესასვლელი და გამოსასვლელი კვეთების სიჩქარეების სამკუთხედებზე.

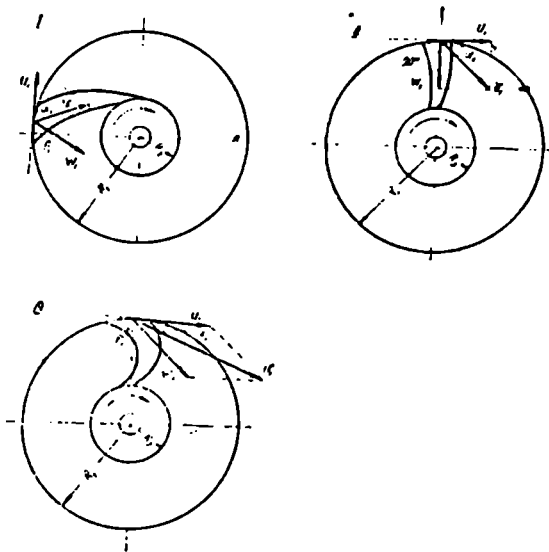
#### § 40. მუშა ბორბლის ფრთის მოხაზულობისა და კუთხის ზეგავლენა ტურბინის მუშაობის რეჟიმზე

განვიხილოთ ერთსა და იმავე პირობებში მომუშავე მუშა ბორბლები, რომელთა ფრთების ფორმა სხვადასხვაა. ამასთან, მათი  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსები და ბორბლებში ნაკადის შედინების პირობები ერთნაირია.

პირველი შემთხვევა (ნახ. 65, I). ვთქვათ, მუშა ფრთა ბორბლის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ უკან გადახრილია;  $\beta_1 < 90^\circ$ , ხოლო  $\alpha_1 = 90^\circ$ . (7,13) ფორმულიდან გვეჩვენება, რომ რადგან  $\cos \alpha_1 = 0$ , ამიტომ  $H$  დაწნევაც ნულის ტოლი იქნება, ე. ი. ტურბინში არავითარი წნევა არ წარმოიშევა. ამ შემთხვევაში ნაკადის მთლიანი ჰიდრავლიკური მუშაობა ფარდობითი სიჩქარეების შეცვლაზე იხარჯება. აქედან დავასკვნით, რომ ასეთი მოხაზულობის ფრთებს ნაკადის წნევის გამოყენება არ შეუძლია.

შეორე შემთხვევა (ნახ. 65, II). განვიხილოთ მუშა ფრთის შეორე მოხაზულობა. ვთქვათ,  $\beta_1 = 90^\circ$ , ე. ი. ფრთის საწყისი ნაწილი რადიალური მიმართულებისაა. ნახაზის თანახმად  $\alpha_1 < 90^\circ$ , გვექნება

$$v_1 \cos \alpha_1 = u_1,$$



ნახ. 65. მუშა ბორბლის ფრთების მოხაზულობის სამი სქემა.

ამიტომ (7,13) განტოლება ასე წარმოგვიდგება

$$\eta_{\text{ბ.ა}} H = \frac{v_1^3}{g}, \quad (7,14)$$

ე. ი. მუშა ფრთების რადიალური მოხაზულობისას ტურბინში გამოყენებული დაწნევა ტოლია ბრუნვითი მოძრაობის შესაბამისი კინეტიკური ენერჯიის გარკვევებული სიდიდის.

შესაბამებ შემთხვევა (ნახ. 65, III). განვიხილოთ მუშა ფრთის შესაბამე მოხაზულობა. დავუშვათ, რომ  $\beta_1 > 90^\circ$ , ე. ი. ფრთის საწყისი ნაწილი მუშა ბორბლის მოძრაობის მიმართულებით წინ მოხრილია. თუ  $\beta_1$  კუთხეს ისეთნაირად შევარჩევთ, რომ დავაკმაყოფილოთ შემდეგი პირობა

$$v_1 \cos \alpha_1 = 2u_1,$$

მაშინ (7,13) ძირითადი განტოლება ასე გადაიწერება

$$\eta_{\text{ბ.ა}} H = \frac{2u_1^3}{g}. \quad (7,15)$$

აქედან ცხადია, რომ ფრთის ასეთი მოხაზულობის დროს ტურბინის შეუძლია ორჯერ მეტი სიდიდის დაწნევა გამოიყენოს, ვიდრე რადიალურად მიმართული ფრთების შემთხვევაში. მაშასადამე, ფრთების ასეთი მოხაზულობისას ნაკადის სიჩქარე და კინეტიკური ენერგია მაქსიმალური მნიშვნელობისაა. ამ შემთხვევაში ნაკადის პოტენციური ენერგიის კინეტიკურ ენერგიად გარდაქმნისას, ჰიდრაულიკური დანაკარგები მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევენ, რადგან მცირე სიგრძის ლარებში ნაკადის სიჩქარე ამ მომენტში მაქსიმალურია, ეს უკანასკნელი კი იწვევს სითხის მნიშვნელოვან აჩქარებას, და ამით დამატებით ჰიდრაულიკურ დანაკარგებსაც წარმოშობს. ასეთ ჰიდრაულიკურ პირობებში მომუშავე ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა შედარებით დაბალია.

ტურბინების მშენებლობის პრაქტიკაში, ტურბინების სრულქმნილობის მისაღწევად, მიღებულია. რომ  $\alpha_2 = 90^\circ$ ;  $\beta_2$  კუთხის განსაზღვრა კი  $\alpha_2$  და  $\beta_2$  სიჩქარეების თანაფარდობის საფუძველზე წარმოებს, ე. ი.  $\beta_2$  კუთხე ისე უნდა შეირჩეს, რომ  $\beta$  სიჩქარის მიმართულემა (მუშა ბორბლის გამოსასვლელ კვეთში) რადიალური მივილოთ. პრაქტიკულად  $\beta_2$  კუთხე აიღება ( $14 \div 25^\circ$ ) ზღვრებში, ხოლო მუშა ფრთების ბოლო ნაწილის დაბრის კუთხე კი  $\beta_1 = (20 \div 25^\circ)$  ზღვრებში. ასეთი ტიპის მუშა ბორბლები მუშაობის ხელსაყრელ პირობებს ქმნიან, რადგან ამ შემთხვევაში ტურბინის მუშაობის რეჟიმი მდგრადია და მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა შედარებით მაღალია.

---

## ჭარბწმევიანი (რეაქტიული) ტურბინები

### § 41. ტურბინის მუშაობის რეაქტიული პრინციპი

ქარბწმევიან ტურბინში ნაკადის გადინება მუშა ბორბლის ყველა ლარში ერთდროულად ხდება. ამიტომ ნაკადის ენერგია ერთდროულად გადაეცემა მუშა ბორბლის ყველა ფრთას. ნაკადს, მუშა ბორბლის ლარებში შესვლისას, აქვს ქარბი პოტენციური ენერგია  $\left(\frac{p}{\gamma}\right)$ , რომელიც მნიშვნელოვნად მცირდება ნაკადის ლარებიდან გამოდინებისას. ამასთან, მუშა ლარებში ნაკადის კონცენტრირებული დაწნევის სიჩქარეებად (კინეტიკურ ენერგიადა) გარდაქმნა მიმდინარეობს თანდათანობით, ე. ი. ნაკადის  $\frac{p}{\gamma}$  ენერგია მცირდება და მისი მომეტებული ნაწილი იხარჯება ფარდობითი სიჩქარეების გაზრდასა და ჰიდრავლიკურ წინაღობათა გადალახვაზე. გარდა ამისა, მუშა ბორბლის მოხრილი ლარებით ნაკადის მოძრაობის მიმართულება იცვლება, რაც წარმოქმნის დამატებითი რეაქციის ძალებს.

მუშა ბორბალზე გადაცემული ენერგია, ცხადია, ტოლი იქნება მუშა ბორბლის შესასვლელ და გამოსასვლელ კვეთების მიმართ აღებული ნაკადის ენერგიის სხვაობისა, ე. ი.

$$E = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + z_1 - z_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}. \quad (8,1)$$

ტურბინი, რომელიც ნაწილობრივ მაინც იყენებს პოტენციურ ენერგიას, ეწოდება ქარბწმევიანი ანუ რეაქტიული ტურბინი. მაშასადამე, ქარბწმევიან ტურბინებში დაცული უნდა იყოს შემდეგი ჰიდრავლიკური პირობა

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} + z_1 - z_2 > 0, \quad (8,2)$$

რაც ნიშნავს იმას, რომ ტურბინის მუშა ბორბალში ნაკადის ენერჯიის გარდაქმნის პროცესი მიმდინარეობს ქარბი წნევით. სახელდობრ, რაც უფრო მეტი იქნება

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right) \quad (8,3)$$

სხვაობა, მით მეტი ენერჯია გადაეცემა მუშა ბორბალს ნაკადის პოტენციური ენერჯიის შემცირების ანგარიშზე.

ნაკადის მიერ ფაქტიურად გადაცემული ენერჯია გამოითვლება (7,12) ფორმულით.

## § 12. ჰარბწყვიანი ტურბინის შემადგენელი ნაწილები

ქარბწყვიანი ტურბინი შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან (ნახ. 66): მიმმართველი აპარატისაგან (1), მუშა ბორბლისა (2) და შემწოვი მილისაგან (3).

მიმმართველი აპარატი შედგება ორი რგოლისაგან (4), რომელთა შორის გარკვეულ მანძილზე დადგმულია ნაკადის მიმმართველი ფრთები (5). ამ ფრთების მობრუნება სასურველ მდებარეობამდე სრულდება სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით. მიმმართველი აპარატი ქვედა რგოლით იდგმება საძირკველზე (6), ზემოდან კი მჭიდროდ ეხურება ტურბინის სახურავი (7). მიმმართველი აპარატით წარმოებს მუშა ბორბალში წყლის მიწოდების რეგულირება მიმმართველი ფრთების საშუალებით.

ტურბინის მუშა ბორბალში წყლის ნაკადის შედინება ხდება მიმმართველ ფრთებს შორის შექმნილი ფარებიდან. მუშა ბორბლის დანიშნულებაა გარდაქმნას ნაკადის ჰიდრაულიკური ენერჯია მბრუნავ-მექანიკურ ენერჯიად. მუშა ბორბალი ხისტად დამჯდარია მუშა ლილვზე (8). ამიტომ ბორბლის ბრუნვითი მოძრაობა გამოიწვევს მუშა ლილვის ბრუნვას.

მუშა ბორბალი, მასზე დამაგრებული სპეციალური მოხაზულობის ფრთებით (9), ჩამჯდარია მიმმართველი აპარატის შიგნით. ამიტომ მიმმართველი აპარატიდან წყლის ნაკადი უშუალოდ გადის მუშა ბორბლის ფრთებს შორის, რაც იწვევს მუშა ბორბლის ბრუნვით მოძრაობას და მუშა ლილვის საშუალებით აბრუნებს მასთან შეერთებულ გენერატორს.

მუშა ბორბალში გადამუშავებული წყლის ნაკადი შემწოვი მილით (3) გაიყვანება გამყვან კამერაში, შემდეგ კი გამყვანი არხით უშუალოდ ჩაეშვება მდინარეში. გარდა ამისა, შემწოვი მილის დანიშნულებაა მუშა ბორბლიდან გამოდინებული ნაკადის სიჩქარეების შენელება და დაწნევის აღდგენა, ამიტომ შემწოვი მილი მზადდება კონუსური ფორმის.

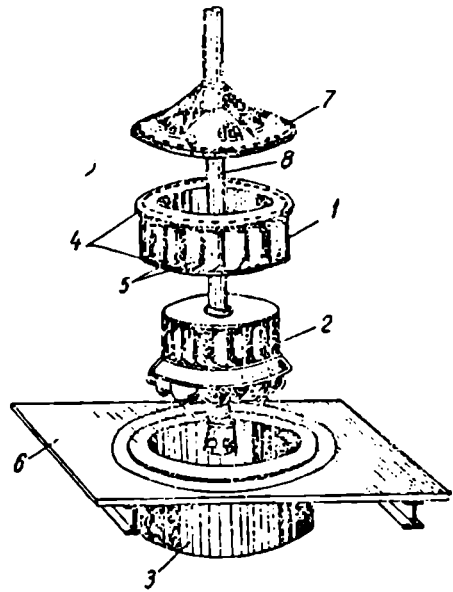
67-ე ნახაზზე მოცემულია კარბწნევიანი ტურბინის კონსტრუქციული სქემა აწყობილი სახით. ტურბინი დადგმულია წნევის კამერაში, სადაც მიმყვანი არხის საშუალებით წყლის მიწოდება უწყვეტლივ წარმოებს ტურბინის მუშაობის საათებში. წყლის დინების მიმართულება ნახაზზე ნაჩვენებია ისრებით. იქვე წაწერილია ტურბინის თითოეული დასახელება.

კარბწნევიან ტურბინში წნევის კამერის (ტურბინის კამერა) დანიშნულებაა მიმმართველ აპარატში წყლის ნაკადის მიყვანა ჰიდრავლიკურად ხელსაყრელ პირობებში. მაგრამ, ზოგჯერ ტექნიკურ-ეკონომიური მოთხოვნებიდან გამომდინარე, წვეილეთ კამერის კონსტრუქციულ გამარტივებაზე, ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის შემცირების ანგარიშზე. ტურბინების სიმძლავრისა და დაწნევის მიხედვით დადგენილია ტურბინების კამერების სამი ძირითადი ტიპი: ღია, ნახევრადღია და დახურული კამერები.

ღია კამერის კონსტრუქციული სქემა მოცემულია 68-ე ნახაზზე. ღია კამერები მეტწილად იგება სწორკუთხიანი ფორმის. კამერაში წყლის მიყვანა ხორციელდება ღია არხით. ღია კამერის ზომები დამოკიდებულია ტურბინის ტიპზე, მის გაბარიტულ ზომებსა და საანგარიშო ხარჯის სიდიდეზე.

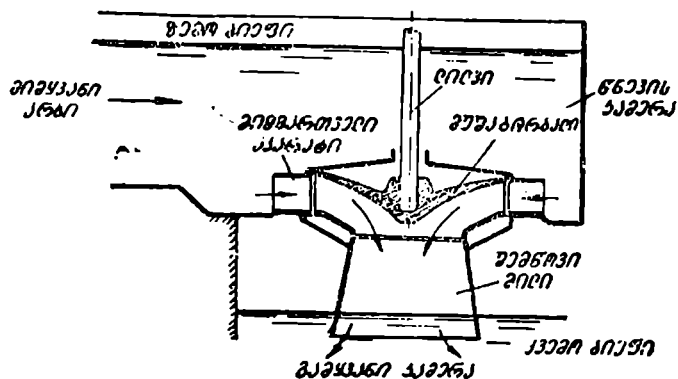
კონსტრუქციულად, ღია კამერის სივანე  $B$  და სიგრძე  $L$  მიღებულია ერთი და იგივე ზომის დაახლოებით ( $3 \div 4$ )  $D_1$ -ის ფარგლებში, სადაც  $D_1$  ტურბინის მუშა ბორბლის დიამეტრია. მიღებულია, რომ ღია კამერაში ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს  $1,0$  მ/წმ.

პრაქტიკაში გვხვდება აგრეთვე ღია სპირალური კამერები (ნახ. 69). კამერის ასეთი კონსტრუქცია რამდენიმედ ამცირებს მის გაბარიტულ ზომებს. მიუხედავად ამისა, ასეთი კამერების გამოყენება შეზღუდულია.

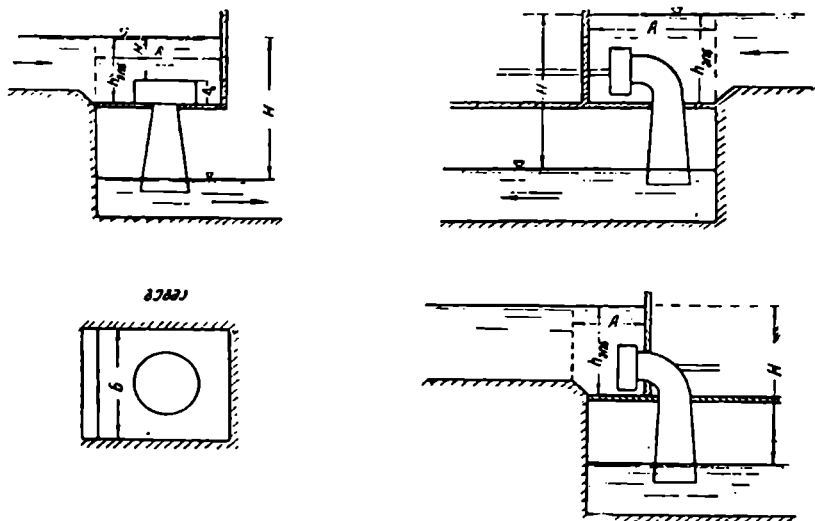


ნახ. 66. დაშლილი კარბწნევიანი ტურბინი.

რადგან, კამერის ბოლო ნაწილის წრიული ფორმა ხელს უწყობს ნაკადში მორევეების წარმოქმნასა და ჰაერის შეწოვას. ცხადია, ნაკადში მოხვედრილი ჰაერი გარკვეულ გავლენას მოახდენს შემწოვი მილის ნორმალურ მუშაობაზე, ე. ი. ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტზე.



ნახ. 67. კარბუნეიანი ტურბინის კონსტრუქციული სქემა.



ნახ. 68. კარბუნეიანი ტურბინის ღია კამერის სქემები.

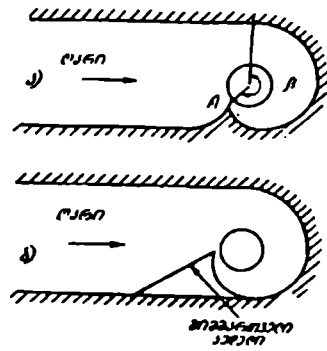
ნახევრადდახურული ტურბინის კამერები ეწყობა სპირალური ფორმის შენობის ქვედა ბეტონის ბლოკში. ამრიგად, ნახევრადდახურული

სპირალური კამერები განკუთვნილია შეეული ტურბინებისათვის, განსაკუთრებით კი კაშხალური ტიპის ჰესებში.

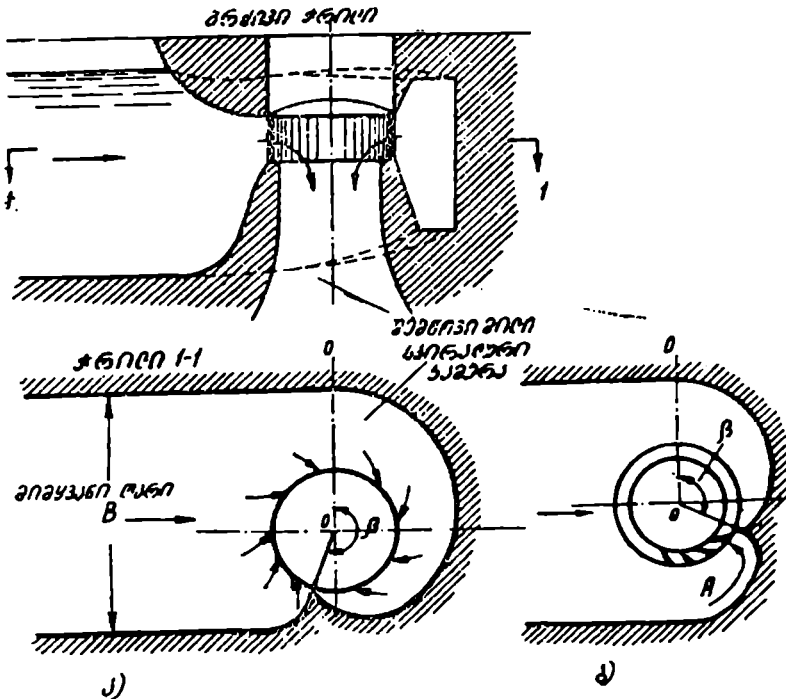
70-ე ნახაზზე მოყვანილია ნახევრადდახურული სპირალური კამერის სქემა. ცდებით დადგენილია, რომ რაც უფრო მეტია  $\beta$  შემოწვდომის კუთხე, მით უკეთესია ნაკადის მიდინების პირობები მიმართველ აპარატთან.

დახურული კამერები გვხვდება გარსაცმიანი და სპირალური. ეს კამერები ტურბინთან ერთად მზადდება ლითონისაგან ქარხნის მიერ.

გარსაცმიანი კამერები გამოყენებულია თარხული ტურბინებისათვის (ნახ. 71). გარსაც-



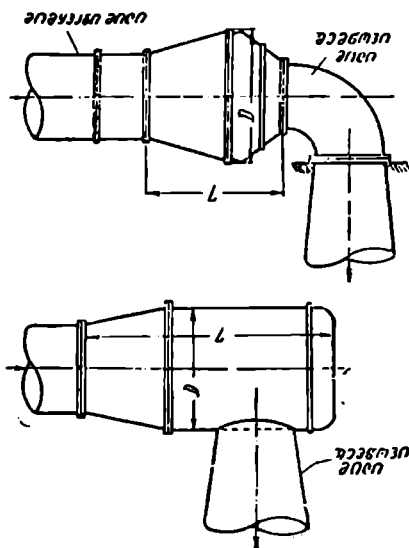
ნახ. 69. ღია სპირალური კამერა.



ნახ. 70. ნახევრადდახურული სპირალური კამერა.

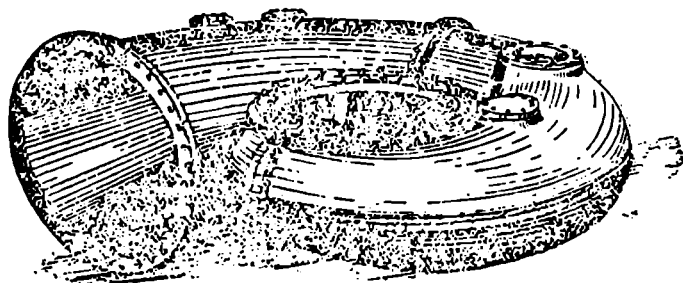


შის გარე ზომები აიღება შემდეგ ფარგლებში: დიამეტრის ზომა  $D = (2,8 \div 3,5) D_1$ , ხოლო სიგრძე  $L = (2,5 \div 3) D_1$ , სადაც  $D_1$  მუშა ბორბლის დიამეტრია.



ნახ. 71. გარსაცმიანი დახურული კამერა.

სპირალური დახურული კამერები გამოიყენება როგორც შვეული, ისე თარზული ტურბინებისათვის. სპირალური კამერა (ნახ. 72.) თი-



ნახ. 72. თუჯისაგან ჩამოსხმული სპირალური კამერის საერთო ხედი.

ქმის სრულად შემოწვდომილია მიმმართველი აპარატის პერიმეტრს. ამიტომ ამ შემთხვევაში შემოწვდომის კუთხე  $\beta = 315 \div 345^\circ$ .

### § 43. ჰარზენევიანი ტურბინის შიშვლივი მილი

ჰარზენევიანი ტურბინებში მუშა ბორბლიდან გადინებული ნაკადის კინეტიკური ენერგია შეადგენს მუშა დაწნევის 30%-ს, ხშირად კი 50%-ს. ცხადია, ამ კინეტიკური ენერგიის უსარგებლოდ გაყვანა ტურბინიდან მნიშვნელოვნად შეამცირებდა ჰიდრავლიკური მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას, ამასთან ქვემო ბიეფში დიდი სიჩქარით ჩაშვებული ნაკადის დასაწყნარებლად საჭირო იქნებოდა სპეციალური ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობათა მოწყობა ქვემო ბიეფის გარეცხვისაგან დასაცავად.

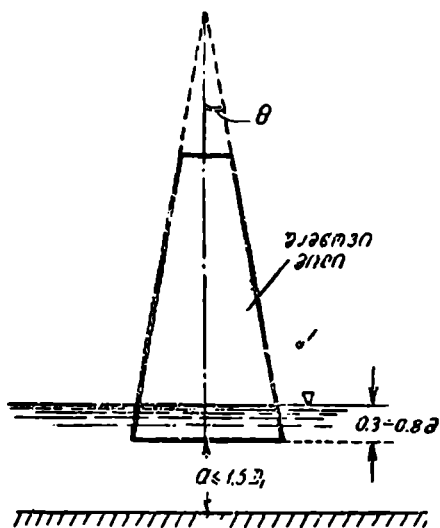
აღნიშნულის გამო ადრევე დაისვა საკითხი ამ კინეტიკური ენერგიის მაქსიმალურად გამოყენებისა ტურბინებში, მისი პოტენციურ ენერგიად გარდაქმნის გზით. ხანგრძლივი ცდებისა და საკვლეო სანუშაოთა ჩატარების შედეგად ამოცანა წარმატებით გადაწყდა მუშა ბორბლის ქვეშ კონუსური ფორმის განშლადკვეთიანი შემწოვი მილის მოწყობით.

მუშა ბორბლიდან დიდი სიჩქარით გამოდინებული ნაკადი შემწოვ მილში წარმოქმნის ვაკუუმს, რაც ხელს უწყობს მუშა დაწნევის მეტი სისრულით გამოყენებას. შემწოვი მილი აგრეთვე ხელსაყრელ პირობებს უქმნის წყლის ნაკადის იოლ გამოდინებას მუშა ბორბლიდან. რაც მთავარია, განშლადკვეთიანი კონუსური შემწოვი მილი უზრუნველყოფს ნაკადის სიჩქარის მნიშვნელოვან შემცირებას მილის გამოსასვლელ კვეთში, ე. ი. ჰიდრავლიკური დანაკარგების შემცირებას, ტურბინის მუშაობის პირობებისა და მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაუმჯობესებას.

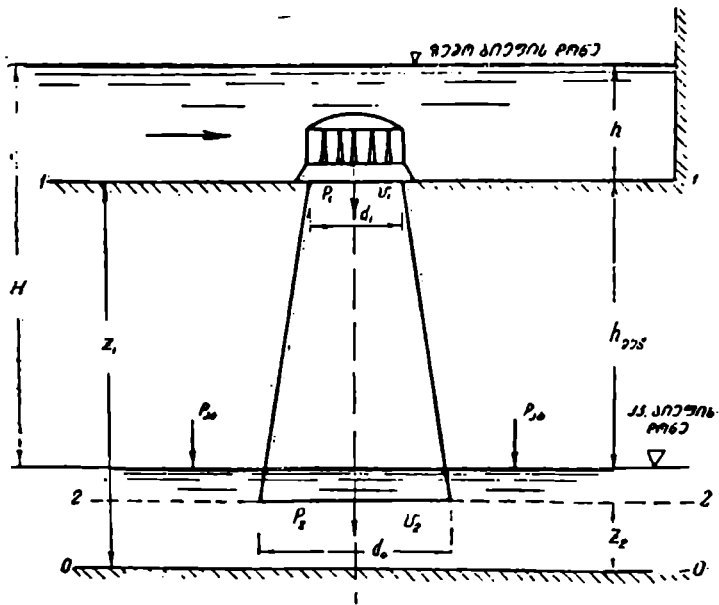
ცხადია, შემწოვ მილში წნევის დაეარდნა (ვაკუუმი) მით მეტი იქნება, რამდენადაც მეტ სიმაღლეზე იქნება დადგმული ტურბინი წყლის ქვემო დონიდან. ამრიგად, შემწოვი მილი საშუალებას იძლევა ტურბინი დავდგათ გარკვეულ სიმაღლეზე, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს აგრესატის მონტაჟსა და მის მომსახურებას.

პრაქტიკაში შემწოვი მილის შეწოვის სიმაღლე ( $h_{\text{შ}}$ ) მიიღება ჰიდროაგრესატის განლაგების ნიშნულის მიხედვით. მაგალითად როდესაც ტურბინი იდგება ზღვის დონის ნიშნულთან ახლოს, მაშინ  $h_{\text{შ}} \leq 7,0$  მ. ტურბინის განლაგებისას 5000 ნიშნულზე  $h_{\text{შ}} \leq 4$  მ, ხოლო ყველა დანარჩენ შემთხვევაში შემწოვი მილის შეწოვის სიმაღლე აიღება ინტერპოლაციის წესით. შემწოვი მილის შეწოვის სიმაღლის დანიშვნა აგრეთვე ნაკარანხევია ეგრეთ წოდებული კავიტაციის მოვლენის აცილებნით და რიგი სხვა სპეციფიკური პირობებით (იხ. ქვემოთ).

განვიხილოთ შემწოვი მილის მოქმედების ჰიდრავლიკური პირობები. წარმოვიდგინოთ შემწოვი მილის სქემა (ნახ. 73 და 74). ვთქვათ, ტურბინი დადგმულია ქვემო ბიეფის წყლის დონიდან  $h_{\text{შ}}$  სიმაღლეზე.



ნახ. 73. შემწოვი მილის სქემა.



ნახ. 74. ტურბინის დანადგარის სქემა შემწოვი მილით.

აღნიშნოთ საწყის 1-1 და გამოსასულელ 2-2 კვეთებისათვის ნებაბამისად გეომეტრიული სიმაღლეები (0-0 შედარებით სიბრტყიდან), წნევები და სიჩქარეები:  $\zeta_1, p_1, v_1$  და  $\zeta_2, p_2, v_2$ . დავწეროთ ბერნულის განტოლება 1-1 და 2-2 კვეთებისათვის 0-0 შედარების სიბრტყის მიმართ

$$\zeta_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_{\xi 6}, \quad (8.4)$$

სადაც  $h_{\xi 6}$  დანაკარგებია შემწოვ მილში.

მოყვანილი ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$\zeta_1 = \zeta_2 + a + h_{\xi 5},$$

სადაც  $h_{\xi 5}$  შეწოვის სიმაღლეა;

აგრეთვე

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} + a,$$

სადაც  $p_0$  ატმოსფერული წნევაა.

ამიტომ გამოსახულება (8.4) ასეთ სახეს მიიღებს

$$(\zeta_2 + a + h_{\xi 5}) + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \zeta_2 + \left( \frac{p_0}{\gamma} + a \right) + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{\xi 6}. \quad (8.5)$$

საიდანაც

$$\frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + h_{\xi 5} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} - h_{\xi 6}. \quad (8.6)$$

აქედან განესაზღვრავთ ვაკუუმის სიდიდეს

$$\frac{p_0 - p_1}{\gamma} = h_{\xi 5} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} - h_{\xi 6}, \quad (8.7)$$

სადაც  $\frac{p_0 - p_1}{\gamma} = h_{\xi 5}$  ვაკუუმი წარმოადგენს ატმოსფერულზე მცირე

წნევას, რომელიც შექმნილია შემწოვი მილის მეშვეობით.

ნაკადის ნორმალური დინებისათვის შემწოვ მილში საპირა  $p_1$  წნევა მეტი იყოს ორთქლის ღრეკად ( $p_{\xi 6}$ ) წნევაზე, რათა არ ნობდეს ქაერილის გაწყვეტა.

ზემოთქმულის საფუძველზე, ვაკუუმის ზღვრული ნნიშენლობისათვის შებდეგი გამოსახულება გვექნება

$$\frac{p_0 - p_{\xi 6}}{\gamma} = h_{\xi 5} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} - h_{\xi 6}. \quad (8.8)$$

74-ე ნახაზის თანახმად, ნაკადის ვარდნის ანუ მუშა დაწნევის მნიშვნელობა ტოლი იქნება

$$H = h_{\text{მე}} + h. \quad (8,9)$$

განსაკუთრებული ყურადღების ცენტრშია მოქცეული შემწოვ მილში ჰიდრაულიკური დანაკარგების გახსნაზღვრისათვის ზუსტი საანგარიშო ფორმულების დადგენა. მიუხედავად ამისა, დღემდე არასაკმარისადაა შესწავლილი სითხეების მოძრაობა ცვლადკვეთიან მილებში, ამიტომ კონუსური მილებისათვის დანაკარგების გამოსათვლელად გამოყენებულია ძველი ფორმულები.

ქვემოთ მოყვანილია კონუსური ფორმის მილების გაანგარიშების ახალი მოსაზრებანი. გამოვიდეთ რამდენიმედ გამარტივებულ წინა პირობიდან: მივიღოთ, რომ  $\lambda$  წინაღობის კოეფიციენტი უცვლელია კონუსური მილის მთელ სიგრძეზე და უგულებელვყოთ ენერგიის განტოლებაში შემავალი ინერციის ამსახველი წევრი.

განვიხილოთ სწორხაზოვანი კონუსური მილი (ნახ. 75). ვთქვათ, რომ დიამეტრი მილის სიგრძეზე იცვლება შემდეგი გამოსახულების თანახმად

$$\left. \begin{aligned} d &= d_0 - kx, \\ d &= d_1 + k(l-x) \end{aligned} \right\} \quad (8,10)$$

სადაც

$$k = \frac{d_0 - d_1}{l} = 2 \operatorname{tg} \beta / 2.$$

$d_0$  და  $d_1$  მილის ბოლო დასაწყისი კვეთის დიამეტრებია;  $l$ —მილის სიგრძე;  $\beta$ —განზღადობის კუთხე. დაეწეროთ მილის  $dx$  სიგრძის ელემენტური მონაკვეთისათვის ენერგიის განტოლება

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right] = -\lambda \frac{v^2}{2gd}, \quad (8,11)$$

ან

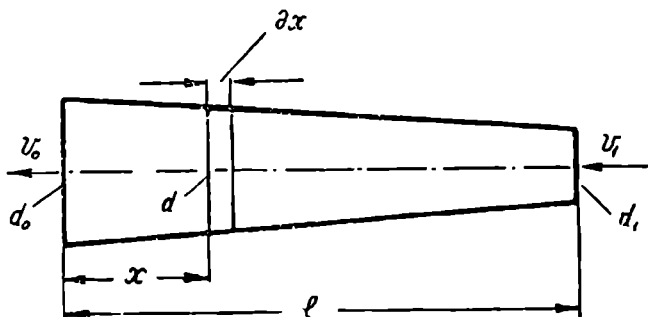
$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{v \partial v}{g \partial x} = -\lambda \frac{v^2}{2gd}. \quad (8,12)$$

თუ ნხედველობაში მივიღებთ, რომ  $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$  და უგულებელვყოფთ  $\frac{v \partial v}{g \partial x}$  წევრს, მაშინ (8,12) გამოსახულება ასე გადაიწერება

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\lambda}{2gd} \left( \frac{4Q}{\pi g^2} \right)^2$$

რომლის გაინტეგრალება  $x=0$  ( $d=d_0$ ) და  $x=l$  ( $d=d_1$ ) ზღვრებში მოგვცემს დაწნევის დანაკარგების გამოსახულებას კონუსური მილის  $l$  სიგრძეზე. ამრიგად,

$$\frac{1}{\gamma} \int_0^l \frac{\partial p}{\partial x} dx = -\frac{\lambda 8 Q^2}{\pi^2 g} \int_0^l \frac{dx}{(d_0 - kx)^5}$$



ნახ. 75. კონუსური მილის მონაკვეთი.

განტოლების გადაწყვეტა მოგვცემს

$$\frac{p_0 - p_1}{\gamma} = \frac{2 Q^2 \lambda}{k \pi^2 g} \left[ \frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_0^4} \right]. \quad (8,13)$$

როგორც ვიციით, ცილინდრული მილის  $l$  სიგრძეზე სიგრძივი დანაკარგების ტოლი იქნება

$$\left[ \frac{p_0 - p_1}{\gamma} \right]_{\text{ცილ}} = \frac{8 Q^2 \lambda l}{\pi^2 g d_*^5}, \quad (8,14)$$

აქ  $d_*$  ცილინდრული მილის დიამეტრია.

თუ შევადარებთ კონუსურ და ცილინდრულ მილებში მხოლოდ ხაზუნით გამოწვეულ დანაკარგებს. მაშინ  $d_*$  შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც ეკვივალენტური დიამეტრი, რომლის მნიშვნელობას ვიპოვიით (8,13) და (8,14) გამოსახულებათა გატოლების შედეგად, ე. ი. გვექნება

$$\frac{1}{k} \left[ \frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_0^4} \right] = \frac{4l}{d_*^5}. \quad (8,15)$$

მიღებული ტოლობის სათანადო გარდაქმნის შემდეგ ვიპოვით ეკვივალენტური დიამეტრის მნიშვნელობას

$$d_* = \left[ \frac{4d_0^3 d_1^4}{(d_0 + d_1)(d_0^2 + d_1^2)} \right]^{1/5} \quad (8,16)$$

(8,16) გამოსახულება გვაძლევს ცილინდრული მილის  $d_*$  საანგარიშო დიამეტრის მნიშვნელობას, რომელიც ეკვივალენტურია კონუსური მილისა მოცემული  $d_0$  და  $d_1$  დიამეტრებით.

მაგალითი 13. ბეტონის შემწოვ მილში ვიპოვოთ ჰიდრავლიკური დანაკარგების სიდიდე, თუ მოცემულია შემწოვი მილის სიგრძე 8 მ, დიამეტრების ზომები  $d_0 = 2,0$  მ,  $d_1 = 1,0$  მ, წყლის ხარჯი  $Q = 20$  მ<sup>3</sup>/წმ,  $\lambda = 0,034$ .

ამოხსნა: ვიპოვოთ კონუსური მილის ეკვივალენტური ცილინდრული მილის  $d_*$  დიამეტრი. ვისარგებლოთ (8,16) ფორმულით

$$d_* = \left[ \frac{4d_0^3 \cdot d_1^4}{(d_0 + d_1)(d_0^2 + d_1^2)} \right]^{1/5} = \left[ \frac{4 \cdot 2,0^3 \cdot 1,0^4}{(2+1)(2^2+1^2)} \right]^{1/5} = 1,6 \text{ მ}$$

ვიპოვოთ სიგრძივი დანაკარგები ეკვივალენტურ ცილინდრულ მილში

$$h_{\text{ფ5}} = \frac{\lambda v^2 l}{2gd_*}$$

სადაც

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 20}{\pi \cdot 1,6^2} = 10 \text{ მ/წმ,}$$

ამიტომ

$$h_{\text{ფ5}} = \frac{0,034 \cdot 10^2 \cdot 8}{2 \cdot 9,81 \cdot 1,6} = 0,88 \text{ მ.}$$

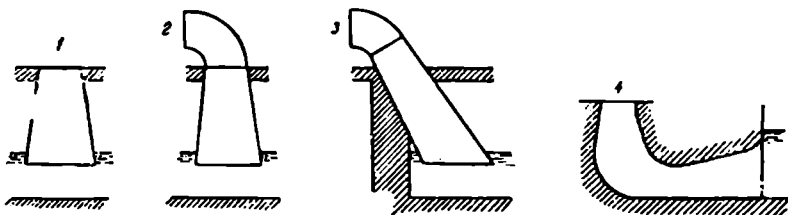
ფაქტიურად დანაკარგების სიდიდე შემწოვ მილში რამდენიმედ მეტი იქნება გაანგარიშებით მიღებულ 0,88 მ, რადგან  $\lambda$  წინააღობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შედარებით მეტი იქნება კონუსური ფორმის მილებში, რაც საპირობებს ექსპერიმენტულ გამოკვლევას.

პრაქტიკაში მიღებულია მრავალი ტიპის შემწოვი მილი. მათი კონსტრუქციული მონახულობა დადგენილია ტურბნების მუშაობის პრაქტიკიდან. შემწოვი მილის ესა თუ ის ტიპი ნაკარნახევია ერთი მხრივ, მისი დანიშნულებით, მეორე მხრივ კონსტრუქციული მოსაზრებებით, მაგალითად ტურბინის ლილვის განლაგებით, შეწოვის სიმაღლით, მასალით და სხვ.

ქვემოთ მოყვანილია შემწოვი მილის ზოგიერთი გავრცელებული ტიპი.

1. სწორი კონუსური განშლადკვეთიანი შემწოვი მილი (ნახ. 76,1);
2. იგივე მუხლით (ნახ. 76,2);
3. იგივე დახრილი (ნახ. 76,3);
4. მოხრილი შემწოვი მილი (ნახ. 76,4).

პირველი სამი ტიპის შემწოვი მილი მზადდება ლითონისაგან და თან ერთვის ტურბინებს, ხოლო მოხრილი შემწოვი მილი მზადდება ადგილზე ბეტონის ან რკინაბეტონისაგან. 1-ლი და მე-4 ტიპის შემწოვი მილები განკუთვნილია შვეული ტურბინებისათვის, ხოლო მე-2 და მე-3 ტიპისა—თარზული ტურბინებისათვის.



ნახ. 76. შემწოვი მილის ტიპები.

შემწოვ მილში ჰაერის შეწოვის ასაცილებლად, მილის ბოლო ნაწილი ჩაძირულია წყალში  $0,3 \div 0,8$  მ სიღრმემდე. შემწოვი მილის ბოლო უნდა იყოს გამყვანი არხის ფსკერიდან  $a = (1 \div 1,5) D_1$  სიმაღლეზე, სადაც  $D_1$  ტურბინის მუშა ბორბლის დიამეტრია. კონუსური მილის განშლადობის კუთხე მიიღება  $14 \div 25^\circ$  ფარგლებში.

შემწოვი მილის შერჩევა ხდება ტურბინების კატალოგების მიხედვით. პირველად უნდა დაინიშნოს ტურბინის განლაგების ნიშნული ისე, რომ შეწოვის ზღერული სიმაღლე აკმაყოფილებდეს (8,21) პირობას. ამის შემდეგ განვსაზღვრავთ შემწოვი მილის სიგრძეს (სრულ სიმაღლეს). როცა კატალოგში მოცემულია მხოლოდ შემწოვი მილის საწყისი  $d_1$  დიამეტრი, მაშინ, გამოსასვლელი კვეთის  $d_2$  დიამეტრის ზომა გამოითვლება (8,10) ფორმულით.

შემწოვი მილიდან გამოდინებული ნაკადის სიჩქარის ენერგია უნდა იყოს მუშა დაწნევის  $(1 \div 3\%)$  ფარგლებში. ამიტომ გამოსვლის დასაწყები სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს  $2-3$  მ/წმ. წინააღმდეგ შემთხვევაში სწორი კონუსური მილიდან უნდა გადავიდეთ მოხრილზე (ნახ. 76,4).



## § 44. კავშირები

ჰიდრაულიკური ტურბინების ექსპლუატაციისას სხვადასხვა მიზეზის გამო (იხ. ქვემოთ), მუშა ბორბლის ღარებსა და შემწვავ მილში წნევა იმდენად ვარდება, რომ იგი მოცემული ტემპერატურის დროს სითხიდან გამოყოფილი ორთქლის წნევაზე ნაკლები ხდება. წნევის ასეთი ვარდნა იწვევს სიცარიელების წარმოშობას, რაც ნაკადის მთლიანობას არღვევს. წარმოშობილი სიცარიელები წყლიდან გამოყოფილი ორთქლითა და ჰაერით ივსება, ნაკადი წყდება და ტურბინის მუშაობა ძნელდება. სითხეში ასეთი სიცარიელების წარმოშობას კავიტაცია ეწოდება.

ჩვეულებრივად წნევის ვარდნა ხდება მუშა ფრთებისა და შემწვავი მილის კედლის მახლობლად. დავარდნილი წნევის ადგილებში გამოყოფილი ორთქლი ნაკადის მიერ წარიტაცება. გზაში ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსირება ხდება, რაც მის მიერ დაკავებულ მოცულობისა და წნევის მნიშვნელოვან შემცირებას იწვევს. წყლის ნაწილაკები, რომლებიც გარს ეკვროდნენ ორთქლს, ამ მომენტში დიდი სიჩქარით იწყებენ მოძრაობას წარმოშობილი სიცარიელების დასაკავებლად. ასეთი სწრაფი გადაადგილებისას წყლის ნაწილაკები ერთმანეთს ეჯახებიან, რის გამოც ამ ადგილებში წნევა მნიშვნელოვნად იზრდება. გამორკვეულია, რომ კავიტაციის დროს ხშირად წნევის სიდიდე რამდენიმე ასეულ ატმოსფეროს აღწევს. კედლის ნაწილებში, სადაც წნევა ძალზე დიდია. პირველად იმ ადგილების დაზიანება ხდება, სადაც მიკროსკოპული ბზარები არსებობს. ამ მიკროსკოპულ ბზარებში სითხის ნაწილაკები დიდი წნევით მოქმედებენ, თანდათან აღრმავებენ და აფართოებენ ამ ბზარებს. ამას ზედ ერთვის კედლის მასალაზე სითხის ქიმიური მოქმედებაც — კოროზია, რის შედეგად ტურბინის ნაწილების ნაადრევ დაშლასა და დარღვევას ვღებულობთ. ტურბინების მუშაობის პრაქტიკაში არის შემთხვევები, როცა კავიტაციის გამო, მუშა ბორბლის ფრთები რამდენიმე საათის მუშაობის შემდეგ დაშლილა (ფურჩები წარმოშობილა) და ტურბინი წყობილებიდან გამოსულა.

კავიტაციის შედეგს წარმოადგენს ჰიდრაულიკური მანქანის მარგი ქნედების კოეფიციენტის შემცირება, სიმძლავრისა და დაწნევის დავარდნა, ხოლო კავიტაციის მომეტებულ განვითარებას შეიძლება მოჰყვეს ტურბინის სრული გაჩერება. კავიტაციის შედეგად აგრეთვე შეიძლება მივიღოთ ტურბინის მუშა ნაწილის ზედაპირის ინტენსიური ეროზიული კოროზიული დაშლა, ე. ი. ნაჩქარევი მოცვეთა.

აღწერილის თანახმად, კავიტაცია წარმოადგენს რთულ-ფიზიკურ პროცესს, რომელიც მიმდინარეობს ტურბინში ნაკადის გადინებისას. მი-

უხედავად იმისა, რომ კავიტაციის პრობლემა დიდი ხანია ყურადღების ცენტრში დგას, ჯერ კიდევ კავიტაციური ეროზიის მექანიზმის შესწავლა არააფექტურია. მრავალი ცდით და თეორიული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ კავიტაციის დროს წყალი შლის მხოლოდ იმ ადგილებს, სადაც ნაკადს ხედება წინალობა და ადგილი აქვს დარტყმებს (ნაკადის დაჯახებას), ე. ი. კავიტაციურ დაზიანებას განიცდის მანქანის ის ნაწილი და ნაგებობა, რომელთაც აქეთ ცუდად დამუშავებული (არაგლუვი) ზედაპირი და ნაკადის დინებისათვის ჰიდრაულიკურად შეუფერებელი ფორმა და მოხაზულობა.

ჰიდრაულიკურ ტურბინებში კავიტაციის წარმოშობის მიზეზად ჩაითვლება:

1. ტურბინის ბრუნთა რიცხვის გაზრდა;
2. შემწოვი მილის სიმაღლის კარბი მნიშვნელობის მიღება;
3. ტურბინის ელემენტების: შემწოვი მილის, მუშა ბორბლისა და უ-თების შეუსაბამო კონსტრუქციების შერჩევა და სხვ.

ტურბინებში კავიტაციის გამომჟღავნება მეტად ადვილია. კავიტაციის დროს ტურბოდანადგარში სპეციფიური (დამახასიათებელი) ხმაური და ტკაცანი ისმის. ტურბინის დაწნევის სიდიდე და სიმძლავრე შესამჩნევად ეცემა, აგრეთვე ტურბინის რხევასაც აქვს ადგილი.

ზემომოყვანილი (8,8) გამოსახულების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ტურბინის შეწოვის სიმაღლე აგრეთვე მუშა ბორბლის „ბრუნთა რიცხვის სიდიდეზეა დამოკიდებული, როდესაც „ბრუნთა რიცხვს ვზრდით, მაშინ (8,8) გამოსახულებაში  $\frac{\alpha_1 v_1^3 - \alpha_2 v_2^3}{2g}$  და  $h_{\text{გ}}$  მა-

ტულობს, რის გამოც  $h_{\text{გ}}$  სიმაღლე თანდათან უნდა შემცირდეს.

ნაკადში კავიტაციური სიკარველებების წარმოქმნისათვის საჭიროა, რომ აბსოლუტური წნევა დაეარდეს ორთქლის დრეკად წნევაზე ქვემოთ, ე. ი.

$$\frac{p_1}{\gamma} \leq \frac{p_{\text{გ}}}{\gamma} \quad (8.17)$$

26-ე ცხრილში მოცემულია ზღვის დონის ნიშნულისათვის წყლის ორთქლის დრეკადი წნევის მნიშვნელობები სხვადასხვა ტემპერატურის დროს.

ცხრილი 26

ტემპერატურა C°	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
წყლის ორთქლის წნევა გამოსახული წყლის სვეტებში (მ)	0,09	0.12	0.24	0,43	0.75	1,25	2.02	3.17	4.82	7.14	10.99

ზემოვამოყვანილი (8.7) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დაეწეროს

$$\frac{p_{აბ}}{\gamma} - h_{აბ} - \left( \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - h_{გვ} \right) = \frac{p_1}{\gamma}. \quad (8.18)$$

ფრჩხილებში მოთავსებული სიდიდე მიახლოებით შეგვიძლია მივიღოთ დინამიკურ გაუხშობად, რომელიც წარმოიქმნება ნაკადში. ამ სიდიდის შეფარდება ტურბინის მუშა დაწნევასთან წარმოადგენს ტურბინის კავიტაციის კოეფიციენტს.

ამრიგად, კავიტაციის კოეფიციენტი ასეთი გამოსახულების იქნება

$$\sigma = \frac{\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} - h_{გვ}}{H} \quad (8.19)$$

(8.18) გამოსახულებაში თუ შევიტანთ (8.19) მნიშვნელობას, ხოლო  $\frac{p_1}{\gamma}$ -ს შევცვლით  $\frac{p_{გვ}}{\gamma}$  სიდიდით, მივიღებთ

$$\frac{p_{აბ}}{\gamma} - h_{აბ} - \sigma H \geq \frac{p_{გვ}}{\gamma}, \quad (8.20)$$

საიდანაც ზღერული დასაშვები შეწოვის სიმაღლე

$$h_{აბ} \leq \frac{p_{აბ}}{\gamma} - \sigma H - \frac{p_{გვ}}{\gamma}. \quad (8.21)$$

ჩვეულებრივი ტემპერატურისას დრეკადი ორთქლის წნევა პრაქტიკულად უმნიშვნელოა, ამიტომ მისი უგულებელყოფით გვექნება

$$h_{აბ} \leq \frac{p_{აბ}}{\gamma} - \sigma H. \quad (8.22)$$

ატმოსფერული დაწნევის სიდიდე დამოკიდებულია ზღვის დონიდან ჰიდროსადგურის შენობის განლაგების სიმაღლეზე.  $p_{აბ}$  წნევის განსაზღვრისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით

$$p_{აბ} = 10,3 - \frac{\Delta}{900}, \quad (8.23)$$

სადაც  $\Delta$  ტურბინის მუშა ბორბლის ღერძის ნიშნულია ზღვის დონიდან.

საბოლოოდ შეწოვის ზღვრული სიმაღლე გამოითვლება

$$h_{\Sigma\Sigma} \leq 10.3 - \frac{\Delta}{900} \quad \sigma H. \quad (8,24)$$

ა.ლო (8,24) გამოსახულებიდან შეგვიძლია ვიპოვოთ კოეფიციენტის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა

$$\sigma_{\Sigma\Sigma} = \frac{10,3 - \frac{\nabla}{900} - h_{\Sigma\Sigma}}{H}. \quad (8,25)$$

მიღებული (8,25) გამოსახულების თანახმად,  $\sigma$  კოეფიციენტი დამოკიდებულია იმ პარამეტრებზე, რომლებითაც ხასიათდება დანადგარი. (8,19) გამოსახულებით კი შებრუნებით, მუშა ბორბლიდან გამოდინებული  $\sigma_1$  სიჩქარე გვიხასიათებს  $\sigma$  კოეფიციენტს და დამოკიდებულია მუშა ბორბლის თვისებებზე. (8,19) გამოსახულების მიხედვით დავასკვნით, რომ რაც უფრო მეტია  $\sigma_1$  სიჩქარე, მით მეტი რიცხვითი მნიშვნელობა ექნება  $\sigma$  კოეფიციენტს. იმავე განოსახულებიდან გამოდინარეობს, რომ რაც უფრო დიდი იქნება შემწოვი მილიდან გამოდენილი ნაკადის  $\sigma_2$  სიჩქარე და  $h_{\Sigma\Sigma}$  დანაკარგები, მით ნაკლები იქნება  $\sigma$  კოეფიციენტი.

კოეფიციენტის კოეფიციენტის მნიშვნელობის გამოთვლისათვის არსებობს აგრეთვე შემდეგი ემპირული ფორმულები:

$$\sigma = 0,0319 \left( \frac{n_s}{100} \right)^2 \quad (8,26)$$

და

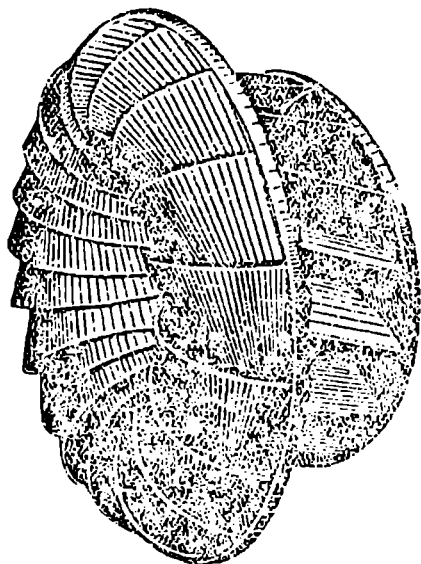
$$\sigma = \frac{1}{638} \left( \frac{n_s}{100} \right)^3 + 0,28, \quad (8,27)$$

სადაც  $n_s$  სწრაფმავლობის კოეფიციენტი.

## § 45. რადიალურ-ღერძული (ფრენისის) ტურბინი

ქარბწნევიანი ტიპის ერთ-ერთ გავრცელებულ ჰიდრავლიკურ მანქანას წარმოადგენს რადიალურ-ღერძული ტურბინი (ნახ. 78). ამ ტურბინის მუშა ბორბლის ფრთები რთული ფორმისაა (ნახ. 77). ნაკადის მოდინება მუშა ბორბლის მთლიან პერიმეტრზე რადიალური მიმართულებისაა, ხოლო ფრთებს შორის შექმნილ ღარებში ვავლისას, ნაკადი უხევს 90°-ით და გამოდის მუშა ბორბლის ღერძის მიმართულებით.

ქარბწნევიანი ტურბინის მუშა ბორბალში ნაკადის მდოვრი და ჰიდრავლიკური დარტყმების გარეშე მიყვანისათვის გამოყენებულია სპეციალური მიმმართველი აპარატი, რომლის მიმმართველი ფრთები ნაკადს ანიჭებენ სათანადო მიმართულებასა და სიჩქარეს.



ნახ. 77. რადიალურ-ღერძული ტურბინის მუშა ბორბალი.

რადიალურ-ღერძულ ტურბინებში გამოყენებულია წყლის მიყვანის სხვადასხვა ხერხი. პატარა ტურბინებში მცირე დაწნევისას მიმმართველ აპარატში წყლის მიყვანა განხორციელებულია მთლიან პერიმეტრზე თანაბრად. ამიტომ მიმმართველი აპარატი მთლიანად მოთავსებულია ზემო ბიეფის წყლის დონის ქვეშ ღია კამერაში, როგორც ეს 79, ა ნახაზზეა ნაჩვენები.

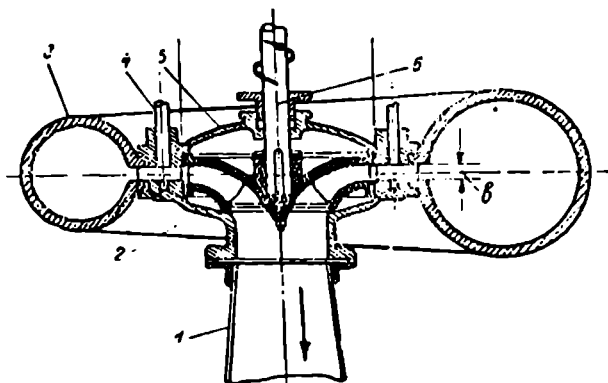
წყლის მიყვანის ასეთი წყვი გამოირჩევა განსაკუთრებული სიმარტივით, მაგრამ მაღალდაწნევიან ტურბინებში მისი გამოყენება მოუხერხებელია იმიტომ, რომ ტურბინის მექანიზმები ჩაძირული იქნება წყალში და ტურბინის მართვისათვის საჭირო იქნება დიდი სიმაღლის შტოკების და გადამცემი მოწყობილობების დადგმა.

ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით ღია კამერის წესით წყლის მიწოდება შეიცავს დადებით თვისებებს, რადგან დანაკარგების სიდიდე ტურბინში შეესაღოს მინიმალურია, ამასთან ერთად უზრუნველყოფილია წყლის თანაბარი მიწოდება მიმმართველ აპარატში.

თანამედროვე მსხვილი და საშუალო სიმძლავრის რადიალურ-ღერძულ ტურბინებში წყლის მიწოდება განხორციელებულია სპირალური კამერის საშუალებით, რომლითაც აღქურვილია ყველა აღნიშნული ტიპის ტურბინი (ნახ. 78).

სპირალურ კამერას უერთდება საწნეო მილსადენი და დაწნევის ქვეშ წყლის ნაკადი ამ კამერის საშუალებით თანაბრად ნაწილდება ტურბინის მიმმართველ აპარატში.

სპირალური კამერის დადებით მხარედ ჩაითვლება მისი მაღალი ჰიდრავლიკური თვისებები (მცირედ უთმობს ღია კამერებს) და გამო-



ნახ. 78. ჰიდრავლიკური ტურბინი სპირალური კამერით:

- 1—შემწოვი მილი; 2—მუშა ბორბალი; 3—სპირალური კამერა; 4—მიმმართველი ფრთები; 5—ტურბინის ხუფი; 6—ტურბინის ლილევი.

ყენების განუსაზღვრელი ფარგლები. გარდა ამისა, ხასიათდება მცირე გაბარიტული ზომებით და კომპაქტურად თავსდება სადგურის შენობაში.

79-ე ნახაზზე მოყვანილია ზემო აღწერილი რადიალურ-ღერძული ტურბინის ზოგიერთი კონსტრუქციული სქემა.

მაგალითი 14. შერჩეულია საშუალომავალი რადიალურ-ღერძული ტურბინი. ტურბინი განლაგებულია  $\nabla = 800$  ნიშნულზე ზღვის დონიდან. ტურბინის მუშა დაწნევა  $H = 45$  მ,  $n_s = 200$  ბრ/წთ, ვიპოვოთ მაქსიმალური დასაშვები შეწოვის სიმაღლე.

ამოხსნა: კავიტაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა გამოითვლება (8,26) ფორმულით

$$\sigma = 0,0319 \left( \frac{n_s}{100} \right)^2 = 0,0319 \left( \frac{200}{100} \right)^2 = 0,13;$$

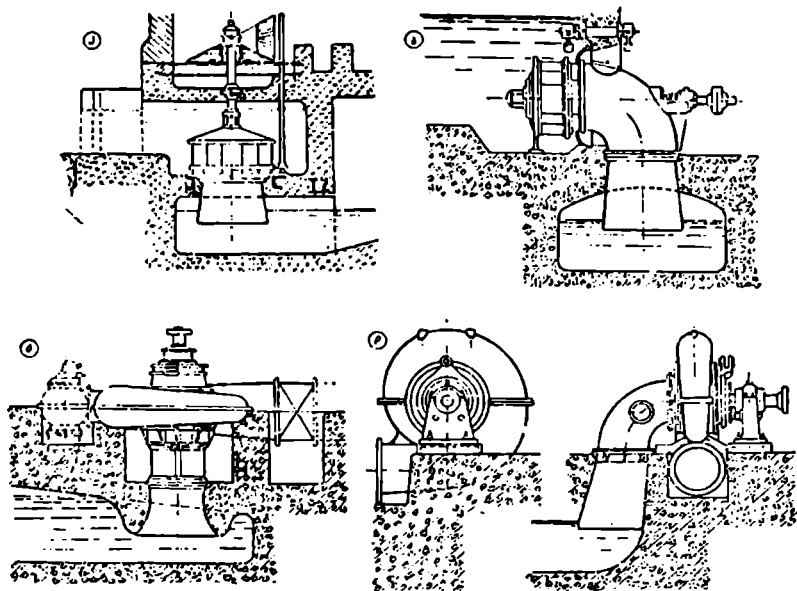
შეწოვის სიმაღლე კი (8,20) ფორმულით

$$h_{\text{შეწ}} = 10,3 - \frac{\nabla}{900} - \sigma H = 10,3 - \frac{800}{900} - 0,13 \cdot 45 = 3,6 \text{ მ.}$$

მაგრამ დანადგარის დაწნევა თუ იქნებოდა  $H=90$  მ, მაშინ შეწოვის სიმაღლე

$$h_{\text{არ}} = 10,3 - \frac{800}{900} - 0,13 \cdot 90 = -2,3 \text{ მ.}$$

ტურბინის შეწოვის სიმაღლე მივიღეთ უარყოფითი ნიშნით, რაც ნიშნავს იმას, რომ სადგურის შენობა უნდა ჩაეაღრმავოთ 2,3 მ სიღრმეზე



ნახ. 79. რადიალურ-ღერძული ტურბინების კონსტრუქციული სქემები:

- ა—შეუღლი ტურბინი ღია კამერაში; ბ—თარხული ტურბინი ღია კამერაში;  
 გ—შეუღლი ტურბინი ლითონის სპირალურ კამერაში; დ—თარხული ტურბინი ლითონის სპირალურ კამერაში.

ქვემო ბიეფის დონის ნიშნულიდან: ცხადია, სადგურის შენობის ზედმეტად ჩაღრმავება ეკონომიურად არახელსაყრელია სამუშაოთა მოცულობის გაზრდის გამო. მაგრამ თუ მივიღებთ პირობას, რომ შეწოვის სიმაღლე არ უნდა იყოს ნაკლები  $h_{\text{არ}} = -1$  მ (ჩაღრმავება 1,0 მეტრამდე), მაშინ შეგვიძლია ვიპოვოთ  $\sigma$  კოეფიციენტის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდე (8,25) ფორმულით

$$\sigma = \frac{10,3 - \frac{\nabla}{900} h_{\text{არ}}}{H} = \frac{10,3 - \frac{800}{900} + 1,0}{H} \approx 0,104.$$

გამოთვლილ  $\sigma = 0,104$  კოეფიციენტს შეესაბამება სწრაფმავლობის კოეფიციენტის შემდეგი მნიშვნელობა. (8,26) ფორმულიდან გვექნება

$$n_r = \sqrt{\frac{\sigma \cdot 100^2}{0,0319}} = \sqrt{\frac{0,104 \cdot 100^2}{0,0319}} = 180 \text{ ბრ/წთ}$$

$n_r = 180$  სავესებით მისაღებია საშუალომავალ რადიალურ-ღერძული ტურბინისათვის (იხ. ცხრილი 25).

## § 46. პროპელსური ტურბინი

პროპელსური ტურბინი მუშაობს რეაქტიულ პრინციპზე, ამიტომ მისი ბორბლის ფრთები ისეთი მოხაზულობისაა და ისეთნაირადაა განლაგებული, რომ ნაკადების გადინებისას წარმოიქმნება რეაქციის ძალების ისეთი მიმართულება, რომელიც მუშა ბორბალს მიანიჭებს ბრუნვით მოძრაობას. რადიალურ-ღერძული ბორბლისაგან განსხვავებით, პროპელსური ტურბინის ბორბალი წარმოადგენს დიდი დიამეტრის ღრუ მასრას (მილაკს), რომელზედაც განსაზღვრული დახრის კუთხით ხისტადაა დამაგრებული ფრთები, ამ ფრთების რიცხვი აიღება  $2 \div 6$  ფარგლებში. მასრის დიამეტრი  $D_1 = 0,35 D$ , სადაც  $D$  მუშა ბორბლის დიამეტრია. პროპელსური ტურბინის მუშა ბორბალი მთლიანად მოთავსებულია ნაკადში და მისი რეაქტიული მოქმედებით ჰიდრაულიკური ენერჯიის მნიშვნელოვანი ნაწილი გარდაიქმნება მექანიკურ ბრუნვით მოძრაობად.

პროპელსური ტურბინის მუშა ბორბალი იდგმება მიმმართველი აპარატის ქვემოთ შემწოვი მილის შესასვლელში  $0,4 D_1$  მ სიღრმეზე, სადაც  $D_1$  მუშა ბორბლის დიამეტრია.

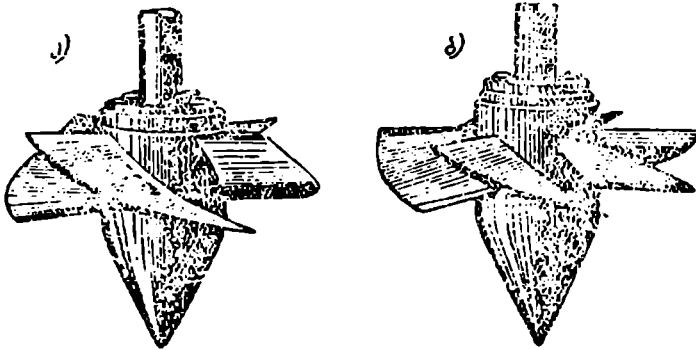
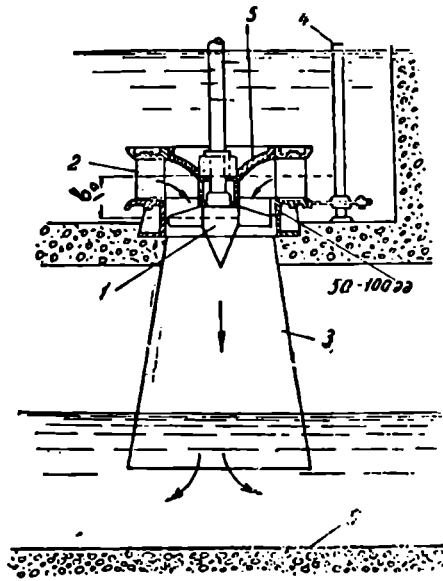
პროპელსური ტურბინი ხასიათდება მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით. როცა დანადგარი მუშაობს სრული დატვირთვით და დაწნევის პრაქტიკულად უმნიშვნელო რხევებისას, სწორედ ასეთ პირობებში მომუშავე პროპელსური ტურბინი ეკონომიურად რენტაბელურია. გარდა ამისა, მანქანის დამზადების ღირებულება სხვა კონსტრუქციის იმავე სიმძლავრის ტურბინებთან შედარებით, უფრო მცირეა.

პროპელსური ტურბინები მუშაობენ 25 მ დაწნევამდე და მიეკუთვნება სწრაფმავალ ჰიდრაულიკური მანქანების თანრიგს.

აღსანიშნავია, რომ პროპელსური ტურბინის დატვირთვის დავარდნისას მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა მკვეთრად ვარდება, ხოლო თუ საანგარიშო ხარჯს შევამცირებთ  $30-35\%$ -ით. მაშინ მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი ნულის ტოლი ხდება და ტურბინი ჩერდება.



აღნიშნული გარემოება იმით აიხსნება, რომ მუშა ბორბალზე პისტად დამაგრებული ფრთები საშუალებას არ იძლევა დატვირთვის, დავარდნის, ან წყლის ხარჯის შემცირებისას. მათი მდებარეობა შესა-



ნახ. 80. შვეული პროპელური ტურბინის დანადგარი:  
 1—მუშა ბორბალი; 2—მიმმართველი აპარატი; 3—შემწოვი მილი; 4—მარეგულებელი ლილევი; 5—მიმმართველი ზედაპირი; 6—გამყვანი არხი; ა—ოთხფრთიანი და ბ—ექვსფრთიანი მუშა ბორბლები.

ბამისად შევცვალოთ. ამიტომ პროპელური ტურბინის მუშაობის პირობების შეცვლა იწვევს დანადგარის ჰიდრავლიკური რეჟიმის მკვეთრად შეცვლასა და ენერჯის დანაკარგების გაზრდას, ე. ი. ტურბინის მარჯვქმედების კოეფიციენტის შემცირებას.

მიუხედავად ამ ნაკლისა, პროპელური ტურბინები ხასიათდება რიგი დადებითი მხარეებით და მათი გამოყენება მეტად ეფექტურია შესაბამის პირობებში. პროპელური ტურბინები, ჩვეულებრივ ფართო გავრცელებას ჰპოვებს სოფლის ელექტროფიკაციაში. თანამედროვე პროპელური ტურბინები მზადდება როგორც მცირე, ისე დიდი სიმძლავრის. მაგალითად საბჭოთა კავშირში დამზადებულია 50 ათასი კვტ სიმძლავრის პროპელური ტურბინები.

60-ე ნახაზზე მოყვანილია ღია კარბიანი პროპელური ტურბინის დანადგარის სქემა. აქვე მოცემულია ოთხ და ექვსფრთიანი მუშა ბორბლის კონსტრუქციები.

## § 47. მბრუნავ-ფრთიანი (კაპლანის) ტურბინი

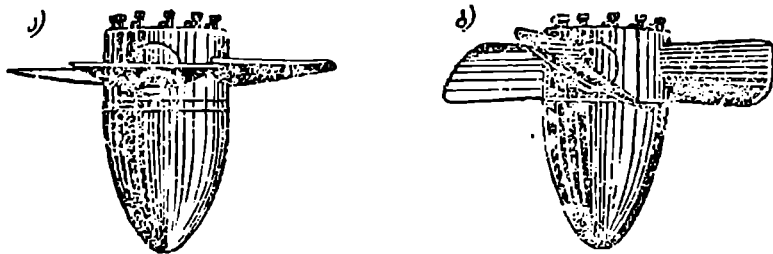
მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინები მიეკუთვნება ჰიდრავლიკური მანქანების ისეთ თანრიგს, რომლებიც შეუფერხებლად მუშაობენ ჰესის დაწინებისა და დატვირთვის მნიშვნელოვანი რყევებისას. გარდა ამისა, ეს ტურბინები ერთის მხრივ ხასიათდება მაღალი ბრუნთა რიცხვით, რმნიშვნელო გაბარიტული ზომებითა და აგრეგატის შედარებით მცირე ღირებულებით. მეორეს მხრივ, კავიტაციის პირობების გათვალისწინებით, ეს ჰიდრავლიკური მანქანა მოითხოვს მცირე, ზოგჯერ კი უარყოფითი ნიშნის შეწოვის სიმაღლეს, რაც გვაიძულებს შემწოვი მილის ჩალრმავებას, ე. ი. სადგურის შენობის სამშენებლო ღირებულების გაზრდას.

მცირე და საშუალო სიმძლავრის ჰესებში, მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინებისათვის ზღერული დაწნევა მიიღება 15÷20 მ ფარგლებში. პრაქტიკაში ვხვდებით 50 მ დაწნევაზე მომუშავე მბრუნავ-ფრთიან ტურბინებს. დაბოლოს აღვნიშნავთ, რომ მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინებისათვის ზღერული დაწნევა, როგორც ყველა ჰარბწნევიანი ჰიდრავლიკური მანქანებისათვის, განისაზღვრება მათი სწრაფმავლობისა და კავიტაციული მახასიათებლების მიხედვით.

მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინები შეგვიძლია წარმოვიდვინოთ როგორც სხვადასხვა დახრის კუთხის მქონე ფრთებიანი ანუ სხვადასხვა მუშამახასიათებლიანი რამდენიმე ერთმანეთთან შეერთებული პროპელური ტურბინი. ამ ტურბინებში ფრთების რიცხვი აიღება (3÷6) ფარგლებში. ფრთების რიცხვის შემცირებით, ჩვეულებრივ, იზრდება:

ტურბინის გამტარუნარიანობა და მაშასადამე მისი სწრაფმავლობაც, რომელიც პირდაპირპროპორციულია  $\sqrt{N}$  და  $\sqrt{Q}$  სიდიდეების.

მბრუნავ-ფრთიან ტურბინის მუშა ბორბლის მასრაზე რადიალურად დამაგრებულია მუშა ფრთები (ნახ. 81), რომლების შემობრუნება შეიძლება მასზე მოწყობილი სპეციალური მექანიზმის საშუალებით. ფრთების შემობრუნება ხორციელდება მათი ღერძის გარშემო სხვადასხვა კუთხით. ცხადია, ყოველ მუშა ფრთების ცალკეულ მდებარეობას შეესაბამება ტურბინის მუშაობის სათანადო რეჟიმი, რომელიც დაკავშირებული იქნება  $Q$  და  $H$  პარამეტრების ცვალებადობასთან. მაგალითად  $Q$  ხარჯის შეცვლისას მუშა ფრთების შემობრუნებით შეგვიძლია მათ მიეცეთ პილრაელიკურად ხელსაყრელი მდებარეობა, რომელიც გააუმჯობესებს ნაკადის პირობებს, ე. ი. გაზრდის ტურბინის მუშაობის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას.



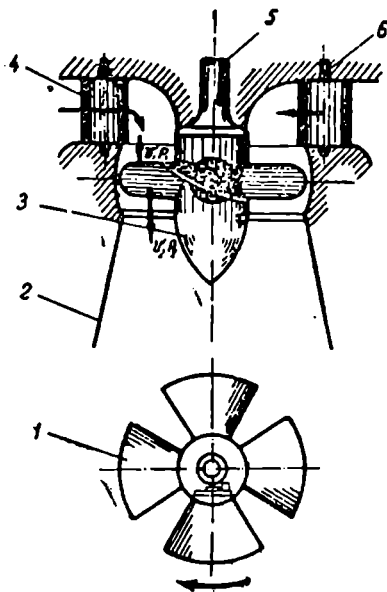
ნახ. 81. მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინის მუშა ბორბალი:

ა—მუშა ბორბალი უმოქმედობისას; ბ—მუშა ბორბალი მუშაობისას.

როგორც რიგი გამოკვლევები გვიჩვენებს, მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინების უპირატესობად აგრეთვე ჩაითვლება შემწოვი მილის უკეთესი მუშაობა, ვიდრე პროპელურ ტურბინებში, რაც გამოისახება მუშა ბორბლიდან წყლის ნაკადის შეუფერხებელ გამოდინებაში მინიმალური დაწკარავებით და სხვ.

მბრუნავ-ფრთიან ტურბინებში მიყვანილი ნაკადი მუშა ბორბალში შესვლისას მოძრაობს მისი ღერძის მიმართულებით, შემდეგ კი იცვლება და რადიალურ მიმართულებას ღებულობს. ნაკადის მიმართულების შეცვლა წარმოქმნის ტურბინის მბრუნავი რეაქციის ძალებს.

მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინის დანადგარი სქემა არაფრით არ განსხვავდება პროპელური ტურბინის დანადგარის სქემისაგან. მხოლოდ ვარჩევთ მუშა ბორბლის კონსტრუქციულ სხვაობას მბრუნავი მუშა ფრთების მიხედვით (ნახ. 82).



ნახ. 82. ვბრუნავ-ფრთიანი ტურბინის სქემა:

1—მბრუნავი ფრთა; 2—წინწოვი მილი; 3—მუშა ბორბალი; 4—ჰიმმართველი აპარატი; 5—ტუმბოს ლილვი; 6—ჰიმმართველი ფრთის ღერძი.

**თავისუფალჯავრილიანი (აქტიური) ტურბინები**

**§ 18. თავისუფალჯავრილიანი ტურბინების  
გუზარობის პრინციპი**

თავისუფლად ვარდნილ ქავრილს თუ დავუხვედრებთ რაიმე მყარ სიბრტყეს დავინახავთ, რომ დარტყმის შედეგად ქავრილი დაიფანტება გაოკვეული მიმართულებით წვრილი ქავრილების სახით.

თავისუფალი (ანუ იზოლირებული) ქავრილის ნებისმიერი ფორმის ზედაპირზე დარტყმის მოვლენის შესასწავლად ჩატარებული იყო რიგი თეორიული გამოკვლევა და მრავალი ექსპერიმენტი, მაგრამ დღემდე ჯერ კვლეულია დარტყმით გამოწვეული ქავრილის სიჩქარის სიდიდისა და მიმართულების შეცვლის ზუსტი კანონი. პრაქტიკულად დამაკმაყოფილებელი სისრულით გადაწყვეტილია თავისუფალი ქავრილის წრიულ ზედაპირზე მოქმედების საკითხი. მაგალითად, თუ ავიღებთ სიმეტრიულ წრიულ ზედაპირს, რომელზედაც ქავრილი მოქმედებს პირდაპირი ცენტრალური დარტყმით, ამასთან ამ ზედაპირის დიამეტრი ორნახევარჯერ მეტია ქავრილის დიამეტრზე, მაშინ წრიული ზედაპირიდან არეკლილი წვრილი ქავრილების სიჩქარეებიც ერთი და იგივე იქნება.

ჩვენ გვიანტერესებს სიმეტრიულ ზედაპირზე ქავრილის დარტყმის შედეგად წარმოქმნილი აქტიური ანუ წნევის ძალის სიდიდე. ამისათვის განვიხილოთ ქავრილის დარტყმის სქემა (ნახ. 83).

ვთქვათ, საქშენიდან გამოტყორცნილი ქავრილის სიჩქარეა  $v_1$ , ხარჯი— $Q$ , ხოლო არეკლილი ქავრილის სიჩქარე  $v_2$ . დარტყმის ზედაპირი მივიღოთ სფერული ფორმის. მაშინ აქტიური (ანუ რეაქციის) ძალის სიდიდე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებიდან

$$P_{აქტ} = \frac{\gamma \omega}{g} (v_1 - v_2 \cos \alpha), \quad (9,1)$$

სადაც  $\gamma$  არის წყლის ერთეული მოცულობის წონა:

$\omega$ —ქავრილის განივკვეთის (ცოცხალი კვეთის) ფართობი;

$\alpha$ —არეკვლის კუთხე.

გამორკვეულია, რომ დარტყმის ზედაპირის ფორმა ვარკვეულ გავლენას ახდენს  $v_2$  სიჩქარის სიდიდეზე.

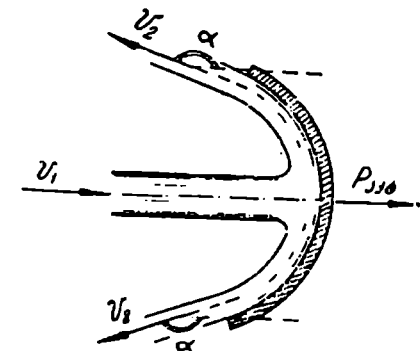
ზოგიერთ შემთხვევაში, როცა დარტყმის ზედაპირი სიმეტრიული, სფერული ფორმისაა და მისი ზედაპირი გლუვია, მაშინ დარტყმის ზონაში ჰიდრაულიკურ წინაღობათა სიდიდე პრაქტიკულად უმნიშვნელოა და შეგვიძლია მივიღოთ  $v_1 = v_2 = v$ , ამიტომ (9,1) გამოსახულება ასე წარმოგვიდგება  $\sqrt{v}$

$$P_{აბ} = \frac{\gamma \omega}{g} v^2 (1 - \cos \alpha) \quad (9,2)$$

ან

$$P_{აბ} = \frac{\gamma Q}{g} v (1 - \cos \alpha). \quad (9,3)$$

როგორც (9,3) გამოსახულებიდან ჩანს,  $P_{აბ}$  ძალა წარმოადგენს  $\alpha$  კუთხის ფუნქციას. როცა დარტყმის ზედაპირის ფორმა ისეთია, რომ  $\alpha = 0$ , მაშინ  $P_{აბ} = 0$ , ხოლო თუ  $\alpha = 90^\circ$ , მაშინ



ნახ. 83. ქავრილის მრუდ ზედაპირზე დარტყმის სქემა.

$$P_{აბ} = \frac{\gamma Q}{g} \cdot v. \quad (9,4)$$

დაბოლოს, როცა  $\alpha = 180^\circ$ , გვექნება

$$P_{აბ} = \frac{2\gamma Q}{g} v. \quad (9,5)$$

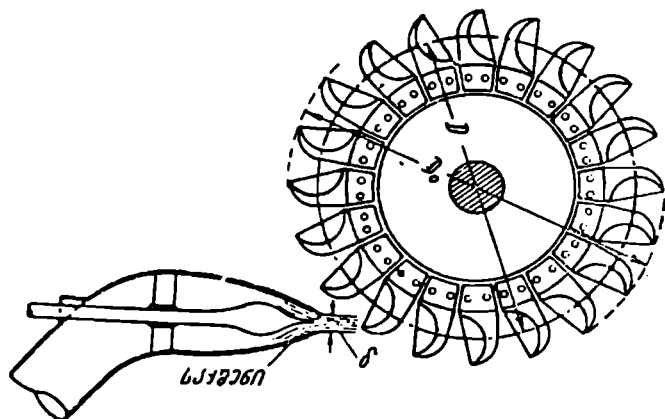
მიღებულ (9,4) და (9,5) გამოსახულებების თანახმად, როცა დარტყმის ზედაპირის ფორმა ცნობილია, აქტიური ძალის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებული იქნება საქშენიდან გამოტყორცნილი ქავრილის  $v$  სიჩქარეზე. ეს სიჩქარე განისაზღვრება ცნობილი ფორმულით

$$v = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (9,6)$$

სადაც  $\varphi = (0,97 \div 0,98)$  სიჩქარის კოეფიციენტი;  $H$  - საქშენის გამოსასვლელ ხერცხე მოსული დაწნევა.

თავისუფალქავრილიან ტურბინებში გამოყენებულია ქავრილის მოქმედების აქტიური პრინციპი. ამ ტურბინების მუშა ბორბლის ბრუნვით მო-

რაობაში მოყვანა საწნეო მილსადენის საქშენიდან გამოტყორცნილი ქაერილით წარმოებს. როგორც 84-ე ნახაზზე მოყვანილი სქემიდან ჩანს, მუშა ბორბალზე ხისტად დამაგრებულ ციცხვებს რიგრიგობით (მიმდევრობით) ურტყავს საქშენიდან გამოტყორცნილი ქაერილი. ამ დარტყმების შედეგად წარმოქმნილი თარზული (აქტიური) ძალების მოქმედებით ტურბინის მუშა ბორბალი იწყებს ბრუნვით მოძრაობას. იმისათვის, რომ ქაერილის დარტყმა იყოს მეტი ეფექტური, საჭიროა მუშა ბორბლის ციცხვებს მიეცეთ ჰიდრაულიკურად ხელსაყრელი ფორმა. ქვემოთმოყვანილ



ნახ. 84. ციცხვიანი ტურბინის მუშა ბორბლის სქემა.

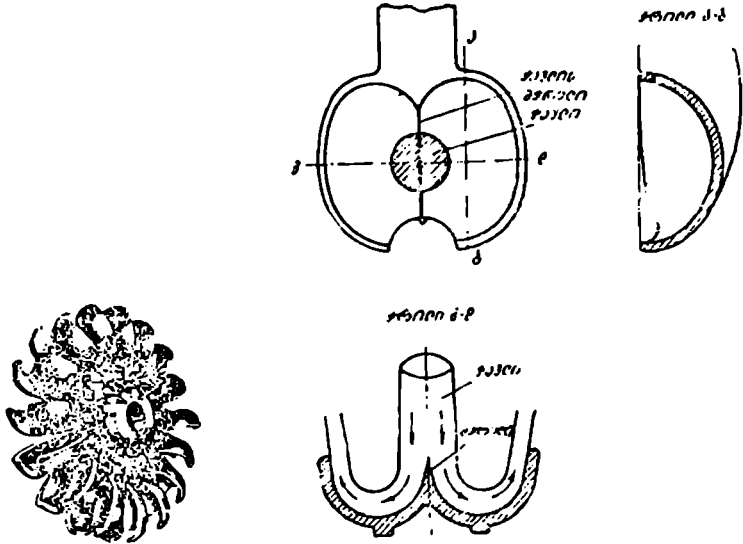
85-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ციცხვის კონსტრუქციული სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს, ციცხვი შედგება ორი სიმეტრიული მრუდი ზედაპირისაგან. ციცხვის შუა ნაწილი წამოწვეტებულ ტიხარს წარმოადგენს. რომელიც ქაერილს ორ თანასწორ ნაწილად ჰკვეთს. აქვე წარმოდგენილია აწყობილი ციცხვიანი მუშა ბორბალი.

### § 49. ჭავრილ-ციცხვიანი (კელტონის) ტურბინი

თავისუფალქავრილიანი ტურბინების ტიპს მიეკუთვნება ქაერილ-ციცხვიანი ტურბინი (ნახ. 86.) ამ ტურბინის მუშა ბორბალი წარმოადგენს ლითონის დისკოს, რომლის პერიმეტრზე ხისტად დამაგრებულია ფრთები—ციცხვები (იხ. ნახ. 85). წყლის მიყვანა მუშა ბორბალთან განხორციელებულია საქშენის საშუალებით. ქავრილ-ციცხვიანი ტურბინის საქშენი, მასში მოთავსებული მახათისებური ჩამკეტით, ასრულებს მიმართველი აპარატის როლს. მახათისებური ჩამკეტის საშუალებით წარ-

მოებს საქშენიდან გამოტყორცნილი ჰაერილის სიჩქარის რეგულემა. საქშენის გამოსასვლელი კვეთის მეტ-ნაკლები დაცობით.

საქშენში მილსადენით მიყვანილი წყლის ნაკადის მთლიანი ენერგია (დანაკარგების გამოკლებით) გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიად. ტურბინის მიმყვან მილსადენში ჰიდრავლიკური დარტყმების ასაცილებლად საქშენის გამოსასვლელი კვეთის გადაკეტვა მახათისებური ჩამკეტით ხდება დაყოვნებით (ნელნელა).



ნახ. 85. ციცხვის კონსტრუქციული სქემა. აწყობილი ციცხვიანი მუშა ბორბალი.

ჰაერილ-ციცხვიანი ტურბინები შეიძლება იყოს თარზული და შვეულ-ლილვიანი. სოფლის ჰესებში მეტწილად გამოყენებულია თარზული ერთ საქშენიანი ტურბინები. მსხვილ სადგურებში ვხვდებით ორ და მეტ საქშენიან თარზულ და შვეულ ჰაერილ-ციცხვიან ტურბინებს. ამ დანადგარის მუშა დაწნევა აღწევს 1750 მეტრს.

ჰაერილ-ციცხვიანი ტურბინის სწრაფმავლობის კოეფიციენტი ჩვეულებრივ განისაზღვრება ერთი საქშენისათვის და შეიძლება მყოფეობდეს (4÷30) ფარგლებში. მაგრამ, ზოგჯერ ბუნებრივი პირობები გვაიძულებენ ამ ტურბინების სწრაფმავლობის კოეფიციენტი მივიღოთ ოთხზე ნაკლები.

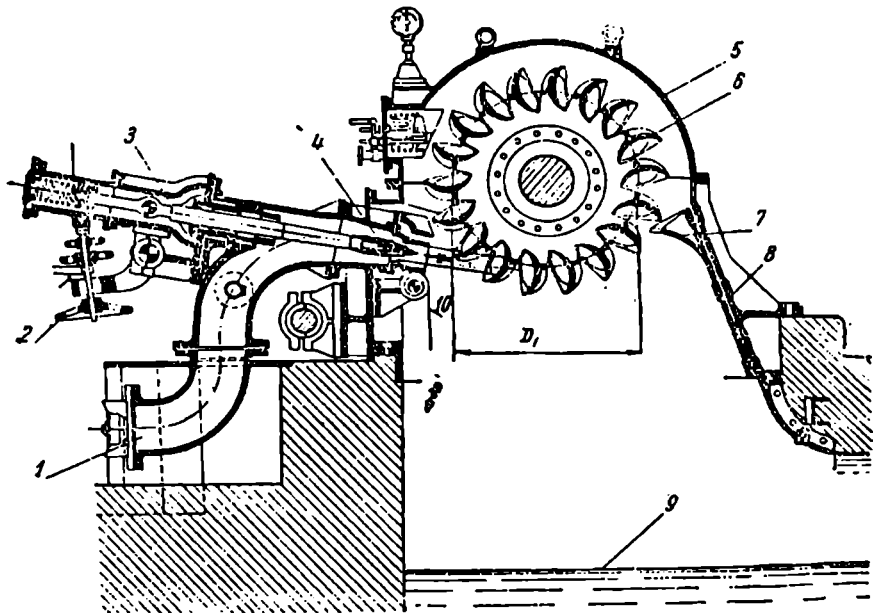
ჰაერილ-ციცხვიანი ტურბინების დაწნევა დამოკიდებული იქნება საანგარიშო ხარჯის სიდიდესა და მიღებულ ბრუნთა რიცხვზე. ტურბინ-



ნის მინიმალური დაწნევა განისაზღვრება (7,1) ფორმულით.

თუ მივიღებთ მინიმალურ ხარჯს  $q=0,10\text{მ}^3/\text{წმ}$  და ზღვრულ მაღალ სწრაფმავლობის კოეფიციენტს  $\eta_s=30$  ბრ/წთ, მაშინ დაწნევის მინიმალურ მნიშვნელობას ვიპოვიტ (7,1) ფორმულიდან

$$H = \left(\frac{n}{30}\right)^{4/3}$$



ნახ. 86. კაპრილ-ციცხვიანი ტურბინის განივი კრილი:

1—წყლის მიმყვანი მილი; 2—ჩამკეტის ხელით მართვა; 3—მახათისებური ჩამკეტის მა-  
მოდრავებელი მექანიზმი; 4—საქმენი ჩამკეტი; 5—გარსაცმი; 6—მუშა ბორბალი ციხვე-  
ბით; 7—წყლის ამრეკლი; 8—ღგარი; 9—გამყვანი არხი; 10—კაპრილის ამცილებელი.

რაც მოგვცემს:

როცა ბრუნთა რიცხვი  $n=1000$  ბრ/წთ, მაშინ  $H_{მინ} = 100$  მ:

„ „ „  $n=500$

$H_{მინ} = 39$  მ.

თუ ტურბინი ორ საქმენიანია, მაშინ

როცა  $n=1000$  ბრ/წთ, გვექნება  $H_{მინ} = 67$  მ:

„ „ „  $n=500$

$H_{მინ} = 27$  მ.

ტურბინის ბრუნთა რიცხვის გაზრდისათვის უნდა დაეყენოთ ექვთი და იგივე გამტარუნარიანობის ორი, სამი და ზოგჯერ ოთხი საქმენი.

ზოგჯერ სწრაფმავლობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ასეთი გამოსახულებით გამოითვლება

$$n_s = 240 \frac{\delta}{D_1}, \quad (9.7)$$

სადაც  $\delta$  არის ქაერილის დიამეტრი;  $D_1$  კი მუშა ბორბლისა. შეთარდება  $\frac{\delta}{D_1}$  აიღება  $\left[ \frac{1}{10} \div \frac{1}{60} \right]$  ფარგლებში. როცა  $\frac{\delta}{D_1} = \left( \frac{1}{16} \div \frac{1}{25} \right)$ , მაშინ ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტი მაღალია.

მოყვანილ მნიშვნელობებს თუ შევიტანთ (9.7) გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$n_{\text{თავს}} = 240 \cdot \frac{1}{10} = 24; \quad n_{\text{ზონ}} = 240 \frac{1}{60} = 4.$$

მუშა ბორბლის წრეწირული სიჩქარე დაახლოებით გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$u = k \sqrt{2gH} \text{ მ/წმ}, \quad (9.8)$$

სადაც

$$k = 0,45 \div 0,46.$$

მუშა ბორბლის გარე დიამეტრის ზომას ვიპოვით ასეთი დამოკიდებულებით

$$D_1 = \frac{60u}{\pi n}. \quad (9.9)$$

მუშა ბორბლის დიამეტრის განსაზღვრის შემდეგ შეგვიძლია ვიპოვოთ ქაერილის სისქე

$$\delta = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u}}. \quad (9.10)$$

ქვემოთმოყვანილ 27-ე ცხრილში მოცემულია მუშა ბორბლისა და ქაერილის სისქის შესაბამისი ზომები.

**მაგალითი 15.** გამოვარკვეოთ ქაერილ-ციცხვიან ტურბინის დადგენის მიზანშეწონილობა და შევარჩიოთ მუშა ბორბლისა და საქშენის დიამეტრის ზომები.

მოცემულია  $H = 200$  მ,  $\rho = 0,2$  მ<sup>3</sup>/წმ.

ამოხსნა: ტურბინის სიმძლავრე ( $\eta = 0,85$ ) განოვთვალოთ (1.22) ფორმულით

$$N = 13,3QH\eta = 13,3 \cdot 0,2 \cdot 200 \cdot 0,85 \approx 450 \text{ ტ. ძ.}$$

ქავრილის დიამეტრი $\delta$ (სმ)	მუშაობის დიამეტრი $D_1$ (სმ)	სწრაფმავლობის კოეფიციენტი $n_s \left[ \eta \approx 0,8; n_s = 230 \frac{\delta}{D_1} \right]$
2,5 3,6 5,0	50	16,5 23,0
6,5 8,2	82	23
10,0	100	23

ვიპოვოთ ბრუნთა რიცხვსა და სწრაფმავლობის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულება. ვისარგებლოთ (7,1) გამოსახულებით, გვექნება:

$$n_s = \frac{n \sqrt{450}}{200 \sqrt[4]{200}} = 0,05n$$

მივიღოთ ბრუნთა რიცხვის სხვადასხვა მნიშვნელობა

$$n = 500, 600 \text{ და } 700 \text{ ბრ/წთ.}$$

მაშინ

$$n_s = 25,30 \text{ და } 35.$$

სწრაფმავლობის კოეფიციენტის მიღებული მნიშვნელობები გვიჩვენებს, რომ ქავრილ-ციცხვიანი ტურბინის გამოყენება ჩვენ შემთხვევაში მიზანშეწონილია მხოლოდ 500 და 600 ბრუნთა რიცხვისას.

საქმენიდან გამოსული ქავრილის სიჩქარე გამოითვლება (9,6) ფორმულით

$$v = \varphi \sqrt{2gH} = 0,97 \sqrt{19,62 \cdot 200} \approx 60 \text{ მ/წმ.}$$

მუშა ბორბლის წრეწირული სიჩქარე ტოლი იქნება

$$u = 0,45 \cdot 60 = 28,0 \text{ მ/წმ.}$$

მუშა ბორბლის დიამეტრს ვიპოვიოთ (9,9) ფორმულით.

$$D_1 = \frac{60u}{\pi \cdot 500} = \frac{60 \cdot 28}{3,14 \cdot 500} \approx 1,0 \text{ მ.}$$

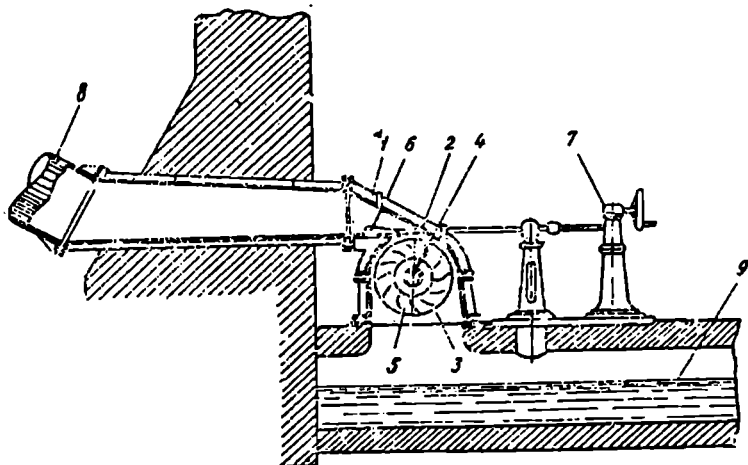
ქაერილის სისქეს ვიპოვით (9,10) ფორმულით

$$\delta = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot \nu}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 60}} \approx 0,07 \text{ მ.}$$

27-ე ცხრილის თანახმად მუშა ბორბლის დიამეტრის ზომის შესაბამისი ქაერილის ნორმალური სისქე მივიღოთ  $\delta = 10$  სმ.

### § 50. ორჯერადი (ბანკი) ტურბინი

ორჯერადი ტურბინი აგრეთვე მიეკუთვნება თავისუფალ-ქაერილიანი ტურბინების ტიპს. იგი შედგება მიმმართველი აპარატისა და მუშა ბორბლისაგან (ნახ. 87). როგორც ნახაზიდან ჩანს, წყლის ნაკადის მი-

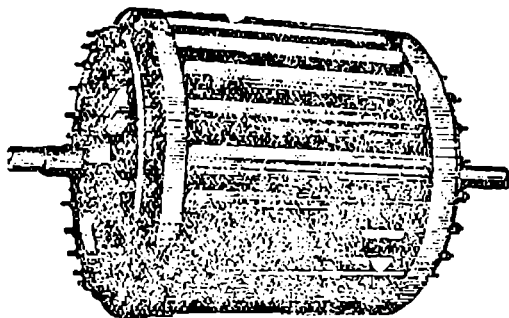


ნახ. 87. ორჯერადი ტურბინის სქემა:

- 1—მიმმართველი აპარატი; 2—მუშა ბორბალი; 3—ფრთები; 4—ტურბინის ლილვი;
- 5—დისკოები; 6—საფარი; 7—ხელით მართვის მექანიზმი; 8—საწნეო მილსადენი;
- 9—გამყვანი არხი.

ყვანა მუშა ბორბალში განხორციელებულია ზემო მხრიდან მოწყობილი მიმმართველი აპარატის ხერხიდან. წყლის ნაკადი ჯერ გადის ზემო ფრთებს შორის, შემდეგ ბორბლის შიგა არეში მოხვედრით გაივლის ქვედა ფრთებს შორის. ქაერილის ასეთი ორჯერადი მოქმედება მუშა ფრთებზე მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტს.

ორჯერადი ტურბინის მიმმართველი აპარატი წარმოადგენს კონუსისებური ფორმის მილს, რომლის გამოსასვლელი ხერელის მეტ-ნაკლები გაღება, ანუ წყლის ხარჯის რეგულდება საფარით წარმოებს. ამ საფარის მოძრაობაში მოყვანა სპეციალური ხელით მართვის მექანიზმით ხდება.



ნახ. 88. ორჯერადი ტურბინის მუშა ბორბალი.

ორჯერადი ტურბინის მუშა ბორბალი წააგავს წისქვილის ზესხნით. ბორბალს (ნახ. 88). იგი შედგება ორი შეეული დისკოსაგან, რომელთა შორის თარზულად ჩამაგრებულია ბორბლის ფრთები.

ორჯერადი ტურბინი მზადდება ლითონისაგან. მიმმართველი აპარატის გარსაცმი და მუშა ბორბლის დისკოები თუჯისაა, ფრთები კი ფოლადის.

ორჯერადი ტურბინი გამოიყენება უმნიშვნელო დაწნევისას (6-დან 40 მეტრამდე). ტურბინის სიმძლავრე არ აღემატება 70 კვტ-ს.

ორჯერადი ტურბინის ნაკლად ჩაითვლება დაწნევის მნიშვნელოვანი დანაკარგები და კონსტრუქციული შეუფერებლობა.

## ჰიდრაულიკური ტურბინების მსგავსება და მათი მახასიათებლები

### § 51. ტურბინების მსგავსება და საანგარიშო ფორმულები

ჰიდრაულიკური ტურბინის ყველა ზომას თუ პროპორციულად გაეზრდით ან შევამცირებთ, მივიღებთ ისეთ ტურბინს, რომელიც პირველი ტურბინის გეომეტრიულად მსგავსი იქნება.

მსგავსი ტურბინების ტექნიკური (მუშა) მაჩვენებლები ( $N$  სიმძლავრე,  $Q$  ხარჯი,  $n$  ბრუნთა რიცხვი და სხვ.) ერთმანეთთან გარკვეულ დამოკიდებულებაში არიან. ეს დამოკიდებულება საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ტურბინის ტექნიკური მაჩვენებლები დაწინევის ცვალებადობისას, ან კიდევ ერთი ტურბინის ტექნიკური მაჩვენებლებით ვიპოვოთ მეორე მსგავსი ტურბინის ტექნიკური მაჩვენებლები ერთი და იგივე, ან სხვადასხვა დაწინევის შემთხვევაში.

მსგავსების კანონების (კანონზომიერების) დადგენას დიდი მნიშვნელობა აქვს ტექნიკაში, კერძოდ ტურბომშენებლობაში. ახალი კონსტრუქციის (ან ტიპის) ტურბინის მუშაობის გამოკვლევა, ჰიდრაულიკური გამოცდა პირველად უნდა ჩატარდეს ტურბინის მოდელზე (ლაბორატორიულ პირობებში). რადგან მოდელი შედარებით მცირე ზომისაა, დამზადებულია ნიმუშის სახით, უფრო იოლია მისი კონსტრუქციული გადაკეთება და ჰიდრაულიკური გაუმჯობესება.

მსგავსების კანონების საფუძველზე მიღებულ დამოკიდებულებათა საშუალებით და ტურბინის მოდელის ლაბორატორიული გამოცდის შედეგად მიღებული ტექნიკური მაჩვენებლების გამოყენებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ ნატურალური (ანუ საწარმოო) სიდიდის ტურბინის ყველა მუშა მაჩვენებელი.

განვიხილოთ ტურბინის მუშაობა, როცა დაწინევა იცვლება  $H_1$  და  $H_2$  ფარგლებში. დავადგინოთ ტურბინის ტექნიკური მაჩვენებლების  $n$ ,  $Q$ ,  $N$  თანათარლობა  $H$  დაწინევის ცვალებადობასთან დამოკიდებულებით.

1. ტურბინის ნორმალური ბრუნთა რიცხვების თანაფარდობა. ტურბინის ნორმალური ბრუნთა რიცხვის ქვეშ იგულისხმება ისეთი ბრუნთა რიცხვი წუთში, რომლითაც ტურბინი მუშაობს მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით.

ტურბინების კონსტრუირებისას მიღებულია, რომ მუშა ბორბლის ბრუნვითი სიჩქარე ( $u$ ) და ბრუნთა რიცხვი ( $n$ ) პირდაპირპროპორციულია ტურბინიდან დაწნევის ქვეშ გამოდინებული ნაკადის სიჩქარისა ( $v$ ). ე. ი.

$$u \sim n \sim v, \quad (10,1)$$

სადაც  $v = k_r \sqrt{2gH}$ , ხოლო  $k_r$  სიჩქარითი კოეფიციენტი, რომელიც გენხასიათებს ნაკადის გადინების პირობებს ტურბინში. თუ ჩვენ განვიხილავთ ტურბინის მუშაობას  $H_1$  და  $H_2$  დაწნევისას, მაშინ (10,1) პროპორციულობის საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}, \quad (10,2)$$

სადაც 1,2 ინდექსები შეესაბამება  $H_1$  და  $H_2$  დაწნევებს.

მიღებული გამოსახულებიდან შეგვიძლია ვიპოვოთ ნორმალური ბრუნთა რიცხვი  $H_2$  დაწნევისას.

$$n_2 = n_1 \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}. \quad (10,3)$$

2. ტურბინის ხარჯების თანაფარდობა. (10,2) თანაფარდობის თანახმად დაწნევის სიდიდის შეცვლით  $v$  სიჩქარე იცვლება შებრუნებული (კვადრატული) პროპორციით. მაშასადამე, ასეთივე ფარდობით შეიცვლება  $Q$  ხარჯიც, ე. ი.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}. \quad (10,4)$$

სადაც  $Q$  ხარჯი შეესაბამება  $H_1$  დაწნევისას.

$Q_2$  ხარჯი კი  $H_2$  დაწნევისას გამოითვლება (10,4) თანაფარდობიდან

$$Q_2 = Q_1 \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \quad (10,5)$$

3. ტურბინის სიმძლავრეთა თანაფარდობა. ტურბინის სიმძლავრე გამოითვლება (2,9) ფორმულით.  $H$  დაწნევის შეცვლით შეიცვლება ტურბინის სიმძლავრეც. ამიტომ  $H_1$  და  $H_2$  დაწნევებისათვის ვკეძნება

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{H_1 Q_1}{H_2 Q_2} \quad (10,6)$$

(10,6) გამოსახულებაში თუ შევიტანთ  $Q$  ხარჯის (10,5) მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{H_1 \sqrt{H_1}}{H_2 \sqrt{H_2}}. \quad (10,7)$$

საიდანაც ტურბინის სიმძლავრე  $H_2$  დაწნევისას ტოლი იქნება

$$N_2 = N_1 \frac{H_2 \sqrt{H_1}}{H_1 \sqrt{H_2}}. \quad (10,8)$$

მიღებული თანაფარდობანი გამოვიყენოთ მსგავსი ტუმბოების (ნა-ტურისა და მოდელის) ტექნიკური მაჩვენებლების თანაფარდობათა დასადგენად.

განვიხილოთ ორი მსგავსი ტურბინის მუშაობა, როცა  $H$  დაწნევა ერთი და იგივეა.

ა) მსგავსი ტურბინების ბრუნთარიცხვების თანაფარდობა. დიდი ზომის ტურბინი მივიღოთ ნატურალურ ტურბინად და მისი მუშა ბორბლის დიამეტრი აღვნიშნოთ  $D$  ასოთი, მცირე ზომის ტურბინის ანუ, მოდელის მუშა ბორბლის დიამეტრი  $D_a$ -ით. დავადგინოთ დამოკიდებულება  $n$  და  $n_a$  ბრუნთარიცხვებს შორის. ცხადია, რომ მსგავს ტურბინებში, როცა დაწნევა ერთი და იგივეა მათი ბრუნვითი სიჩქარეები ტოლი იქნება, ე. ი. შეგვიძლია დავწეროთ ( $n = n_a$ ):

$$\frac{\pi D n}{60} = \frac{\pi D_a n_a}{60}, \quad (10,9)$$

ან

$$\frac{n}{n_a} = \frac{D}{D_a}, \quad (10,10)$$

საიდანაც

$$n = n_a \frac{D}{D_a}, \quad (10,11)$$

ე. ი. როცა მოცემული გვაქვს მოდელის ბრუნთარიცხვი, შეგვიძლია ვიპოვოთ მისი მსგავსი ნატურალური ტურბინის ბრუნთარიცხვის მნიშვნელობა.

ბ) მსგავსი ტურბინების ხარჯების თანაფარდობა. ორ მსგავს ტურბინში ერთი და იგივე სიჩქარით შედინებული წყლის რაოდენობა (წამში) პირდაპირპროპორციული იქნება შესასვლელი კვეთების უარტობისა. ამ ფართობების თანაფარდობა ასე წარმოგვიდგება ( $\nu = const$ )

$$\alpha = \frac{b_a \pi D_a}{b \pi D} = \frac{b_a D_a}{b D}, \quad (10,12)$$



სადაც  $k$  ზესასვლელი კვეთის სიმაღლეა.

თუ ვავითვალისწინებთ მსგავსების პირობებს, შეგვიძლია დავწეროთ

$$ha = kD_0 \text{ და } b = kD, \quad (10.13)$$

სადაც  $k$  პროპორციულობის კოეფიციენტი.

პაშინ (10.13) მნიშვნელობის გათვალისწინებით თანათარღობა (10.12) ასე გადაიწერება

$$a = \frac{kD_0^2}{kD^2} = \frac{D_0^2}{D^2}. \quad (10.14)$$

მაშასადამე, ტურბინების ხარჯების თანათარღობა

$$\frac{Q_0}{Q} = a = \frac{D_0^2}{D^2}, \quad (10.15)$$

აქედან თუ ვიცით მოდელის ხარჯი, შეგვიძლია ვიპოვოთ მეორე ტურბინის ხარჯის მნიშვნელობა, ე. ი.

$$Q = Q_0 \frac{D^2}{D_0^2}. \quad (10.16)$$

გ) მსგავსი ტურბინების სიმძლავრეთა თანათარღობა ტურბინის სიმძლავრე განისაზღვრება (2,9) ფორმულით. ამასთან თუ ვავითვალისწინებთ (10.15) თანათარღობას, მივიღებთ

$$\frac{N_0}{N} = \frac{Q_0}{Q} = \frac{D_0^2}{D^2}. \quad (10.17)$$

აიდანაც ვიპოვით დიდი (ნატურალური) ტურბინის სიმძლავრეს

$$N = N_0 \frac{D^2}{D_0^2}. \quad (10.18)$$

განვიხილოთ ორი მსგავსი ტურბინის მუშაობა, დავადგინოთ თანათარღობა ბრუნთა რიცხვებსა, ხარჯებსა და სიმძლავრეებს შორის, როცა  $H$  დაწნევა სხვადასხვაა.

ვიპოვოთ ზოგადი გამოსახულება, რომელიც უნდა შეიცავდეს დაწნევისა და დიამეტრის ცვალებადობას. მაშასადამე უნდა დაიწეროს სამი განტოლება, რომელიც მიიღება ზემომოყვანილ თანათარღობათა საფუძველზე.

პირველი განტოლება იძლევა ორივე ტურბინის ბრუნთა რიცხვებს შორის დამოკიდებულებას

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sqrt{H_1} D_2}{\sqrt{H_2} D_1} \quad (10.19)$$

მეორე განტოლება ხარჯების დამოკიდებულებას

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\sqrt{H_1} D_2^2}{\sqrt{H_2} D_1^2} \quad (10.20)$$

მესამე განტოლება კი სიმძლავრეებს შორის დამოკიდებულებას

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{H_1 \sqrt{H_1} D_2^3}{H_2 \sqrt{H_2} D_1^3} \quad (10.21)$$

(10,19), (10,20) და (10,21) ფორმულებს აქვთ პრაქტიკული გამოყენება ტურბინების შერჩევისა და მათი დაპროექტებისას.

ჩაღდან ტურბინის მოდელები მზადდება სხვადასხვა დიამეტრის უმათი გამოცდა ტარდება სხვადასხვა დაწნევისას, ამიტომ მოდელზე მიღებული მონაცემების პრაქტიკული გამოყენებისათვის უფრო მოხერხებულია, რომ ეს მონაცემები დაეყვანოთ ერთსახობრივ ფორმაზე, რისთვისაც უნდა გამოვიყენოთ ზემომოყვანილი მსგავსების ფორმულები.

ეს დაყვანა მდგომარეობს სხვადასხვა ზომის მოდელების გამოცდას საფუძველზე მიღებული ტექნიკური მონაცემების გადაანგარიშებით 1 მ დაწნევასა და 1 მ დიამეტრზე:

1. ბრუნთა რიცხვების, ხარჯებისა და სიმძლავრეების დაყვანა. გადაანგარიშების შემდეგ მიღებულ ტექნიკურ მონაცემებს უწოდებენ დაყვანილ მონაცემებს, რომლებიც ასეთნაირად აღინიშნება.  $n'_1$ —დაყვანილი ბრუნთა რიცხვი,  $Q'_1$ —დაყვანილი ხარჯი და  $N'_1$ —დაყვანილი სიმძლავრე. აღნიშნული მონაცემები უნდა გეიხასიათებდნენ მსგავს ტურბინს, რომლის მუშა ბორბლის დიამეტრი 1 მეტრია, და მისი მუშა დაწნევაც 1 მ.

ვიპოვოთ მოცემული და დაყვანილი ტურბინების მაჩვენებლებს შორის დამოკიდებულება. ამისათვის ვისარგებლოთ ზემომოყვანილი ფორმულით.

დავუშვათ, რომ ამ ფორმულაში მცირე ტურბინი მოცემული იქნება ხოლო დიდი (საწარმოო)—დაყვანილი, მაშინ

$$\begin{aligned} n_2 &= n; & n &= n'_1; \\ Q_2 &= Q; & Q &= Q'_1; \\ N_2 &= N; & N &= N'_1. \end{aligned} \quad (10,22)$$

თუ შევიტანთ (10,19), (10,20) და (10,21) ფორმულებში შესაბამის (10,22) მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\frac{n}{n'_1} = \frac{\sqrt{H}}{D}, \quad \text{საიდანაც } n = \frac{n'_1 \sqrt{H}}{D}; \quad (10,23)$$

$$\frac{Q}{Q'_1} = \sqrt{H} D^2, \quad Q = Q'_1 \sqrt{H} D^2; \quad (10,24)$$

$$\frac{N}{N'_1} = H \sqrt{H} D^2, \quad N = N'_1 \sqrt{H} D^2. \quad (10,25)$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტის გადაანგარიშება შეიძლება ა. მოროზოვის ფორმულით

$$\eta = 1 - (1 - \eta_a) \sqrt[5]{\frac{D_a}{D}}, \quad (10,26)$$

სადაც  $\eta_a$  აიღება შერჩეული ტურბინის უნივერსალური მახასიათებლიდან.

## § 52. ტურბინების მახასიათებლები

დიდი სიმძლავრის ტურბინები სერიული წესით არ მზადდება, ამიტომ მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურების დაპროექტებისას ტურბინების შერჩევა ინდივიდუალურად ხდება. როცა დადგენილია ტურბინის საანვარიშო ხარჯი და მუშა დაწნევა, ტურბინის ტიპი შეირჩევა არსებული მოდელების საშუალებით. შემდეგ  $Q'_1$  დაყვანილი ხარჯის მიხედვით (10,24) ფორმულით ვიპოვიან მუშა ბორბლის  $D$  დიამეტრს. ამის შემდეგ შეგვიძლია გამოვთვალოთ ტურბინის ყველა ნაწილის ზომა. ასეთი ტურბინი მზადდება სპეციალური შეკვეთით.

მცირე სიმძლავრის ჰესების ტურბინების ტიპის შერჩევა წარმოებს მიღებული ტურბინების ნომენკლატურით (იხ. თავი XI). მაგრამ, ზოგჯერ კატალოგებში მოცემული ტექნიკური მონაცემები არასაკმარისია ტურბინის სრული მახასიათებლისათვის, ამიტომ საჭირო ხდება დამატებით იქნას შესწავლილი შემდეგი საკითხები:

1. შერჩეული ტურბინის ტიპის მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვალებადობა დატვირთვის ცვალებადობისას დღე-ღამის განმავლობაში;

2. მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვალებადობა ზემო ბიეფში წყლის დონის მნიშვნელოვანი დაწვევისას;

3. ბრუნთა რიცხვის შეცვლის გავლენა ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის სიდიდეზე.

ჩამოთვლილი საკითხების გადაჭრა ხდება ტურბინების მახასიათებლების მეშვეობით.

ტურბინების ძირითად მიხასიათებლად ჩაითვლება მუშა, უნივერსალური და საექსპლოატაციო მახასიათებლები.

მუშა მახასიათებელი გვიჩვენებს ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვალებადობას ხარჯისა და სიმძლავრის ცვალებადობასთან დამოკიდებულებით, როცა ტურბინის ბრუნთა რიცხვი მუდმივია.

პირველად აიგება ტურბინის მუშა მახასიათებელი-მრუდები, ხოლო ნამდვილ (საწარმოო) ტურბინის მუშა მახასიათებლის აგება ხდება ტურბინების საექსპლოატაციო გამოცდის შემდეგ მიღებული მონაცემების საფუძველზე, ან სათანადო გამოთვლებისა და უნივერსალური მახასიათებლების გამოყენებით. მუშა მახასიათებლები — მრუდები მოყვანილია 61-ე ნახაზზე.

სხვადასხვა პირობებში მომუშავე ტურბინზე სრულ წარმოდგენას გვაძლევს უნივერსალური მახასიათებლები, რომლებიც გვიჩვენებენ მუშა ბორბლის მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვალებადობას მისი  $Q$  ხარჯისა და  $n$  ბრუნთა რიცხვის შეცვლასთან დამოკიდებულებით, როცა  $11$  დაწნევა უცვლელია.

ამ მახასიათებლის შვეულ ღერძზე გადაზომილია  $n$  ბრუნთა რიცხვის მნიშვნელობები, თარხულზე კი  $Q$  ხარჯები. უნივერსალური მახასიათებლები გვაგონებენ ადგილმდებარეობის გეგმას ჰორიზონტალებში. თითოეული ჰორიზონტალი შეესაბამება ერთი და იგივე მნიშვნელობის მარგი ქმედების კოეფიციენტის წირებს. რადგან უნივერსალური მახასიათებლები იგება ლაბორატორიული გამოცდის საფუძველზე, ამიტომ ამ მახასიათებლების შედგენა დაკისრებული აქვთ ტურბომშენებელ ქარხნებს და საკონსტრუქტორო ბიუროებს. უნივერსალური მახასიათებლების ნიმუშები მოყვანილია ქვემოთ (ნახ. 90, 91, 92).

უნივერსალური მახასიათებლის საშუალებით შეგვიძლია ავაგოთ ტურბინის საექსპლოატაციო მახასიათებლები სხვადასხვა დაწნევებისა და მუდმივი (უცვლელი) ბრუნთა რიცხვისას ასეთი მახასიათებელი ნაჩვენებია 97-ე ნახაზზე.

საექსპლოატაციო მახასიათებლებს აგებენ საპროექტო და საექსპლოატაციო ორგანიზაციები მოქმედი ტურბინების ექსპლოატაციის ოპტიმალური რეჟიმის უზრუნველყოფისათვის.



## ჰიდროავლიკური ტურბინის ტიპის უმარჩევა და ძირითადი ზომების დადგენა

### § 53. ჰარბზნევიანი ტურბინების ნორმალური ნომენკლატურა

ჩვენს ქვეყანაში ელექტროფიკაციის ფართო განვითარებასთან დაკავშირებით დიდი მასშტაბითაა გაშლილი ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა. ამიტომ ყოველწლიურად იზრდება მოთხოვნილება სხვადასხვა ტიპისა და სიმძლავრის ჰიდროავლიკურ ტურბინებზე. ტურბინების სერიული გამოშვების გასაადვილებლად და მათი ღირებულების შესამცირებლად დამუშავებულია ნომენკლატურა ჰარბზნევიანი ტიპის ტურბინებისა. რაც შეეხება თავისუფალ-ჰავრილიანი ტურბინების ნომენკლატურას, იგი ჯერჯერობით დამუშავების სტადიაშია.

აქ განვიხილავთ მხოლოდ ჰარბზნევიანი ტურბინების ნომენკლატურის ნაწილს, რომელიც განკუთვნილია მცირე და საშუალო სიმძლავრის ჰესებისათვის. ამ ნომენკლატურას საფუძვლად უდევს ჰარბზნევიანი ტურბინების უკვე შესწავლილი და ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდილი მუშა ბორბლის უკეთესი ტიპები. ნომენკლატურული ტურბინების მუშა ბორბლის სხვადასხვა ზომის დიამეტრისათვის შედგენილია  $Q$ ;  $n$ ;  $h_{\text{ზ}}$  და  $\eta$  პარამეტრების სიდიდეების დასადგენი მახასიათებელი მრუდები.

ჰარბზნევიანი ტურბინების ნორმალურ ნომენკლატურაში შეტანილია მასიური დამზადების სრულყოფილი და მარტივი კონსტრუქციის 3-დან 300 მ დაწვევისა და 150 000 კვტ-მდე სიმძლავრის რადიალურ-ღერძული, პროპელური და მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინები. ამ ნომენკლატურაში ტურბინების სერიის რიცხვი 15-ია. სერიის ქვეშ იგულისხმება ერთი და იგივე კონსტრუქციის მუშა ბორბლის, კამერებისა და სწრაფ-მავლობის მქონე ტურბინები.

დამუშავებულ ნომენკლატურაში მიღებულია ტურბინების შემდეგი მარკები ანუ შემოკლებული დასახელება.

ტურბინის მარკა შედგება სამი აღნიშვნისაგან:

1. რადიალურ-ღერძული მუშა ბორბლის ტიპი აღნიშნულია (P) (ფრენსისი), პროპელური—(Pp), პროპელური კაპლანის ტიპის—(PpK) და მბრუნავ-ფრთიანი კაპლანის მუშა ბორბალი კი (K)-თი. მარკის მომდევნო რიცხვითი აღნიშვნა გვიჩვენებს მუშა ბორბლის ნომერს.

2. ტურბინის კონსტრუქციული შესრულება, რომელიც განისაზღვრება ლილვის მდებარეობით და კამერის ტიპით აღნიშნება: შვეულ-ლილვიანი (B), თარზული—(I') და ლია კამერიანი—(O), ბეტონის სპირალურ კამერიანი—(N), იგივე ლითონის—(M) და გარსაცმიანი (ფრონტალური) კამერიანი—(F).

3. მუშა ბორბლის დიამეტრის ზომას (სმ) გვიჩვენებს მარკის ბოლო ციფრები.

ამრიგად, მარკა Pp K 70-BO-59 ნიშნავს: (Pp) პროპელურ ტურბინს (K70) მუშა ბორბლით, (B) შვეული ლილვითა და (O) ლია კამერით, ხოლო ციფრი 59 გვიჩვენებს მუშა ბორბლის დიამეტრის ზომას სმ-ობით.

მარკა P 300-I'O-70 ნიშნავს: ფრენსისის ტიპის რადიალურ-ღერძულ ტურბინს, რომლის მუშა ბორბლის ნომერია—F 300, ღერძის განლაგება (I') თარზულია, (O) ლია კამერით; მუშა ბორბლის დიამეტრი კი 70 სმ.

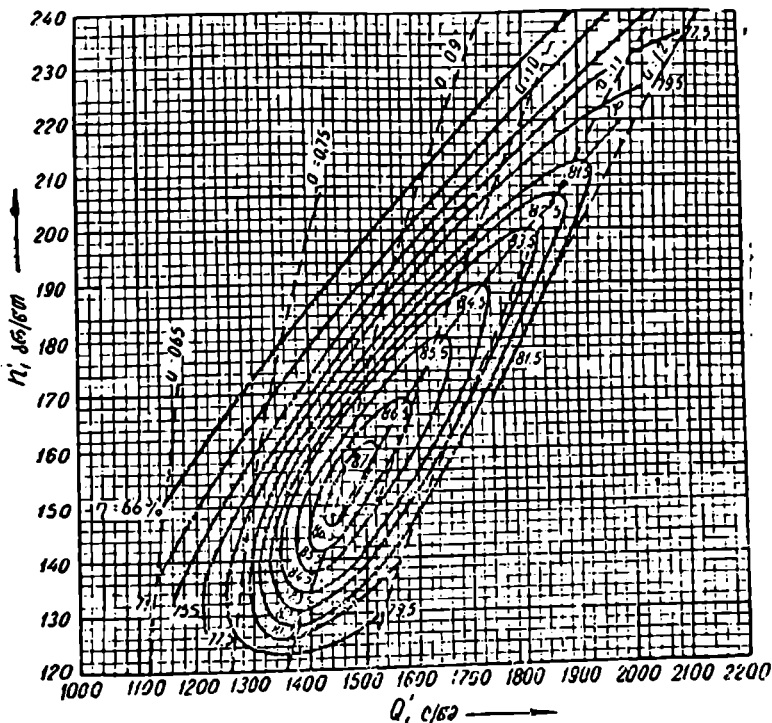
ქვემოთ, 89-ე ნახაზზე მოყვანილია ყველა ტიპი კონსტრუქციის ნომენკლატურული ტურბინების გამოყენების ფარგლების ერთიანი გრაფიკი, რომელიც აგებულია დაწნევისა და სიმძლავრის ლოგარითმულ კოორდინატებში. ამ გრაფიკზე გამოყენების ფარგლებთან ერთად ნაჩვენებია ტურბინის ტიპის კონსტრუქციის მარკა. თითოეულ სიმძლავრეს შეესაბამება მუშა ბორბლის მაქსიმალური და მინიმალური დიამეტრის ზომები (D<sub>max</sub> და D<sub>min</sub>).

ყველა მარკის ჭარბწნევიან ტურბინს აქვს თავისი უნივერსალური მახასიათებლები, რომლებიც ანალოგიურია ცენტრიდანული ტუმბოების მახასიათებლებისა. ამიტომ მოყვანილი გრაფიკით, ტურბინის ტიპის და მუშა ბორბლის მარკის დადგენის შემდეგ, საჭიროა გამოვიყენოთ შერჩეული მარკის ტურბინის უნივერსალური მახასიათებელი, ან კიდევ კერძო მახასიათებელი (იხ. ქვემოთ). ამ მახასიათებლების საშუალებით ვიპოვიტ ტურბინის ოპტიმალურ ბრუნთა რიცხვს, მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას და სხვ.

ნომენკლატურული ტურბინების უნივერსალური მახასიათებლები მოყვანილია სპეციალურ ტექნიკურ ლიტერატურაში, ჩვენ აქ ნიმუშის სახით მოვიყვანთ PpK70, PpK245 და P300-IF მარკის ტურბინების უნივერსალურ მახასიათებელ-მრუდებს (ნახ. 90, 91, 92).



ტიპის შერჩევის დროს ანგარიში უნდა გაეწიოს აგრეთვე ჰესის მუშა დაწნევას, წყლის ხარჯსა და დღელამური დატვირთვის გრაფიკის ხასიათს.



ნახ. 90. ПРК70 ტურბინის უნივერსალური მახასიათებელი. მარჯი ქმედების კოეფიციენტი გამართულია მუშა ბორბლის დიამეტრისათვის  $\mu=800$  მმ;  $\varphi=0^\circ$ .

ქარბწნევიანი ტურბინის ტიპის შერჩევა ხდება ერთიანი გრაფიკის (ნახ. 89) მიხედვით, ხოლო მუშა ბორბლის დიამეტრის ზომა, ბრუნთარიცხვი და ზღვრული შეწოვის სიმაღლე განისაზღვრება კერძო მახასიათებლებით.

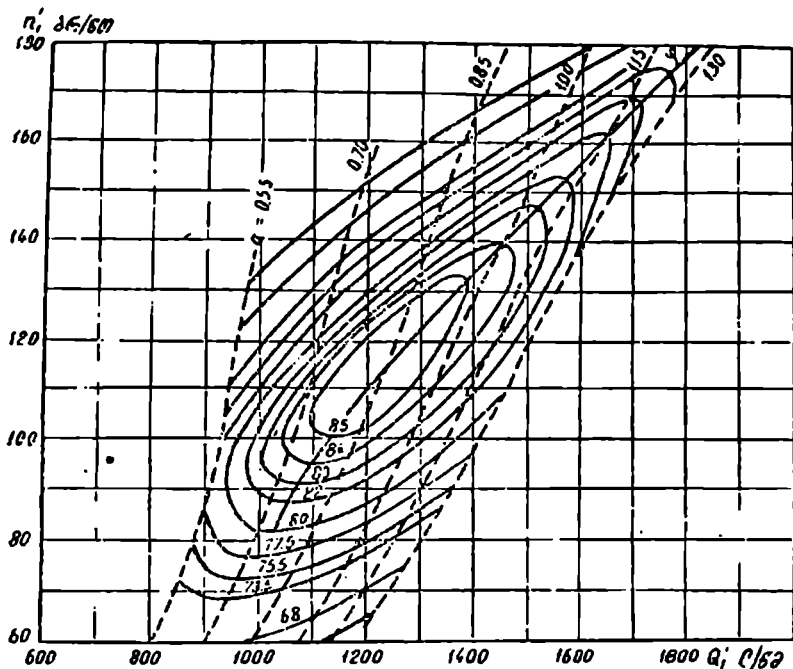
ჩვენ აქ მაგალითის სახით მოვიყვანთ მხოლოდ ПРК70- В0, ПРК245- ВВ და Ф300- ГФ მარკის ტურბინების კერძო მახასიათებლებს (ნახ. 93, 94, 95).

ამ კერძო მახასიათებლების საშუალებით შეგვიძლია დავადგინოთ მოცემული მარკის ტურბინის გამოყენების ფარგლები და ჰესის კონკ-



რეტული მუშაობის პირობებისათვის შევარჩიოთ ტურბინის საჭირო ზომები და მონაცემები.

როგორც § 37-ში აღნიშნეთ, მცირე სიმძლავრის ჰესებში იდგმება ერთი ან ორი ტურბინი. ჰიდროსადგური ერთი აგრეგატით ჯდება

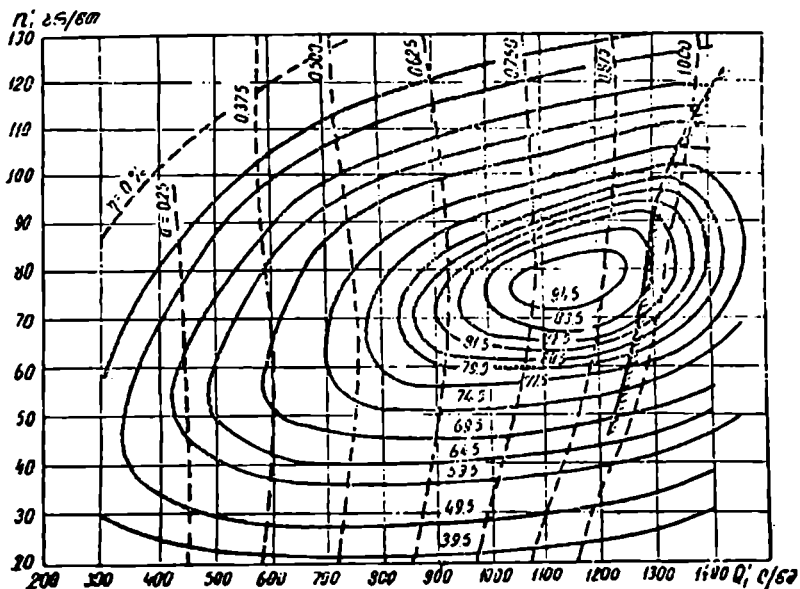


ნახ. 91. ПРК245 ტურბინის უნივერსალური მახასიათებელი. მარჯი ქმედების კოეფიციენტი გამოთვლილია მუშა ბორბლის დიამეტრისათვის  $D=1000$  მმ;  $\varphi = +10^\circ$ .

უფრო იაფი და მისი ექსპლოატაცია იოლია. მაგრამ ერთი აგრეგატი არ უზრუნველყოფს ჰესის მუდმივ და შეუფერხებელ მუშაობას. ამიტომ ერთი აგრეგატის (ტურბინი და გენერატორი) დადგმა დასაშვებია მხოლოდ სოფლის მცირე სიმძლავრის ჰესებში და გამონაკლის შემთხვევაში, როცა მოცემული ჰესი გაერთიანებულია რომელიმე ენერგოსისტემაში.

აგრეგატის რიცხვის შერჩევისას უნდა ვეცადოთ, რომ აგრეგატის რაოდენობა რაც შეიძლება ნაკლები იყოს; ამასთან სასურველია, რომ შევარჩიოთ დიდი ბრუნთა რიცხვის მქონე ტურბინი, რათა შეიძლებოდეს მისი უშუალოდ შეერთება (ერთ ლილვზე) გენერატორთან. მეორეს

შორივ, მოცემული დღეღამული დატვირთვის გრაფიკისათვის (ნახ.29), დატვირთვის რყევები ერთ აგრეგატზე იქნება მით მეტი, რაც უფრო ნაკლები იქნება აგრეგატების რიცხვი. მაშასადამე, წყალნაკადის სიმძლავრის მეტი სისრულით გამოყენებისათვის საჭიროა, რომ ჰესის სიმძლავრე გაენაწილოთ რაც შეიძლება აგრეგატების მომეტებულ რიცხვზე. ამ შემთხვევაში ჰესის საშუალო საექსპლოატაციო მარგი ქმედების კოეფიციენტი შედარებით მაღალი იქნება. აგრეგატების რიცხვის გაზრდის ზღვარი შეიძლება დადგინდეს ჰიდრომოწყობილობათა ვარიანტების შედარებისა და ტექნიკურ-ეკონომიური გამოთვლების საფუძველ-

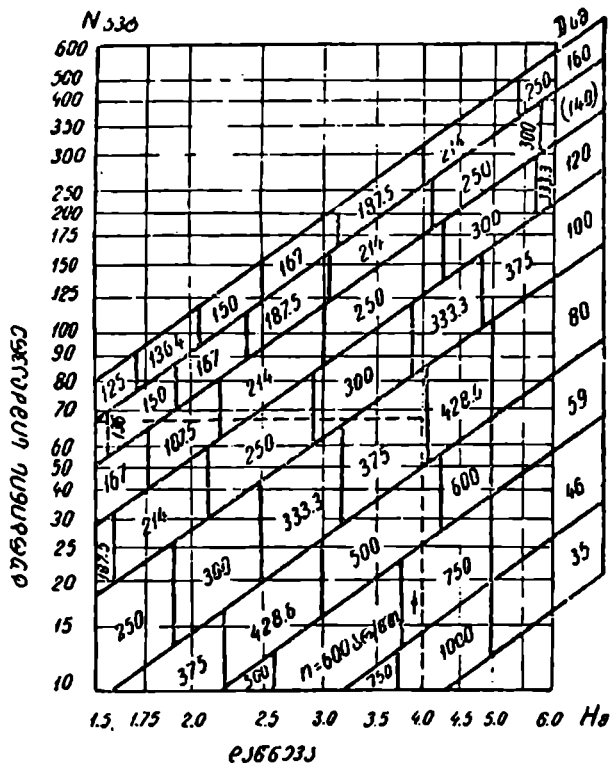


ნახ. 92. 1300—130 ტურბინის უნივერსალური მახასიათებელი. მარგი ქმედების კოეფიციენტი გამოთვლილია მუშა ბორბლის დიამეტრისათვის  $D = 500$  მმ.

ზე. ამას ზედ უნდა ერთვოდეს მოცემული დაწნევისა და სხვადასხვა აგრეგატების რიცხვისათვის აგებული ჰესის მუშა მახასიათებლები. ამ მუშა მახასიათებლების აგებისას უნდა ვისარგებლოთ ჩვენს მიერ შერჩეული ტურბინის ტიპის უნივერსალური მახასიათებლებით.

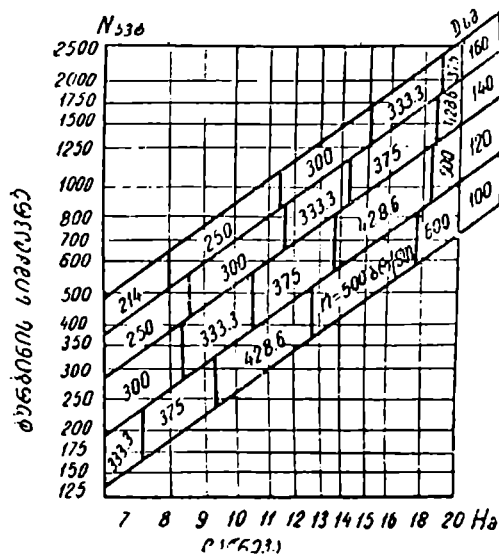
## § 55. ჰიდრავლიკური ტურბინების ძირითადი ზომების გაანგარიშება

ჰიდროელექტროსადგურის შენობის დაგეგმარებისას აგრეგატების რიცხვის გარდა, უნდა ვიცოდეთ აგრეთვე ტურბინისა და გენერატორის ძირითადი (გაბარიტული) ზომები, რათა სწორად შევარჩიოთ შენობის ნაწილების სამშენებლო ზომები.

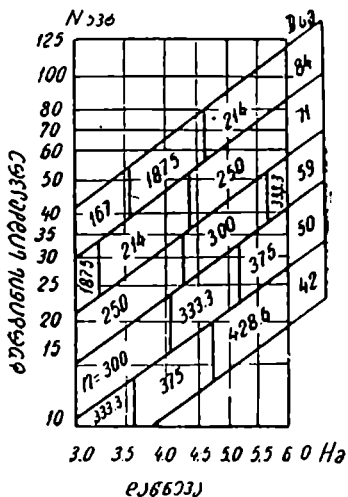


ნახ. 93. ППК70—30 ტურბინის კერძო მახასიათებელი.

იმ შემთხვევაში, როცა ჰესის შენობაში იდგმება ნორმალური ტიპის ტურბინი, რომელიც სერიულად მზადდება მანქანათმშენებელ ქარხნებში, მაშინ მისი ზომები წინასწარ უკვე ცნობილია კატალოგებიდან. მაგრამ მსხვილი ჰიდროსადგურების დაპროექტებისას (მაგალითად, კუბიშვიის, სტალინგრადის ჰესის და სხვ. ტურბინები), როცა ჰიდროსადგმულობათა დაგეგმარების პროცესში განიხილება მრავალი ვარიანტი, აქ უკვე სანამ ქარხნიდან მივიღებთ ტურბინების გაბარიტულ ზომებს,

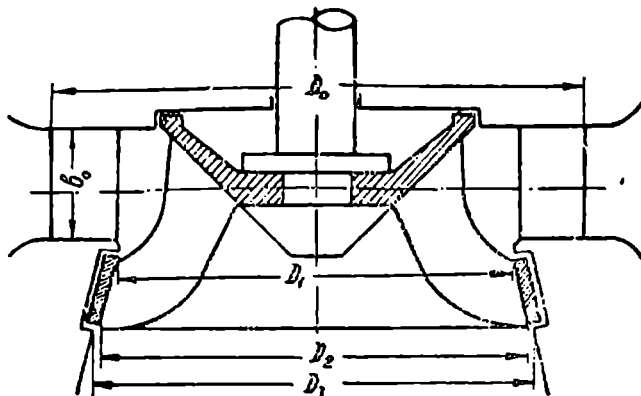


ნახ. 94. №30-ის ტურბინის კერძო მახასიათებელი.



ნახ. 95. №300-ის ტურბინის კერძო მახასიათებელი.

უნდა შეგვეძლოს ტურბინის ძირითადი ზომების განსაზღვრა. ქვემოთ მოკლედ განვიხილავთ კარბწნევიანი და თავისუფალქავარილიანი ტურბინების ძირითადი ზომების გაანგარიშების ხერხებს.



ნახ. 96. რადიალურ-ღერძული ტიპის ტურბინის ძირითადი ზომები.

კარბწნევიანი ტურბინების დამახასიათებელ ზომებად ჩაითვლება (ნახ. 96): მუშა ბორბლის გარე დიამეტრი ( $D_1$ ), მისი გამოსასვლელი ხერხელის დიამეტრი ( $D_2$ ); ტურბინის კამერის განივი ზომებისა და მისი სიმაღლის ზომის დანიშნისათვის უნდა ვიცოდეთ მიმმართველი აპარატის გარე დიამეტრი ( $D_0$ ) და სიმაღლე ( $b_0$ ).

რადიალურ-ღერძული ტიპის ტურბინისათვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს მუშა ბორბლის გამოსავალ  $D_2$  დიამეტრს.  $D_1$  და  $D_2$  დიამეტრის თანაფარდობა აიღება ტურბინის სწრაფმავლობის მიხედვით.

ნ. მ. შჩაპოვის მიერ მოცემულია ტურბინის ძირითადი ზომების თანაფარდობები (ცხრილი 28), რომლებიც დადგენილია წრეწირული (ბრუნვითი) სიჩქარეების მიხედვით, სადაც  $u_2 = k_{u2} \sqrt{2gH}$ . აქ  $u_2$  წრეწირული სიჩქარეა  $D_2$  დიამეტრზე,  $K_{u2}$ —სიჩქარის კოეფიციენტი აღებული იქვე.

რადგან

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60},$$

ამიტომ

$$D_2 = \frac{60 u_2}{\pi n} = \frac{60 K_{u2} \sqrt{2gH}}{\pi n}. \quad (11,1)$$

## კარბუნევიანი ტურბინების ძირითადი ზომების თანაფარდობა

ტურბინის ტიპი		$K_{\text{მ}_2}$	$\frac{D_1}{D_2}$	$\frac{b_0}{D_2}$
რადიალურ-ღერძული ტურბინი .	70	0,43	1,42	0,09
1. ნელმავალი .	100	0,50	1,32	0,15
2. ნორმალური .	150	0,62	1,15	0,20
3. სწრაფმავალი .	230	0,75	0,99	0,24
პროპელური .	250	0,87	0,88	0,26
"	400	1,33	1,0	0,40
"	600	1,66	1,0	0,45
"	800	2,00	1,0	0,50 <sup>0</sup>

რადიალურ-ღერძული ტურბინის  $D_2$  დიამეტრის ზომა გამოითვლება შემდეგი ემპირიული ფორმულებით

$$D_1 = [0,16n_s + 35,1] \frac{\sqrt{H}}{n} \text{ მ}, \quad (11,2)$$

ან

$$D_1 = (0,000313n_s^2 + 52,5) \frac{\sqrt{H}}{n} \text{ მ}, \quad (11,3)$$

ხოლო მბრუნავ-ფრთიანი ტურბინისათვის

$$D_1 = \frac{7,1}{\sqrt[3]{n_s + 100}} \cdot \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[3]{H}} \text{ მ}; \quad (11,4)$$

დაბოლოს, პროპელური ტურბინებისათვის, როცა  $n_s = 500 \div 850$

$$D_1 = \frac{4,2\sqrt{Q}}{\sqrt[3]{n_s + 160} \sqrt[3]{H}} \text{ მ}. \quad (11,5)$$

რადიალურ-ღერძული ტურბინის მიმმართველი აპარატის გარე დიამეტრის ზომა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$D_0 = D_1 \left( 1 + 0,03 \sqrt{\frac{n_s}{D_1}} \right), \quad (11,6)$$

ხოლო პროპელური ტურბინებისათვის

$$D_0 = D_1 \left( 1 + 0,02 \sqrt{\frac{n_s}{D_1}} \right), \quad (11,7)$$

ამრიგად, როცა ცნობილია  $H$  დაწნევა, 25-ე ცხრილის საშუალებით შეგვიძლია შევარჩიოთ ტურბინის ტიპი და მისი შესაბამისი  $n_s$  კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა. შემდეგ 28-ე ცხრილის გამოყენებით შერჩეული ტურბინის ტიპისათვის ვიპოვიტ  $ku_s$ —სიჩქარითი კოეფიციენტის მნიშვნელობას. დაბოლოს,  $D_1$  დიამეტრის ზომა გამოითვლება ზემომოყვანილი ემპირიული ფორმულების საშუალებით, ხოლო  $D_2$  დიამეტრისა და  $b_0$  სიმაღლის ზომები განისაზღვრება 28-ე ცხრილში მოყვანილ თანაფარდობათა მეშვეობით.

ნაკადის ღერძული წნევა კარბწნევიან ტურბინებში. ჰესის შენობის საყრდენი ნაწილების (საძირკველი), აგრეთვე ჰიდროდადგმულობათა ელემენტებზე მოსული ძალების დასადგენად საჭიროა ვიცოდეთ ტურბინზე მოსული ნაკადის ღერძული წნევის სიდიდე ( $P_{ღრ}$ ).

როცა რადიალურ-ღერძული ტიპის ტურბინი ერთბორბლიანია, მაშინ ღერძული წნევის სიდიდე დაახლოებით განისაზღვრება (როცა ბორბლის მიღყელში გაკეთებულია განმტვირთავი ხვრეტი) შემდეგი ფორმულით

$$P_{ღრ} = K \frac{\pi D_1^2}{4} H_{აჰს}, \quad (11,8)$$

სადაც  $K = 0,15 \div 0,45$  ფარგლებში აიღება (დამოკიდებულია  $n_s$  სიდიდზე), ხოლო განმტვირთავი ხვრეტის უქონლობისას

$$P_{ღრ} = 1,1 K_1 \frac{\pi D_1^2}{4} H_{აჰს}. \quad (11,9)$$

აქაც  $K_1 = 0,65 \div 0,80$  ფარგლებში აიღება  $n_s$  სიდიდესთან დამოკიდებულებით. დაბოლოს, მბრუნავ-ფრთიანი და პროპელური ტურბინებისათვის

$$P_{ღრ} = 0,785 K_2 D_1^2 H_{აჰს}, \quad (11,10)$$

სადაც  $K_2$  მიიღება: ოთხფრთიანი ბორბლისათვის 0,8, ექვსფრთიანი-სათვის კი 0,89.

მოყვანილ ფორმულაში  $P_{ღრ}$  გაზომილია ტონობით, დიამეტრი კი მეტრობით.

მაგალითი 16. მოცემულია ჰესის ხარჯი  $Q = 4,0$  მ<sup>3</sup>/წმ, ნეტო დაწნევა  $H_{\text{ნეტო}} = 6$  მ. შევარჩიოთ 2 ტურბინი, თითოეული საანგარიშო ხარჯით  $Q = 2,0$  მ<sup>3</sup>/წმ;  $\eta_{აჰ} = 0,8$ . ტურბინი იღმება  $\Delta = 450$  ნიშნულზე.

ამოხსნა: ვიპოვოთ ჰესის შესაძლებელი სიმძლავრე (2,9) ფორმულით

$$N = 9,81 Q H \eta_{\text{გე}} = 9,81 \cdot 2,0 \cdot 6 \cdot 0,8 \approx 94 \text{ კვტ.}$$

მიღებული სიმძლავრისა და მოცემული დაწნევისათვის ( $H_{\text{გე}} = 6\text{მ}$ ) შეგვიძლია შევარჩიოთ  $\text{PrK70--BO}$  მარკის პროპელური ტურბინი ან  $\text{D300--BO}$  მარკის რადიალურ-ღერძული ტურბინი (იხ. ნახ. 89).

მივიღოთ პროპელური ტურბინი, როგორც მაღალი ბრუნთა რიცხვის მქონე მანქანა.

კერძო გრაფიკის მიხედვით (ნახ.93) შეგვიძლია ვიპოვოთ ტურბინის მუშა ბორბლის დიამეტრის ზომა  $D_1 = 80$  სმ, რომელიც შეესაბამება  $N = 94$  კვტ სიმძლავრისა და  $H = 6$  მ დაწნევას. მაშასადამე, ტურბინის სრული დასახელება იქნება  $\text{PrK70--BO--80}$ , მისი ბრუნთა რიცხვი შეგვიძლია მივიღოთ  $n = 428$  ბრ/წთ.

შემწოვი მილის ზღვრულ სიმაღლეს ვიპოვოთ (8,24) ფორმულით

$$h_{\text{სგ}} = 10,3 - \frac{\Delta}{900} - \sigma H = 10,3 - \frac{450}{600} - 0,65 \cdot 6 = 5,9 \text{ მ,}$$

სადაც

$$\sigma = 0,0319 \left( -\frac{n_s}{100} \right)^2 = 0,65; \quad n_s = 450$$

[ $n_s$  გამოთვლილია (7,1) ფორმულით].

შერჩეული ტურბინის  $\eta$  მარგი ქმედების კოეფიციენტისა და  $a$  გაღების მნიშვნელობებს ვიპოვოთ მისი უნივერსალური მახასიათებლის საშუალებით (ნახ. 90).

ამისათვის გამოვთვალოთ  $n'_1$  და  $Q'_1$  დაყვანილი სიდიდეები (10,23) და (10,24) ფორმულების მიხედვით

$$n'_1 = \frac{nD}{\sqrt{H}} = \frac{428 \cdot 0,8}{\sqrt{6}} \approx 140 \text{ ბრ/წთ;}$$

$$Q'_1 = \frac{Q}{\sqrt{HD^3}} = \frac{2,0}{\sqrt{6 \cdot 0,8^3}} \approx 1,28 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

მიღებულ დაყვანილ სიდიდეებს უნივერსალურ მახასიათებელზე შეესაბამება ტურბინის მოდელის მარგი ქმედების კოეფიციენტის შემდეგი მნიშვნელობა

$$\eta_a = 0,80, \text{ გაღება კი } a = 26 \text{ მმ.}$$

საწარმოო ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობას (10,26) ფორმულით გამოვთვალოთ

$$\eta = 1 - (1 - \eta_a) \sqrt[5]{\frac{D_a}{D}} = 1 - (1 - 0,8) \sqrt[5]{\frac{0,8}{0,8}} = 0,80.$$



თავისუფალქვერილიანი ტურბინის ძირითადი ზონების დადგენა აგრეთვე ანალოგიური წესით წარმოებს.

მაგალითად ციციხვიანი ტურბინის მუშა ბორბლის დიამეტრი განისაზღვრება (11,1) ფორმულიდან (ნახ. 84)

$$D_1 = \frac{60u}{\pi n},$$

ხოლო ბორბლის გარე  $D_0$  დიამეტრი—ემპირიული ფორმულით

$$D_0 = D_1 + \frac{2}{3} \delta, \quad (11,11)$$

სადაც  $\delta$  საქშენიდან გამოტყორცნილი ქვერილის დიამეტრია.

ცდებიდან დადგენილია, რომ  $\frac{\delta}{D_1}$  თანათარღობა როცა  $\frac{1}{16} \div \frac{1}{20}$  ფარგლებშია აღებული, მაშინ ბორბალი ნორმალური ზომისაა და იძლევა მუშაობის ოპტიმალურ პირობებს.

საქშენის გამოსასვლელი ხვრეტის დიამეტრი განისაზღვრება შეზღვევი გამოსახულებიდან

$$\varepsilon \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi z^2}{4},$$

საიდანაც

$$d = \sqrt{\frac{\delta}{\varepsilon}} = (1,07 \div 1,1) \delta, \quad (11,12)$$

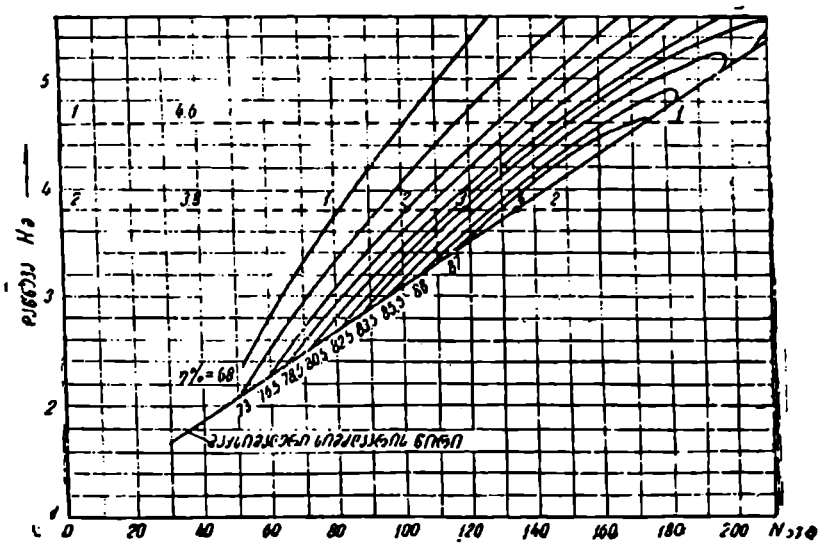
სადაც  $\varepsilon = 0,815 \div 0,873$  ქვერილის შეკუმშვის კოეფიციენტია, მიახლოებითი გამოთვლებისას საქშენის დიამეტრი დაახლოებით აიღება  $d \approx 1,2\delta$ .



## ჰიდრაულიკური ტურბინების ექსპლოატაცია და მათი მუშაობის რეჟიმების საკითხები

### § 56. ჰიდრაულიკური ტურბინების საექსპლოატაციო მახასიათებლები

საექსპლოატაციო მახასიათებლების შედგენა ხდება უნივერსალური მახასიათებლების საფუძველზე. მათი აგება ზემოაღწერილის ანალოგიურად წარმოებს, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ამ შემთხვევაში დაწინევა მიღებულია ცვლადი სიდიდის, ხოლო ბრუნთა რიცხვი—მუდმივი სიდიდის. საექსპლოატაციო მახასიათებლები საჭიროა ჰიდროელექტრო-



ნახ. 97. პროპელური ტურბინის საექსპლოატაციო მახასიათებელი.

სადგურების ეფექტური მუშაობისა და წესიერული ექსპლოატაციისათვის. IIRK ჰიდრავლიკური ტურბინის საექსპლოატაციო მახასიათებელი მოყვანილია 97-ე ნახაზზე. მახასიათებლის თარზულ ღერძზე გადახომილია ტურბინის *N* სიმძლავრის სხვადასხვა მნიშვნელობა, შეუღლე კი დანადგარის დაწნევები. მიღებულ გრაფიკზე კონცენტრირებული ხაზებით შეერთებულია ტოლი მარგი ქმედების კოეფიციენტის წერტილები. გრაფიკის თარზული კვეთები იძლევა ტურბინის მუშა მახასიათებლებს სხვადასხვა დაწნევისას. მაგალითად, 1—1 კვეთი შეესაბამება მუშა მახასიათებელს; რომლის დაწნევა 4,6 მეტრია, ხოლო 2—2 კვეთი—შემცირებულ 3,8 მ დაწნევას, რომელიც შეიძლება მივიღოთ წყალსაცავში წყლის დონის დაწვეის შედეგად, ანდა ქვემო ბიეფში წყლის დონის აწევით წყალდიდობის პერიოდში (კაშხალური ტიპის ჰესი).

საექსპლოატაციო მახასიათებლები იგება საპროექტო ან საექსპლოატაციო ორგანიზმების მიერ ტურბინის ტიპის შერჩევისას საჭირო გამოთვლებისა და მოქმედი ტურბინების ექსპლოატაციის რეჟიმის სწორად შერჩევისათვის.

## § 57. ტურბინების გამოცდა, მოვლა და მეთვალყურეობა

ტურბინების გამოცდის ძირითად მიზანს შეადგენს მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრა, მისი მუშაობის სხვადასხვა პირობებისას. გარდა ამისა, ტურბინების გამოცდის დროს უნდა შემოწმდეს შეზეთვის სისტემისა და სხვა დამხმარე მექანიზმების წესიერული მდგომარეობა.

ტურბინების გამოცდა სრულდება სამ სტადიად: 1) ლაბორატორიულ პირობებში, 2) დანადგარის მიღება-ჩაბარების დროს და 3) საექსპლოატაციო გამოცდა.

ლაბორატორიული გამოცდა წარმოებს ქარხნის ლაბორატორიებში ტურბინის მოდელზე. ლაბორატორიული გამოცდის მიზანია დადგინდეს დაპროექტებული ტურბინის მოდელის სრულყოფილობა მისი საწარმოო წესით დამზადებამდე.

ტურბინის მიღება-ჩაბარების გამოცდა უნდა ჩატარდეს ტურბინის დამზადების, აწყობისა და დამონტაჟების შემდეგ სანამ მანქანა გადაეცემოდეს საექსპლოატაციოდ ჰიდროელექტროსადგურს. ამ გამოცდის დროს უნდა შემოწმდეს ყველა დამხმარე სისტემისა და მექანიზმის მუშაობა (ტურბინის დატვირთვის ქვეშ); აგრეთვე უნდა განისაზღვროს ტურბინის მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც მიღებულია ქარხნის მიერ კატალოგის მიხედვით.

საექსპლოატაციო გამოცდა წარმოებს პერიოდულად ტურბინის ექსპლოატაციის დროს. ამ გამოცდით უნდა გამოვლინდეს ტურბინის მო-

წყობილობათა მდგომარეობა. გამოცდით გამოვლინებული ტურბინის შეც-  
ცირებული მარგი ქმედების კოეფიციენტის მნიშვნელობა მოწმობს, რომ  
დანადგარი არაწესიერულ მდგომარეობაშია და საჭიროა სათანადო შე-  
კეთება, ან გარკვეული ნაწილებისა და მოწყობილობის შეცვლა ახლით.

**ჭ ი დ რ ა ვ ლ ი კ უ რ ი ტ უ რ ბ ი ნ ი ს გ ა შ ე ვ ე ბ ა.** ტურბინის გაშვების  
წინ საჭიროა შემოწმდეს სახეთი სისტემის და აგრეგატის გადამცემი მო-  
წყობილობათა წესიერული მდგომარეობა, აგრეთვე უნდა შემოწმდეს ჩარ-  
თულია თუ არა ხელის რეგულების მექანიზმი და დაკეტილი მიმმართვე-  
ლი აპარატი. ამის შემდეგ წარმოებს ტურბინის გარსაცმის ან სპირალის  
წყლით შევსება, იკეტება ჰაერის გამომშვები და ბაიპასის ვენტილები.  
ამის შემდეგ გაიღება ტურბინის ჩამკეტი (ურდული) მოწყობილობა. ტურ-  
ბინის ღია კამერებში თანდათანობით ივსება წყლით. ამის შემდეგ ხდება  
ტურბინის გაშვება, რისთვისაც ნელ-ნელა გაიღება ხელის რეგულების  
მექანიზმის შტურვალი, ამასთან ერთად ტურბინის მიმმართველი აპარა-  
ტიც ნელ-ნელა გაიღება და მანქანა იწყებს ბრუნვას. ტურბინისათვის  
ხორმალური ბრუნთა რიცხვის მიცემა წარმოებს თანდათანობით, რის-  
თვისაც ყველა წყალგამყვანი ხერელი უნდა გაიღოს აგრეთვე ნელ-ნელა.

როდესაც დანადგარი მიაღწევს ნორმალურ ბრუნთა რიცხვს, ტურ-  
ბინი გადაირთვება ავტომატურ რეგულებაზე, რის შემდეგ ხდება აგრე-  
გატის სინქრონიზაცია სხვა მანქანასთან პარალელური მუშაობისათვის  
(როცა დადგმულია რამდენიმე ერთდროულად მომუშავე აგრეგატი).

**ჭ ი დ რ ა ვ ლ ი კ უ რ ი ტ უ რ ბ ი ნ ი ს გ ა ჩ ე რ ე ბ ა.** ტურბინის გაჩერე-  
ბა ხდება მაშინ, როდესაც აღარ გვაქვს დატვირთვა. გაჩერებამ შეიძლება  
იყოს ნორმალური ან ავარიული. ნორმალური გაჩერება ხდება ხელით;  
რეგულების მექანიზმის შტურვალის ნელ-ნელა შემობრუნებით უნდა და-  
იკეტოს ტურბინის მიმმართველი აპარატი. როდესაც აგრეგატზე მოწყო-  
ბილია სამუხრუჭო სისტემა, მაშინ მისი ჩართვით წარმოებს აგრეგატის  
დამუხრუჭება.

ტურბინის ავარიული გაჩერება ხდება ტურბინის ჩამკეტის გადაკეტ-  
ვით, ერთდროულად წარმოებს წყალსაგდები და წყალგამომშვები ფა-  
რების გაღება საწნეო აუზში დონის დასაწევად და მუშა ხარჯის გადა-  
საგდებად ქვემო ბიეფში.

მორიგე პერსონალი აწარმოებს დღედამურ ჩაწერვას სამორიგეო  
ჟურნალში მუშა მექანიზმის მდგომარეობის შესახებ, აგრეთვე იწერება  
აგრეგატის ყველა გამოვლინებული დეფექტი და არანორმალობა.

**ჭ ი დ რ ა ვ ლ ი კ უ რ ი ტ უ რ ბ ი ნ ი ს ხ ა ნ გ რ ძ ლ ი ვ ი გ ა ჩ ე რ ბ ა.**  
როდესაც მალალდაწნევიანი ჰესის ტურბინი იმყოფება ხანგრძლივ რეზერ-  
ვში, ამ შემთხვევაში ყველა ჩამკეტი მოწყობილობა უნდა იყოს გადა-  
კეტილი და საწნეო მილსადენები დაცლილი. ამავე დროს ტურბინის  
მიმმართველი აპარატი უნდა დაიკეტოს.

დაბალწნევიან ჰესებში სასაზრველია გადაიკეტოს ყველა ჩამკეტი და დაიცალოს ტურბინის კამერა.

ჰიდრავლიკური ტურბინის ხანმოკლე გაჩერება. ტურბინის ხანმოკლე გაჩერებისას დანადგარის მილსადენები შევსებული უნდა იყოს წყლით, ტურბინის ჩამკეტი კი ვადაკეტილი. სასურველია, რომ სპირალური კამერა დაიცალოს, მიმმართველი აპარატი კი დაიკეტოს.

ჰიდრავლიკური ტურბინის რემონტი. ყველა ჰიდრავლიკური დანადგარისათვის უნდა იყოს სათანადო (სამარქაფო) ნაწილები აღვილზე. სათანადო ნაწილები განსაკუთრებით საჭიროა ტურბინის მოძრავ და ვადამკემ მექანიზმებისათვის. სადგურში აგრეთვე უნდა გვექონდეს სათანადო იარაღი და მოწყობილობა, რომ შეიძლებოდეს გაცვეთილი და დაზიანებული ნაწილების შეცვლა და საჭირო რემონტის ჩატარება.

ტურბინის ყველა მუშა, დამხმარე მოწყობილობა და დადგმულობა საჭიროებს პერიოდულ რემონტს. რემონტი შეიძლება იყოს მიმდინარე და კაპიტალური. მიმდინარე რემონტი უნდა ჩატარდეს წელიწადში 1-2-ჯერ, კაპიტალური კი წელიწადში ერთხელ.

კაპიტალური რემონტის მოცულობის დადგენა წარმოებს ტურბინის მოწყობილობათა საექსპლუატაციო გამოცდისა და სპეციალური დათვალიერების საფუძველზე.

### § 58. ჰიდრავლიკური ტურბინების ჩაბულება და ჩაბულებათვის

როგორც წინა წინა ნაწილში აღვნიშნეთ, ჩვეულებრივ გენერატორზე მოსული დატვირთვა დღე-ღამის განმავლობაში განიცდის ცვალებადობას. ამიტომ აგრეგატის ნორმალური ბრუნვის უზრუნველსაყოფად, რომელიც მიღებული იყო ტურბინის შერჩევისას, საჭიროა, რომ ტურბინის სიმძლავრე ყოველთვის ტოლი იყოს დატვირთვისა, ე.ი. უნდა არსებობდეს ტოლობა

$$N = \frac{M\omega}{102} \text{ კვტ,} \quad (12,1)$$

სადაც  $N$  არის ტურბინის სიმძლავრე მოცემულ მომენტში;

$M$  — გენერატორის წინააღობის მომენტი;

$\omega$  — ტურბინის კუთხური სიჩქარე.

როცა ტოლობა (12,1) ირღვევა, აგრეგატის ბრუნთა რიცხვი იცვლება ან იზრდება, ანდა მცირდება. ბრუნთა რიცხვის ცვალებადობა შესაბამისად გამოიწვევს ელექტროდენის ძაბვის გაზრდას, ან დეარდნას

მაგალითად, როცა ადგილი აქვს დატვირთვის დავარდნას (ტურბინის სიმძლავრე კი უცვლელია), ამ შემთხვევაში  $N > \frac{M\omega}{102}$ . ამიტომ აგრეგატის ბრუნთა რიცხვი უნდა გაიზარდოს მანამდე, სანამ არ დამყარდება  $N = \frac{M\omega}{102}$  ტოლობა.

ტურბინის ბრუნთა რიცხვის გაზრდით ნორმალურზე ზევით, როცა მამმართველი აპარატის ხერხელების გაღება უცვლელია განსახილველ მომენტში, ტურბინის სიმძლავრე რამდენიმედ დავარდება იმის გამო, რომ გაზრდილი ბრუნთა რიცხვისას წინააღმდეგობის ძალების მუშაობა მნიშვნელოვნად გაიზარდება. აღნიშნულის გამო ტურბინის ბრუნთა რიცხვი ( $n_r$ ) არ შეიძლება გაიზარდოს დიდ ზღვრებში.

პრაქტიკიდან დადგენილია, რომ ტურბინის ბრუნთა რიცხვის მომატება ან დავარდნა სხვადასხვა სახეობის საწარმოებისათვის დასაშვებია  $\pm(1,05 \div 1,30)n$  ზღვრებში, სადაც  $n$  ტურბინის ნორმალური ბრუნთა რიცხვია. მაგალითად მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურებისათვის  $n_r = \pm 1,05n$ , მცირე სიმძლავრის ჰესებისათვის  $n_r = \pm 1,07n$  მანქანათმშენებელი ქარხნებისათვის კი  $n_r = \pm 1,15n$ , ხოლო სასოფლო-სამეურნეო საწარმოებისათვის  $n_r = \pm(1,08 \div 1,11)n$  და ა.შ.

მაშასადამე, ჰიდროელექტროსადგურებში საკეროა უზრუნველყოთ აგრეგატების პრაქტიკულად მუდმივი (ნორმალური) ბრუნთა რიცხვი (დასაშვები გადახრებით). ეს გარემოება კი მოითხოვს დატვირთვის უკველგვარი შეცვლისას ტურბინზე მივიყვანოთ ახალი დატვირთვის შესაბამისი სიმძლავრე, რაც სრულდება ტურბინის სიმძლავრის რეგულებით: რადგან ტურბინის სიმძლავრის რეგულება წარმოებს მისი ბრუნთა რიცხვის მიხედვით, ამიტომ ხშირად ტურბინის რეგულების ქვეშ იჯულისხმება ტურბინის ბრუნთა რიცხვის ანუ მისი ბრუნვის რეგულება.

ტურბინის სიმძლავრის რეგულების განხორციელება ყველაზე მიზანშეუონილია და მარტივია წყლის ხარჯის შეცვლით გზით.

როგორც წესი, გენერატორის დატვირთვისა და ტურბინის სიმძლავრის შორის უკველგვარი შეუსაბამობა მოცემულ მომენტში მყისვე განოვლინდება აგრეგატის ბრუნთა რიცხვის შეცვლით. მაშასადამე, ჩვენ შეგვიძლია თვალყური ვადევნოთ აგრეგატის მუშაობის რეჟიმის შეცვლას და სათანადოდ ვიმოქმედოთ ტურბინში წყლის მიწოდებაზე, ე.ი. წყლის ხარჯის შეცვლით მივალწიოთ აგრეგატის ნორმალურ ბრუნთა რიცხვს. ეს ამოცანა ძირითადად, ჩვენს სინამდვილეში სრულდება ტურბინებზე მოწყობილი მამმართველი აპარატის მბრუნავი ფრთების სათანადო შემობრუნებით ხელით, ან ავტომატურად სპირალური რეგულატორის მეშვეობით.

თანამედროვე ტექნიკის დონე საშუალებას გვაძლევს ჰიდროელექტროსადგურის მართვის ყველა კერძო ოპერაცია, საწარმოო პროცესები შევასრულოთ ავტომატური მოწყობილობებით, როგორცაა რელური დაცვა, სიჩქარის ავტომატური რეგულატორები, ძაბვის ავტორეგულატორები და სხვ.

ავტომატური მოწყობილობანი, რომლებიც ხასიათდება დიდი სიზუსტითა და საიმედო მოქმედებით, პრაქტიკულად დაუყოვნებლივ შეიგრძნობენ ჰიდროსადგმულობის მუშაობის რეჟიმის შეცვლას და ავტომატურად უბრუნებენ დანადგარს საანგარიშო (ოპტიმალურ) რეჟიმს მეტად უმოკლესი დროის შუალედში, ადამიანის ხელის ჩაურევლად.

ჰიდროელექტროსადგურების ავტომატიზაციას აგრეთვე მნიშვნელოვანი ტექნიკურ-ეკონომიური უპირატესობა ენიჭება. ავტომატური მართვის დროს სავსებით ლიკვიდირებულია ყოველგვარი შემთხვევითობა, ადამიანის დაუდევრობით გამოწვეული ავარია და სხვ. ავტომატური პროცესი ხორციელდება განუწყვეტლივ წინასწარ დანიშნულ თანმიმდევრობით; აპარატები და მოწყობილობანი ავტომატურად ამყარებენ უშუალოდ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას ერთი ოპერაციის მეორე ოპერაციასთან და საჭიროებისამებრ გადართავენ აგრეგატის მუშა ორგანოებს ისეთნაირად, რომ დანიშნული ოპტიმალური რეჟიმი პრაქტიკულად უცვლელი იყოს ჰესის მუშაობისას.

ავტომატურ ჰიდროელექტროსადგურებში მაღალი კვალიფიკაციის პერსონალის რიცხვი დაყვანილია მინიმუმამდე, რადგან აგრეგატის მართვა, რეგულება და კონტროლი ძირითადად სრულდება ავტომატურად. საშუალოდ ავტომატურ ჰესებში მორიგე პერსონალი შემცირებულია  $60 \div 70\%$ -ით. ამ ბოლო დროს ფართოდ ინერგება ტელემართვა, რომელიც მეტ ეკონომიურ ეფექტს იძლევა, სახელდობრ ტელემართვის ჰესებში მომსახურე პერსონალი შემცირებულია  $80 \div 90\%$ -ით.

ჩვენ აქ არ განვიხილავთ ავტომატიზაციისა და ტელემართვის თეორიას და არ აღვწერთ მათ მოწყობილობათა კონსტრუქციებსა და მუშაობის პრინციპს. დაინტერესებულ მკითხველს შეუძლია ისარგებლოს სპეციალური მონოგრაფიებით, რომლებიც უხვად მოიპოვება ჩვენს სპეციალურ ტექნიკურ ლიტერატურაში.

ამ შემთხვევაში ჩვენს მიზანს შეადგენს მკითხველს მივცეთ კონსპექტური ხასიათის მასალა, რომელიც ზოგად წარმოდგენას მისცემდა მას ავტომატიზაციასა და ავტომატურ მოწყობილობათა მუშაობის პრინციპზე.

ქვემოთ 98-ე ნახაზზე მოყვანილია ერთ-ერთი ავტომატური მოწყობილობის სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, სიჩქარის ავტომატური რეგულატორის მექანიზმს წარმოადგენს ცენტრი დანული ქანქარა





ქანქარიდან. მქნევარადან ორი მილაკის საშუალებით დაწნევის ქვეშ გადაეცემა ზეთი სერვომეტრის ცილინდრში მოთავსებულ დგუშს ან ერთი მხრიდან, ან მეორე მხრიდან. დგუშის ერთი მხრიდან წნევის გაზრდის შედეგად, იგი გადაადგილდება და შეასრულებს ტურბინის რეგულების მუშაობას, ე.ი. მიმმართველი აპარატის ფრთების სათანადო შემობრუნებასა და წყლის ხარჯის შესაბამის შეცვლას.

---

## ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი და ჰიდროელექტრო- სადგურის უმნობა

თ ა ვ ი XIII

### სათავე კვანძი

#### § 59. სათავე კვანძის ტიპები

როგორც ზემოთ იყო აღწერილი (თავი II, § 7), სათავე კვანძის დანიშნულებაა ზემო ბიეფში წყლის დონის აწევა საანგარიშო ნიშნულამდე, ე. ი. გარკვეული სიღიდის კონცენტრირებული დაწნევის შექმნა (იხ. ზაქესის აღწერა), წყალმეტობის პერიოდში ზედმეტი წყლის გადაგდება, ზემო ბიეფის პერიოდული გარეცხვა დალექილ მონატანებისაგან და, რაც მთავარია, საანგარიშო ხარჯის მიწოდება ჰიდროდანადგარებში.

სათავე კვანძი წარმოადგენს ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა კომპლექსს, რომელშიაც წედის კაშხალი, სალექარი, წყალმიმღები და წყალგადამგდები ნაგებობები და სხვ. სხვანაირად, სათავე კვანძს უწოდებენ წყალმიმღებ ნაგებობათა კვანძს ან კიდევ ჰიდროკვანძს.

პრაქტიკაში ჩვენ ვხვდებით უკაშხალო (ნახ. 99) და კაშხალოური (ნახ. 100) ტიპის სათავე კვანძებს, ანუ სათავე ნაგებობებს.

უკაშხალო ტიპის სათავე ნაგებობა გამოიყენება დიდი ქანობის მდინარეებზე, როცა წყლის მიღება ხორციელდება მარტივად თვითღინებით, კაშხალის გარეშე.

უკაშხალო ტიპის სათავე ნაგებობებს აგრეთვე ვხვდებით მცირე ქანობიან მდინარეებზეც, მაგრამ იმ შემთხვევაში როცა ნაგულევები მდინარის ხარჯის მხოლოდ გარკვეული ნაწილის მიღება (წარტაცება).

უკაშხალო ტიპის სათავე ნაგებობის გამტარუნარიანობა ძირითადად დამოკიდებულია მდინარეში წყლის დონის რხევებზე: წყლის დონის დაწვეით დერივაციაში მიწოდებული წყლის რაოდენობა მცირდება, წყლის დონის აწევით კი იზრდება.

უკაშხალო ტიპის სათავე ნაგებობებში სალექარების მოწყობა მონატანების დასალექად და მათი მოშრობა მეტად გართულებულია, მითუმეტეს მაშინ, როცა არა გვაქვს შესაფერისი ტაპოგრაფიული პირობები.

აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ უკაშხალო ტიპის სათავე კვანძის ეფექტური მუშაობისათვის საჭიროა შედარებით გულდასმითი ექსპლოატაცია, ამასთან ნაგებობებისადმი მეთვალყურეობის გარდა, პერიოდულად უნდა ჩატარდეს მდინარის კალაპოტის გაწმენდის (ჩაღრმავების) და ნაპირების გამაგრების სამუშაოები იმისათვის, რომ ნაკადს მიეცეს საჭირო მიმართულება დერივაციაში საანგარიშო ხარჯის მიღების უზრუნველსაყოფად.

მიუხედავად აღნიშნული ნაკლისა, უკაშხალო სათავე ნაგებობებს ხშირად იყენებენ მცირე (სოფლის) ჰესებში, მათი უმნიშვნელო სამშენებლო ხარჯებისა და იოლი შესრულების გამო.

კაშხალური ტიპის სათავე ნაგებობა გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა მდინარის ხარჯის მთლიანად წარტაცება (მიღება) წყალმცირობის პერიოდში, აგრეთვე წყლის დონის აწევა, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს საანგარიშო ხარჯის მიწოდება წყალმიმღებ ნაგებობაში, ამასთან შექმნას განსაზღვრული დაწნევა ზემო ბიეფში.

აღსანიშნავია, რომ კაშხალური ტიპის სათავე კვანძი წარმოადგენს შედარებით სრულყოფილ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობას, რომელიც აღქურვილია ყველა საჭირო და დამხმარე მოწყობილობითა და დადგმულობით. ამიტომ კაშხალური ტიპის სათავე ნაგებობის ექსპლოატაცია გაადვილებულია, საიმედოა, ვიდრე უკაშხალო ტიპის.

გარდა ამისა, კაშხალური ტიპის სათავეში მოწყობილ სალექარში, შესაძლებელია დავლექით მონატანები, შემდეგ კი მოვიცილოთ გარეცხვის საშუალებით. აღნიშნული ტიპის ნაკლად ჩაითვლება ის, რომ მოითხოვს მნიშვნელოვანი სამშენებლო ხარჯების გაღებასა და წარმოადგენს ტექნიკურად რთულ შესასრულებელ ობიექტს.

ჰესების მშენებლობის პრაქტიკაში გამოყენებულია სხვადასხვა ტიპის უკაშხალო და კაშხალიანი სათავე ნაგებობა.

უკაშხალო ტიპის სათავე კვანძები. ყველაზე მარტივ წყალმიმღებ ნაგებობას წარმოადგენს 99-ე ნახაზზე მოყვანილი სათავე კვანძის სქემა. ამ სქემით გათვალისწინებულია მდინარიდან წყლის მიღება უშუალოდ წყალმიმღების საშუალებით, რომელიც მოწყობილია მდინარის ნაპირზე და ეს ნაგებობა არაერთარ გაეღენას არ ახდენს მდინარის მოძრაობის რეჟიმზე, რადგან ადგილი არა აქვს კალაპოტის ხელოვნურ შევიწროებას, ან კიდევ ნაკადის შეტბორვას. აღნიშნული ტიპის წყალმიმღები ნაგებობა კონსტრუქციულად მარტივია, მისი აგება იოლია და არ მოითხოვს მნიშვნელოვანი თანხების მიღებას.

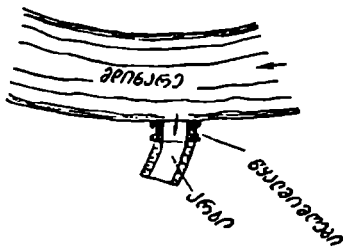
ასეთი წყალმიმღები ნაგებობა გამოიყენება მცირე სიმძლავრის ჰესებსა და სარწყავ სისტემებში. მარტივი უკაშხალო სათავე კვანძები იგება მცირე ქანობისა ( $i < 0,001$ ) და მდგრად კალაპოტიან მდინარეებზე,

როცა წყალმიმღებით მიღებული საანგარიშო ხარჯი არ აღემატება მდინარის ჩამონადენის (ხარჯის)  $5 \div 10\%$ -ს.

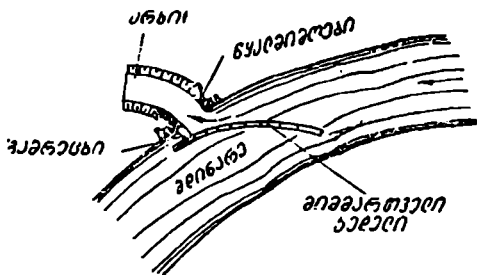
წყალმიმღების გაგრძელებაზე, ცხადია, უნდა მოეწყოს წყალგადამშვები (წყალსაშვები) ნაგებობა, აგრეთვე საღებავი, თუ ამის საშუალება არის და სხვა დამხმარე ნაგებობანი.

წყალმიმღების შესასვლელთან გათვალისწინებულია ფარი-რეგულატორი, რომლითაც ვაწესრიგებთ საანგარიშო ხარჯის მიწოდებას დერივაციაში.

მნიშვნელოვანი ქანობის მქონე ( $i > 0,001$ ) მდინარეებზე იგება შედარებით გაუმჯობესებული კონსტრუქციის უკაშხალო სათავე კვანძები (ნახ. 100). სათავე ნაგებობათა განლაგების ადგილი უნდა შეირჩეს მდგრადი, ამასთან შესაფერისი იმ მხრივ, რომ მიწისა და სხვა სამშენებლო სამუშაოები იყოს რაც შეიძლება მცირე მოცულობის.



ნახ. 99. მარტივი უკაშხალო სათავე კვანძი.



ნახ. 100. გაუმჯობესებული ტიპის უკაშხალო სათავე კვანძი.

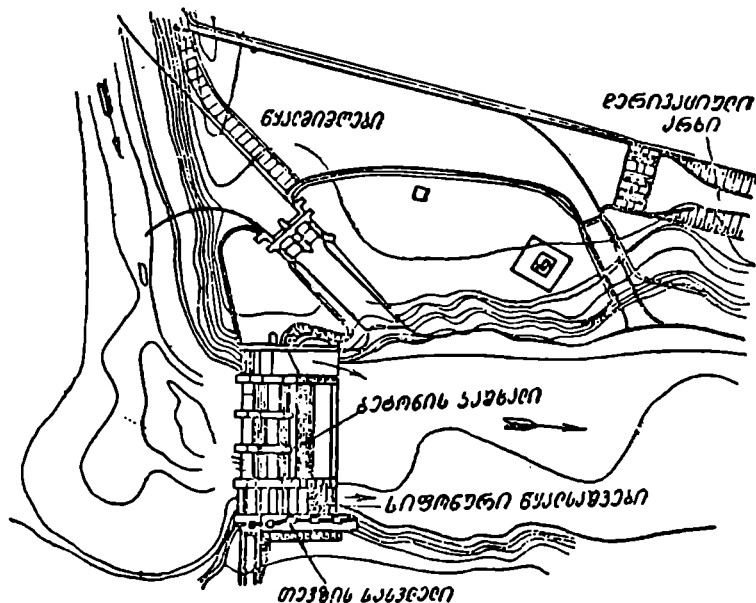
წყალმიმღებში წყლის მიღების გაუმჯობესების მიზნით გათვალისწინებულია ნაკადის მიმმართველი კედელი. იქვე მოწყობილია გამრეცხი ფარი. წყალმიმღები აღჭურვილია ფარი-რეგულატორით.

ნაკადის მიმმართველი კედლები წარმოადგენენ დროებით ნაგებობას, რადგან წყალდიდობის დროს მეტწილად ინგრევა. ამიტომ საჭირო ხდება ამ კედლების ხელახლა აღდგენა.

კაშხალური ტიპის სათავე კვანძები. დერივაციული ჰესების კაშხალური სათავე კვანძის განლაგების ადგილი უნდა შეირჩეს წყალნაკადის სწორ უბანზე, სადაც მდინარის კალაპოტი და ნაპირები მდგრადია. გარდა ამისა, კაშხალის აგების ადგილი უნდა იყოს ისეთი სივანის, რომ წყალდიდობის პერიოდში, კაშხალმა გაატაროს მდინარის

მაქსიმალური (კატასტროფული) ჩამონადენი, ამასთან წყლის დონემ ზემო ბიეფში არ უნდა აიწიოს გაანგარიშებით დადგენილ ნიშნულზე ზევით.

101-ე ნახაზზე მოყვანილი ზაქესის სათავე კვანძის მთავარი კაშხალი, რომელიც გზას უღობავს მდ. შტკვარს და წარმოქმნის ძირითად დაწნევას, შედგება ბეტონის ყრუ წყალსაშვიან ნაწილისაგან. წყალსაშვიანებს აქვს წყლის გამოსასვლელი სამი ხერეღი (თითოეული ხერეღის გამტარ-



ნახ. 101. ზაქესის სათავე ნაგებობები.

უნარიანობა აღწევს 50 მ<sup>3</sup>/წმ) ზომით 7×13 მ, რომელზედაც დადგმულია წყლის დონის მარეგულებელი და კატასტროფული წყლის გამომშვები ლითონის რაბები. თითოეული რაბის აწვევ-დაწვევა შეიძლება შესრულდეს ხელით ჯალამბრის საშუალებით, ან ელექტრომორით. ყველა ამწე მანქანები მოთავსებულია რკინა-ბეტონის ხიდზე.

მთავარ კაშხალს გარდა ამ სამი ხერეღისა აქვს სიფონური წყალსაშვიანი და თევზის სასვლელი ნაგებობა, რომლებიც მოწყობილია კაშხალის ტანის გაგრძელებაზე. სიფონური წყალსაშვიანებით ავტომატურად წარმოებს წყლის დონის რეგულება ზემო ბიეფში.

ზემო ბიეფში დაგროვილი მონატანების მოსაცილებლად მოწყობილია გამრეცხი ნაგებობა, რომელიც წარმოადგენს მიწაში გაქრილ 150 მ სიგრძის ღრმა არხს (ზომით  $16 \times 18,6$  მ). ეს არხი გადაღობილია მცირე კაშხალით ორი ფსკერული ხერელით. თითოეული ხერელის სიმაღლეა 7,0 მ. სიგანე კი 7,5 მ. თითოეული ფსკერული ხერელის მაქსიმალური გამტარუნარიანობა, როცა წყლის დონე ზემო ბიეფში უდიდესია, აღწევს  $450$  მ<sup>3</sup>/წმ.

ფსკერული ხერელების გაღება-დაქეტვა წარმოებს მექანიკური წესით ფარების საშუალებით.

წყალმიმღების წინ მოწყობილია 110 მ სიგრძის გისოსი, რომელიც აკავებს მსხვილ მცურავ საგნებს (ხერგები და სხვ.).

წყალმიმღებში დაღეკილი მონატანების გარეცხვა სრულდება მის ბოლო ნაწილში მოწყობილი გამრეცხი ფარების მეშვეობით.

არხში შესასვლელი გადაღობილია სათავე რაბით. რაბი წარმოადგენს კაშხალს ოთხი ფსკერული ხერელით (სიგანით 5.7 მ, სიმაღლით 4,69 მ), რომელთა გაღება-დაქეტვა ხორციელდება ლითონის ფარებით.

102-ე ნახაზზე წარმოდგენილია კელასური ჰესის სათავე კვანძი, რომელიც განლაგებულია მდ. კელასურის ვიწრო კალაპოტში.

სათავე კვანძის შემადგენლობაშია შემდეგი ნაგებობები: კაშხალი, ფსკერული ცხურიანი (გისოსიანი) ტიროლის ტიპის წყალმიმღები, ხრეშის დამქერი, მიმყვანი გალერეა და სალექარი. სალექარიდან წყალი გადადის უწნეო დერივაციულ გვირაბში.

კაშხალი გაანგარიშებულია მაქსიმალურ ხარჯზე  $Q_{აკა} = 660$  მ<sup>3</sup>/წმ, წყალმიმღები ფსკერული ცხური კი  $Q = 6,0$  მ<sup>3</sup>/წმ.

ფსკერული ცხურის სიგრძე 26,0 მეტრია, ხოლო კაშხალის მთლიანი სიგრძე—40 მ, ე. ი. კაშხალის 40 მ სიგრძის თხემზე გადადის მდინარე კელასურის ჩამონადენი. ამ ჩამონადენის ნაწილი ( $6,0$  მ<sup>3</sup>/წმ) ფსკერული წყალმიმღებისა და დახურული არხის (გალერეის) საშუალებით გადადის სალექარში, სადაც ხდება წყალთან მოყოლილი შეწონილი მონატანების მოშორება.

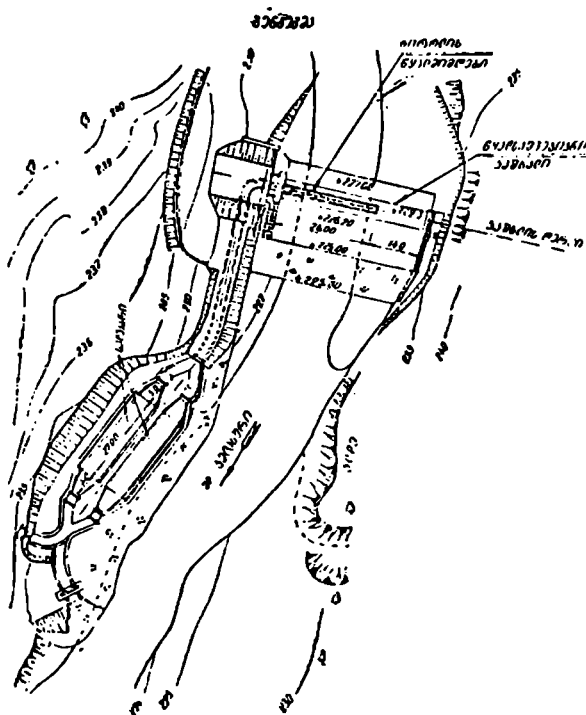
სალექარი წარმოადგენს ორკამერიან ნაგებობას. თითოეული მათგანი გაანგარიშებულია  $6,0$  მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯზე; ნაკადის დასაშვები სიჩქარე სალექარში მიღებულია  $0,2$  მ/წმ-ში. სალექარის სრული სიგრძე 37 მეტრია, მუშა ნაწილის სიგრძე კი 27 მ. სალექარის ბოლოში მოწყობილია ტალახის გამომშვები წყალსაგდები გალერეა.

როგორც წარმოდგენილ ნახაზზე ვხედავთ, სათავე კვანძი ალქურვილია ყველა სპირო ფართა და ჩამქეტი მოწყობილობით.

გარკვეულ ყურადღებას იმსახურებს დოც. ნ. დანელიას მიერ დამუშავებული ახალი ტიპის წყალმიმღები, რომელსაც ეწოდება გვერდითი წყალმიმღები მონატანების დამქერი გალერეებით.

საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებულმა ცდებმა აღნიშნული ტიპის წყალმიმღების ოთხ მოდელზე ცხადჰყვეს ამ ნაგებობის შეუფერხებელი მუშაობა, ამასთან ფსკერული და მსხვილი ფრაქციის შეწონილი მონატანების მოხვედრის აცილება დერივაციულ არხში. გარდა ამისა დადგინდა, რომ გვერდით წყალმიმღებს მონატანების დამკერი გაღერებით მნიშვნელოვანი უპირატესობა ენიჭება არსებულ წყალმიმღებებთან შედარებით.

საბოლოოდ დადასტურდა, რომ ახალი ტიპის წყალმიმღები გამოიყენება ისეთი მთისა და მდინარეებისათვის, რომლებიც ხასიათდება უხვი ფსკერული მონატანებით. ეს წყალმიმღები უზრუნველყოფს არხების ეფექტურ დაცვას, მონატანებისაგან მოლაშქვას.

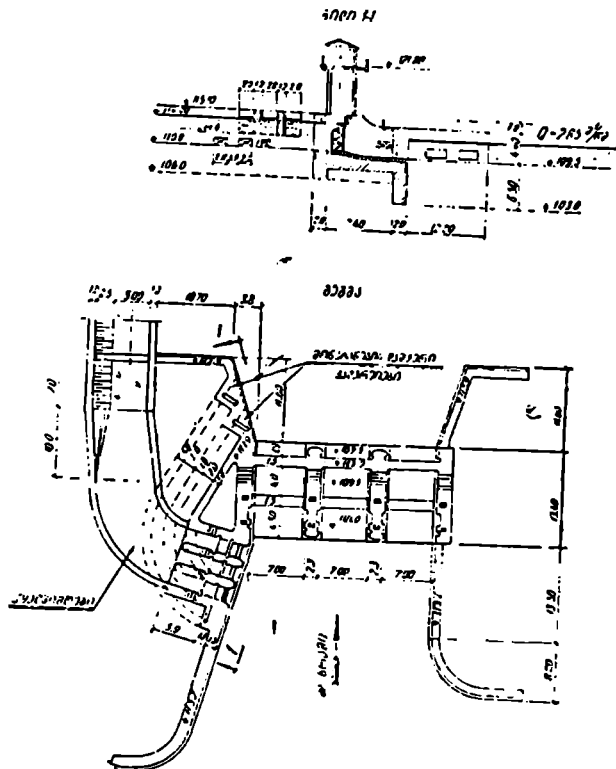


ნახ. 102. კლასურაქსის სათავე კვანძი.

ახალი ტიპის წყალმიმღები აგებულია საქართველოს ექვს მსხვილ სარწყავ სისტემაზე: თეზი-ოკამზე, მდ. ქსანზე, ვანათის არხზე, მდ. პატარა ლიახზე, იმირასან არხსა და მდ. მაშავერაზე.

აღნიშნულ სარწყავ სისტემებზე აგებული ახალი ტიპის წყალმიმღებები ფრიად წარმატებით და შეუფერხებლად მუშაობენ.

103-ნახაზზე გამოსახულია ხრამ-არხის სათავე კვანძი, რომელიც წარმოადგენს დოკ. ნ. დანელიას კონსტრუქციის გვერდით წყალმიმღებს მონატანების დამკერი გალერეებით.



ნახ. 103. ხრამ-არხის სათავე კვანძი.

წყალმიმღები მოწყობილია კაშხალის გამრეცხ ხერხელებთან ახლოს. წყალმიმღების ზღურბლის ქვემოთ გადის მონატანების დამკერი გალერეები, რომლებიც იჭერენ ფსკერისა და ატიენარებულ მონატანებს და უშვებენ ქვემო ბიეფში.

გალერეების რაოდენობა და მათი განივი ზომების დადგენა წარმოებს საანგარიშო ხარჯისა და ფსკერის მონატანების სიმსხოსთან დამოკიდებულებით.



წყლის მიღების დროს კაშხალის გამრეცხი ხერელები დაკეტილი უნდა იყოს და ზედმეტი წყლის გადაღდება უნდა ხდებოდეს კაშხალის წყალსაშვების საშუალებით.

იმ შემთხვევაში, როცა მდინარეში წყლის ხარჯი მცირეა, მაშინ უნდა გამოირთოს რომელიმე გალერეა. წყალმეტობის პერიოდში კი შებრუნებით ყველა გალერეა მუშაობს მაქსიმალური გამტარუნარიანობით; გარდა ამისა, ზედმეტი წყალი გადადის წყალსაშვებით ქვემო ბიეფში.

მონატანების დამკერი გალერეის მოქმედების პრინციპი დაახლოებით მდგომარეობს ნაკადის განივი ცირკულაციის გამოყენებაში, ამასთან ისეთი ჰიდრაულიკური პირობების შექმნაში, რომლებიც წარმოქმნიან დამატებით ცენტრიდანულ ძალებს მოძრავი ნაკადის მიმართულების გამრუდების შედეგად, განსაკუთრებით მონატანების დამკერი გალერეების დასაწყისთან. აქვე აღგილი აქვს ფსკერის დინების წირების სიჩქარეთა გაზრდას გალერეებთან მიახლოებისას; ამის შედეგად მოხვევის გარე ზონიდან მონატანების გადაადგილება ხდება შიგნით ზონისკენ. ამიტომ მონატანების დამკერი გალერეები მოწყობილია იმ ზონაში, სადაც ნაკადის დინების მოხრით გამოწვეულია განივი ფსკერული დინების წირების კონცენტრაცია, რაც ხელს უწყობს მონატანების წარტაცებას გალერეებით და ქვემო ბიეფში ჩაშვებას.

საღექარები. საღექარი წარმოადგენს მოგრძო ფორმის აუზს (ნახ. 104), რომელშიაც ნაკადის სიჩქარის შენელების შედეგად ილექება შედარებით მსხვილი ატივნარებული მონატანები. საღექარში გაწმენდილი წყალი გადადის დერივაციაში. საღექარის გაწმენდა დაღექილი მონატანებისაგან წარმოებს ჰიდრაულიკური წესით: სპეციალური ფსკერული ხერელის გალებით დიდი სიჩქარეებით გადინებული წყლის ნაკადით, რომელიც ინტენსიურად რეცხავს საღექარის ფსკერზე დაღექილ მონატანებს, თან იტაცებს და გააქვს ქვემო ბიეფში. საღექარი გვხვდება სხვადასხვა ტიპის. მათ შორის ვარჩევთ შემდეგი ნიშნების მიხედვით: კამერების რიცხვის მიხედვით საღექარები შეიძლება იყოს ერთკამერიანი (ნახ. 105, ა), ორკამერიანი (ნახ. 105, ბ) და მრავალკამერიანი; გარეცხვის ხასიათის მიხედვით კი პერიოდული და არაპერიოდული მოქმედების საღექარები.

ყველაზე მარტივი და ადვილი მოსაწყობია ერთკამერიანი საღექარები (ნახ. 104).

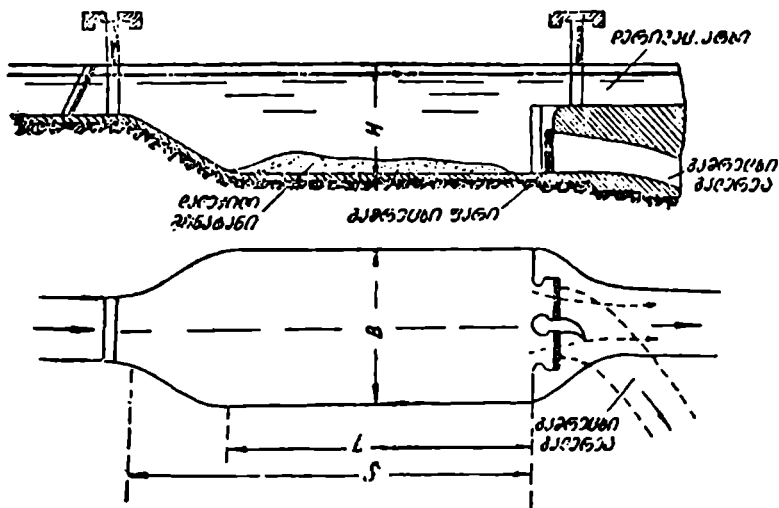
ერთკამერიანი საღექარის გარეცხვა ხდება პერიოდულად. გარეცხვის დროს წყლის მიწოდება დერივაციაში დროებით წყდება.

ორკამერიანი საღექარების (ნახ. 105, ბ) თითოეული კამერა განვარაუბებულია ჰესის საანგარიშო ხარჯის ნახევარზე. ამიტომ ერთ-ერთი კამერის გარეცხვის დროს ჰიდროსადგური იმუშავებს ნახევარ საანგა-

რიზო ხარჯზე, რაც სრულიად საკმარისია თუ ჩვენ სალექარის გარეცხვას ვაწარმოებთ ჰესის მინიმალური დატვირთვის საათებში.

მრავალკამერიანი სალექარები გამოიყენება მსხვილ ჰიდროელექტროსადგურებში, როცა საანგარიში ხარჯი 20 მ<sup>3</sup>/წმ აღემატება.

სალექარის წესიერული და ეფექტური მუშაობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა, რომ მათი დაპროექტებისას დატული იყოს კამერების სწორბაზოვანი მოხაზულობა ზედხედში, ყოველგვარი მოხვეულობის გარეშე. ამასთან სალექარის შეუღლება მომყვან არბთან უნდა იყოს მდოვრი (თანდათანობით გაგანიერებული). სალექარის მუშა ნაწილის წინ მოწყობილი უნდა იყოს ნაკადის დამაწყნარებელი კედელი ან ცხაური. სალექარის შესასვლელი და გამოსასვლელი ხერხელები იღება და იკეტება ლითონის ფარებით.



ნახ. 104. ერთკამერიანი სალექარი.

სალექარის ძირითადი ზომების განსაზღვრა. სალექარის ცოცხალი კვეთის ფართობი გამოითვლება ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან

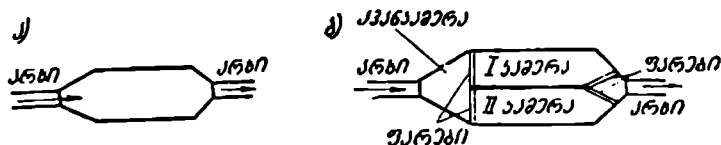
$$\omega = \frac{Q}{v}, \quad (13,1)$$

სადაც  $Q$  საანგარიშო ხარჯია, მ<sup>3</sup>/წმ;  $v = (0,2 \div 0,4)$  მ/წმ — ნაკადის დასაშვები სიჩქარე სალექარში.

საღებარის კონსტრუქციული სიმაღლე საშუალოდ აიღება  $H=3,7\text{ მ}$ , (ნახ. 104), ხოლო კამერის მუშა სიგრძე გასოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$L = KH \frac{v}{w}, \quad (13,2)$$

სადაც  $K=1,4$  არის კოეფიციენტი;  $w$ —მონატანის ჰიდრაულიკური სიმსხო, რომელიც აიღება მონატანების დიამეტრის მიხედვით (ცხრილი 29).



ნახ. 105. ერთკამერიანი და ორკამერიანი საღებარები.

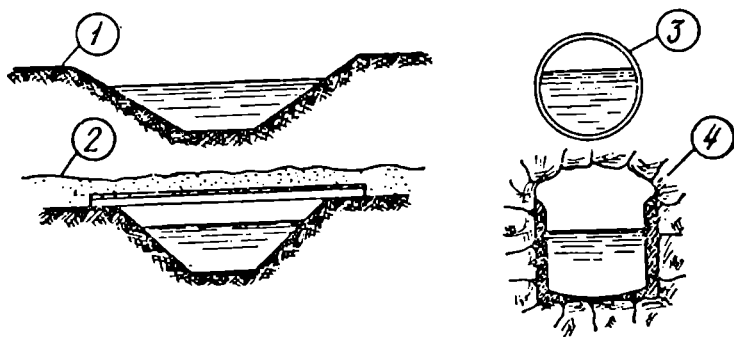
ც ხ რ ი ლ ი 29	
მონატანის დიამეტრი [მმ]	$w$ [მ/წმ]
0,50	5,67
0,50—0,30	3,21
0,30—0,20	1,70
0,20—0,10	0,59
0,10	

საღებარის მთლიანი სიგრძე ( $S$ ) აიღება კონსტრუქციული მოსაზრებით, დაახლოებით კი  $S=1,2 L$ .

## დერივატიული ნაგებობანი

### § 60. დერივატიულ ნაგებობათა ტიპები

დერივატიული ნაგებობა წარმოადგენს წყალგამყვან ნაგებობათა იმ კომპლექსს, რომელიც ქმნის კონცენტრირებულ დაწნევას მდინარის გამოყენების უბანზე და უზრუნველყოფს საწნეო კვანძში საანგარიშო ხარჯის მიწოდებას.



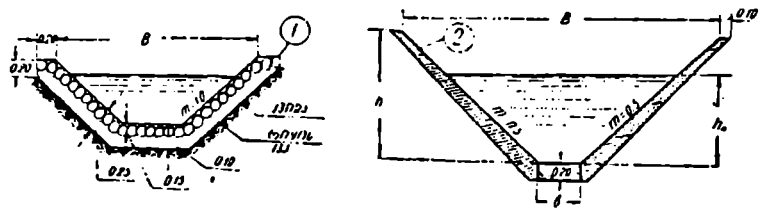
ნახ. 106. უწნეო დერივატიულ ნაგებობათა ტიპების განიკვევები:  
1—ლია არხი; 2—დახურული არხი; 3—მილსადენი; 4—გვირაბი.

ნაკადის მოძრაობის რეჟიმის მიხედვით დერივატიული ნაგებობები იყოფა უწნეო და საწნეო წყალგამყვან ნაგებობად. უწნეო დერივატიული ნაგებობები წარმოადგენენ ღია (ან დახურულ) არხებს, გვირაბებს (ნახ. 106) და სხვ.

მოყვანილ დერივატიულ ნაგებობათაგან ყველაზე იაფი და მასთან იოლი შესასრულებელია ღია არხები, განსაკუთრებით კი მოუპირკეთებელი მიწის არხები.

დერივატიული არხების დაგეგმარების დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ადგილობრივი ტოპოგრაფიული პირობები და ყამირის

თვისებები. ეს ორი პირობა არხის დასაშვებ ჭანობის და დასაშვები სიჩქარის წინასწარ შერჩევას გვიკარნახებს. ზედმეტი ჭანობი ნაკადის ზედმეტ სიჩქარეს ანეითარებს, რასაც არხის გარეცხვა, მისი ფსკერისა და გვერდითი კედლების დაშლა (ეროზია) შეუძლია გამოიწვიოს. ამიტომ თითოეულ ყამირის შრეს ნაკადის დასაშვები სიჩქარე ახასიათებს (ცხრილი 31), რის ზევით მოსალოდნელია ამ ყამირის გარეცხვა. ზოგჯერ, როდესაც ტექნიკური და სხვა პირობები გვაიძულებენ მიწის არხში ნაკადის სიჩქარე გავზარდოთ, ამ შემთხვევაში მიწის არხის ეროზიის თავიდან



ნახ. 107. დერივაციული არხის სამოსლის ტიპები:  
1—ქვაფენილი; 2—ბეტონის სამოსელი.

ასაცილებლად, არხის ფსკერისა და კედლების ხელოვნური შემოსვლა (ნოპირკეთება) საჭირო. სახელდობრ, არხის კედლებისა და ფსკერის რიყის ქვით მოკირწყვლა; ბეტონის ან რკინა-ბეტონის ფილებით შემოსვა და სხვ. (ნახ. 107). ხელოვნური სამოსელის სახეობის შერჩევა არხის განივ ზომებზე, გეოლოგიურ, ტოპოგრაფიულ პირობებსა და მისი სამსახურის ვადაზე დამოკიდებული.

გვირაბების გაყვანა ხდება გამონაკლის შემთხვევებში, მაგალითად, როცა დერივაციის ტრასა კვეთს მნიშვნელოვანი დაფერდების მთას და ამ მთის გარშემოვლა არხის ან მილსადენის საშუალებით შეუძლებელია, ანდა ტექნიკურ-ეკონომიური თვალსაზრისით არახელსაყრელია.

სოფლის ჰესებისათვის ზოგჯერ გამოყენებულია ხის მილები, ხის ლარები. დერივაციაში ლითონის მილსადენები და რკინა-ბეტონის არხები გამოიყენება იშვიათად მათი მაღალი სამშენებლო ღირებულების გამო.

დერივაციული არხის განივი კვეთის ფორმა და ხელოვნური სამოსლის ტიპი დამოკიდებულია ყამირის ხასიათზე და აგრეთვე არხის წყალმარაზრნეო დანიშნულებაზე. მაგალითად, სწორკუთხიანი კვეთის არხი შეიძლება მოეწყოს კლდოვან ან მეტად მკვრივ ყამირში. ჩვეულებრივ კვამოყენებულია ტრაპეციული კვეთის არხები.

ტრაპეციული კვეთის არხებმა მეტი გავრცელება ჰპოვეს სხვა ფორმის ტრაპეციული კვეთის არხებთან შედარებით. ტრაპეციული კვეთის არხები

გამოყენებულია ენერგეტიკაში, ირიგაციასა და წყალთა მეურნეობის სხვადასხვა დარგში. ტრაპეციული გაწიკვების არხები ხასიათდება ხელსაყრელი ჰიდრაულიკური პირობებით, აგრეთვე რიგი ტექნიკური უპირატესობით.

### § 61. ღია არხის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება

არხის განივი კვეთის ჰიდრაულიკური ელემენტები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით.

არხის ცოცხალი კვეთის ფართობი (ნახ. 108)

$$\omega = bh_0 + mh_0^2, \quad (14.1)$$

სადაც  $b$  არის არხის ფსკერის სიგანე;  $h_0$  — არხის წყლით შევსების სიმაღლე;  $m = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{a}{h}$  — არხის კედლების დაქანების ანუ დაფერდების კოეფიციენტი.

არხის სველი პერიმეტრი

$$X = b + 2h_0 \sqrt{1+m^2}, \quad (14.2)$$

ხოლო ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{bh_0 + mh_0^2}{b + 2h_0 \sqrt{1+m^2}}. \quad (14.3)$$

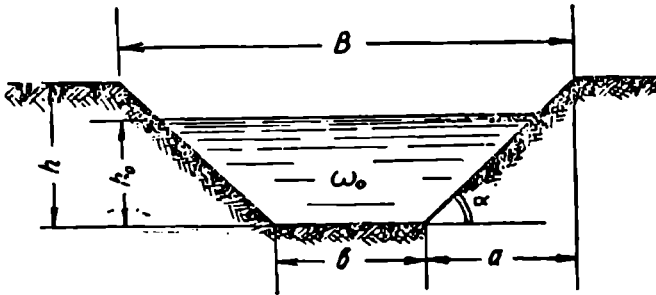
არხის ცოცხალი კვეთის ფართობი გამოითვლება ნაკადის უწყვეტლობის პირობიდან, როცა ცნობილია  $Q$  საანგარიშო ხარჯი და ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, ე. ი.

$$\omega = \frac{Q}{v}.$$

არხის კედლებს დაქანების კოეფიციენტი აგრეთვე დამოკიდებულია ყანირის ხასიათსა და ხელოვნური სამოსელის გვარობაზე. ქვემოთყვანილ 30-ე ცხრილში მოცემულია  $m$  კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობა.

ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე წინასწარ ცნობილად ჩაითვლება, თუ მოცემული გვაქვს არხის კედლებისა და ფსკერის ზედაპირის ვითარება (დახასიათება). ქვემოთყვანილ 31-ე ცხრილში მოცემულია საშუალო დასაშვები სიჩქარეების მნიშვნელობები სხვადასხვა ყამირებისათვის. მაგალითად, ნაკადის დასაშვები სიჩქარის სიდიდე ერთი და იგივე ყამირისათვის ანდა ხელოვნური სამოსელისათვის იცვლება არხის შევსების ( $h_0$ )

№ რიგზე	ყამირის ან ხელოვნური სამოსელის დახასიათება	m კოეფიციენტი
1	წვრილმარცვლოვანი ქვიშნარი ყამირი .	3,0 ÷ 3,5
2	ფხვიერი ქვიშნარი და სუსტად ტყეპნილი თიხა	2,0 ÷ 2,5
3	თიხნარი, მკვრივი თიხნარი ყამირი .	1,5 ÷ 2,0
4	საშუალო სიმკვრივის თიხნარი ყამირი	1,5
5	მძიმე თიხნარი და თიხა მიწა	1,0 ÷ 1,5
6	ხრეშოვანი ყამირი	1,5
7	გამოფიტული კლდოვანი ყამირი	0,25 ÷ 0,50
8	მტყიცე კლდოვანი ყამირი	0,10 ÷ 0,25
9	ქვაფენილის სამოსელი	1,0—
10	ბეტონის სამოსელი	0,5 ÷ 1,0



ნახ. 108. ტრაპეციული განივი კვეთის არხი.

სიმაღლესთან დამოკიდებულებით, ე. ი.  $h_0$  სიმაღლის მომატებით  $\nu$  სიჩქარე იზრდება.

არხის კედლებისა და ფსკერის მასალა	დასაშვები საშუალო სიჩქარეები (მ/წმ)		
	არხის წყლით შევსების სიმაღლე (მ)		
	0,4	1,0	2,0
ქვიშა მიწა . . . . .	0,17 ÷ 0,27	0,21 ÷ 0,32	0,24 ÷ 0,37
ქვიშა საშუალო მარცვლოვანი	0,27 ÷ 0,47	0,32 ÷ 0,57	0,37 ÷ 0,65
ქვიშა მსხვილმარცვლოვანი	0,47 ÷ 0,53	0,57 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,75
ხრეში . . . . .	0,53 ÷ 0,95	0,65 ÷ 1,20	0,75 ÷ 1,30
თიხა (თიხნარი, ქვიშნარი)	0,7 ÷ 1,0	0,85 ÷ 1,20	0,95 ÷ 1,4
ქვაფენილის სამოსელი .	2,5 ÷ 2,9	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0
ბეტონის სამოსელი .	5,0	6,0	6,9

არხის კონსტრუქციული სიმაღლე მიღებულია

$$h = (1,20 \div 1,30) h_0. \quad (14,4)$$

არხის კონსტრუქციული განივკვეთის ჰიდრაულიკური ელემენტები გამოითვლება ზემომოყვანილი ფორმულებით მხოლოდ  $h_0$  სიმაღლის მაგირ უნდა შევიტანოთ  $h$  კონსტრუქციული სიმაღლე.

ღია არხის გაანგარიშება ხდება თანაბარი მოძრაობის ცნობილი ფორმულით

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}, \quad (14,5)$$

სადაც  $\omega$  არის არხის ცოცხალი კვეთის ფართობი ( $m^2$ );

$C$  — შეზის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია არხის კედლებისა და ფსკერის ზედაპირის ხორკლიანობაზე და  $R$  ჰიდრაულიკური რადიუსის სიდიდეზე;

$i$  — არხის ფსკერის სიგრძივი ქანობი.

$C$  კოეფიციენტი განისაზღვრება სხვადასხვა ემპირიული ფორმულით, მათ შორის აღსანიშნავია განკლიე-კუტერის შემოკლებული ფორმულა

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23n}{\sqrt{R}}} \quad (14,6)$$

და მანინგის ემპირიული ფორმულა

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (14,7)$$

სადაც  $n$  ხორკლიანობის კოეფიციენტია, რომლის მნიშვნელობა აიღება 32-ე ცხრილიდან.

არხის ფსკერის სიგრძივი ქანობის მნიშვნელობა განისაზღვრება ზემომოყვანილ (14,5) ფორმულიდან

$$i = \frac{Q^2}{C^2 \omega^2 R} = \frac{v^2}{C^2 R}, \quad (14,8)$$

დერივაციული არხების გაანგარიშებისას, ჩვეულებრივ, მოცემულია  $Q$  საანგარიშო ხარჯი,  $v$  დასაშვები სიჩქარე; გამოსათვლელია არხის განივკვეთის ზომები და მისი ფსკერის ქანობი.



არხის კედლებისა და ფსკერის ხედაპირის დახასიათება	" ხორკლიანობის კოეფიციენტი
მიწის არხები მოვლისა და შეკეთების კარგ და საშუალო პირობებში;	0,023 ÷ 0,025
მიწის არხები გლუვი ბეტონით მოპირკეთებული;	0,013 ÷ 0,015
მიწის არხები ქვაფენილით მოპირკეთებული;	0,020 ÷ 0,027
მიწის არხები მოვლისა და შეკეთების ცუდ პირობებში;	0,028 ÷ 0,030
მიწის არხები განსაკუთრებით ცუდ მდგომარეობაში კლდის ნატეხებით, ხშირი ფესვებით და შესამჩნევი ორმოებით.	0,035 ÷ 0,040

ამ ამოცანის გადასაწყვეტად პირველად საჭიროა ვიპოვოთ არხის განივიკვეთის ფართობი უწყვეტობის პირობიდან; ამასთან წინასწარ უნდა შეირჩეს  $h_0$  სიმაღლე, ან  $h$  სიგანე<sup>1</sup> და  $m$  დაქანების კოეფიციენტი. როცა უკვე გამოთვლით  $a$ ,  $X$ ,  $R$  ელემენტებს, ამის შემდეგ ვიპოვოთ  $i$  ქანობს.

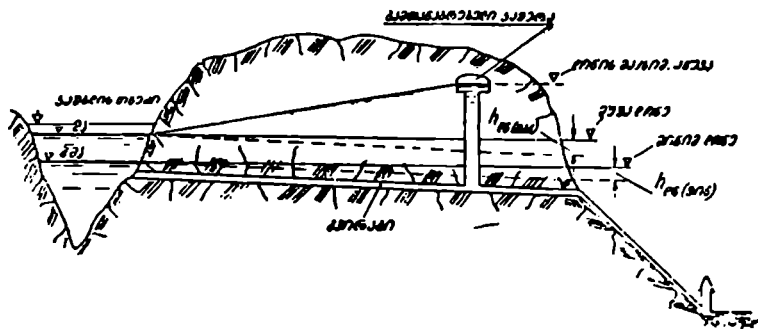
**§ 62. ჰიდროტექნიკური გვირაბები**

ჰიდროენერგეტიკულ ობიექტებზე ზოგჯერ ტოპოგრაფიულ და გეოლოგიურ პირობებთან დაკავშირებით იგება გვირაბები. გვირაბების გაყვანა მოითხოვს მნიშვნელოვანი სამშენებლო თანხების გაღებას, ამასთან წარმოადგენს მეტად რთულ და მძიმე შესასრულებელ სამუშაოს. გარდა ამისა, ამ სამუშაოთა სპეციფიურობა, სამუშაო ფრონტის შეზღუდულობა საშუალებას არ იძლევა საგვირაბო სამუშაოების გაშლის, უწინ ერთი დღე-ღამის განმავლობაში საშუალოდ შესაძლებელი იყო მხოლოდ ერთი მეტრი სიგრძის (საშუალო ზომის) გვირაბის გაყვანა. თანამედროვე ტექნიკის პირობებში გვირაბების გაყვანის ტემპი მნიშვნელოვნად გაიზარდა, მაგრამ მაინც მოითხოვს მნიშვნელოვან დროსა და დიდი რაოდენობის დეფიციტური მასალების დაბანდებას.

გარდა აღნიშნულისა, გვირაბის ნაკლად აგრეთვე ჩაითვლება ის, რომ მისი განივიკვეთის ზომები არ შეგვიძლია მივიღოთ მინიმალურ დასაშვებ ზომებზე ნაკლები. გვირაბის კვეთის მინიმალური ზომები განისაზღვრება სამუშაოთა წარმოქმნის პირობებით, მაგალითად გვირაბის მინიმალური სიგანე  $b=1,5$  მ, სიმაღლე  $h=1,8$  მ, მისი მინიმალური ფართობი კი  $a=3,14$  მ<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> მცირე ჰესების დერივაციული არხის ფსკერის სიგანე საშუალოდ აიღება  $b=(1,5 ÷ 2,5)$  მ ფარგლებში, მისი მინიმალური მნიშვნელობაა  $b=0,5$  მ.

გვირაბები შეიძლება მუშაობდეს უწნეო და საწნეო რეჟიმზე. უწნეო გვირაბები გვხვდება ჩვეულებრივ პირობებში, როცა სათავე კვანძს არა აქვს წყალსაცავი და გარკვეული მოცულობის მარეგულებელი პრიზმა, ე. ი. წყლის დონის დაწვევის გარკვეული სიღრმე. ამ შემთხვევაში, კაშხალი უმნიშვნელო სიმაღლისაა და მის მიერ შექმნილი დაწნევა წარმოადგენს უცვლელ სიდიდეს. ამიტომ საანგარიშო ხარჯი და წყლის დონე გვირაბის მთლიან სიგრძეზე პრაქტიკულად უცვლელი იქნება.



ნახ. 109. დაწნევის განაწილება გვირაბის სიგრძეზე პროფილზე.

როდესაც მნიშვნელოვანი მოცულობის მარეგულებელი პრიზმის შქონე წყალსაცავიდან წყლის გაყვანა გვირაბით სრულდება, მაშინ მიზანშეწონილია ამ ნაგებობამ იმუშაოს დაწნევითი რეჟიმით. ამ შემთხვევაში გვირაბის ფსკერის ნიშნული რამდენიმედ დაბალი უნდა იყოს წყალსაცავის გამოუყენებელი მოცულობის ზედაპირის ნიშნულზე.

უწნეო გვირაბების გაანგარიშება ღია არხების ანალოგიურია, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული გვირაბის განივკვეთის ფორმა და მინიმალური განივი ზომები.

საწნეო გვირაბის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ გვირაბის პიეზომეტრული ქანობი და დაწნევის განაწილება გვირაბის სიგრძეზე (ნახ. 109).

როგორც ნახაზიდან ჩანს, წყალსაცავში წყლის სტატიკური დონე შეიძლება იყოს მაქსიმალური (მუშა დონე) და მინიმალური.

წყლის დონეების მერყეობის შესაბამისად გვექნება  $h_{ეს}$  (მაქს) მაქსიმალური და  $h_{ენ}$  (მინ) მინიმალური დანაკარგები.

საწნეო გვირაბებში უნდა არსებობდეს ნაკადის მოძრაობის მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარეები, რომლის ზევით გადასვლა გამოიწვევს

ჰიდრავლიკური დანაკარგების მნიშვნელოვან გაზრდას. ეიპოვოთ ამ კრიტიკული დასაშვები სიჩქარის მნიშვნელობა ( $v_{კრ}$ ), ამისათვის ვისარგებლოთ (1,27) ფორმულით (ადგილობრივი დანაკარგები უგულებელყოფილია)

$$h_{კრ} = \frac{lv^3}{C^2 R} = av^3;$$

დანადგარის სიმძლავრე ტოლი იქნება ( $Q = w \cdot v$ )

$$N = 9,81 \eta v \cdot w (H_{კრ} - av^3), \quad (14,9);$$

რომლის წარმოებულს თუ გაუტოლებთ ნულს, მივიღებთ

$$\frac{dN}{dv} = 9,81 \eta w (H_{კრ} - 3av^2) = 0,$$

საიდანაც

$$av^2 = \frac{H_{კრ}}{3}, \quad (14,10)$$

ე. ი. ჰიდრავლიკური დანაკარგების სიდიდე, კრიტიკული სიჩქარის დროს, არ უნდა აღემატებოდეს სრული დაწნევის ერთ მესამედს.

ამრიგად, კრიტიკული სიჩქარის სიდიდე (14,10) ფორმულიდან გამოითვლება

$$v_{კრ} = \sqrt[3]{\frac{H_{კრ}}{3a}} = \sqrt[3]{\frac{H_{კრ} C^2 R}{3l}}. \quad (14,11)$$

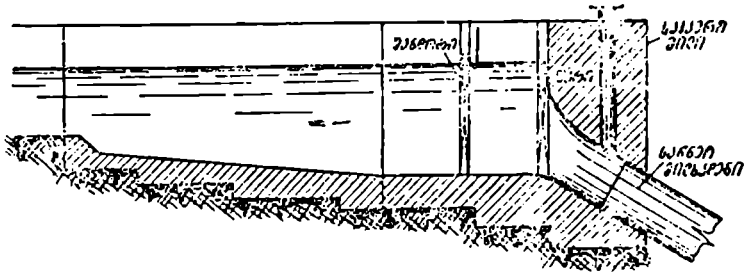
სასურველია, რომ გვირაბში ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე არ აღემატებოდეს კრიტიკულ სიჩქარეს, ე. ი. ყოველთვის  $v < v_{კრ}$ . აქვე აღსანიშნავია, რომ  $H_{კრ}$  დაწნევის ქვეშ იგულისხმება არა ჰესის სრული დაწნევა, არამედ წყალსაცავის მპ და გმპ შორის მოთავსებული სიმაღლე.

---

## საწნეო კვანძი

### § სვ. საწნეო აუზები

საწნეო აუზი წარმოადგენს უწნეო დერივაციისა და ტურბინის მილსადენების ერთმანეთთან შემაერთებელ ნაგებობას. გარდა ამისა, საწნეო აუზის დანიშნულებაა წყლის ხარჯის განაწილება მილსადენის ხაზებში ან საჭიროების დროს, რომელიმე ხაზის გამორთვა და წყლის გადაღება სწრაფდენის ან წყალსაგდების ნაგებობების საშუალებით ქვემო ბიემში. დაბოლოს, საწნეო აუზის საშუალებით შექმნილია პრაქტიკულად



ნახ. 110. საწნეო აუზის სქემა.

სტაბილური დაწნევა. საწნეო აუზი (უწნეო დერივაციასთან ერთად) ხშირად ასრულებს დღეღამური რეგულაციის წყალსაცავის როლს, თუ ნასაქვს საკმაოდ მოზრდილი ტევადობა (უწნეო დერივაციის ტევადობის ჩათვლით).

უწნეო დერივაციის ტევადობის გარკვეული ნაწილი გამოიყენება სარეგულაციო პრიზმის სახით. ამისათვის ამ ნაგებობის შეუღლება საწნეო აუზთან ხორციელდება საფეხურის სახით (ნახ. 110).

საწნეო აუზებში მოწყობილია წყალმიმღები კამერები, სადაც დადგმულია წყლის ნაკადის მართვის მოწყობილობა (ფარები, შანდორები, ჩამკეტები, გისოსები და სხვ.).

წყალმიმღები კამერების რიცხვი მილსადენის ხაზების რიცხვის ტოლი უნდა იყოს. თითოეული კამერა გადატიხრულია ყრუ კედლით და მისი მოქმედება დამოუკიდებელია.

წყალმიმღები კამერის სიგანე მიიღება დაახლოებით  $b_{j\alpha} = (1,5 \div 1,8) D$ , სადაც  $D$  მილსადენის დიამეტრია. წყლის სიღრმე ( $h_{j\alpha}$ ) კამერაში მიიღება ისეთი ანგარიშით, რომ ნაკადის უდიდესი სიჩქარე არ აღემატებოდეს  $v_{j\alpha} \leq 0,7 \div 0,8$  მ/წმ.

აღნიშნულის თანახმად, წყალმიმღები კამერის განივი ზომები შემდეგი პირობის მიხედვით განისაზღვრება

$$b_{j\alpha} \cdot h_{j\alpha} \leq \frac{Q}{v_{j\alpha}}, \quad (15,1)$$

სადაც  $Q$  საანგარიშო (მაქსიმალური) ხარჯია.

საწნეო აუზის საერთო სიგანე წყალმიმღებ კამერებთან ასე განისაზღვრება

$$B_{\text{აუზ}} = b_{j\alpha} \cdot k + \delta(k-1), \quad (15,2)$$

სადაც  $k$  წყალმიმღები კამერების რიცხვია,  $\delta = (0,5 \div 1,0)$  მ — კამერებს შუა მოწყობილი ყრუ კედლის (ბურჯის) სისქე.

წყალმიმღები კამერების სიგრძე  $3 \div 5$  მ აიღება, ხოლო მათი ვერტიკალური ზომები დამოკიდებულია მინიმალურ და მაქსიმალურ დონეებზე საწნეო აუზში. ტურბინის მილსადენის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა, რომ მილის ზემო ნაწილიდან წყლის მინიმალურ დონედღე სიმაღლე იყოს არა ნაკლები  $a \geq (0,5 \div 1,0)$  მეტრი, რაც აცილებს საწნეო მილსადენში ჰაერის მოხვედრას და უზრუნველყოფს ნაკადის ნორმალურ შედინებას. მილში. დაახლოებით მიღებულია, რომ

$$a \geq \frac{v^2}{g}, \quad (15,3)$$

სადაც  $v$  ნაკადის სიჩქარეა მილსადენში, როცა წყლის ხარჯი მაქსიმალურია.

საწნეო აუზის კედლების სრული სიმაღლე გამოითვლება კონსტრუქციული მოსაზრებებით. თუ მოცემულია წყლის დონის მაქსიმალური ნიშნული ( $\nabla_{\text{აქს}}$ ), მაშინ

$$H_{j\alpha} = \nabla_{\text{აქს}} + (0,5 \div 0,8) \text{ მ.}$$

საწნეო აუზის ერთ-ერთი ნაპირის კედელი შეიძლება წარმოადგენდეს წყალსაშვებს რომლის თხემის ნიშნული უნდა ემთხვეოდეს წყლის დონის მაქსიმალური ნიშნულს ( $\nabla_{\text{აქს}}$ ). წყალსაშვებიდან გადაღენილი წყალი გროვ-

დება წყალშეკრებ კამერაში, საიდანაც სწრაფდენის ან წყალგადამგდები მილსადენის საშუალებით გაიყვანება ქვემო ბიფეში.

წყალსაშვების გაანგარიშება წარმოებს (3,29) ფორმულით.

### § 64. საწნეო მილსადენები

საწნეო კვანძის ერთ-ერთ ძირითად ელემენტს წარმოადგენს საწნეო მილსადენები. საწნეო მილსადენები მზადდება ლითონის, რკინაბეტონისა და ხის. როგორც წესი, მაღალდაწნევიან ჰესებში გამოყენებულია ლითონის მილები. რკინა-ბეტონის მილსადენები ნაკლებად გავრცელებულია. მათი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ჰესის დაწნევა არ აღემატება (30÷50) მეტრს, ხოლო წყლის ხარჯი — მნიშვნელოვანია. რკინა-ბეტონის მილების დიამეტრის მინიმალური ზომა 1,2 მ აიღება. ხის მილები წარმატებით გამოიყენება როგორც დერივაციულ, ისე საწნეო მილსადენებში. ხის მილსადენებზე დასაშვებია დაწნევა დამოკიდებულია მათი დიამეტრის ზომებზე. დიამეტრის გაზრდით მცირდება დასაშვები დაწნევა. მაგალითად, თუ

$$D=0,5 \quad 1,0 \quad 3,0 \quad 5,0 \text{ მ}$$

მაშინ

$$HD=100 \quad 140 \quad 180 \quad 200,$$

საიდანაც შეგვიძლია განვსაზღვროთ  $H$  დაწნევის მნიშვნელობა.

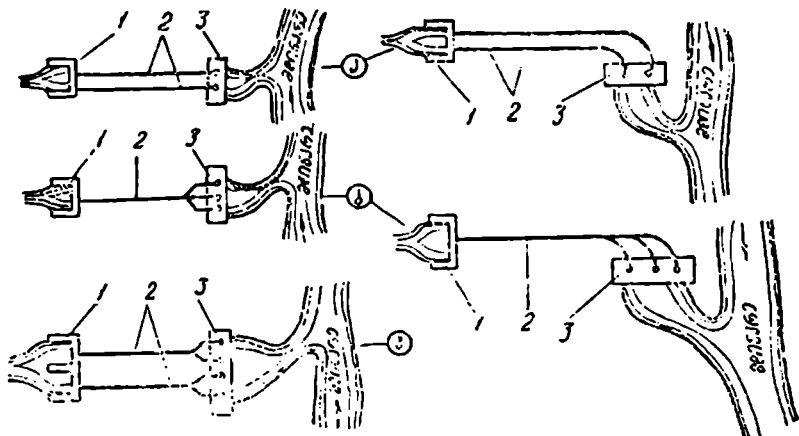
საწნეო მილსადენების ჰიდრავლიკური გაანგარიშება მდგომარეობს დანაკარგების დადგენაში და მილის დიამეტრის ზომების შერჩევაში (იხ. თავი I, § 2).

მილსადენების რიცხვის დადგენა და მილების ჰესის შენობასთან შეერთების წესები. ჰესის ხარჯსა და აგრეგატების რიცხვთან დამოკიდებულებით, წყლის მიყვანა ტურბინებთან შეიძლება განხორციელდეს ერთი ან რამდენიმე მილსადენით (ნახ. 111). პრაქტიკულად ჩვენ ვხვდებით მილსადენების ტურბინებთან შეერთების სამ სქემას:

1. თითოეულ ტურბინს უერთდება დამოუკიდებელი მილსადენი (ნახ. 111, ა);
2. ყველა ტურბინში წყლის მიწოდება განხორციელებულია ერთი მილსადენით (ნახ. 111, ბ);
3. ერთი მილსადენი აწვდის წყალს თითოეულ წვეილ ტურბინს (ნახ. 111, გ).

მოყვანილი სქემებიდან ადვილად წარმოსადგენია, რომ წყლის ჯგუფური განაწილება ტურბინებში ნაკლებად საიმედოა ექსპლოატაციაში

(ნახ. 111 ბ, გ), მაგრამ ტექნიკურ-ეკონომიურად ხელსაყრელია, მით უმეტეს მაშინ, თუ საწნეო აუზსა და ჰესის შენობას შორის მანძილი წნიშენელოვანი სიგრძისაა.



ნახ. 111. საწნეო მილსადენების ტურბინებთან შეერთების სქემები:  
 1—საწნეო აუზი; 2—საწნეო მილსადენი; 3 — ჰესის შენობა.

მილსადენის დიამეტრის ეკონომიური გაანგარიშება ხდება ზემო-მოყვანილი ტექნიკურ-ეკონომიური გაანგარიშების მსგავსად (იხ. თავი II, § 11).

ჰიდრაულიკური დარტყმა მილსადენებში. საწნეო მილსადენებში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე მუდამ სასრულო სიდიდისაა, ამიტომ ნაკადის კინეტიკური ენერჯია ანუ სიჩქარითი დაწნევა მნიშვნელოვანი ოდენობისაა. ნაკადის მოძრაობას უეცრად თუ შევჩერებთ (ურდულის მყის გადაკეტვით), ცხადია, ნაკადის თანმიმყოფი ფენები განაგრძობენ დაკეტვის ადგილისაკენ მიდინებას და თანდათანობით შეჩერებას, სანამ მილსადენის მთელ სიგრძეზე ნაკადის შეჩერება მთლიანად არ გავრცელდება. ნაკადის შეჩერება წყლის მოცულობის შეკუმშვას (წყალი პრაქტიკულად უკუმშვადია) და მილსადენის კედლებზე სითხის წნევის გაზრდას გამოიწვევს. წნევის უეცარი გაზრდა ზოგჯერ ისეთია, რომ საწნეო მილსადენის დასკდომას, ან მილების შეერთების ადგილების დაზიანებას იწვევს. საწნეო მილსადენებში ასეთი უეცარი წნევის ზრდა ჰიდრაულიკური დარტყმის სახელწოდებას ატარებს.

მილებში ჰიდრაულიკური დარტყმის თეორიული დასაბუთება და შემდგომი გაღრმავება მიეკუთვნება ალიევს: ეუკოვსკს, სურინს, მოსტკოვსა და სხვ.

პროფ. ეუკოვსკიმ (1898 წ), შემდეგი ფორმულა მოგვცა

$$p = p'c = \frac{\gamma \nu c}{g}, \quad (15,4)$$

სადაც  $p$ -ის დამატებითი წნევაა, რომელიც მიიღო ნაკადმა ჰიდრავლიკური დარტყმის შედეგად;  $p'$ —სიმკვრივე;  $\nu$ —მილსადენში ნაკადის სიჩქარე;  $c$ —კი ჰიდრავლიკური დარტყმით გამოწვეული ტალღის გავრცელების სიჩქარე.

თუჯის მილებში მოძრავ ნაკადისათვის (თუჯის დრეკადობის მოდული = 21000 კგ/სმ<sup>2</sup>)  $c$ -ს მნიშვნელობა 33-ე ცხრილშია მოყვანილი.

ცხრილი 33

მილის დიამეტრი $D$ (მმ)	მილის კედლების სისქე $\delta$ (მმ)	$c$ (მ.წმ)
200	10,5	1209
250	11,5	1187
300	12,5	1167
600	18	913

ამ ცხრილში მოყვანილი  $c$ -ს მნიშვნელობები გამოთვლილია ქვემოთ მოყვანილი ფორმულით

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon d}{E\delta}}},$$

სადაც  $\varepsilon$  არის წყლის დრეკადობის მოდული [კგ/სმ<sup>2</sup>];  $d$ —მილის დიამეტრი (სმ);  $E$ —მალის კედლების მასალის დრეკადობის მოდული [კგ/სმ<sup>2</sup>];  $\delta$ —მილის კედლების სისქე (სმ).

ამრიგად, ჰიდრავლიკური დარტყმის შედეგად მილსადენში წნევის სრული სიდიდე ტოლი იქნება

$$p_{\text{ავს}} = \gamma H + \frac{\gamma \nu c}{g}, \quad (15,5)$$

სადაც  $\gamma H$  მილსადენების კედლებზე მოსული წნევაა, რომელიც წარმოქმნილია ნაკადის დაწნევით ტურბინის ნორმალური მუშაობის დროს.

ჰიდრავლიკურ ტურბინებში მიმმართველი აპარატის დაკეტვისას ადგილი აქვს საწნეო მილსადენში წნევის გაზრდას, ხოლო შემწოვ მილში — წნევის დაეარდას. მიმმართველი აპარატის გაღებისას შებრუნებით წნევის სიდიდე მილსადენში ვარდება, შემწოვ მილში კი იზრდება.



ჰიდრაულიკური დარტყმის შედეგად მიღებული წნევის გაზრდა და დეარდნა დამყარებულია მილსადენში მოძრავი წყლის ინერციაზე. მიმმართველი აპარატის ფრთების დაკეტვის შემთხვევაში ნაკადის სიჩქარე მყის მცირდება, ე.ი. ნაკადის თანაბარი მოძრაობის რეჟიმი გადადის დაყოვნებულ მოძრაობაში. ამის შედეგად წარმოიქმნება ინერციის ძალები მიმართული აჩქარების საწინააღმდეგოდ, ე.ი. დაყოვნებული მოძრაობისას ეს ძალები მიმართული იქნება წყლის სიჩქარის მიმართულებით, რის გამოც წნევა გაიზრდება მიმმართველი აპარატის ფრთებთან.

მიმმართველი აპარატის გაღებით წყლის მოძრაობა მილსადენში აჩქარდება; ცხადია, ინერციის ძალები შეიცვლიან ნიშანს და მიმმართველ აპარატთან მივიღებთ წნევის დეარდნას.

ჰიდროელექტროსადგურების პრაქტიკაში რიგი ღონისძიება გამოყენებული იმისათვის, რომ ჰიდრაულიკური დარტყმის შედეგად წარმოქმნილი წნევა რაც შეიძლება მინიმალური იყოს. საშუალოდ მიღებულია, რომ ჰიდრაულიკური დარტყმით მიღებული წნევის ნაზრდი არ უნდა აღემატებოდეს  $p \leq (0,3 \div 0,4)H$  ჰესის დაწნევას.

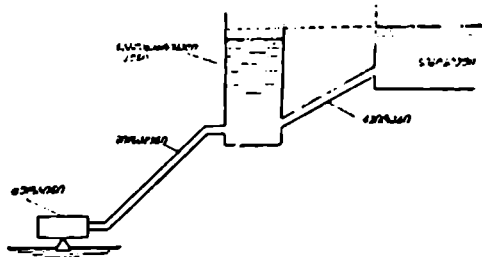
ჰიდრაულიკური დარტყმების შემცირება შესაძლებელია სხვადასხვა ხერხებით: მაგალითად მილის დიამეტრის გაზრდით (ე სიჩქარე შემცირდება); მაგრამ ეს ღონისძიება არახელსაყრელია, რადგან იწვევს კონსტრუქციის გართულებასა და სამშენებლო ღირებულების გაზრდას. აგრეთვე არსებობს ავტომატური წყალგადამგდები მოწყობილობა, რომელიც დადგმულია ზოგიერთ ტურბინზე, მაგრამ ამ მოწყობილობითაც ვერ ვალწევთ მიზანს. ჰიდრაულიკური დარტყმების შემცირების ყველაზე რადიკალურ ღონისძიებად ჩაითვლება გამთანაბრებელი რეზერვუარები, რომლებიც ძირითადად წარმოადგენენ შვეულ მილს, რომლის დიამეტრი რამდენიმედ აღემატება საწნეო მილსადენის დიამეტრს.

## § 65. გაშთანაბრებელი რეზერვუარები

მაღალდაწნევიანი ჰიდროელექტროსადგურების საწნეო მილსადენის დასაწყისში ანუ საწნეო დერევაციის ბოლოში უნდა მოეწყოს სპეციალური ნაგებობა, რომელსაც გამთანაბრებელი რეზერვუარი ეწოდება.

როგორც აღენიშნეთ, სადგურის დატვირთვის ცვალებადობა წარმოქმნის წყლის ხარჯის შეცვლას, ეს კი თავის მხრივ გამოიწვევს ჰიდრაულიკურ დარტყმებს საწნეო მილსადენში, სადაც ჰიდრაულიკური დარტყმის შედეგად პირველ მომენტში წნევის სიდიდე შეიძლება გაიზარდოს ათჯერ, მეორე მომენტში კი შებრუნებით—შემცირდეს ათჯერ მუშა წნევასთან შედარებით. წნევის ასეთმა უეცარმა და მკვეთრმა ცვალებადობამ შეიძლება

გამოიწვიოს საწნეო კვანძის ავარია. ავარიის თავიდან ასაცილებლად საკი-  
როა ჰიდრაულიკური დარტყმის გავრცელების შეჩერება, რომ არ მიეცეთ.  
მას საწნეო გვირაბში (ნახ. 110) შეღწევის საშუალება. ამ მიზნით მილსადე-  
ნის დერივაციასთან შეუღლების ადგილას ეწყობა შეეული შაბტა ან კომ-  
კი. რომელშიაც მოთავსებული წყლის დონე ატმოსფერულ წნევას განიც-  
დის. მილსადენში წყლის ნაკადის უეცარი შეჩერების შედეგად წარმოქ-  
მნილი დარტყმის ტალღა აირეკლება გამთანაბრებელ რეზერვუარში, რის  
შედეგად შეჩერდება წნევის  
გაზრდა და მისი გავრცე-  
ლება გვირაბში. ამრიგად,  
გამთანაბრებელი რეზერვუა-  
რი ერთის მხრივ აცილებს  
წნევის გაზრდის შესაძლებ-  
ლობას გვირაბში, მეორეს  
მხრივ კი მილსადენში წარ-  
მოქმნის უარყოფითი ნიშნის  
არეკლის ტალღას, რომე-  
ლიც მნიშვნელოვნად ამცი-  
რებს ჰიდრაულიკური დარ-  
ტყმით გამოწვეულ წნევას.



ნახ. 112. გამთანაბრებელი რეზერვუარის  
მარტივი ტიპის სქემა.

გამთანაბრებელი რეზერვუარები სხვადასხვა კონსტრუქციის გვხვდება..  
ყველაზე მარტივი კონსტრუქციის გამთანაბრებელი რეზერვუარის სქემა  
მოცემულია 112-ე ნახაზზე, იგი წარმოადგენს მუდმივი კვეთის ცილინ-  
დრული ფორმის შეეულ რეზერვუარს. მიუხედავად იმისა, რომ ეს ნაგე-  
ბობა მარტივია, ეკონომიურად არახელსაყრელია, რადგან მოითხოვს  
რეზერვუარის მნიშვნელოვან მოცულობას (ტევადობას).

## § 66. ჰესის შენობა

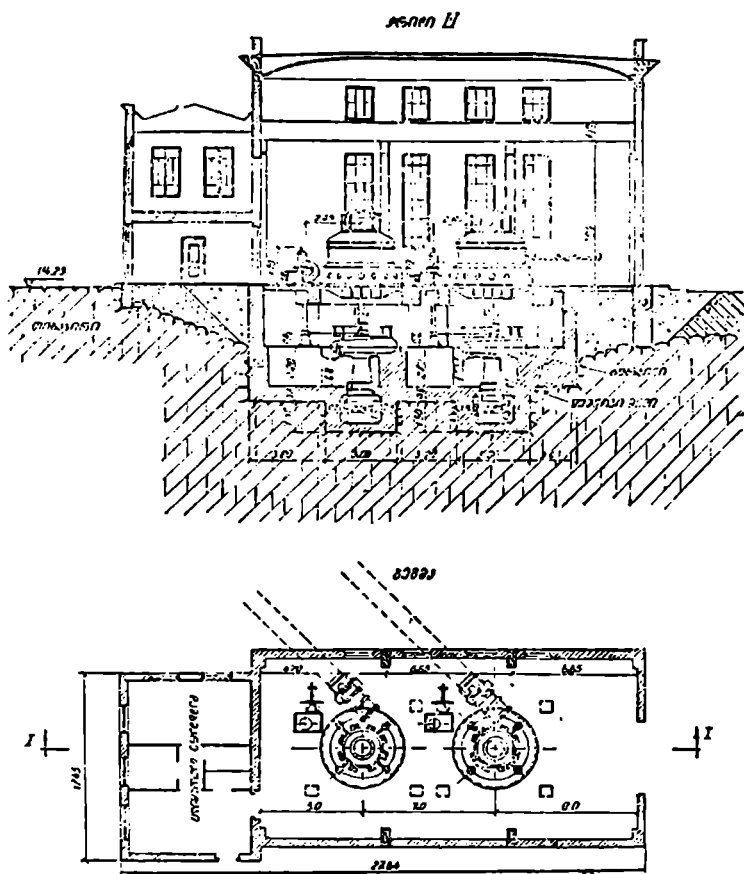
ჰესის შენობა წარმოადგეს ძალოვანი კვანძის იმ ნაწილს, სადაც დად-  
გებულია ჰიდროაგრეგატები და მოთავსებულია ელექტროდამგებლობა. ამ  
შენობაში ხდება წყლის მექანიკური ენერგიის გარდაქმნა ელექტროენერ-  
გიად და მისი განაწილება მომხმარებლისადმი (სოფლის ჰესები), ანდა  
გადაცემა გაერთიანებულ ენერგოსისტემაში (მსხვილი ჰესები).

ჰესის შენობის კონსტრუქციული გაფორმება და დახაზულობა განი-  
საზღვრება როგორც მუშა დაწნევის, ისე აგრეგატების სიმძლავრისა და  
ტურბინების ტიპის მიხედვით.

ჰესის შენობა შედგება ორი ერთმანეთისაგან განსხვავებული ნაწილი-  
საგან—ქვედა ბლოკისაგან და ზედა ნაშენისაგან, რომლებიც ერთმანეთი-  
საგან გაყოფილია სამანქანო დარბაზის იატაკით. ხშირად ქვედა ნაწილს

უწოდებენ ჰესის შენობის წყალქვეშა ნაწილს, ზემოს კი წყალზედა ნაწილს.

შენობის ზემო ნაწილში იდგმება ჰესის ელექტრომოწყობილობა (გენერატორით).



ნახ. 113. კელასური ჰესის შენობა.

ქვედა ბლოკი თავისი მუშაობის ხასიათითა და კონსტრუქციული გაფორმებით უახლოვდება ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებს. ამ ბლოკში გადის წყლის ნაკადი, რომელიც გადასცემს თავის ენერგიას აქვე დადგმულ ჰიდრაულიკურ ტურბინებს. გარდა ამისა, წყალქვეშა ნაწილი წარმოად-

გენს ძალოვანი დადგმულობის დასაყრდენს, ხშირად კი ზემო ნაწინის საძირკველსაც.

ჰესის შენობის ზემო ნაწილი შედგება სამანქანო დარბაზისაგან, სადაც დადგმულია გენერატორები და ტურბინებთან შემაერთებული მექანიზმები, რეგულატორები და მართვის მოწყობილობა. მსხვილი ჰესების შენობებს გარდა სამანქანო დარბაზისა, აქვთ დამამარე სათავსოები (სატრანსფორმატორო, სარეგულატორო, სახელოსნო, სამორიგეო და სხვ.).

ჰესის შენობა მყარ ნიადაგზე იგება. ზემო ნაწილის კედლების მინიმალური სიმაღლე მეტწილად 4 მეტრს აღემატება. სათავსოში დღის სინათლის უზრუნველსაყოფად საკიროა, რომ კედლებში დატანებული ფანჯრების ფართობი შეადგენდეს იატაკის ფართობის  $[1/3 \div 1/4]$  ნაწილს. სათავსო აგრეთვე უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ვენტილაციით.

ჰესის შენობაში დადგმული აგრეგატების ექსპლოატაცია განსაკუთრებული მეთვალყურეობის ქვეშ უნდა წარმოებდეს. ამასთან უშიშროების ტექნიკის წესების დაცვა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

113-ე ნახაზზე საილუსტრაციოდ წარმოდგენილია კელასური ჰესის შენობის კონსტრუქციული სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, შენობის ქვედა ბლოკში დადგმულია ორი შვეული ტურბინი (14-15-BM-100). ზემო ნაწილში კი ორი გენერატორი, მართვის რეგულატორები და სხვ. ჰესის შენობის ძირითადი ზომები წაწერილია ნახაზზე.

---

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Грановский С. А. и др. Конструкции гидротурбин и расчеты их деталей. Машгиз, 1953.
  2. Громов В. И. и Флексер А. И. Использование водной энергии. Сельхозгиз, 1952.
  3. Золотарев Т. М. Гидроэнергетика. Госэнергоиздат, 1950.
  4. Морозов А. А. Использование водной энергии. Госэнергоиздат, 1948.
  5. მოსტკოვი მ. ა. ჰიდროენერგეტიკის საფუძვლები. „ტექნიკა და შრომა“, 1954.
  6. Никитин С. П. Methodика водно-энергетических расчетов. Госэнергоиздат, 1949.
  7. Потапов М. В. Регулирование стока, Сельхозгиз, 1940.
  8. Поляков В. В. Гидрологические расчеты. Госэнергоиздат, 1948.
  9. Соколов Д. Я. Использование водной энергии. Госэнергоиздат, 1953.
  10. Соколовский Д. П. Речной сток. Гидрометеониздат, 1952.
  11. წიკლაური დ. ს. წყალმწევი მანქანები. „ტექნიკა და შრომა“, 1951.
  12. წიკლაური დ. ს. ჰიდროკომპრესორის მუშაობის თეორიული საფუძვლები. საქ. სსრ მეცნიერებათა აკადემიის აფხაზეთის საპეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის შრომები, ტომი XIII, 1949.
-

## ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვაობა	3
შესავალი	5

### ნაწილი პირველი

#### წყლის ენერგიის გამოყენების საფუძვლები

<b>თ ა ვ ი I. ძირითადი ცნებანი</b>	
§ 1. წყალნაკადის ჰიდრავლიკური ენერჯია და მისი გამოყენება . . . .	9
§ 2. ცნება დაწნევის, ხარჯისა და ჰიდროდინამიკური სიმძლავრის შესახებ	15
§ 3. ჰიდროენერგეტიკული რესურსები . . . . .	24
§ 4. საქართველოს სსრ ჰიდროენერგეტიკული რესურსები .	26
§ 5. საბჭოთა კავშირის ჰიდროენერგეტიკული რესურსები .	28
§ 6. მსოფლიოს ჰიდროენერგეტიკული რესურსები	30
<b>თ ა ვ ი II. გამოყენების სქემები</b>	
§ 7. წყლის ენერჯიის გამოყენების პრინციპული სქემა .	32
§ 8. ჰიდროენერგეტიკული სქემები . . . . .	36
§ 9. წყლის ენერჯიის უშუალო გამოყენების სქემები	40
§ 10. კომპლექსური სქემები . . . . .	58
§ 11. მდინარეების კომპლექსური გამოყენება ქალაქების ფარგლებში	66

### ნაწილი მეორე

#### ენერგიის მომხმარებლები და ჰესის დატვირთვა; ჰიდროლოგიური, წყალსამართლო და ჰიდრომენეჯერული განაწილებანი

<b>თ ა ვ ი III. ენერჯიის მომხმარებლები და დატვირთვის გრაფიკები; ზედაპირული ჩამონადენის ჰიდროლოგიური შესწავლის ელემენტები. წყალსაცავები</b>	
§ 12. ენერჯიის მომხმარებლები და ჰიდროელექტროსადგურების დატვირთვის გრაფიკები . . . . .	84
§ 13. სახმარი ენერჯიის ნორმატივები სხვადასხვა სახეობის მომხმარებელთათვის	91
§ 14. წყლის ენერჯიის წყაროები და მათი მახასიათებლები	99
§ 15. დასაბამი ჰიდროლოგიური მონაცემები . . . . .	104
§ 16. ჩამონადენის ძირითადი მახასიათებლები . . . . .	106
§ 17. ჩამონადენის რეგულაციის ძირითადი სახეები	119
§ 18. წყალსაცავები და მათი გაანგარიშების ელემენტები	121
<b>თ ა ვ ი IV. წყალსამართლო გაანგარიშებები</b>	
§ 19. ზოგადი მითითებანი . . . . .	129
§ 20. წყალსაცავის მახასიათებლები . . . . .	129
§ 21. წყალსაცავიდან წყლის დანაკარგები . . . . .	134
§ 22. წყალსაცავის ნუშაობის ვადის გაანგარიშება . . . . .	138
§ 23. წყალსაცავის გმ და გმპ განსახლერა	140

<b>თავი V. ჰიდროენერგეტიკული განვარაუება</b>	
§ 24. ზოგადი ცნებანი .	141
§ 25. ჰიდროსადგურის მუშაობის უზრუნველყოფა .	143
§ 26. შეტბორვის ნიშნულის შერჩევა . . . . .	144
§ 27. წალსაცავის დონის დაწვეის სიღრმის შერჩევა	145
§ 28. დელამური და სეზონური რეგულება .	146
§ 29. ჰიდროსადგურის დაწვევა . . . . .	151
§ 30. ჰიდროსადგურის საანგარიშო ხარჯის დადგენა	152
§ 31. ჰიდროსადგურის სიმძლავრის შერჩევა . . . . .	155
§ 32. ჰიდროსადგურის ენერგოეკონომიური ანალიზის პრინციპი	157

**ნაწილი მესამე**

**ჰიდროელექტროსადგურების ხმები**

<b>თავი VI. ჰიდროელექტროსადგურების ტიპები</b>	
§ 33. ჰიდროელექტროსადგურების კლასიფიკაცია .	162
§ 34. კაშხალური ტიპის ჰესები . . . . .	165
§ 35. დერივაციული და შერეული ტიპის ჰესები	171
§ 36. სარწყავ არხებზე მოწყობილი ჰესები .	180

**ნაწილი მეოთხე**

**ჰიდროელექტროსადგურების ტურბინები**

<b>თავი VII. ჰიდროელექტროსადგურების ტურბინები და კლასიფიკაცია. ტურბინების მუშაობის თეორიული საფუძვლები</b>	
§ 37. ზოგადი ცნობები . . . . .	182
§ 38. ჰიდროელექტროსადგურების ტურბინების ტიპები და კლასიფიკაცია . . . . .	186
§ 39. ჰიდროელექტროსადგურების მუშაობის თეორიული საფუძვლები	188
§ 40. მუშა ბორბლის ფრთის მოხაზულობისა და კუთხის ზეგავლენა ტურბინის მუშაობის რეჟიმზე	194

**თავი VIII. კარბონევიანი (რეაქტიული) ტურბინები**

§ 41. ტურბინის მუშაობის რეაქტიული პრინციპი . . . . .	197
§ 42. კარბონევიანი ტურბინის შემადგენელი ნაწილები . . . . .	198
§ 43. კარბონევიანი ტურბინის შემწოვი მილი	203
§ 44. კავიტაცია . . . . .	210
§ 45. რადიალურ-ღერძული (ფრენისის) ტურბინი . . . . .	213
§ 46. პროპელური ტურბინი . . . . .	217
§ 47. მბრუნავ-ფრთიანი (კაპლანის) ტურბინი . . . . .	219

**თავი IX. თავისუფალჰიდროელექტროსადგურების ტურბინები**

§ 48. თავისუფალჰიდროელექტროსადგურების მუშაობის პრინციპი	222
§ 49. ჰიდროელექტროსადგურის (პელტონის) ტურბინი	224
§ 50. ორჯერადი (ბანკის) ტურბინი	229

**თავი X. ჰიდროელექტროსადგურების მსგავსება და მათი მახასიათებლები**

§ 51. ტურბინების მსგავსება და საანგარიშო ფორმულები . . . . .	231
§ 52. ტურბინების მახასიათებლები	236

<b>თ ა ვ ი X I . ჰიდრავლიკური ტურბინის ტიპის შერჩევა და ძირითადი ზომების დადგენა</b>	
§ 52. ტარბუნაიანი ტურბინისა ნურმალორი ნაშენი (საჭურა)	238
§ 54. ჰიდრავლიკური ტურბინის ტიპისა და რიცხვის სელოევა .	240
§ 55. ჰიდრავლიკური ტურბინების ძირითადი ზომების გაანგარიშება	244
<b>თ ა ვ ი X I I . ჰიდრავლიკური ტურბინების ექსპლოატაცია და მათი მუშაობის რეგულების საკითხები</b>	
§ 56. ჰიდრავლიკური ტურბინების საექსპლოატაციო მახასიათებლები .	251
§ 57. ტურბინების გამოცდა, მოვლა და მეთვალყურეობა . .	252
§ 58. ჰიდრავლიკური ტურბინების რეგულება და რეგულატორები .	254

**ნ ა წ ი ლ ი მ ი ხ უ თ ე**

**ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი და ჰიდროელექტროსადგურის  
შენობა**

<b>თ ა ვ ი X I I I . სათავე კვანძი</b>	
§ 59. სათავე კვანძის ტიპები	259
<b>თ ა ვ ი X I V . დერივაციული ნაგებობანი</b>	
§ 60. დერივაციულ ნაგებობათა ტიპები . . .	269
§ 61. ღია არხის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება .	271
§ 62. ჰიდროტექნიკური გვირაბები	274
<b>თ ა ვ ი X V . საწნეო კვანძი</b>	
§ 63. საწნეო აუზები . .	277
§ 64. საწნეო მილსადენები .	279
§ 65. გამთანბრებელი რეზერვუარები .	282
§ 66. ჰესის შენობა . . . . .	283
გამოყენებული ლიტერატურა	286





ციცლაური დავიდ სემენოვიჩ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ

(На грузинском языке)

Редактор кавд. тех. наук Н. Ф. МАНДЖАВИДЗЕ

Техредактор А. Г. Мегреладае

Гостехиздат Грузинской ССР

„Техника да прома“

Тбилиси—1957

რედაქტორი ტექნ. მეცნ. კანდ. ნ. თ. მანჯავიძე

გამომც. რედაქტორი ნ. გონაშვილი

კორექტორი მ. კაკახიძე

ტიპრედაქტორი ა. მეგრელაძე

გამომშები გ. აბდლაძე

---

უფ01444

ტირაჟი 1000.

შეკვეთა № 2614

გადაეცა ასაწყობად 26/XII-56 წ., ხელმოწერილია დასაბეჭდად 23/III-57 წ.,  
ანაწყობის ზომა 6X10, ქალაქის ზომა 60X92, სასტამბო ფურცელთა  
რაოდენობა 18 სააღრიცხვო ფურცელთა რაოდენობა 16,3

ფასი 6 მან. 70 კაპ.

---

საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტროს გამომცემლობისა და პოლი-  
გრაფიული მრეწველობის მთავარი სამმართველოს სტამბა № 2.  
თბილისი, ფურცელაძის ქ. 5.

---

Типография № 2 Главного управления издательства в полиграфич-  
еской промышленности Министерства культуры Грузинской ССР.  
Тбилиси, ул. Пурцеладзе № 5.

შეცდომების განსწორება

პ.ნ.	სტრიქონი		დაბეჭდილია	უნდა იყოს
	ხეშ.	ქვეშ.		
13	—	10	წყალსადენის ენერჯიის....	წყალნაკადის ენერჯიის...
14	10	—	$H_2 = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot g}{2g} + \rho_2$	$H_2 = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot g}{2g} + \rho_2 + h_{\rho 2}$
41	—	5	დაწვევა	დაწვევა
45	6	—	$\frac{\gamma Q H_{\text{ზა}}}{102} = \frac{\gamma_2 H_{\text{გვო}}}{102 \rho_{\text{გ}}}$	$\frac{\gamma Q H_{\text{ზა}}}{102} = \frac{\gamma_2 H_{\text{გვო}}}{102 \rho_{\text{გ}}}$
48	—	5	$\rho_1 g = Q H_1 = q H_2$	$\rho_1 g Q H_1 = q H_2$
158	—	9	სწორწილური	სწორწილური
194	14	—	დაწვევის სიდიდე	გამოყენებული დაწვევის სიდიდე
194	17	—	დაწვევა შესაბამისად იზრდება	გამოყენებული დაწვევა შესაბამისად იზრდება.
194	18	—	დაწვევის სიდიდე	გამოყენებული დაწვევის სიდიდე
194	—	5	$H$ დაწვევა ნულის ტოლი იქნება, ე. ი. ტურბინში არავითარი წვევა არ წარმოიშვება	$\rho_1 g H$ ნამრავლი ნულის ტოლი იქნება, ე. ი. ტურბინში არავითარ სიმძლავრეს არ ავითარებს.
195	—	11	$\rho_1 g H = \frac{v_1^2}{g}$	$\rho_1 g H = \frac{u_1^2}{g}$
196	2	—	სიდიდის დაწვევა გამოიყენოს	ჭიდრავლიკური ენერჯია გამოიყენოს
233	6	—	ტურბინების	ტურბინების
237	—	3	მახასიათებლებს ავებენ	მახასიათებლებს იყენებენ
252	13	—	მახასიათებლები იგება	მახასიათებლები გამოიყენება
252	14	—	ორგანიზმების	ორგანიზაციების.